NUOVE RICERCHE SULLE CORRENTI INDOTTE TRA IL FERRO
ED ALTRI METALLI ; PEL PROF. EMILIO VILLARI.

Con le sue prime ricerche il Faraday (1) scuopriva nel 1831 le leggi fondamentali con le quali le correnti elettriche indotte procedono in appropriati circuiti. Ad esse tenne subito dietro una lunga serie di investigazioni e di studi non interrotti, e che si continuano tuttavia, i quali fecero conoscere molti altri fatti e molte altre leggi importanti sul medesimo subietto.

Così lo stesso Faraday (2) poco dopo quelle prime ricerche si mise a studiare l'influenza che la qualità dei circuiti esercita sulla intensità delle correnti indotte. Egli inviluppa l'ancora di una calamita temporanea con due fili eguali e paralleli e formati di diversa sostanza. Univa quindi insieme due dei loro capi in maniera, che le correnti indotte, generate nei due fili avvicinando od allontanando l'ancora alla calamita, s'opponessero tra loro. Le altre due estremità dei fili comunicavano con un galvanometro. Ora questo non accusava alcuna corrente nei vari movimenti dell'ancora in prossimità della calamita. Da tali esperienze adunque e

(1) Faraday *Exp. Res.* ser. I, 24 Nov. 1831 e ser. II, 12 Gen. 1852.

(2) *Id.* ser. II, § 198 a 216.

da altre simili risultò al Faraday che la forza elettro-motrice svolta per induzione magneto-elettrica in un filo, è indipendente dalla natura del medesimo.

Ma l'argomento era troppo interessante perchè i fisici non viritornarsero sopra: ed il Lenz (1) tra gli altri infatti ne intraprese anche egli lo studio. Tra le altre ricerche istituite sul proposito da questo scienziato va principalmente notata quella, diretta a scoprire la influenza della natura dei metalli sulla intensità delle correnti indotte. A tale effetto egli sperimentò sopra spirali eguali di ferro, di rame, di platino e di ottone, le quali a due per volta erano messe in circuito col galvanometro. L'esperienza veniva eseguita adattando or l'una or l'altra delle due spirali intorno ad un cilindro di ferro dolce, il quale cilindro poi a viva forza era staccato dai poli di una forte calamita, composta di cinque lastre di acciaio temperato. In entrambi i casi, aggiustando cioè o l'una o l'altra delle due spirali sul cilindro di ferro dolce, la resistenza del circuito rimaneva sempre la stessa, e del pari nei due casi s'ottenne la stessa deviazione galvanometrica. Con ciò egli ebbe dimostrato, concordemente al Faraday, che la forza elettro-motrice delle correnti indotte è indipendente dalla qualità dei circuiti.

Le induzioni voltaiche, prodotte all'aprirsi ed all'interrompersi di un circuito, si comportano in generale all'istesso modo che le induzioni magneto-elettriche. Anche quelle correnti quindi sono indipendenti dalla natura dei circuiti; e ciò risulta dalle esperienze del Felici (2) e di altri.

A provarlo infatti il Felici avvolse sopra un cilindro di legno di 248 millimetri di diametro un filo di rame in un solo giro, e riunì le estremità di questo filo con un galvanometro per mezzo di due fili di rame isolati ed attorti insieme. All'una ed all'altra parte del detto anello di rame furono, una volta tra le altre, adattati due anelli simili di fili di diversa sostanza, di rame e di ferro. Questi due anelli venivan fatti attraversare dalle correnti di una pila, che era

(1) Lenz, *Poggendorff's Annalen* Band. XXXI s. 485, 1854.

(2) Felici, *Annales de chimie et de physique*, Tom. XXXIV p. 64, 1852.

interrotta rapidamente per mezzo di un interruttore, il quale serviva anche a raddrizzare le correnti indotte nell'anello di mezzo, e farle passare pel galvanometro tutte in una sola direzione. Questi circuiti od anelli laterali poi erano disposti, dopo una serie di tentativi, in modo da indurre in quello di mezzo correnti eguali ed opposte, per cui si annullavano. Così ordinato l'apparecchio, si metteva il galvanometro in comunicazione con gli anelli laterali così, che le correnti in essi indotte avrebbero percorso in opposte direzioni il filo del galvanometro: quindi l'anello di mezzo era messo in comunicazione con la pila. Il Felici osservò che girando l'interruttore (che faceva parte del circuito inducente e di quello indotto) il galvanometro non indicava corrente alcuna. Laonde anche nelle induzioni voltaiche si può ritenere la forza elettro-motrice delle correnti indotte essere indipendente dalla qualità dei circuiti.

Le dette ricerche adunque concordano tutte completamente a dimostrare che la natura dei circuiti non ha influenza di sorta sulla forza elettro-motrice delle correnti indotte, sia dalle calamite, sia dalla pila. Esse però furono eseguite tutte in un modo analogo, per cui dimostrano la legge suddetta esser vera nel caso di due circuiti esterni l'uno all'altro. Là quistione meritava intanto una più estesa disamina, ed io mi son messo a studiarla più da vicino, e dopo svariate esperienze sono arrivato alla conclusione, che la legge su esposta non è generale, essendo che il ferro in alcune circostanze, a cagione del suo potere magnetico, induce e si lascia altresì indurre più fortemente che un altro metallo.

Verrò qui perciò brevemente esponendo quei casi, nei quali la suddetta legge soffre eccezioni, e quelli propriamente in cui il ferro si comporta diversamente da quello che si è creduto fin' ora. Esporrò prima i fatti che mi hanno condotto ad un tale studio, e poi successivamente le esperienze, che mano mano son venuto facendo per completarlo.

Una serie di ricerche pubblicate da me ultimamente mi mette in grado d'affermare, che un filo di ferro quando è percorso da una corrente elettrica si comporta diversamente

di un filo di rame o di un altro metallo non magnetico. Questo infatti viene attraversato dalla corrente come un semplice conduttore, e quello invece nel condurre la corrente elettrica opera come un corpo eminentemente magnetico e si magnetizza *trasversalmente*. Questa magnetizzazione trasversale del ferro è cagione di vari fenomeni; così per essa il ferro presenta in alcune circostanze maggiore resistenza al passaggio d'una corrente che in altre (1), per essa produce dei suoni quando è attraversato da una corrente interrotta; per essa genera la corrente di scuotimento (2) ec. Era adunque naturale il supporre che il ferro, magnetizzandosi trasversalmente pel passaggio di una corrente elettrica, dovesse, in alcuni casi almeno, indurre delle correnti elettriche non solo come conduttore, ma eziandio come corpo magnetico. Una tale supposizione veniva confermata dall'esperienza seguente.

Presi un tubo di ferro lungo 2 m. e grosso 20 a 30^{mm}, e, messolo perpendicolarmente al meridiano magnetico, lo feci attraversare da una corrente di 8 a 10 elementi Bunsen; per cui fu magnetizzato trasversalmente. Ora quando, durante il passaggio della corrente, battevo rapidamente il tubo con un martello, il suo magnetismo trasversale aumentava, ed un filo di rame isolato e teso internamente al tubo indicava sì fatto aumento, essendo allora percorso da una corrente elettrica indotta; la quale osservata al galvanometro mostrava avere una direzione opposta a quella della pila. Dopo avere ben battuto il tubo non veniva più prodotta induzione sul filo col percuoterlo nuovamente. Se al contrario si batteva il tubo dopo avere interrotta la corrente della pila che l'attraversava, si induceva allora nel filo interno una corrente avente la medesima direzione di quella della pila; la quale indicava perciò una diminuzione del magnetismo trasversale e residuo del tubo. Questa corrente indotta, similmente alla precedente, non si rinnovava dopo reiterate battiture del tubo.

Tale ricerca dimostra evidentemente, che quando vi è aumento o diminuzione di magnetismo trasversale in un tubo di ferro s'induce in un filo metallico isolato e teso interna-

(1) Villari, *Istituto Lombardo*. Advanzza del 12 Novembre 1868.

(2) Villari, *Nuovo Cimento*. T. XXVII, 1868.

mente al tubo una corrente magneto-elettrica, corrispondente alle modificazioni di magnetismo subite dal tubo.

Da ciò era facile il comprendere, che correnti d' induzione dovevano eziandio prodursi nel filo interno al tubo, tutte le volte che in esso si sviluppava o cessava il magnetismo trasversale, prodotto dal passaggio di una corrente elettrica pel tubo. Per cui la induzione del tubo di ferro sul filo centrale avrebbe dovuto risultare d' una induzione elettrica e di una elettro-magnetica; e quindi le induzioni del ferro sopra un filo, contrariamente alle idee generalmente accolte, dovrebbero essere, a parità di condizioni, più energiche di quelle prodotte da un tubo di un altro metallo non magnetico. Le ricerche da me eseguite sul proposito confermano pienamente le mie previsioni, come si vedrà dalla descrizione che di quelle verrò facendo.

Furono presi due tubi lunghi 2 m. e grossi 20 o 30^{mm} ciascuno. Uno di questi era di piombo e l' altro di ferro. Essi furono fissati insieme ed a qualche millimetro di distanza tra loro sopra una tavola disposta coi tubi perpendicolarmente al meridiano magnetico. Internamente ai medesimi si tesero due fili di rame un poco più lunghi dei tubi, grossi 1^{mm} e coperti di seta. Essi, riuniti nel senso della loro lunghezza, erano chiusi in circuito con un galvanometro a specchio. Una corrente di 5 o 6 elementi Bunsen si faceva passare a volontà per ciascuno dei tubi ed un dopo l' altro, per cui isolatamente ciascuno induceva nel filo interno corrispondente una corrente, che veniva osservata con la deviazione del galvanometro da essa prodotta. La corrente poi ritornava alla pila per un filo fissato a grande distanza dai tubi. La corrente della pila in una prima esperienza passava pel tubo di ferro ed in una seconda pel tubo di piombo, e per mezzo di un vasellino contenente mercurio il circuito si poteva facilmente chiudere od interrompere, e produrre così le induzioni corrispondenti. Ora così predisposto l' apparecchio si ebbero deviazioni del galvanometro corrispondenti a queste induzioni, quali sono qui appresso indicate in millimetri misurate col galvanometro a specchio.

1.^o La pila di 5 elementi Bunsen comunica col tubo di

ferro: induzione di questo sul filo di rame interno quando la corrente della pila si

Chiude	+ 308 ^{mm}
Interrompe.	— 162
Chiude	+ 154
Interrompe.	— 160.

2.^o La corrente di 5 elementi Bunsen comunica col tubo di piombo: induzione di questo sul filo di rame interno, quando la corrente della pila si

Chiude	— 4
Interrompe.	+ 4.

Da qui si vede che l'induzione prodotta dal tubo di ferro sul filo di rame interno ad esso è molto più forte di quella prodotta dal tubo di piombo. Nè cotal differenza può attribuirsi a diversa intensità della corrente inducente, giacchè questa era alquanto più intensa quando attraversava il tubo di piombo, essendo questo meno resistente del tubo di ferro. Questi due tubi intanto essendo posti vicinissimi tra loro s'introducevano vicendevolmente nel circuito della pila, senza spostarne sensibilmente gli estremi. È poi necessario di aggiungere che il galvanometro deviava di 25^{mm} circa quando non era in circuito; deviazione dovuta all'azione diretta della corrente della pila per la troppa prossimità del galvanometro all'apparecchio. Nelle ricerche che seguono il galvanometro fu portato alla distanza di 7 od 8 m. in modo da non essere influenzato menomamente dalla corrente della pila. I risultati precedenti furon corretti intanto da un tale errore.

Alla sua volta poi il filo di rame induce nel tubo di ferro una corrente corrispondente alla precedente, e perciò assai più intensa di quella che induce in tubo di piombo. Questo vien confermato dai numeri seguenti:

3.^o La pila comunica col filo di rame interno al tubo di ferro; induzione su questo quando la corrente si

Chiude	— 190 ^{mm}
Interrompe.	+ 190.

Invertita la corrente quando la si

Chiude	+ 387
Interrompe.	— 193
Chiude	— 193.

Eseguita la medesima esperienza facendo indurre sul tubo di piombo, il galvanometro deviava solamente di 4 o 6^{mm}. Queste ricerche furono condotte tenendo sempre riuniti i due tubi tra loro, così da formare un solo circuito insieme col galvanometro. In questo modo operando si aveva sempre il medesimo circuito indotto, ed inoltre essendo eguali i due tubi in lunghezza l'induzione si produceva sempre sulla medesima estensione di circuito.

Queste esperienze furono ripetute con tre tubi simili di ferro, di piombo e di ottone, disposte come precedentemente. La corrente della pila era poi interrotta rapidamente da un interruttore a 4 ruote di vetro; il quale serviva eziandio a mandare nel galvanometro le sole correnti indotte dirette od inverse. Così facendo girare rapidamente l'interruttore si vedeva con tre o quattro dei suoi giri deviare di 90° un galvanometro ordinario che s'adoperava, tutte le volte che le induzioni erano prodotte dal tubo di ferro sul suo filo interno, o da questo su quello. E per lo contrario abbisognavano 20 o 30 giri dell'interruttore per veder deviare di 15° a 30° il galvanometro quando l'induzione s'effettuava tra i tubi di piombo o di ottone ed il filo di rame interno a ciascuno di essi.

Si conosceva di già che due circuiti metallici posti parallelamente ed a piccolissima distanza tra loro, quando sono percorsi in senso opposto da una medesima corrente non possono indurre correnti di sorte in un circuito esteriore. Questo però non è il caso quando il ferro entra a formar parte di uno dei due sopradetti circuiti. Infatti furono apparecchiati come precedentemente i tre soliti tubi F, P, O, (*Tav. III fig. 1*) di ferro, di piombo e di ottone, sopra ciascuno dei quali era teso ed addossato un filo di rame *f*, *p*, *o*, isolato e saldato in fondo al tubo corrispondente. Un lungo

filo di rame grosso un millimetro e rivestito di seta passava lungo i tre tubi e comunicava con un galvanometro a specchio *g*. Per mezzo dei due fili *f* ed *f'*, *p* e *p'*, *o* ed *o'* si poteva far passare in direzione opposta una corrente di 6 o più elementi Bunsen, successivamente per uno dei tubi e pel filo esterno corrispondente. Così operando si veniva ad osservare l'induzione differenziale del tubo o del filo esterno sull'interno. Nel caso della induzione ordinaria, la corrente indotta sul filo interno avrebbe dovuta esser nulla in ciascuno dei casi considerati. Nulladimeno le esperienze mi dettero i seguenti risultati:

1.^o La corrente di 10 elementi Bunsen va pel tubo di ferro e ritorna pel filo di rame esterno ad esso: induzione sul filo interno quando il circuito *ff'* si

Chiude	+ 111 ^{mm}
Interrompe.	— 116
Chiude	+ 114
Interrompe.	— 116 .

2.^o Invertita la direzione della corrente della pila, quando il circuito si

Chiude	— 501 (1)
Interrompe.	+ 114
Chiude	— 109
Interrompe.	+ 112 .

Le esperienze medesime condotte coi tubi di piombo e di ottone non dettero alcuna induzione sul filo interno, giacchè il galvanometro non mostrava alcuna deviazione, sia allo attacco sia alla interruzione della corrente della pila per essi. Vuolsi frattanto notare che i tre tubi essendo collocati assai vicini tra loro, tanto che l'uno non distava dall'altro

(1) Qui è bene fare avverire, che quando s'inverte la corrente della pila nel ferro, le correnti indotte da questo sono più forti nell'istante della inversione poichè allora s'inverte anche il magnetismo trasversale del ferro.

che di qualche millimetro soltanto, si introduceva facilmente uno qualunque di essi nel circuito della pila senza spostamento sensibile dei reofori, e quindi senza variazione sensibile nelle condizioni dell'esperienza.

La quale inoltre fu da me variata e condotta in guisa da mettere i tre tubi, riuniti insieme nel senso della loro lunghezza, in comunicazione col galvanometro, far passare successivamente la corrente per ciascuno dei fili di rame isolati nell'interno d'ognuno dei tubi e ritornare pel filo corrispondente isolato ed esterno ad essi. In questo caso i risultati ottenuti furono analoghi ai precedenti, come risulta dai dati seguenti:

La corrente della pila di 6 Bunsen va pel filo interno al tubo di ferro e ritorna per quello esterno ad esso: induzione sul tubo quando la corrente si

Chiude	— 412 ^{mm}
Interrompe.	+ 214
Chiude	— 211
Interrompe.	+ 190

Invertita la corrente della pila quando si

Chiude	+ fuori la scala
Interrompe.	— 213
Chiude	+ 210

Fatta la stessa esperienza col tubo di piombo il galvanometro non accusava corrente d'induzione.

Variai l'esperienza anche in altra guisa. Il tubo di piombo e di ferro furono disposti in terra, parallelamente ed a piccola distanza tra loro e perpendicolarmente al meridiano magnetico. La corrente della pila percorre i due tubi F e P (*fig. 2*) nella medesima direzione e quindi torna in direzione opposta, come indicano le frecce, per due fili $n n'$ della stessa lunghezza dei tubi e posti parallelamente ai medesimi ad un'altezza di due metri da essi. Un lungo filo di rame isolato $g g' g''$ passava lungo i due tubi e comunicava col galvanometro G. Si scorge facilmente dalla disposizione della figura

che le induzioni dei due tubi sopra i rispettivi fili interni risvegliano delle correnti di direzioni opposte, per cui il galvanometro non può deviare se non per la loro differenza. Nè poi il circuito $n n'$ può produrre delle perturbazioni sensibili sul filo $g g' g''$, quando si considera che i tubi che li contengono sono vicinissimi e quasi a contatto ed il circuito $n n'$ ne dista per circa 2 m. Le aperture ed interruzioni del circuito della pila si praticavano con un interruttore a mercurio. I risultati che si ebbero con questa esperienza differenziale furono i seguenti:

La corrente della pila passa pei tubi di ferro e piombo: induzione differenziale sopra i fili interni ad essi quando la corrente si

Chiude	— 107 ^{mm}
Interrompe.	+ 101
Chiude	— 105
Interrompe.	+ 100 .

Dopo invertita la corrente quando si

Chiude	+ 110
Interrompe	— 90

Le deviazioni ottenute in questa esperienza differenziale fatta coi due tubi son dovute al predominio della corrente indotta dal tubo di ferro su quella indotta dal tubo di piombo sui loro rispettivi fili interni.

Per poter facilmente determinare la direzione della corrente indotta dal ferro e quindi il predominio della sua azione, mi fermai a precisare la direzione della corrente di scuotimento, altra volta studiata da me (1). Interrompevo perciò la corrente della pila, che era passata pei tubi, e chiuso il circuito dei fili interni col galvanometro battevo vigorosamente il tubo di ferro. Così operando veniva indotta nel filo interno ad esso tubo una corrente di scuotimento che come io ho dimostrato, aveva la direzione medesima di quella della pila.

(1) *Nuovo Cimento*. Tom. XXVII, fasc. di Maggio e Giugno 1868.

La deviazione del galvanometro prodotta da essa serviva di norma per far giudicare nell'esperienza precedente l'influenza maggiore che il tubo di ferro, rispetto a quello di piombo, esercita sulle induzioni delle correnti.

L'esperienza precedente poi venne anche da me eseguita disponendo i circuiti come nella figura 3. In essa cioè la corrente della pila passava nella stessa direzione sul filo di rame interno ai due tubi precedentemente adoperati. Questi tubi erano riuniti al galvanometro in maniera, che le correnti indotte in essi percorrendolo in senso opposto, le sue deviazioni erano dovute alla differenza della intensità di esse correnti. In tutto il resto l'apparecchio era disposto come nel caso precedente e la corrente della pila s'interrompeva per mezzo del mercurio. Le deviazioni del galvanometro in questo caso furono le seguenti:

La corrente della pila passa pei fili interni ai tubi di ferro e di piombo: induzione differenziale su questi quando la corrente si

Chiude	+ 118 ^{mm}
Interrompe.	— 110 .

Dopo avere invertita la direzione della corrente della pila quando si

Chiude	— 200
Interrompe.	+ 120 .

Queste medesime esperienze differenziali furono eziandio eseguite adoperando l'interruttore a ruote di vetro, a fine di aumentare gli effetti sul galvanometro disponendo le cose in modo, che passassero per esso o solo le correnti indotte dirette, o solo le inverse. Ora da sì fatta esperienza risultò, che con 4 o 5 giri dell'interruttore s'ottenne una deviazione di 90° di un galvanometro ordinario a filo corto. Ed anche qui riscontrata la direzione della detta deviazione si vedeva essere essa dovuta al predominio del potere induttivo del ferro sul filo interno o di questo sul tubo di ferro.

Parmi adunque senza altro aggiungere per ora che le esperienze sopradescritte dimostrano chiaramente:

1.º Che la forza elettro-motrice di una corrente elettrica indotta da un tubo di ferro sopra un filo di rame isolato e teso internamente ad esso, è assai maggiore di quella di una corrente elettrica indotta da un simile tubo di piombo o di ottone, sopra un eguale filo di rame teso del pari internamente ad essi.

2.º Che la forza elettro-motrice di una corrente indotta da un filo di rame in un tubo di ferro che l'involuppa, è parimenti assai maggiore di quella, che il medesimo filo induce in un tubo simile e similmente disposto, di ottone o di piombo.

E più brevemente si può dire pel caso di cui ci occupiamo che, *a parità di condizione, le correnti indotte nel ferro od indotte dal ferro hanno una forza elettro-motrice assai più grande di quelle che s'inducono tra gli altri metalli.*

La cagione poi di questa maggiore attitudine del ferro a rispetto degli altri metalli, sia nell'indurre delle correnti elettriche, sia nel lasciarsi indurre da esse si trova per fermo nel suo potere altamente magnetico. Il tubo di ferro percorso da una corrente elettrica si magnetizza trasversalmente, per cui risveglia in un filo teso internamente ad esso una corrente d'induzione voltaica ed un'altra ancora d'induzione magneto-elettrica, che hanno la medesima direzione, la quale è opposta a quella della corrente della pila. Per cui la induzione prodotta dal ferro deve nel caso che trattiamo essere molto più energica della induzione prodotta da un altro metallo non magnetico. Un fenomeno analogo deve aver luogo quando la corrente cessa di passare pel tubo di ferro, imperciocchè allora esso risveglierà nel suo filo interno una corrente, indotta non solo dalla corrente della pila che cessa di passare pel tubo, ma ancora una corrente indotta dal magnetismo trasversale, che diminuisce nel tubo di ferro. Queste due induzioni hanno la stessa direzione della corrente della pila, per cui anche in questo caso le induzioni prodotte dal tubo di ferro debbono essere maggiori di quelle prodotte da un tubo di un altro metallo.

Una simile influenza od induzione elettro-magnetica si

risveglia nel ferro istesso nel momento che si magnetizza o si smagnetizza trasversalmente; per cui si ha che la corrente indotta in un tubo di ferro da una corrente elettrica, al momento che comincia o finisce di passar per un filo di rame isolato ed interno al tubo, deve essere più forte di quelle indotte nel medesimo modo in tubi di altri metalli; e tanto più, quanto più intensa riesce l'induzione magneto-elettrica, che si aggiunge a quella propria della corrente.

Ciò non pertanto i risultati variano, ed il ferro opera come un altro metallo qualunque nei fenomeni d'induzione, quando non si tratti del caso precedentemente studiato, ma di due circuiti di ferro o di un altro metallo sovrapposti l'uno all'altro. Ed infatti io a tal proposito ho eseguito varie esperienze con due coppie di fili, l'una composta di due fili di rame eguali, isolati e parallelamente addossati e stretti tra loro con un filo di refe, che l'involuppava accuratamente insieme: l'altra di eguale lunghezza, composta di un filo di rame e di uno di ferro, riuniti ed isolati come quelli della precedente coppia. Con queste coppie di fili ho fatte reiterate esperienze, tenendo quelle, sia tese ed a grande distanza fra loro, sia avvolgendole in due spirali eguali; ma fummi impossibile scorgere qualsiasi differenza tra il potere induttivo del ferro e quello del rame: e ciò in accordo con le ingegnose esperienze del Felici più sopra citate.

La differenza sostanziale tra questi risultati e quelli precedentemente citati sta nel modo speciale, con cui agisce il ferro nelle due diverse circostanze.

Ed invero quando una corrente elettrica passa lungo l'asse di un tubo di ferro o semplicemente lungo una sbarra dello stesso metallo, essa tenderà a disporre tutte le particelle del ferro in croce con sè medesima, in maniera da orientarle tutte a formare un circuito chiuso, presso a poco come nella figura 4, magnetizzando così trasversalmente la sbarra. Questa disposizione di ciascuna zona trasversale di molecole magnetiche s'assomiglia a quella di un cilindro elettro-dinamico piegato sopra sè stesso in un circuito chiuso in forma di anello. Una tale elica non ha alcuna influenza sopra un circuito esterno, in guisa che quando passa o si interrompe una cor-

rente elettrica in detta spirale, essa non è capace d'indurre corrente in un circuito comunque teso esternamente ad essa. Invece una forte induzione una simile elica è capace di produrre in un filo, che passa internamente all'anello. Lo stesso, e per le medesime ragioni deve verificarsi nel caso nostro; ed invero ciò risulta ampiamente confermato dalle esperienze sopra mentovate. Nè infatti poi è mai possibile ottenere in un filo teso esternamente al cilindro di ferro una corrente di scuotimento quando, col batterlo se ne distrugge il magnetismo trasversale. Laonde risulta evidente, che una corrente elettrica nel passare lungo un filo di ferro non può indurre in un filo esterno, di rame o di altro metallo, diversamente da quello che indurrebbe passando per un altro filo qualunque, imperciocchè il magnetismo trasversale, che essa induce nel ferro, non è capace di risvegliare all'esterno induzioni magneto-elettriche.

Del pari una corrente elettrica che passa parallelamente ed all'esterno di un'asta di ferro non può magnetizzarla trasversalmente (1), ossia non può disporre le particelle come è indicato dalla figura 4. Ed invero l'asta di ferro si può vigorosamente battere, quando la corrente della pila passa pel filo esterno alla sbarra, o quando sia essa stata interrotta, senza che si osservi nella verga comunicante col galvanometro alcuna corrente di scuotimento; abbenchè questa ha sempre luogo quando la verga sia stata magnetizzata trasversalmente. In questa esperienza però è necessario di adoperare del ferro, che non sia direttamente stato percorso dalla corrente, od almeno che sia stato fortemente ed a lungo battuto prima di sottoporlo all'esame.

Da ciò segue evidentemente, che il magnetismo trasversale del ferro, tanto nel suo nascere quanto nel suo annullarsi, non è capace d'indurre correnti elettriche di sorta in

(1) Io qui chiamo magnetismo trasversale (a fine d'evitare ogni dubbio) solo quel magnetismo che si risveglia in un'asta di ferro percorsa longitudinalmente dalla corrente e che approssimativamente vien rappresentata dalla figura 4. Ogni altra disposizione magnetica delle particelle del ferro non viene in questa memoria compresa sotto la denominazione di magnetismo trasversale.

un filo teso esternamente lungo un' asta di ferro : nè dall'altra parte un filo, teso del pari all'estremo e lungo l'asta di ferro, non è capace di svilupparvi magnetismo trasversale. Per cui è chiaro che un circuito di ferro, teso lungo uno di rame, non può influirlo pel suo magnetismo trasversale, nè essere da esso magnetizzato trasversalmente, e perciò non opera come corpo magnetico, ma come un semplice conduttore, e come un altro qualsiasi metallo non magnetico.

Adunque riassumendo dirò, che il ferro induce e si lascia indurre più fortemente che un altro metallo, tutte le volte che può agire col suo potere magnetico, cioè tutte le volte che opera come ferro; in ogni altra circostanza opera come un puro e semplice conduttore della elettricità. E qui mi sia permesso almeno il supporre, che tale differenza nell'agire del ferro, nelle due circostanze, non sia una proprietà esclusiva del ferro ma che forse adoperando mezzi più delicati debba anche potersi scorgere in tutti gli altri metalli, essendo essi tutti più o meno magnetici.

Prima intanto di procedere più oltre voglio citare un fatto da me altra volta osservato, che solo ora sono in grado di spiegare, e che è d'altronde in intima relazione coi fenomeni di cui trattiamo.

Nell'anno 1865 mi accadde d'osservare, come una corrente elettrica nel momento che incomincia o cessa di passare per una verga di ferro o di acciaio magnetizzata ne modifica sempre il suo momento magnetico. Il fenomeno è distintissimo, e l'osservavo allora mercè le correnti magneto-elettriche indotte in una spirale di rame involupante la verga. Di questi fenomeni feci allora uno studio lungo ed accurato ed i risultati furono pubblicati nel volume CXXVI dei *Poggendorff's Annalen* (1). Quello però che pel momento importa di ricordare è il seguente brano che trascrivo dal suddetto lavoro.

« Singolarissima cosa è intanto l'osservare, che per ottenere tutti i fenomeni precedentemente descritti » (cioè le modificazioni del magnetismo ordinario prodotte dal passag-

(1) Vedi anche *Nuovo Cimento*, stesso anno.

gio di una corrente elettrica lungo una sbarra magnetizzata)
 « non è necessario che la corrente passi per la verga me-
 « desima. È sufficiente che la corrente passi per un filo me-
 « tallico non magnetico ed isolato nell'interno dell'asta di
 « ferro, o propriamente nell'interno di un tubo. Ed è anche
 « più degno di nota, che in quest'ultimo caso le modificazioni
 « del magnetismo della verga sono più vistose di quelle, che
 « si ottengono quando la corrente passa pel tubo medesimo.
 « Se invece però di far passare la corrente internamente
 « pel filo isolato la si fa passare esternamente per mezzo di
 « una stagnola che involupa il tubo ; allora essa corrente
 « non ha azione alcuna, od appena apprezzabile sul magneti-
 « smo della verga. E la causa di questa diversità non è al
 « certo nella diversa conducibilità del filo o della stagnola,
 « imperciocchè se si adopera il filo o la stagnola una volta
 « internamente al tubo ed una volta esternamente, accadrà
 « d'osservare nel primo caso tutti i fenomeni dovuti al pas-
 « saggio della corrente, e nel secondo mancare presso chè in-
 « tieramente. Laonde non sarebbe forse molto azzardato il
 « supporre, che della corrente che passa per una sbarra ope-
 « ra a produrre i fenomeni su indicati più quella parte, che
 « passa pel suo asse, che quella che passa per la sua super-
 « ficie, e più per una speciale influenza che per una azione
 « diretta ed immediata ».

La diversità d'azione della corrente esterna e di quella interna al tubo, che allora riusciva singolarissima ed inespli- cabile, si comprende facilmente al presente con lo studio fatto sul magnetismo trasversale. Così una corrente elettrica, che passa lungo un tubo di ferro o lungo il suo asse, per mezzo di un filo di rame isolato ne modifica il suo magneti- smo ordinario in quanto vi induce magnetismo trasversale. Per lo contrario una corrente elettrica che passi esterna- mente al tubo o ad un'asta di ferro non può modificarne il suo momento magnetico, perchè non vi induce magnetismo trasversale. Anzi questa mancanza d'azione della corrente esterna sul magnetismo della sbarra si può ritenere quale una nuova dimostrazione, che la corrente esterna non può magne- tizzare trasversalmente il ferro, nelle condizioni nelle quali

le esperienze venivano eseguite. Se poi qualche piccola azione si manifestasse per la corrente esterna, essa sarebbe probabilmente dovuta all'azione della corrente istantanea che per induzione voltaica nasce nell'interno del filo (1).

In tali esperienze il magnetismo ordinario resta modificato nella sua intensità dal magnetismo trasversale. Analogamente il magnetismo trasversale può essere modificato dal magnetismo ordinario. Ed infatti io nel medesimo lavoro ho mostrato, che se dopo aver fatto passare una corrente elettrica per una verga di ferro la si magnetizza come all'ordinario, con una spirale od anche con una calamita permanente, si produce nella verga una corrente analoga alla corrente di scuotimento, la quale è facilmente osservabile al galvanometro.

Tutti questi fenomeni di magnetismo trasversale sono in intima relazione con quelli del magnetismo ordinario; imperciocchè gli uni e gli altri dipendono da una sola e medesima forza, che è il magnetismo proprio delle molecole del ferro. La differenza loro tiene esclusivamente pel modo diverso d'orientarsi degli assi magnetici nei due differenti casi. Egli è perciò necessario che ciascun fenomeno di magnetismo trasversale trovi il suo analogo nei fenomeni del magnetismo ordinario.

Ed infatti dei fenomeni assolutamente simili a quelli che più sopra abbiamo citati, circa la posizione della corrente nel potere indurre o no magnetismo trasversale in un'asta di ferro si riscontra del pari nel caso del magnetismo ordinario. Così una spirale magnetizzante non è atta a magnetizzare un tubo di ferro che la involuppi, nè un'asta di ferro posta esternamente alla stessa spirale. In questo caso, come in quello del magne-

(1) Qui è bene far notare come ammettendo che una corrente esterna ad un'asta di ferro non sia capace di magnetizzarla trasversalmente non si vuol negare ad essa corrente una qualsiasi forza di orientazione delle molecole del ferro ma solo quella di orientarle in quel modo, che costituisce per noi il magnetismo trasversale. Ed è anche probabile che nelle condizioni nelle quali si eseguivano le nostre esperienze, quell'azione direttrice qualunque della corrente esterna sulle molecole del ferro era assai piccola e forse anche trascurabile affatto.

tismo trasversale, ciascun punto del tubo inviluppante, o dell'asta esterna riceve magnetismo eguale e contrario dagli elementi della spirale, che vi si trovano vicini e da quelli della spirale situati in parte diametralmente opposta. Per cui le loro azioni sul tubo essendo opposte ed eguali s'annullano.

Questo fatto risulta chiaramente dimostrato da una bella esperienza del Nickelès. Questi introduceva in una spirale magnetizzante una sbarra di ferro, oltre a due volte più lunga della spirale stessa: la sua estremità inferiore si trovava in un medesimo piano con l'estremità corrispondente della spirale; ed egli ne misurava la forza di aderenza contro la sua ancora di ferro dolce. Divideva quindi per metà, e secondo la sua lunghezza, la parte della sbarra che era al disopra e fuori della spirale, e ripiegava le due metà lateralmente alla detta spirale, così che la sbarra formava una calamita *triforcata*. Il Nickelès notava che con questa modificazione della calamita, la forza con cui l'ancora aderiva alla sbarra centrale non era variata. La spirale adunque non aveva nessuna azione sulle branche esterne della calamita (1).

Io intanto ho continuato questi studi relativamente alle induzioni che si producono tra il rame ed il ferro.

Ho costruito perciò con un filo grosso 1^{mm} due spirali perfettamente eguali e simili, l'una di rame e l'altra di ferro. Queste due spirali erano avvolte agli estremi di un'asta cilindrica di legno lunga oltre un metro, e s'introducevano l'una dopo l'altra in una spirale di rame doppia di lunghezza così da rimanervi completamente contenute. La spirale di rame esterna comunicava con la pila per mezzo di un interruttore a ruote di vetro per poter rapidamente chiudere ed interrompere il circuito. La spirale di ferro e di rame formavano un solo circuito insieme col galvanometro, il quale per mezzo dello stesso interruttore era attraversato, durante l'esperienza, dalle sole correnti indotte dirette o dalle sole correnti inverse. Così s'osservava l'intensità d'induzione prodotta dalla spirale di rame esterna sulla spirale interna, che una volta era

(1) Nickelès, *Ann. de Chim. et de Phys.* T. XXXVII, p. 399 1855; e *Wiedmann Galvanismus und Elektromagnetismus*, B. II. s. 634, 1863.

di ferro ed un'altra volta di rame. I numeri che seguono corrispondono in gradi alle deviazioni di un galvanometro ordinario reso poco sensibile con una piccola calamita.

- 1.° Induzione inversa della spirale di rame esterna su quella di ferro interna. + 56°
Idem + 60°
- 2.° Induzione inversa della spirale di rame esterna su quella di rame interna + 21°
Idem + 26°
- 3.° Induzione diretta della spirale di rame esterna su quella di ferro interna. — 78°
Idem — 80°
- 4.° Induzione diretta della spirale di rame esterna su quella di rame interna. — 27°
Idem — 30°

Dai quali dati si vede che l'induzione della spirale di rame esterna sopra una piccola interna di ferro è assai più energica, che non sopra una spirale simile di rame.

Le seguenti esperienze eseguii facendo indurre dalla spirale interna sull'esterna, ed i risultati furono, come era naturale aspettarsi, analoghi ai precedenti. Così s'ottenne:

- 1.° Induzione inversa della spirale di ferro interna sulla spirale di rame esterna + 51°
Idem + 51
- 2.° Induzione *inversa* della spirale di *rame* interna sulla spirale di *rame* esterna. + 24
Idem + 24
- 3.° Induzione *diretta* della spirale di *ferro* interna sulla spirale di *rame* esterna. — 42
Idem — 45
- 4.° Induzione *diretta* della spirale di *rame* interna sulla spirale di *rame* esterna — 19
Idem — 18.

Questi numeri ci provano ancora una volta, che il potere induttivo del ferro, nel caso che trattiamo è assai più forte di quello del rame (1).

Il filo che formava le due spirali era di 6 a 7 metri di lunghezza per ognuna di esse, ed avevano esse una lunghezza di una diecina di centimetri ciascuna; così che rimanendo sempre tutte interne nella spirale esteriore, lunga oltre i 25 centimetri, non restava menomamente modificata l'intensità d'induzione reciproca per spostamenti di tre o quattro centimetri; per la qual cosa le esperienze precedenti sono perfettamente comparabili tra loro.

Se invece la spirale di ferro si trova messa all'esterno di quella di rame, come io più volte ho praticato, allora questa, quando è percorsa da una corrente elettrica, non potrà magnetizzarla come non magnetizzerebbe un cilindro di ferro similmente disposto. Le induzioni su questa spirale di ferro in tal caso saranno semplicemente voltaiche e non elettromagnetiche, per cui la spirale di ferro opererà in simile circostanza come una spirale di un conduttore qualunque non magnetico. Del pari essa non potrà indurre, quando è percorsa dall'elettricità, altra corrente nella spirale di rame interna oltre quella, che a parità di condizione v'indurrebbe una spirale di rame. Ed infatti questi risultati furono da me confermati da esperienze più volte ripetute.

Anche in questo caso adunque il ferro, talvolta opera come conduttore e tal'altra come conduttore e come corpo magnetico insieme.

Simili azioni si ottengono del pari quando si studia il fenomeno con le azioni fisiologiche. Ed io mi sono accinto a

(1) Qui faccio notare come l'illustre Prof. Cantoni in due sue Memorie (*Rendiconti dell'Istituto Lombardo* 1865) discutendo la ipotesi di Ampère osserva come sarebbe più consentaneo ai fatti di spiegare i fenomeni d'induzione ammettendo nei fili percorsi da una corrente elettrica una speciale polarizzazione ed orientazione magnetica. Egli in appoggio delle sue vedute cita tra le altre una esperienza simile a quest'ultima fatta da me; ed anche egli trova che una spirale di ferro induce in una spirale di rame esterna una corrente più energica di quella che vi indurrebbe una spirale interna di rame.

queste altre investigazioni non tanto per andare in cerca di nuovi fatti quanto per confermare quello che forma soggetto della presente memoria.

A studiare perciò quest'altra azione del ferro costruii con due spirali, una formata di filo grosso e corto ed un'altra di filo lungo e sottile, un apparecchio di induzione simile a quello che du Bois-Reymond adopera per gli studi elettrofisiologici. La spirale a filo grosso era situata orizzontalmente sopra una base di legno, sulla quale scorreva in una scanalatura corrispondente la spirale di filo sottile in maniera accomodata, che poteva soprammettersi facilmente, e per una lunghezza più o meno grande, sulla spirale fissa. Una scala di carta divisa in centimetri e millimetri misurava la lunghezza sopraposta delle due spirali. I fili della spirale indotta penetravano in una cassa di legno coperta da una lastra di vetro, ed erano fissati ad una determinata distanza tra loro. Sulle estremità dei quali si adagiavano i nervi crurali di una coscia di rana di fresco preparata, che serviva da rana galvanoscopica. Una corrente data da un solo elemento Daniell metteva in movimento un interruttore di Foucault a mercurio, e quindi interrotta passava per la spirale a filo grosso. Essa induceva così delle correnti nella spirale a filo sottile, più o meno intense a seconda della prossimità o lontananza loro. Queste induzioni si manifestavano con le contrazioni della rana galvanoscopica. Ad osservare l'azione del ferro e di altri metalli in questi fenomeni, chiudevo la spirale a filo grosso in tubi di diversi metalli, e misuravo di quanto bisognava soprammettere le due spirali perchè le prime contrazioni s'osservassero nella coscia di rana. In queste esperienze ho adoperato il tubo di ferro solamente all'esterno della spirale inducente, imperciocchè è cosa notissima che il ferro messo nell'interno della spirale ne aumenta eccessivamente la sua forza induttrice.

Ciò posto i fenomeni che m'occorse d'osservare furono quelli trascritti qui sotto. I numeri negativi indicano le distanze in millimetri tra le testate più vicine delle due spirali: lo 0^{mm} si ha quando esse sono sul medesimo piano ed i numeri positivi indicano in millimetri la porzione delle due spirali soprapposte.

Induzione della spirale interna percorsa da una corrente interrotta di 1 el. Daniell sulla spirale esterna. Quando la spirale interna è coperta:

- 1.° Da nessun tubo, la contrazione si ha a . . — 10^{mm}
 Da un tubo di rame chiuso, la contraz. si ha a. + 5
 Da un tubo di ferro chiuso, la contraz. si ha a. + 7
 Da un tubo di rame fesso, la contraz. si ha a . — 20
 Da un tubo di ferro fesso, la contraz. si ha a . — 10
 Da nessun tubo — 3
- 2.° Da nessun tubo la contrazione si produce a . — 3
 Da un tubo di rame chiuso la contrazione si
 produce a + 10
 Da un tubo di ferro chiuso la contrazione si
 produce a + 14
 Da un tubo di rame fesso la contrazione si
 produce a — 13
 Da un tubo di ferro fesso la contrazione si
 produce a + 3.

Adoperando un'altra spirale indotta meno lunga della precedente si ha:

- 3.° Con nessun tubo la contrazione si produce a. + 11^{mm}
 Col tubo di rame chiuso la contrazione si
 produce a + 31
 Col tubo di ferro chiuso la contrazione si
 produce a + 49
 Col tubo di ferro fesso la contrazione si
 produce a + 5
 Col tubo di ferro fesso la contrazione si
 produce a + 15
 Con nessun tubo + 12,5.

Senza aggiungere nuovi esempi si vede da quelli citati 1.° che il tubo di rame intiero diminuisce, come era già noto, grandemente l'intensità della scossa prodotta dalla spirale

esterna; 2.° che il tubo di ferro intiero la diminuisce ancora di più; 3.° che il tubo di rame fesso l'aumenta (1) d'una quantità rilevante e 4.° che il tubo di ferro fesso forse la diminuisce di una piccola quantità.

Questi risultati sono da per sè stessi evidenti. Il tubo di ferro opera come quello di rame quando si trova allo esterno della spirale inducente giacchè questa non lo magnetizza, ed esso agisce perciò come un semplice conduttore aumentando la durata della corrente indotta nella spirale esteriore. Per questa cagione negli apparecchi di induzione elettro-medicali, per moderare la intensità delle scosse si potrebbero adoperare, con più successo e con maggiore economia, dei tubi di ferro chiusi invece di quelli di ottone o di rame.

Dirò da ultimo dell'extra-corrente, che si manifesta nel ferro. Essa perchè dipende da una induzione del ferro sopra sè stesso, tiene necessariamente in parte al magnetismo trasversale del medesimo; e perciò dovrà manifestarsi con proprietà diverse di quelle, che si osservano nelle extra-correnti prodotte in altri metalli.

L'esperienza per studiare l'extra-corrente nel ferro fu disposta come indica la figura 5. La corrente di una pila composta di 6 ad 8 elementi Bunsen passava per un'asta di ferro B, per mezzo di un interruttore a ruote, il quale con grande rapidità poteva interromperla un gran numero di volte. Per mezzo d'un'altra coppia di ruote del medesimo interruttore, veniva stabilito un secondo circuito tra l'asta ed il galvanometro, subito dopo che quello della pila era stato interrotto. Per evitare ogni azione termo-elettrica perturbatrice i reofori della pila erano saldati sulla sbarra nei punti a ed a' , ad una quindicina di centimetri dagli estremi g e g' , ove erano saldati li scandagli del galvanometro. In tal maniera, il riscaldamento prodotto pel passaggio della corrente della pila nelle saldature a ed a' non poteva avere influenza sulle deviazioni del galvanometro, rimanendo il suo circuito, chiuso soltanto negli intervalli nei quali quello della pila era

(1) Su quest'azione speciale del tubo di rame fesso sui fenomeni di induzione mi propongo di ritoruarci in una prossima occasione.

interrotto. Nè dall'altro canto il riscaldamento prodotto dalla corrente, nella porzione di verga, che attraversava poteva influire per termo-elettricismo sul galvanometro, dappoichè i suoi capi si trovavano attaccati fuori il tragitto percorso dalla corrente istessa. E finalmente con siffatta disposizione dei circuiti non potevano esservi induzioni perturbatrici.

Ordinato così l'apparecchio, girando rapidamente l'interruttore, il galvanometro ordinario deviava facilmente di 90° per una corrente corrispondente all'estra-corrente diretta o d'interruzione. Essa però differisce dalle estra-correnti ordinarie, in quanto perdura ancora un certo tempo dopo avere interrotta la corrente primaria; perchè come si è detto, il galvanometro comunicava con l'asta di ferro solamente dopo essersi interrotta la comunicazione sua con la pila.

Qui è poi quasi superfluo il notare, che un'asta di ottone eguale e simile perfettamente a quella di ferro precedentemente adoperata, non dava indizi di una estra-corrente consimile, allorchè veniva sostituita all'asta di ferro nell'esperienza precedente.

Quest'estra-corrente adunque, che s'ottiene con l'asta di ferro è naturalmente dovuta alla demagnetizzazione trasversale, che quella subisce dopo che la corrente della pila ha cessato di passare per essa. Tale corrente può del pari ottenersi per induzione, sopra di un filo teso nell'interno di un tubo di ferro; e questa induzione dura un certo tempo dopo la interruzione della corrente della pila che passava pel tubo.

La durata di questa estra-corrente e di questa corrente d'induzione dipende dall'essere il fenomeno essenzialmente magnetico; imperocchè il magnetizzarsi ed il demagnetizzarsi di un'asta di ferro si compie in un tempo abbastanza lungo da essere facilmente apprezzabile. Niente di simile ha luogo con gli altri metalli. Ed invero non adoperando ferro, l'estra-corrente si ottiene solo con le spirali e non con fili tesi per diritto; ed inoltre anche con le spirali, per ottenere l'estra-corrente non bisogna por tempo in mezzo tra l'interruzione della corrente della pila e la chiusura del galvanometro, dovendo questo trovarsi nel circuito della spirale, come è nella esperienza del Faraday, avanti che s'interrompa la corrente della pila per esso.

Quanto poi alla durata delle correnti di induzione ordinaria dirò, come le accurate ricerche di Helmholtz (1) e più ancora quelle di Beetz (2) hanno dimostrato che l'induzione di apertura di una spirale non contenente ferro, sopra di un'altra, dura un tempo brevissimo e completamente inapprezzabile coi metodi adoperati da loro. Invece la induzione di chiusura durerebbe, secondo il Beetz, un tempo apprezzabile. Essa in 10 o 12 milionesimi di secondo aumenterebbe fino ad un massimo, e quindi lentamente scemerebbe; specialmente nelle spirali a molti giri.

Ma nei casi da me contemplati, sia dell'extra-corrente, sia della induzione del tubo di ferro sul filo interno, la durata dei fenomeni è abbastanza lunga per poterli facilmente scorgere, adoperando un semplice interruttore a ruota e per farli riguardare come fenomeni magneto-elettrici. E questo comprova sempre più l'esattezza della spiegazione data dei fenomeni da noi studiati.

Finalmente dirò prima di metter termine a questa memoria, di un fenomeno curioso, osservato col bismuto e del quale in sulle prime non ne compresi il vero significato.

Con lo scopo adunque di studiare il medesimo fenomeno dell'extra-corrente col bismuto, sostituii nell'apparecchio citato nella figura 5 un'asta di bismuto lunga 1^m circa e grossa 5 o 6^{mm}, invece di quella di ferro; ed avendo operato come con quest'ultimo m'accadde osservare una extra-corrente, inversa a quella del ferro. Essa, quasi fosse un'extra-corrente diamagnetica, era anche d'intensità grande a segno da far deviare di 90° un galvanometro a filo corto, quando le interruzioni si eseguivano rapidamente con un interruttore a ruote. Tale corrente del bismuto era istantanea, dappoichè il galvanometro tornava a 0° subito dopo fermato l'interruttore. Ciò non pertanto questa corrente è certamente d'origine termo-elettrica. Essa pare che sia generata dal riscaldamento prodotto dal passaggio della corrente, specialmente in quei punti ove le disposizioni dei cristalli del bismuto variano, per

(1) Helmholtz, *Poggendorff's Annalen*, Bd. LXXXIII, s. 553, 1857.

(2) Beetz, *Pogg. Ann.*, Ed. CV, s. 497, 1858.

una mancanza di omogeneità qualunque nell'asta del detto metallo. Che poi il fenomeno sia termo-elettrico, risulta evidentemente da due fatti. In primo luogo, se si fa per alcuni minuti passare la corrente della pila pel bismuto e dopo interrotta si mette immediatamente il bismuto in comunicazione col galvanometro, si vedrà questo deviare di parecchi gradi. Per lo contrario se la corrente della pila si fa passare per un solo istante attraverso il bismuto, questo non darà luogo ad alcuna corrente apprezzabile col galvanometro se si unisce con questo, come nel caso precedente. Finalmente se si mette il bismuto in comunicazione col galvanometro, e si versa dell'acqua calda sul medesimo bismuto, si produrranno in esso delle correnti ora in un senso ed ora in un altro, che spesso s'invertono e spesso sono assai forti, se si riscaldano specialmente quei punti dell'asta di bismuto, che sono o più grossi, o più sottili, od in un modo qualunque diversi dal resto della sbarra.

Firenze 11 Marzo 1869.