e rame, produce una corrente opposta a quella della coppia, ferro battuto e rame, e la coppia, ferro fuso e rame, è più forte della coppia rame e ferro.

Le esperienze sull'allungamento dei corpi solidi hanno mostrato, che la loro temperatura s'abbassa quando sono stirati e s'innalza quando s'accorciano togliendo il peso. Così un filo di ferro di $\frac{1}{4}$ di pollice di diametro si raffredda di $\frac{1}{8}$ di grado centigrado quando è stirato da un peso di 775 libbre. Risultati analoghi hanno presentati i fili di ferro fuso, di acciaio, di rame e di piombo. Merita di esser notato ciò che avviene colla gomma elastica vulcanizzata, la quale si raffredda quando si allunga e si scalda coll'accorciarsi. Questo fatto, come Leroux lo ha annunziato recentemente ignorando le esperienze di Joule, si può verificare con un'esperienza grossolana, cioè, allungando e accorciando colle mani una striscia di gomma elastica vulcanizzata tenuta in contatto colla fronte. Il Prof. Thomson ha supposto che questa gomma elastica riscaldata mentre è stirata da un peso dovesse accorciarsi come in fatti è stato verificato da Joule. Una striscia di gomma elastica vulcanizzata stirata da un peso che la allunghi del doppio, si accorcia di $\frac{1}{10}$ della sua lunghezza per un innalzamento di temperatura di 50°C. Questo accorciamento aumenta col peso che stira la striscia di gomma elastica.

SUI FENOMENI ELETTRO-MAGNETICI SVILUPPATI DALLA TORSIONE; RICERCHE SPERIMENTALI DI C. MATTEUCCI.

È possibile che i risultati a cui queste ricerche mi hanno condotto, non sembrino al lettore di una importanza generale tanto grande da meritare che la loro esposizione sia così lunga e dettagliata come lo è. Dirò a mia scusa, che mi sono studiato di riassumere brevemente queste ricerche quanto più mi è stato possibile, senza togliere loro la necessaria chiarezza, e che spero di esser riuscito a spiegare con semplicità alcuni fenomeni apparentemente distinti fra loro e che hanno

relazione intima colla teoria del magnetismo e colla costituzione molecolare del ferro.

PARTI 1.

Di un nuovo caso d'induzione elettro-magnetica.

Descrivo in questa prima parte un nuovo caso d'induzione elettro-magnetica, che si genera in una verga di ferro magnetizzato nell'atto in cui è soggetta alla torsione.

L'apparecchio principale usato nelle esperienze che passiamo a descrivere, consiste in un banco solido di legno sul quale sono stabiliti due sostegni pure di legno, uno dei quali è fisso e l'altro scorre e può esser fissato a diverse distanze dal primo. La verga di ferro che deve esser torta, è ad una estremità stretta con viti in un astuccio d'ottone incastrato nel primo sostegno: l'altra estremità della verga è egualmente stretta in un astuccio simile che è mobile perchè fa parte di un asse che riposa sul secondo sostegno. In questo asse e precisamente fra i due cuscinetti su cui riposa, è fermata una ruota di legno di 0^m,30 di diametro divisa in gradi e mezzi gradi nella periferia e che ha nell'orlo una scannellatura, intorno alla quale si avvolgono in senso contrario due funicelle di seta a cui si sospendono i pesi destinati a torcere la verga. Un indice di ottone fissato sul banco e ripiegato in prossimità della graduazione della ruota serve ad indicare l'angolo di torsione. La verga di ferro così fissata normalmente al meridiano magnetico, comunica per mezzo di un grosso filo di rame saldato ad ognuna delle sue estremità, coi capi di un galvanometro a filo corto e assai delicato. Tutte le parti del circuito del galvanometro in cui è compresa la verga, devono rimanere immobili nell'atto in cui questa è torta e detorta e perciò il filo di rame saldato all'estremità fissata nell'astuccio mobile, traversa l'asse della ruota forato longitudinalmente. Per magnetizzare la verga ho il più spesso adoperata una spirale cilindrica di tre o quattro giri di filo di rame, lunga 0^m,50. Nel circuito della spirale che circonda la verga è inserita una bus-

sola dei seni e per mezzo di un commutatore si può facilmente chiudere e aprire il circuito o invertire la direzione della corrente. Si può anche magnetizzare la verga mettendo le sue estremità in presenza dei due poli opposti di due elettro-calamite, al quale uso riescono bene le elettro-calamite forate nell'asse. Tanto i fili del galvanometro quanto quelli della pila devono essere avvolti assieme per impedire l'induzione di queste parti del circuito. Per torcere la verga si applicano dei pesi alle funicelle di seta, e volendo operare in distanza e non dare urti alla ruota, si caricano le funicelle con pesi eguali, uno dei quali col mezzo di una lunga leva è sollevato e sostenuto nel momento della torsione.

Ecco l'esperienza principale. La verga fissata nell'apparecchio era di ferro semiduro come si trova in commercio, di 6^{mm},50 di diametro e lunga 0^m,62 nell'intervallo compreso fra i due astucci. Fò passare nella spirale magnetizzante una corrente di 2 o 4 elementi di Grove e dò alcuni colpi alla verga perchè si saturi di magnetismo. Nel momento in cui è chiuso il circuito della pila non vi è alcuna deviazione nell'ago del galvanometro, oppure la deviazione è di $\frac{1}{4}$ o di $\frac{1}{2}$ grado al più: vedremo in quali circostanze si ottengono queste piccole correnti nel momento in cui si magnetizza la verga e come si possono distruggere o accrescere queste correnti.

Perchè non vi sia difficoltà alcuna a concepire il risultato dell'esperienza principale, supporremo che per l'azione della spirale magnetizzante si formi un polo sud (o attratto dal polo nord della terra) in quella estremità della verga che è volta verso l'est, e un polo nord all'estremità opposta, che è quella fissata nel centro della ruota. Supporremo finalmente che l'osservatore che deve torcere la verga magnetizzata guardi la ruota. Nel momento in cui è applicata alla verga una certa torsione elastica che può essere di 5 fino a 20, o 25 gradi secondo la qualità del ferro, in modo che lo zero della ruota giri alla sinistra dell'osservatore (1), l'ago

(1) Nella comunicazione all'Accademia delle Scienze (*Comptes Rendus* N. 3, 18 Janvier 1858) ho dimenticato d'indicare il senso della torsione.

del galvanometro è spinto a 10 o 20 o 30 gradi o più, indicando una corrente diretta nella verga dall'estremità sud all'estremità nord. L'ago torna subito allo zero o al suo punto d'equilibrio e se allora si fa cessare bruscamente la torsione, l'ago indica una nuova corrente in senso contrario della prima. Ripetendo la stessa torsione in senso contrario, cioè verso la destra dell'osservatore, si ha di nuovo una corrente della stessa intensità di quella ottenuta colla torsione a sinistra, ma diretta in senso contrario cioè dal nord al sud nella verga. Anche in questo caso la detorsione sviluppa una corrente che è in senso contrario della corrente prodotta dalla torsione corrispondente.

Facendo passare la corrente magnetizzante in senso contrario per rovesciare i poli della verga, le correnti ottenute nei casi descritti hanno la stessa intensità ma sono tutte invertite. Questi fenomeni si possono riprodurre quante volte si vuole nelle stesse condizioni, finchè la verga è torta elasticamente.

È appena necessario di far notare che le correnti così ottenute per una data torsione elastica variano d'intensità, come tutte le correnti indotte, secondo il tempo impiegato a produrle. Ho però costantemente osservato, che ammettendo di torcere e detorcere la verga in tempi sensibilmente eguali, la corrente prodotta dalla prima torsione supera quella della detorsione corrispondente e le correnti di tutte le torsioni e detorsioni successive. Non è che dopo tre o quattro colpi di torsione e di detorsione dati alla stessa verga che le correnti divengono costanti: s'intende facilmente, come per la misura di questi fenomeni, convenga notare piuttosto le correnti delle detorsioni che quelle delle torsioni, perchè le prime si compiono in un intervallo di tempo sensibilmente eguale.

Volendo ottenere dalle correnti indotte così sviluppate una deviazione fissa basterebbe di raccogliere tutte le correnti indotte rapidamente nello stesso senso, cioè quelle delle torsioni successive o quelle delle detorsioni. A questo fine è saldata un'appendice metallica all'estremità mobile della verga, la quale s'immerge nel mercurio allorchè la ruota ha descritto un certo arco; se nello stesso mercurio pesca quel fi-

lo del galvanometro che prima era unito direttamente alla verga, si vedrà che per un certo arco di torsione, tanto più grande quanto è più rapido il movimento, la corrente indotta è la stessa come se quella appendice fosse stata immersa nel mercurio sin dal principio della torsione. Con un meccanismo molto facile a concepirsi, si possono ripetere rapidamente le torsioni o le detorsioni della verga e quindi ottenere nel modo descritto una serie di correnti dello stesso senso nel galvanometro.

Prima di procedere all'esposizione delle leggi di questo nuovo caso d'induzione, non è forse affatto inutile, per la migliore intelligenza del fenomeno principale, d'indicare una ipotesi colla quale si potrebbe spiegare l'origine del fenomeno stesso. Supponiamo di avere una porzione del filo del galvanometro distesa rettilineamente sulla spirale magnetizzante nell'interno della quale si è lasciata la verga di ferro dolce; per far ciò, senza mutare apparecchio, basta di distaccare i fili di rame dalle estremità della verga e di unirli fra loro. S'immagini la porzione suddetta di filo fissata in un punto qualunque del contorno della elettro-calamita all'estremità sud e l'osservatore tenga in mano il filo di rame verso l'estremità nord. Avvolgendo rapidamente il filo a spira intorno all'elettro-calamita si ottiene una corrente indotta di cui il senso, come è ben noto, dipende dal senso in cui si forma la spirale; invertendo la posizione dei poli, la corrente indotta s'inverte pure; nel momento in cui si disfa la spirale, la corrente indotta è opposta a quella ottenuta formando la spirale. Se si suppone, che la verga di ferro sia composta di un fascio di fibre parallele all'asse, le quali, comportandosi nella torsione come farebbero tanti fili metallici isolati si dispongano a spira intorno all'asse magnetico rimasto invariabile, l'analogia fra questo caso e quello precedentemente supposto, sarà completo sotto tutti i punti. E poichè nel caso della torsione della verga di ferro l'azione induttiva si esercita a distanze piccolissime, non vi è difficoltà a concepire che basta una torsione di 5 o 6 gradi della verga magnetizzata per ottenere una corrente indotta della stessa intensità di quella che si ha avvolgendo in un tempo più

tango un filo di rame per un'intera spira intorno all'elettro-calamita. Vedremo in seguito, dopo avere esposte le leggi di questo caso d'induzione, che questa non è la spiegazione più soddisfacente che può esserne data: ho di volo accennato questa, solo perchè così è resa più facile l'intelligenza di queste prime esperienze e si possono rappresentare i risultati in un modo ben conosciuto.

Nelle esperienze descritte sin qui la verga era magnetizzata e poi torta: come poteva prevedersi, si ottiene lo stesso risultato torcendo la verga prima e poi magnetizzandola. La solita verga magnetizzata colla spirale era successivamente torta con 1, con 2, o più chilogrammi, finchè la sua elasticità non fosse alterata: chiudendo ogni volta, dopo la torsione, il circuito della spirale magnetizzante, si otteneva una corrente indotta nello stesso senso e della stessa intensità di quella avuta torcendo cogli stessi pesi la verga precedentemente magnetizzata. Ho ripetuta questa esperienza sopra verghe eguali chiudendo il circuito della spirale magnetizzante o immediatamente dopo la torsione oppure dopo un'ora o dopo dodici ore, e la corrente indotta fu sempre la stessa. In generale si può dire che si ha lo stesso fenomeno d'induzione torcendo la verga già magnetizzata, come magnetizzandola dopo averla torta: in questo secondo caso l'intensità della corrente è più costante, lo che non è della corrente ottenuta torcendo la verga magnetizzata, se la torsione e la detorsione elastica non sono state ripetute due o tre volte prima.

Anche l'apertura del circuito della spirale magnetizzante, cioè la smagnetizzazione della verga già torta, doveva dare, e dà infatti, una corrente indotta, che è nello stesso senso di quella che si ottiene colla detorsione della verga magnetizzata, ma che è costantemente più debole: questa differenza, indipendentemente da ogni ipotesi, deve essere l'effetto della lentezza con cui si disfà il magnetismo e del magnetismo che rimane. Citeremo qui i numeri ottenuti in alcune delle tante esperienze conformi che abbiamo tentate e che sarebbe inutile di riprodurre per intero. Suppongo che si abbia presente la descrizione dell'esperienza principale e che la torsio-

ne sia applicata sulla verga magnetizzata. Per maggiore brevità indicheremo con T_s la torsione elastica sinistra, con D_s la detorsione corrispondente e con I l'interruzione della spirale magnetizzante; indicheremo anche col segno $+$ la corrente indotta diretta nella verga dal sud al nord, e con $-$ la corrente opposta o diretta dal nord al sud.

1^a. *Esp. Verga di ferro rincotto di 6^{mm},50 di diametro.*

T_s di 5°	corrente $+$	22°
D_s	»	— 20°
I	»	0°

2^a. *Esp. Verga di ferro semiduro del commercio di 6^{mm},50 di diametro.*

T_s di 5°	corrente $+$	48°
D_s	»	— 10°
I	»	— 4 $\frac{1}{2}$ a 2°

3^a. *Esp. Verga rincotta di 6^{mm},50 di diametro.*

T_s di 10°	corrente $+$	28°
D_s	»	— 25°
I	»	0°

4^a. *Esp. Verga di ferro semiduro di 6^{mm},50 di diametro.*

T_s di 10°	corrente $+$	35°
D_s	»	— 20°
I	»	0°

Invertendo il senso della torsione o la posizione dei poli, si ottengono le stesse deviazioni, ma tutte in senso contrario rispettivamente. Aggiungeremo alcune altre esperienze, nelle quali la smagnetizzazione accadeva persistendo la torsione della verga e quindi la detorsione si faceva sulla verga smagnetizzata.

5°. *Esp. Verga rincotta di 6^{mm},50 di diametro.*

Ts di 5°	corrente + 22°
I	» — 3°
Ds	» — 4°

6°. *Esp. Verga di ferro semiduro di 6^{mm},50 di diametro.*

Ts di 5°	corrente + 20°
I	» — 4°
Ds	» — 7°

7°. *Esp. Verga rincotta di 6^{mm},50 di diametro.*

Ts di 10°	corrente + 28°
I	» — 8° a 10°
Ds	» — 2°

8°. *Esp. Verga di ferro semiduro di 6^{mm},50 di diametro.*

Ts di 10°	corrente + 35°
I	» — 4° a 5°
Ds	» — 8° a 10°

È dunque la corrente indotta nella detorsione della spirale magnetizzata sempre maggiore della corrente che si sviluppa smagnetizzando la verga torta; nel ferro semiduro la corrente ottenuta colla detorsione dopo la smagnetizzazione è maggiore che nel ferro rincotto.

Diremo ora più particolarmente delle correnti indotte ottenute torcendo o detorcendo le verghe di ferro dopo l'interruzione della corrente magnetizzante; è importante, sopra tutto in queste esperienze, che gli astucci e tutti i pezzi che servono a stringere la verga siano di ottone e non di un metallo magnetico. Il risultato costante che si ottiene dalle verghe di ferro più o meno duro dopo la smagnetizzazione consiste nell'essere le correnti indotte sviluppate dalla torsione e dalla detorsione assai più piccole e di segno contrario

di quelle che nelle stesse circostanze si hanno da quelle verghe sotto l'azione della spirale magnetizzante. Perchè questo risultato si verifichi immediatamente, la verga deve essere di ferro non troppo duro, o se di ferro duro, dovrà essere prima in parte smagnetizzata con qualche colpo. Non verificandosi queste circostanze, la corrente indotta dalla prima torsione della verga, cessata l'azione della spirale magnetizzante, è nel senso stesso della corrente ottenuta dalla torsione della verga magnetizzata: ma subito insorge l'opposizione, poichè la corrente della detorsione, o è nulla o nel senso stesso della prima a cui succedono per la torsione e la detorsione delle correnti indotte di segno opposto a quelle ottenute dalla verga magnetizzata. Seguitando lungo tempo a torcere e detorcere la verga smagnetizzata persistono, specialmente nelle verghe di ferro rincotto, i fenomeni suddetti, divenendo però sempre più piccole le deviazioni. Non è però questo il caso, come possiamo a dirlo, delle verghe di acciaio o di quelle di ferro molto duro e più volte torte permanentemente in diversi sensi.

Ho sostituito alle verghe di ferro, verghe di acciaio più o meno duro ed ho operato anche sopra verghe di acciaio fuso. La conclusione di un grande numero di esperienze è, che le correnti indotte dalle verghe di acciaio sono sempre nello stesso senso di quelle ottenute col ferro magnetizzato, tanto sotto la magnetizzazione che dopo, ma di un'intensità molto minore. Paragonando verghe di acciaio non temprato e di ferro delle stesse dimensioni e nelle medesime condizioni, le correnti indotte sono per primo rappresentate da una deviazione che appena è $\frac{1}{3}$ o $\frac{1}{4}$ della deviazione prodotta dalle correnti del ferro. Colle verghe d'acciaio fuso e molto duro le correnti sono le più piccole possibili, ma però nel senso stesso di quelle dell'acciaio meno duro o del ferro magnetizzato. In questa occasione noteremo che la forma più semplice dell'esperienza principale si riduce ad avere nell'apparecchio di torsione una verga di acciaio comune di 4 in 3 millimetri di diametro magnetizzata permanentemente e al solito riunita al galvanometro con fili di rame saldati alle estremità: con questa disposizione l'esperienza è sempre preparata e con

un galvanometro sufficientemente delicato, torcendo la verga di 8° o 10° , si hanno delle correnti indotte di 3° a 4° . Questo stesso risultato si ottiene con verghe di ferro duro e dopo essere stato torto permanentemente in diversi sensi.

Passiamo ora a descrivere i risultati ottenuti ripetendo l'esperienza principale sopra verghe di ferro di qualità più o meno dura, e varie di diametro e di lunghezza. Ho fissato nell'apparecchio una verga di ferro semiduro come si trova in commercio, di $9^{\text{mm}},75$, e lunga $0^{\text{m}},56$. Questa verga era torta, con un certo peso, di 11 gradi e mantenuta in questo stato dopo di essermi assicurato che la torsione non alterava la sua elasticità. I primi risultati che riferirò sono quelli delle correnti ottenute aprendo e chiudendo il circuito della spirale magnetizzante, essendo la verga sempre torta:

Alla chiusura del circuito della spirale

magnetizzante	+ 38° a 40°
Apertura	— 30°
Chiusura	+ 27°
Apertura	— 30°
Chiusura	+ 27°
Apertura	— 28°
Chiusura	+ 28°
Apertura	— 28°

Seguitando ad aprire e chiudere il circuito per diverse volte si ottenevano sempre le stesse correnti ed egualmente accadeva invertendo il senso della torsione o la posizione dei poli colla sola differenza che le correnti erano rispettivamente di senso contrario. Alla verga adoperata in queste esperienze ho sostituita una verga tagliata sullo stesso pezzo, ma che era stata riscaldata fino al calor rosso e lentamente raffreddata. I fenomeni d'induzione ottenuti torcendo questa verga dello stesso numero di gradi e poscia chiudendo ed aprendo il circuito della spirale magnetizzante, procederono esattamente come quelli precedentemente descritti, colla sola differenza che le correnti indotte nella verga di ferro dolce erano meno intense: infatti la corrente otte-

muta alla prima chiusura fu di 20° e le correnti successive, ridotte di un'intensità costante, all'apertura e chiusura del circuito, erano di 11 a 12 gradi. Ripeteremo anche una volta che se invece di chiudere ed aprire il circuito della spirale magnetizzante, essendo la verga torta, si tiene chiuso il circuito per poi torcere e detorcere successivamente la verga, si hanno pure correnti di una intensità costante e presso a poco eguale a quella delle correnti ottenute precedentemente. Vedremo alla fine di questa prima parte, come avvenga, soprattutto con verghe sottili e fortemente magnetizzate, soggette sempre alla torsione, che le correnti costanti ottenute chiudendo e aprendo il circuito della spirale magnetizzante, sono più piccole di quelle che si hanno torcendo e detorcendo le stesse verghe magnetizzate.

Ho tentato sopra molte verghe di lunghezza e di diametro diverso e di qualità diverse di ferro, di stabilire la relazione che esiste fra il grado della torsione elastica e l'intensità della corrente sviluppata. Si può fare l'esperienza accrescendo successivamente di una quantità costante i pesi che torcono la verga, oppure torcendo e detorcendo la verga con pesi successivamente crescenti. Le esperienze tentate sono tante ed i risultati ottenuti sono così conformi fra loro, che io non esito ad affermare che per le prime torsioni elastiche da 0 a 20° gradi, le verghe di ferro duro o semiduro, lunghe da $0^m,60$ a $0^m,80$ e di 4 a 6 a 9 millimetri di diametro, sviluppano correnti di cui le deviazioni impulsive crescono come gli angoli delle torsioni. Cito una sola esperienza scelta a caso fra le tante che devo sopprimere. Torcendo successivamente una verga di ferro semiduro di $6^{mm},50$ di diametro e lunga $0^m,80$ con 1, 2, 3, e 4 chilogrammi, le correnti indotte dettero 6° ; $11^\circ \frac{1}{2}$; 18° e 24° di deviazione impulsiva. Una verga simile torta da principio con 1 chilogrammo al quale si aggiunse poi un secondo chilogrammo, indi un terzo e finalmente un quarto chilogrammo, ha dato per ogni nuovo peso una deviazione di 6 gradi. Prendendo verghe più corte o verghe molto sottili, adoperando ferro molto rincotto, le correnti ottenute colle torsioni crescenti, cessano presto di essere proporzionali alle torsioni; a questo proposito mi limiterò a nota-

re che verghe lunghe 0^m,40 o meno e dei diametri suddetti, danno colle stesse torsioni correnti molto più deboli e che non crescono dopo la prima o seconda torsione. È anche facile di provare che una torsione permanente non comunica alla verga, come la torsione elastica, la proprietà di sviluppare una corrente indotta allorchè è magnetizzata. Supponiamo di aver determinata la corrente indotta che si ottiene da una certa detorsione elastica: se si torce questa verga oltre il limite dell'elasticità, la corrente che si ottiene nell'atto della detorsione, corrisponde precisamente all'angolo di cui si detorce, e non all'angolo di cui è stata torta. Finalmente, se si ha una verga che è stata torta permanentemente in diversi sensi, si otterrà con una nuova torsione elastica una corrente presso a poco dell'istessa intensità di quella ottenuta, prima che la verga avesse subita alcuna alterazione.

Ho preso tre verghe della stessa qualità di ferro egualmente lunghe e di cui i diametri erano 4^{mm},25; 6^{mm},50; 9^{mm},75: queste tre verghe magnetizzate con una corrente di 10°,45° alla bussola dei seni, svilupparono per una torsione di 10 gradi, delle correnti misurate da 3°; 10°; e 25° di deviazione impulsiva.

Ho pure cercato di scuoprire quale relazione vi era fra i fenomeni d'induzione sviluppati dalla torsione e la forza magnetica della verga. Facevo perciò passare nella spirale magnetizzante correnti prodotte da diversi elementi di Grove e di cui le intensità erano misurate colla bussola dei seni. Da queste esperienze, che sono state variate usando verghe di ferro di diversa lunghezza e grossezza e di qualità più o meno duro, ottenni questo risultato importante; che le correnti indotte dalle torsioni di una verga magnetizzata non crescono coll'intensità del magnetismo della verga, ma che anzi diminuiscono, allorchè questa intensità oltrepassa un certo limite che è tanto più presto raggiunto, quanto più piccolo è il diametro della verga e quanto più è dolce la qualità del ferro. Anche in questo caso mi limito a riferire tre esperienze sole di cui il risultato è identico a quello ottenuto in molte altre esperienze conformi che sopprimo.

In una prima esperienza la verga era di ferro semiduro, di 6^{mm},50 di diametro, lunga 0^m,60. Le correnti adoperate nella spirale magnetizzante, di 1, 4 e 10 elementi di Grove, erano misurate da 3°, 43'; 10°, 45'; 21°, 10'. Colla corrente più debole e con torsioni di 5°, 10°, 15° e 20° le correnti indotte furono 3° $\frac{1}{2}$; 6°; 10°; 17°: colla pila di 4 elementi queste correnti furono 4°; 8°; 10°; 15°, e colla pila più forte 1° $\frac{1}{2}$; 3° $\frac{1}{2}$; 5° e 7°.

Nei due quadri seguenti ho raccolto i risultati ottenuti sopra verghe di ferro semiduro e rincotto e di diametro diverso: le correnti indotte notate sono quelle divenute costanti dopo due o tre torsioni e detorsioni, e corrispondono alle detorsioni.

1°. QUADRO.

Verga di ferro rincotto di 6^{mm},50 di diametro, lunga 0^m,60 e torta di 13 gradi.

N°. degli elementi di Grove . . .	1	2	4	10
Deviazione alla bussola dei seni.	3°, 48'	7°, 30'	13°, 39'	25°
Correnti indotte.	11 a 12°	12° a 14	8°	6°

Verga di ferro semiduro dello stesso diametro e lunghezza e egualmente torta.

Correnti indotte	17° a 18	13	9° a 10	9°

2°. QUADRO

Verga di ferro rincotto di 9^{mm},75 di diametro, lunga 0^m,60 e torta di 8 gradi.

Correnti indotte. . . .	8° a 9	14° a 16	18°	10°

Verga idem di ferro semiduro.

Correnti indotte. . . .	8° a 9	20°	22° a 24	14° a 16

Devo per ultimo descrivere le esperienze dalle quali risulta, che in certe determinate condizioni vi è sviluppo di correnti indotte in una verga di ferro nel momento in cui è magnetizzata per l'azione della corrente della pila. Abbiamo già notato che nel momento della magnetizzazione, senza che la verga avesse ancora subita alcuna torsione, non vi era nel galvanometro alcuna deviazione o vi era di $\frac{1}{4}$ o di $\frac{1}{2}$ grado. Per togliere anche questa piccola deviazione basterebbe di rincuocere la verga tenendola durante tutta l'operazione nell'equatore magnetico e di trasportarla e fissarla nell'apparecchio mantenendola sempre in questa posizione. In questo modo la verga non ha presa alcuna polarità magnetica sensibile e può anche essere torta e detorta senza magnetizzarsi. In questo stato, al momento della magnetizzazione, non si ha alcun segno di corrente indotta al galvanometro. Questo risultato che più raramente si ottiene sulle verghe di ferro semiduro, che sopra quelle di ferro rincotto, pure si è verificato qualche volta anche sulle prime, allorquando non erano sensibilmente polarizzate e non erano state soggette a colpi o a torsioni; quando questo non era, abbiamo già detto, che la deviazione ottenuta alla prima magnetizzazione non supera $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$ grado. Non è più così allorchè la verga è stata magnetizzata e torta: allora, smagnetizzata e detorta, sviluppa al momento della nuova magnetizzazione una corrente istantanea in un senso determinato e di un'intensità poco diversa di quella delle correnti indotte ottenute colla torsione e detorsione.

Siamo costretti a descrivere con qualche dettaglio le circostanze in cui questo fenomeno si produce, poichè non può non essere strettamente collegato col caso d'induzione elettro-magnetica di cui ci occupiamo, e perchè nona pparisce di facile interpretazione.

Sappiamo già ciò che avviene avendo una verga di ferro torta nell'apparecchio e poi chiudendo il circuito della spirale magnetizzante, oppure chiudendo questo circuito prima e torcendo la verga in seguito.

Allora, detorcendo o aprendo il circuito o viceversa, si hanno correnti indotte, generalmente nello stesso senso che

è contrario a quello delle correnti ottenute colla torsione, ma diverse d'intensità; cioè la corrente della detorsione supera sempre quella che si ottiene nel momento della smagnetizzazione, che qualche volta è nulla e qualche rara volta, nelle verghe che sono state molto tormentate dalla torsione, è piccolissima e nel senso stesso della corrente ottenuta colla prima torsione. A questo punto, richiudendo il circuito della spirale magnetizzante, si ottiene nel galvanometro una forte corrente istantanea nel senso stesso di quella sviluppata dalla detorsione. In tutte le esperienze che ho tentate variando le dimensioni delle verghe e la qualità del ferro, e che furono moltissime, ho costantemente trovato che la corrente sviluppata nell'atto della seconda magnetizzazione era la più grande possibile, allorchè la smagnetizzazione era accaduta rimanendo sempre la verga soggetta alla torsione, mentre invece questa corrente o mancava o era molto più piccola, se la verga era stata detorta prima della smagnetizzazione. Questa differenza era massima col ferro rincotto e molto dolce, mentre usando ferro semiduro e più volte torto e detorto non vi era quasi più differenza nelle correnti ottenute nella seconda magnetizzazione nei due suddetti modi di operare. Questo fenomeno spiega manifestamente l'indebolimento della corrente indotta che si ottiene, come già lo abbiamo mostrato, nelle magnetizzazioni e smagnetizzazioni successive di una verga che rimane sempre torto, mentre via via si apre e si richiude il circuito della spirale magnetizzante. Colle verghe d'acciajo duro o fuso, non si ottiene alcun segno di corrente nell'atto della seconda magnetizzazione dopo averle magnetizzate e torte.

Notevoli assai ci sembrano le particolarità seguenti stabilite sopra un gran numero di risultati conformi.

Il fenomeno di cui ci occupiamo, cessa dopo due o tre magnetizzazioni e smagnetizzazioni della verga. Spesso avviene che alla seconda smagnetizzazione manca ogni segno di corrente; ma allorquando questo non è, la corrente piccolissima che si ha alla seconda smagnetizzazione è costantemente di segno contrario alla corrente della magnetizzazione che ha preceduto, cioè nel senso della corrente indotta della prima torsione.

Se prima di rimagnetizzarla si danno molti colpi alla verga, lo che è accompagnato da una corrente nel senso stesso di quello della detorsione, la corrente che si sviluppa poi alla rimagnetizzazione è ridotta nulla, o è molto indebolita.

Finalmente, mentre le correnti indotte dalle torsioni e detorsioni delle verghe magnetizzate, diminuiscono notevolmente colla intensità del loro magnetismo, oltre passato un certo limite, il fenomeno che studiamo ora continua invece a crescere colla intensità del magnetismo delle verghe. Citerò in prova il risultato seguente: le correnti della spirale magnetizzante erano successivamente dovute a uno, due, quattro, e dieci elementi di Grove: le correnti corrispondenti ottenute da una verga di ferro semiduro dopo essere stata magnetizzata, torta, smagnetizzata e detorta, nel momento della seconda magnetizzazione, furono di 2; 4 a 5; 6; 8 a 10 gradi. Da questo fatto procede la spiegazione della rapida diminuzione delle correnti che si hanno aprendo e chiudendo il circuito della spirale magnetizzante mentre la verga è sempre torta: se la verga è sottile e fortemente magnetizzata, le correnti all'aprire e chiudere del circuito della pila, si ridurranno o nulle o piccolissime, mentre gli effetti della torsione e detorsione della verga stessa magnetizzata sono i soliti e si conservano perciò in questo caso comparativamente più forti. Sopra verghe di ferro semiduro di diametro grosso e debolmente magnetizzate, non vi è invece differenza fra le correnti indotte nei due modi.

Indipendentemente da qualunque ipotesi sulla cagione dei fenomeni descritti, le esperienze riferite in questa prima parte dimostrano:

1°. Che nella torsione e detorsione elastica di un cilindro di ferro magnetizzato si sviluppano nel circuito, in cui questo cilindro è compreso, correnti indotte con leggi determinate.

2°. Che vi è pure sviluppo di correnti istantanee nel circuito di un cilindro di ferro nell'atto in cui questo cilindro è rimagnetizzato, tutte le volte che è stato precedentemente torto e detorto mentre era magnetizzato.

PARTE II.

Delle variazioni nello stato magnetico di una verga di ferro
prodotte dalla torsione.

Cominceremo dal riassumere brevemente le cognizioni che possediamo sopra questo argomento.

Sin dal 1847 (1) mostrai in una lettera ad Arago il vantaggio che vi era per lo studio delle variazioni dello stato magnetico di una verga di ferro, prodotte dalla torsione o dalle altre azioni meccaniche, a tenere questa verga in una spirale in cui si sviluppano correnti indotte. A questo fine si ha nell'apparecchio che già abbiamo descritto, una spirale doppia; una delle spirali a filo grosso è quella che abbiamo chiamata spirale magnetizzante, e l'altra a filo fine e formata di un maggior numero di giri, comunica con un buon galvanometro. Con quest'apparecchio è facile di assicurarsi che subito dopo la chiusura della spirale magnetizzante, gli urti, le vibrazioni, le torsioni applicate alla verga sviluppano correnti indotte, le quali indicano un aumento di magnetismo: invece, dopo l'interruzione di quella spirale, l'effetto di queste azioni meccaniche è di diminuire lo stato magnetico. Tanto nell'un caso che nell'altro, ripetendo un certo numero di volte quelle azioni meccaniche l'effetto cessa e la verga perviene ad uno stato d'equilibrio magnetico che non è più disturbato da nuovi urti o vibrazioni: solamente la torsione e la detorsione elastica, come meglio di me l'ha poi dimostrato Wertheim, sviluppano ancora correnti indotte tanto sulla verga magnetizzata che sulla smagnetizzata; cioè la torsione genera una corrente come si avrebbe da una diminuzione di magnetismo e la detorsione una corrente in senso contrario come si otterrebbe da un aumento di magnetismo. Secondo Wertheim questi effetti della torsione elastica non si ottengono colle verghe d'acciajo fuso: devo confessare che malgrado molte esperienze

(1) *Comptes Rendus*, T. **XXIV**, p. 507.

tentate sopra verghe d'acciajo fuso procuratemi da diverse fabbriche, non sono riuscito a confermare questo risultato, avendo sempre ottenuto, dopo che lo stato d'equilibrio era stato raggiunto, colla torsione e colla detorsione di queste verghe, correnti indotte molto più deboli di quelle che si hanno dal ferro, ma però sempre opposte fra loro e corrispondenti alle variazioni magnetiche suddette. Gli effetti sin qui descritti sono indipendenti, come si poteva supporre, dal senso in cui sono applicate le torsioni elastiche; ma non è più questo il caso di una verga che ha subita una torsione permanente. Aveva già osservato (1) che allorquando una verga di ferro è stata torta permanentemente in un certo senso, una piccola torsione elastica nello stesso senso sviluppa una corrente indotta corrispondente ad un aumento di magnetismo e che il contrario avviene colla detorsione: se invece la nuova torsione elastica è applicata in senso contrario alla torsione permanente, si ottengono gli effetti soliti come si hanno da una verga di cui l'elasticità non è alterata. Wertheim ha aggiunta l'osservazione importante che questa opposizione dei fenomeni d'induzione sviluppati dalla torsione elastica nel senso della torsione permanente, non si verifica che per un certo arco partendo dalla nuova posizione d'equilibrio meccanico, oltrepassato il quale la torsione e la detorsione producono gli effetti ordinarii. Poichè nella posizione d'equilibrio meccanico naturale della verga, ogni torsione o allontanamento da questa posizione, produce diminuzione di magnetismo e la detorsione un effetto contrario, Wertheim spiega ciò che avviene in una verga torta permanentemente, supponendo che è avvenuta la rotazione di quella posizione primitiva o dello *zero meccanico* come egli dice, nel senso della torsione permanente, per cui le torsioni elastiche rispetto allo *zero* del nuovo equilibrio meccanico e dentro un certo angolo, corrisponderebbero alle detorsioni. Anche nel ferro smagnetizzato sotto la torsione elastica, la rotazione del *maximum* è stata riscontrata da Wertheim; il quale ha trovato che se una verga smagnetizzata è

(1) *Cours spécial sur l'induction etc.*, pag. 255.

torta per un certo angolo nel senso della torsione a cui era soggetta nell'atto della smagnetizzazione, si ottiene un segno d'induzione corrispondente ad un aumento di magnetismo.

Aggiungeremo di avere riscontrato che una verga di ferro portata ad uno stato di saturazione magnetica, ha acquistato dopo una torsione permanente la proprietà di prendere con nuovi colpi un nuovo grado di magnetismo. Noteremo anche che se si parte dalla nuova posizione d'equilibrio in cui è stata portata la verga da una torsione permanente per torcerla permanentemente in senso contrario sotto l'azione della spirale magnetizzante, il punto in cui tutte le volte si fissa è tale, che ogni torsione elastica nel senso del primo spostamento sviluppa costantemente una corrente indotta che indica un aumento di magnetismo e ciò qualunque sia la posizione in cui la verga si è fissata. Osserveremo finalmente che basta di torcere elasticamente una verga dopo l'interruzione della spirale magnetizzante prima in un senso e poi nel senso contrario, perchè la stessa torsione ripetuta nel primo senso sviluppi una corrente indotta corrispondente ad un aumento di magnetismo.

Ho voluto esaminare se vi era una relazione fra il grado di magnetismo della verga soggetta alla torsione e detorsione e l'intensità delle correnti indotte nella spirale che la circonda; e se questa relazione era la stessa che abbiamo trovata per le correnti indotte nel circuito della verga. La risposta dell'esperienza è stata facile ad ottenersi e senza alcuna incertezza: tanto le correnti indotte nella spirale esterna, quanto quelle indotte nella verga dalla sua torsione e detorsione, decrescono, allorchè il magnetismo della verga oltrepassa un certo limite d'intensità.

Se si hanno due galvanometri, uno cioè nel circuito della verga e l'altro in quello della spirale esterna, è facile di fare la determinazione delle due correnti indotte nello stesso tempo e di verificare la proposizione sopraddetta. Fra i molti risultati conformi che ho ottenuto, riferisco quelli di una sola esperienza comparativa e ciò solamente per rendere più chiaro il significato di quella proposizione. Ho adoperato lo stesso galvanometro, ora per le correnti indotte nella

spirale esterna, ora per le correnti indotte nella verga, che era di 6^{mm},68 di ferro semiduro e torta elasticamente con un peso costante.

Num°. degli elementi di Grove

per la spirale magnetizzante   1   2   10

Correnti indotte nella verga di

ferro . . . . . 14° a 16°   14° a 16°   8° a 10°

Correnti indotte nella spirale

esterna . . . . . 70° a 80°   70° a 80°   18° a 20°

Le esperienze riferite in questa seconda parte, sono state interpretate ammettendo, come già si è detto, che la cagione delle correnti indotte nella spirale esterna dalla torsione e detorsione della verga magnetizzata risieda nelle variazioni dello stato magnetico della verga stessa; partendo dal senso delle correnti indotte nell'atto della magnetizzazione e della smagnetizzazione, si è quindi dedotto che la corrente indotta dalla torsione significava una diminuzione di magnetismo e che la corrente della detorsione era dovuta ad un aumento di magnetismo. Benchè questa interpretazione fosse la più naturale, non era però necessariamente la sola e conveniva allo scopo di queste ricerche dimostrare rigorosamente il fatto su cui quella interpretazione si fonda. Non starò qui a descrivere gli sforzi inutili fatti usando il metodo dell'oscillazione di un ago calamitato per determinare se vi era variazione dello stato magnetico di una verga magnetizzata per effetto della torsione: quand' anche questo metodo avesse potuto distinguere delle differenze necessariamente molto piccole, lo che non è stato, non avrebbe servito nel caso in cui la variazione supposta fosse stata di breve durata.

Sono pienamente riescito in questa ricerca usando un sistema astatico formato di due sbarre calamitate fissate in un asse orizzontale, il quale è munito dello specchio di Gauss e questo sistema è precisamente quello che fa parte dell'apparecchio di Weber sulla polarità del diamagnetismo. La posizione del

sistema era osservata, come è ben noto, leggendo col cannocchiale di un teodolite le divisioni di una scala orizzontale. La verga di ferro fissata nell'apparecchio di torsione era collocata stabilmente nel piano del sistema astatico, a destra o a sinistra del sistema stesso, e inclinata in modo da fare un angolo di circa 35° a 40° col piano delle verghe calamitate del suddetto sistema nella sua posizione d'equilibrio. La distanza della verga di ferro dal sistema astatico era stabilita in modo da avere un movimento piccolissimo in quest'ultimo per l'azione della spirale magnetizzante sola e che restasse libero il sistema astatico allorchè si fissava deviato per l'azione della verga magnetizzata. Volendo studiare le variazioni dello stato magnetico prodotte dalla torsione si assoggetta la verga, come l'ho detto da prima, a pesi eguali nei due piatti sospesi alle funicelle che s'avvolgono in senso contrario intorno alla ruota dell'apparecchio di torsione e indi si scarica uno dei piatti per mezzo di una lunga asta mossa dall'osservatore stesso, mentre guarda col cannocchiale le divisioni della scala. Avendo il sistema astatico sospeso in una cassa di cristallo fissata al muro di una stanza a pian terreno e collo specchio centrato, si è certi dell'esattezza dell'osservazione e dopo ogni esperienza si vedrà lo specchio tornare nella posizione iniziale. Anche questa volta sono costretto per non troppo dilungarmi a tralasciare il dettaglio delle singole esperienze e mi devo limitare a riferire i risultati che considero come rigorosamente stabiliti.

Appena la verga di ferro, magnetizzata a saturazione, è torta, il movimento del sistema astatico indica una diminuzione di magnetismo; dopo pochissime oscillazioni, rese tali dall'ingegnosa aggiunta fatta da Weber dell'inviluppo di rame, il sistema si fissa e resta in questo stato finchè la verga rimane torta. Dopo la detorsione, la verga riprende la forza perduta ed il sistema astatico ritorna esattamente alla sua posizione iniziale. Mi sono assicurato con molte esperienze che questa diminuzione di magnetismo cresceva, finchè la torsione era elastica, coll'angolo della torsione stessa. Ho avuto cura di studiare se la diminuzione prodotta da una certa torsione era indipendente dalla rapidità più o me-

no grande colla quale la torsione accadeva e altrettanto ho fatto per la detorsione; si può scaricare bruscamente uno dei piatti come si può farlo scendere lentissimamente. Nei due modi l'indicazione della diminuzione o dell'aumento per la torsione e detorsione è stata rigorosamente la stessa.

Finalmente ho studiato se queste variazioni prodotte dalla torsione e dalla detorsione variavano colla intensità del magnetismo della verga, ed ho trovato che, come per le correnti indotte nella verga stessa e per quelle sviluppate nella spirale esterna, le variazioni dello stato magnetico, diminuivano, oltrepassato un certo limite, a misura che cresceva la forza magnetica della verga. Fra le molte esperienze mi limito a citarne una in cui ho usato nella spirale magnetizzante ora una corrente di 11° alla bussola dei seni, ora una di 21° , 10: le correnti indotte corrispondenti furono di 45° e di 7° gradi per una data torsione elastica: le variazioni indicate dal sistema astatico furono di sei divisioni della scala nel primo caso e di tre nel secondo.

Sostituendo alle verghe di ferro, delle verghe d'acciajo non ho potuto scorgere col metodo usato alcuna variazione nello stato magnetico determinata dalla torsione. Torcendo e detorcendo una verga di ferro dopo l'interruzione della spirale magnetizzante, i movimenti del sistema astatico indicano da principio una rapida diminuzione di magnetismo, che però è maggiore colla torsione che colla detorsione; dopo di che la torsione e la detorsione producono variazioni piccolissime, ma che però costantemente si verificano come quelle della verga magnetizzata: questo risultato si ottiene immediatamente se con molti colpi dati alla verga dopo la smagnetizzazione sia stata la verga portata nello stato d'equilibrio magnetico.

Dai risultati descritti in questa seconda parte si può riguardare come stabilito;

1. La torsione elastica di una verga magnetizzata a saturazione determina una diminuzione nella sua forza magnetica, la quale persiste per tutto il tempo in cui la torsione dura; colla detorsione la forza magnetica è ristabilita come prima.

2. Dalle relazioni che esistono fra le variazioni determinate dalla torsione e detorsione nella forza magnetica di una verga e le correnti indotte nella spirale esterna, è dimostrato che quelle variazioni sono la cagione delle correnti stesse.

PARTE III.

Spiegazione dei fenomeni descritti.

È appena necessario di avvertire che i fenomeni d'induzione descritti in questa memoria non possono prodursi che dal ferro e forse da qualche altro corpo allo stato magnetico. Tuttavia ho voluto ripetere sopra verghe di ottone e di rame esperienze simili a quelle eseguite sopra le verghe di ferro e, come era naturale, non ho ottenuto alcuno dei fenomeni d'induzione che il metallo magnetico produce (1).

(1) Eseguendo queste esperienze mi è accaduto, soprattutto colla verga di ottone e quando le torsioni erano molto grandi, di ottenere un piccolo indizio di $\frac{1}{4}$ o di $\frac{1}{2}$ grado di deviazione al galvanometro: ed essendo il senso della deviazione lo stesso qualunque fosse il senso della torsione ed ottenendosi egualmente la deviazione quando la spirale magnetizzante non agiva, sospettai che vi potesse essere un piccolo sviluppo di calore nella torsione della verga, tanto più che quella piccola deviazione non accadeva bruscamente come per le correnti indotte, ma richiedeva un certo tempo per manifestarsi. Per meglio riconoscere l'esistenza di questo fenomeno ho preso una verga di ottone molto lunga onde ne rimanesse una porzione assai estesa fuori dell'astuccio in cui è stretta. L'unione di questa verga ai due fili del galvanometro era fatta con due fili di ferro, uno saldato all'estremità della parte fissa che sorte fuori dell'astuccio, e l'altro al mezzo della verga fra la parte fissa e la ruota e indi avvolto intorno alla verga stessa: finalmente le unioni fra i fili di ferro e quelli di rame del galvanometro erano immerse in un vaso d'acqua alla stessa temperatura. Allorché l'ago del galvanometro si era fissato allo zero, la verga di ottone fu torta di 50 o 60 gradi, e allora si vide l'ago deviare lentamente di 2 o 3 gradi nel senso stesso in cui sarebbe stato deviato riscaldando l'unione del ferro colla porzione torta della verga d'ottone. La deviazione era nello stesso senso qualunque fosse il senso della torsione e cresceva crescendo la torsione. Aspettando che l'ago fosse di nuovo tornato allo zero, vidi nel momento della detorsione un movimento nell'ago, che in molti casi era appena distinto, che altre volte non superò $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$ grado e che per due volte ottenni in senso opposto, cioè

Due ipotesi si possono immaginare per spiegare lo sviluppo delle correnti indotte dalla torsione nella verga stessa che è torta. In una, che fu accennata da principio, solo per render più chiare e intelligibili le prime esperienze, si suppone che le fibre delle verghe di ferro nell'atto della torsione si avvolgano a spira intorno all'asse magnetico mantenuto invariabile dall'azione della spirale magnetizzante, e che per conseguenza si comportino come tanti fili metallici facenti parte del circuito del galvanometro, i quali s'avvolgono in un certo senso intorno ad un' elettro-calamita.

Ma si può anche supporre che quelle fibre siano come tanti cilindri calamitati, i quali per la torsione s'avvolgano a spira intorno al conduttore. È facile di assicurarsi con un'esperienza elementare d'induzione elettro-dinamica, la quale consiste o ad avvolgere a spira un filo di rame intorno ad una verga calamitata o a fare lo stesso movimento colla calamita intorno ad un filo di rame, che o l'uno o l'altro di questi modi, serve a rappresentare la produzione delle correnti indotte nella verga torta e a spiegare con semplicità il senso delle correnti che abbiamo trovate, tanto nella torsione che nella detorsione della verga, secondo il senso della torsione stessa e la posizione dei poli magnetici. Si può dunque dire che l'ipotesi sola che si fa per spiegare questi fenomeni d'induzione, è quella della struttura *fibrosa* o *ner-vo-va*, come si dice in metallurgia, del ferro battuto o trafilato. Questa struttura è ammessa universalmente e basta di esaminare una verga di ferro che sia stata rotta stirandola in diversi sensi o torcendola, per non aver dubbio sulla realtà della struttura stessa. Nè è una ipotesi, ma un risultato dell'esperienza, che questa struttura è svelata anche dalla polarità in una direzione costante che piglia una sfera o un

indicando il raffreddamento di quell'unione. È dunque provato che vi è sviluppo di calore nella torsione di una verga d'ottone e probabilmente di tutte le verghe metalliche; nell'atto della detorsione vi sarebbe invece raffreddamento. Evidentemente però questi effetti termici che accompagnano la torsione e la detorsione di una verga metallica non intervengono nè spiegano i fenomeni d'induzione elettro-magnetica di cui ci occupiamo.

cubo di ferro tagliato sopra una verga: se questo cubo è sospeso in una spirale o in presenza di una calamita, qualunque sia la posizione in cui si trova nel momento in cui l'induzione magnetica si esercita, il cubo si dispone sempre colle sue fibre nella linea assiale e i suoi poli sono alle estremità delle fibre, ciò che non è del ferro o degli altri corpi e composti magnetici, che non hanno quella struttura. Ricorderemo ancora che non si sviluppano per la torsione delle correnti indotte nell'acciajo fuso o che sono debolissime.

La scelta fra le due ipotesi doveva soddisfare alla spiegazione della generalità dei fenomeni trovati, poichè è risultato dalle esperienze descritte che questi fenomeni hanno un'origine comune. Ma una guida anche più sicura in questa scelta mi era fornita dall'esperienza.

S'immagini una verga di ferro forata nell'asse in maniera da potervi introdurre un filo di rame. Invece di questa verga, che difficilmente può ottenersi, ho preso due sbarrette prismatiche a basi rettangolari e sopra una delle faccie rettangolari di ognuna di esse è stata praticata una scannellatura: s'intende, che facendo combaciare le faccie che hanno la scannellatura, si ottiene una verga che può essere fissata nell'apparecchio di torsione, come una verga cilindrica, e che ha nel suo asse un foro longitudinale, dentro il quale è introdotto un grosso filo di rame (2^{mm} di diametro) in comunicazione col galvanometro. Il filo di rame era perfettamente isolato per mezzo del suo strato di seta dalla scannellatura della verga di ferro, che era stata per maggior sicurezza ricoperta da uno strato di ceralacca ed ebbi ben cura di assicurarmi che questo isolamento era perfetto. Dopo aver messa in attività la spirale magnetizzante, ho torta e detorta la verga, ho variato il senso della torsione e la posizione dei poli *ed in tutti i casi ho ottenuta una corrente indotta di 2 o 3 gradi, nel senso stesso in cui si sarebbe ottenuta se il filo di rame fosse stato saldato alle estremità della verga.*

L'importanza di questo risultato nel caso nostro mi ha indotto a ripetere la stessa esperienza sopra due altre ver-

ghe egualmente preparate ed il risultato è stato il medesimo.

Si può dunque considerare come dimostrato dall'esperienza, che nella torsione e detorsione di una verga di ferro magnetizzato, le fibre di questa verga, come se fossero un fascio di cilindri calamitati, si avvolgono a spira intorno all'asse della verga stessa: questa conseguenza diviene necessariamente un fondamento sicuro per la spiegazione di tutti i fenomeni elettro-magnetici sviluppati dalla torsione.

Invece di dilungarmi a mostrare come l'applicazione di questo principio renda conto con sufficiente chiarezza di tutti i fenomeni di cui ci siamo occupati, preferisco di descrivere brevemente gli effetti ottenuti con un apparecchio, il quale rappresenta in tutte le sue parti la spiegazione dei fenomeni stessi.

Prendo due dischi di rame e in ognuno di essi fo praticare sopra un circolo concentrico di 30 millimetri di diametro, 18 fori di 4 millimetri di diametro.

Diciotto fili di ferro lunghi ognuno 0^m,56 e di 2^{mm},50 di diametro, sono introdotti in quei fori in modo da formare una specie di gabbia cilindrica. Nel preparare questa gabbia si ha cura d'introdurre nell'interno di essa un cilindro di legno sulla cui superficie vengono in contatto i fili di ferro; questo cilindro è forato nell'asse per introdurvi un grosso filo di rame che è congiunto al galvanometro. Finalmente una spirale doppia circonda il cilindro preparato come si è detto. Da questa descrizione s'intende, senza estendersi in più minute particolarità, come facendo ruotare colle mani i due dischi di rame in senso opposto, i fili di ferro da rettilinei che erano, si dispongono a spira intorno all'asse del cilindro e del conduttore unito al galvanometro: in diverse esperienze che passiamo a descrivere si sono costantemente ottenuti risultati ben distinti e ciò dando ai fili una piccola inclinazione, onde non deformare i fili nè minimamente alterare le dimensioni del cilindro che rappresentano colle loro superficie.

La prima esperienza fatta con questo apparecchio consiste nel fissarlo leggermente inclinato in prossimità del si-

sistema astatico descritto nella seconda parte. Si disponeva l'esperienza, ora lasciando la spirale intorno ai fili per magnetizzarli durante l'esperienza, ora magnetizzando i fili con una forte corrente prima e poi con qualche colpo riducendoli in uno stato d'equilibrio magnetico. Ho avuto cura di fissare solidamente l'apparecchio e di assicurarmi durante l'esperienza che esso rimaneva perfettamente invariabile. Quando il sistema astatico si era fissato per l'azione del cilindro magnetico, bastava una piccola inclinazione data ai fili, in un senso o nell'altro, per vedere immediatamente diminuire la forza magnetica del cilindro e il sistema astatico fissarsi in una nuova posizione, dalla quale ritornava esattamente alla posizione iniziale, rimettendo i diciotto cilindri nella posizione rettilinea primitiva. Questa esperienza, ripetuta e variata sempre collo stesso risultato, spiega chiaramente le variazioni che avvengono nello stato magnetico della verga di ferro allorchè è torta e detorta.

Una seconda esperienza si fa mettendo la spirale a filo fine in comunicazione col galvanometro e tenendo magnetizzati i fili coll'altra spirale durante tutta l'esperienza, oppure magnetizzandoli prima con una forte corrente nella spirale e indi riducendoli con alcuni colpi ad uno stato magnetico permanente. Allora, osservando nello stesso tempo lo specchio del sistema astatico e il galvanometro, si vedrà, ogni volta che i fili sono, anche per poco, voltati a spira intorno all'asse del cilindro, qualunque sia la direzione in cui si fa il movimento, il solito segno di diminuzione di forza magnetica e una corrente indotta di 20 o 30 gradi nella spirale esterna indicante col suo senso la suddetta diminuzione. Rimettendo i fili nella prima posizione, cioè paralleli all'asse del cilindro, l'ago devia in senso contrario e il sistema astatico ritorna alla sua prima posizione.

Dunque la torsione della verga di ferro magnetizzato, obbligando le fibre calamitate a voltarsi a spira intorno all'asse della verga, produce la diminuzione della sua forza magnetica e quindi dà origine ad una corrente indotta: la detorsione restituisce alla verga la forza magnetica, riportando le fibre parallele all'asse e genera per conseguenza una corrente indotta in senso opposto alla prima.

Finalmente con una terza esperienza rimane spiegato con eguale semplicità il nuovo fenomeno d'induzione elettro-magnetica di cui ci siamo occupati nella prima parte. Questa esperienza consiste nell'avere un grosso filo di rame in comunicazione col galvanometro, teso nell'asse del cilindro formato dai fili calamitati. Piegando i fili in un senso, si ha una corrente indotta di 4 o 5 gradi al galvanometro nel filo di rame, e quando i fili di ferro sono riportati nella primitiva posizione, si ha una nuova corrente indotta in senso contrario alla prima. Se i fili di ferro sono inclinati nella direzione contraria, anche la corrente indotta sarà in direzione opposta alla prima ottenuta.

È questa l'origine delle correnti indotte nel seno di una verga magnetizzata dalla sua torsione e detorsione elastica.

Avendo sempre presente, che il principio della spiegazione dei fenomeni elettro-magnetici della torsione, consiste nel volgersi a spira delle fibre magnetiche della verga e specialmente di quelle che costituiscono gli strati più prossimi alla superficie, che sono, come si sa, quelli dove risiede la maggior forza, mentre la materia del conduttore, per l'effetto di propagare la corrente, può considerarsi invariabile, tutte le particolarità scoperte in questi fenomeni resteranno spiegate. Quindi è che quei fenomeni non si ottengono nell'acciajo, che sopra tutto quando è fuso, ha una struttura granulosa, anche quando la sua elasticità e durezza non sono molto diverse di quelle del ferro, perchè manca in questo corpo quella struttura che è la condizione essenziale per cui quei fenomeni si producono. Oltre di che è ben conosciuto che un cilindro d'acciajo delle stesse dimensioni di uno di ferro prende sotto la stessa corrente, uno stato magnetico molto più debole di quello che prende questo secondo cilindro e sappiamo dalle esperienze descritte che quei fenomeni s'indeboliscono grandemente col crescere l'intensità della corrente magnetizzante. E anche quest'ultimo fatto è lucidamente spiegato, poichè a misura che cresce l'intensità di quella corrente, diviene sempre più difficile di spostare l'asse magnetico della verga.

Altrettanto si può dire dell'essere più forti le correnti

indotte dalla torsione nel ferro duro e semiduro che nel ferro molto rincotto, nel quale più facilmente per l'azione della spirale magnetizzante, l'asse magnetico tende a conservarsi nell'asse della spirale. Che le correnti indotte dalla torsione non crescano che fino a un certo limite coll'angolo di torsione e non si generino colla torsione permanente, è pur chiaro, poichè quest'ultima rompe le fibre e perchè in generale quanto più è grande l'angolo di torsione, tanto più è difficile che per l'azione della spirale l'asse magnetico non sia rifatto nell'asse della spirale stessa. S'intende anche come dopo l'interruzione della spirale magnetizzante, la torsione e la detorsione agiscono per le variazioni corrispondenti della forza magnetica a produrre correnti indotte, che sono opposte a quelle che si ottengono dal ferro mentre è fortemente calamitato dalla corrente della pila, nel qual caso la forza inducente che prevale sopra le variazioni suddette, è lo stato magnetico mantenuto dalla corrente stessa.

Un gruppo di fenomeni, in cui interviene principalmente la struttura particolare del ferro trafilato, tanto che se questa struttura manca o è imperfetta, anche quei fenomeni mancano o si producono difficilmente, deve pur troppo lasciare qualche particolarità non sufficientemente schiarita da una spiegazione, che vale però a spiegare la maggior parte di quei fenomeni. Una di queste particolarità non ben spiegate, consiste nella corrente indotta nell'atto della ri-magnetizzazione di una verga, che è stata smagnetizzata sotto la detorsione, e che è nel senso stesso della corrente della detorsione. Poichè il fenomeno avviene quando la materia della verga è ritornata nella sua primitiva posizione, bisognerebbe supporre che le atmosfere di etere degli elementi magnetici non sieno state restituite alla loro forma malgrado la detorsione e la smagnetizzazione e che la nuova magnetizzazione imprima a queste atmosfere una vibrazione per cui si muovono nel senso stesso in cui si muovono nella detorsione assieme agli elementi ponderabili. E con questa supposizione s'accordano i fatti trovati, della cessazione di queste correnti dopo la magnetizzazione e sopra tutto l'esser più forti coll'intensità della corrente magnetizzante.

Una seconda particolarità non spiegata è quella che ha così ben studiata Wertheim, della corrente *positiva* indotta nella spirale esterna o indicante un aumento di magnetismo, allorchè una piccola torsione elastica è applicata alla verga nel senso della torsione permanente data precedentemente. Abbiamo già veduto che dopo una torsione permanente, la verga non è più nello stato di equilibrio magnetico in cui era prima, poichè è tornata atta ad acquistare magnetismo coi colpi. Wertheim ha già avanzata una ipotesi per spiegare questo fenomeno e noi ci guarderemo dal continuare in questa via, che di certo non può esser battuta utilmente senza il soccorso di nuove ricerche sperimentali.

La conclusione ben dimostrata e più generale di tutte le esperienze riferite, è;

Che una verga di ferro di struttura fibrosa può considerarsi come un fascio di fili distinti fra loro, i quali si magnetizzano e si conservano magnetizzati, anche quando per la torsione della verga non sono paralleli all'asse della spirale magnetizzante, ma invece sono volti a spira intorno all'asse stesso: da ciò procedono le variazioni dello stato magnetico e le correnti indotte nella verga dalla sua torsione e detorsione (1).

(1) Dopo aver finite queste esperienze sui fenomeni elettro-magnetici della torsione, ho voluto ripetere alcune esperienze fatte anni addietro sugli effetti dello stiramento dei fili di ferro magnetizzato. Mi duole di non aver potuto continuare questo studio quanto avrei voluto e quanto il soggetto lo merita: perciò mi limito a descrivere in una nota i pochi risultati nuovi a cui sono giunto.

Mi sono principalmente proposto di accertarmi se le correnti indotte nella spirale esterna dallo stiramento di un filo di ferro magnetizzato, corrispondano a variazioni di forza magnetica. A questo fine il filo di ferro circondato dalla solita doppia spirale, era fissato orizzontalmente in modo da agire con una delle sue estremità sopra il sistema astatico munito dello specchio. Il filo o piuttosto il fascio dei fili era solidamente fissato nella estremità prossima al sistema astatico, essendo stato saldato intorno a un cilindro di rame; s'intende, che facendo passare il fascio dei fili di ferro nel foro di una tavola di legno, il cilindro di rame era assicurato contro la tavola. Per esser certo che il fascio o la tavola non cambiavano di posizione per lo stiramento, era osservato col micrometro di un cannocchiale un tratto sottile fatto sul cilindro di rame e quando

qualche variazione era notata, con un meccanismo facile ad immaginarsi la tavola e il fascio dei fili erano ricondotti alla primitiva posizione.

Adoperando un filo di ferro crudo o due o tre fili di $1^{\text{mm}} \frac{1}{3}$ di diametro nella spirale e stirandoli con un peso di 15 o 20 chilogrammi l'uno, ho verificato il fatto, che aveva già trovato, cioè lo sviluppo di una corrente indotta nella spirale esterna che indica un aumento di magnetismo e nell'atto in cui i pesi sono tolti lo sviluppo di una corrente opposta che indica una diminuzione di magnetismo. Dopo l'interruzione della spirale magnetizzante, le stesse azioni meccaniche che hanno per effetto l'allungamento e l'accorciamento del filo, producono da primo delle correnti indotte anche più forti di quelle ottenute sotto la magnetizzazione e che tutte indicano una diminuzione di magnetismo. Questi segni diminuiscono presto e allora ho ripetutamente veduto insorgere delle correnti indotte più piccole ma nel senso stesso di quelle che si hanno sotto la magnetizzazione cioè, un segno di aumento di magnetismo coll'allungamento del filo e un segno di diminuzione coll'accorciamento. Malgrado molte cure adoperate, non sono riuscito ad ottenere effetti distinti e corrispondenti sul sistema astatico e questo, come mi pare, risulta dall'analogia fondata sui fatti che passiamo a descrivere, non per la mancanza assoluta di quegli effetti, ma per la loro piccolezza.

Sul filo o piuttosto sopra un fascio di fili di ferro della stessa dimensione, ma rincotto, questi fenomeni sono molto più distinti, e ciò che è più notevole, sono opposti per il senso in cui si producono. Il filo di ferro rincotto e stirato con un peso di 10 o 15 chilogrammi (peso che allunga un poco stabilmente il filo e che non può essere diminuito se si vuol ottenere effetti distinti) sviluppa una corrente indotta nella spirale esterna di 8 o 10° che indica una diminuzione di magnetismo e una corrente simile opposta quando si tolgono i pesi. Continuando a mettere e togliere i pesi, le correnti persistono nello stesso senso, ma divengono un poco più deboli. Da tre fili di 2^{mm} di diametro l'uno, stirati con un peso di 45 chilogrammi, avevo al mio galvanometro delle correnti di 20° a 25° . Si sarebbe potuto sospettare che una parte dell'effetto ottenuta col primo stiramento fosse dovuta alla porzione di filo che veniva fuori dalla spirale; ma ho ragione di credere che questa non sia la spiegazione o che non basti, perchè introducendo nella spirale un pezzo dello stesso filo di ferro anche più lungo della porzione suddetta, non aveva che una corrente indotta molto più debole.

Osservando nello stesso tempo le posizioni del sistema astatico, ho acquistato la certezza che l'azione magnetica del filo stirato era minore e che togliendo i pesi, l'azione magnetica tornava come prima.

Dopo l'interruzione della spirale magnetizzante, i fenomeni s'invertono e il filo rincotto per gli stessi allungamenti e raccorciamenti si comporta come il filo crudo. Anche in questo caso si hanno correnti indotte molto forti subito dopo la smagnetizzazione, allungando e accorciando il filo, ma passati questi primi effetti, si ha una corrente che indica un aumento di magnetismo nello stiramento e una diminuzione nell'accorcia-

Critografia

Senografia

mento. Queste correnti persistono per molti allungamenti e raccorciamenti successivi. Gli effetti sul sistema astatico, benché piccoli, sono però distinti e significano delle variazioni permanenti della forza magnetica.

Ho finalmente provato a inserire nel circuito stesso del galvanometro il filo di ferro che era sottoposto agli allungamenti e accorciamenti suddetti, come si è fatto per la torsione, e non sono riuscito a scorgere alcun segno di correnti indotte in questi casi.

Ho già avvertito che questi fenomeni meriterebbero uno studio più esteso e l'opposizione, forse apparente, trovata fra il ferro crudo e il rinucolto, non fa che rendere questo soggetto più importante.

Voglio ricordare a questo proposito l'osservazione curiosa di Joule dell'allungamento di un filo di ferro nell'atto in cui è magnetizzato e del suo accorciamento nello stesso istante, allorché il filo è stato tesò oltre un certo limite.

Se si considera, come da questi fatti e dall'azione del calore sul magnetismo risulti provata la correlazione intima che esiste fra le forze molecolari e il magnetismo, per il quale non sembrerebbe esser una differenza assoluta da quelle forze, nemmeno la polarità, poichè questa ha in comune coll'affinità chimica, non deve recar sorpresa la grande attività con cui i Fisici s'occupano oggi di questo soggetto.

Pisa, 24. febbrajo 1838.

SULLE INDUZIONI ELETTROSTATICHE; DI G. BELLI,

In una mia lettera al Ch. Prof. Pianciani, stata dapprima pubblicata nella *Corrispondenza Scientifica di Roma* (1), io esposi i miei pensamenti intorno alla nota nuova dottrina del celebre Melloni sulle induzioni elettrostatiche. Sfortunatamente nella stampa di essa incorsero parecchi errori, capaci alcuni di alterare o almeno di rendere oscuri i miei concetti, e di essi, nella ristampa fattasi di una tale mia lettera nel *Nuovo Cimento* (2), venne bensì corretta una parte, ma un'altra parte vi rimase. Ho creduto conveniente, per la perfetta intelligenza di quel mio piccolo lavoro, di correggere quelli dei detti errori

(1) Anno 1837, N.º 2, pel 10 febbrajo.

(2) febbrajo e Marzo 1837, Tom. v. p. 135.