

NOTIZIE

SVLL'

ISTITVTO DI FISICA

S P E R I M E N T A L E

D E L L O

S. T V D I O P I S A N O

R A C C O L T E

nel Settantesimo anno dalla Fondazione.
venticinquesimo di insegnamento

D E L D I R E T T O R E

A N G E L O B A T T E L L I

D A L

P R O F E S S O R E A V G V S T O O C C H I A L I N I

P I S A

Appresso Francesco Mariotti, Stampatore

M D C C C C X I V

intensità variabile, circolante in un solenoide neutro, desta correnti indotte in un circuito chiuso che col solenoide sia concatenato. Ora ciò è in accordo con la formula del Felici, e il calcolo — come fu fatto dal Ròiti — conduce, partendo da essa, a risultati concordanti con l'esperienza.

Se invece del circuito chiuso consideriamo soltanto un elemento di esso, applicando al medesimo le due ipotesi fondamentali del Neumann, dovremmo dire che nell'elemento considerato non si produce nessuna forza elettromotrice di induzione, perchè è nulla l'azione elettrodinamica esercitata da un solenoide chiuso, in un punto qualunque esterno al medesimo. Ora, la forza elettromotrice indotta in un circuito è la risultante della somma delle forze elettromotrici indotte nei diversi elementi del circuito stesso, e il fatto da noi citato mostra che questa somma in alcuni casi non è nulla; in questi casi adunque il principio fondamentale del Neumann si mostra in difetto, a meno che non venga sperimentalmente dimostrato che, nel periodo variabile della corrente, un solenoide chiuso, cessando di esser neutro, eserciti un'azione elettrodinamica sugli elementi del circuito indotto.

La singolare concordanza fra i dati sperimentali e l'espressione risultante dalle teorie del Weber e

del Neumann dipende unicamente dal fatto che il confronto, fra i risultati di dette teorie e quelli delle esperienze, non si può fare se non in un campo troppo ristretto. Infatti, essendo state stabilite le formule elementari dell'induzione soltanto con esperienze eseguite con circuiti chiusi, è chiaro che, senza contraddire alle esperienze conosciute o eseguibili con quei circuiti, potremmo aggiungere a quelle formule altri termini, che sparissero in una integrazione lungo una curva chiusa. Ciò spiega come, con ipotesi differenti fra loro, si possa, nel campo ristretto delle esperienze conosciute, arrivare a delle formule concordanti con le esperienze medesime.

Tutto questo fa sempre più risaltare il vantaggio che, tra tutte le altre, offre la teoria del Felici; giacchè oltre al presentare una notevole semplicità, ha il pregio di riassumere, sotto forma analitica e indipendentemente da qualunque ipotesi, i risultati generali delle esperienze.

Si deve quindi dire che il Felici abbia proprio dato una base di realtà a concetti che fin allora non avevano che carattere ipotetico. Da allora in poi, infatti, tutte le teorie dell'induzione elettrodinamica vennero costruite con un processo inverso di quello che si era seguito per l'innanzi. Così, qualche

qualche anno dopo le ricerche del Felici, l'Helmholtz prese proprio di mira la serie oramai ricca di leggi sperimentali già stabilite con tutta evidenza, e cercò di fonderle tutte quante in una stessa formula, la quale fosse la più generale fra quelle che si potevano proporre per l'espressione del potenziale elettrodinamico di due correnti, compatibilmente coi fenomeni conosciuti fin allora e col principio della conservazione dell'energia. Orbene, abbiamo la soddisfazione di constatare che le formule del Felici per l'induzione, sono le uniche che rispondano a quella condizione.

Terminato questo lavoro poderoso, il Felici, senza prendere riposo, pose mano a nuovi studi. Ferveva allora la questione del valore da assegnarsi alla velocità che impiega l'elettricità a percorrere un dato circuito. I risultati ottenuti erano diversissimi; mentre il Wheatston, nelle sue belle esperienze con lo specchio girante, otteneva la velocità di 460 mila km. per secondo, velocità molto superiore alla vera, non mancavano esperienze che assegnavano alla medesima valori di gran lunga più piccoli, uno dei quali, determinato dagli Astronomi di Greenwich e Bruxelles, scendeva sino a 4300 km.

A spiegazione di queste divergenze, il Faraday aveva fatto giustamente osservare che una grave
causa

causa di errore nelle precedenti esperienze si aveva nelle azioni elettrostatiche induttive esercitate sul filo dal mezzo in cui esso era immerso (quando questo mezzo era acqua o guttaperca). Un'altra causa di errore era dovuta all'impiego di galvanometri o elettrocalamite, essendo il tempo, impiegato dal ferro dolce per calamitarsi o dall'ago per obbedire all'azione della corrente, dello stesso ordine di grandezza del tempo impiegato dalla corrente a percorrere più centinaia di chilometri. Il Felici si studiò di eliminare questi difetti, ed ottenne per la suddetta velocità numeri vicini a 260 mila km. al secondo, — valore ancora alquanto lontano dal vero, ma pur sempre soddisfacente, date le condizioni in cui poteva sperimentare nel Laboratorio di Pisa.

Nello stesso lavoro il Felici determinò la durata della scintilla, e ne studiò le diverse fasi, mettendo in evidenza che la scintilla totale si compone di molte scintilline parziali, quasi contemporaneamente al Feddersen, il quale aveva pubblicato le sue classiche esperienze fotografiche soltanto l'anno prima.

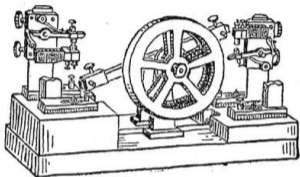
Alla stessa epoca il Felici si accingeva ad un'altra serie di ricerche, le quali lo occuparono di poi per sette anni continui, sul comportamento elettrico dei corpi non conduttori in presenza di corpi elettrizzati.

Già

Già dal Cavendish, dal Faraday e dall'Harris era stato ripetutamente osservato l'aumento di capacità nei condensatori, quando si sostituisce lo strato d'aria con quello di una sostanza coibente. E così l'Avogadro aveva pure formulato l'ipotesi della polarizzazione dei dielettrici: ipotesi che in seguito fu ripresa dal Belli e dal Faraday, e che poi (1846) fu analiticamente sviluppata dal Mosotti; ma si deve proprio dire che era allora spento il vero ardore delle ricerche sperimentali, tanto che non si era nemmeno cercato di constatare, se all'azione esercitata dal coibente prendessero parte tutti gli elementi di volume del coibente, o soltanto quelli posti alla superficie del medesimo; e non si era cercato di determinare il tempo che impiegano i coibenti a manifestare e a perdere quell'azione. Spesso poi non si era affatto tenuto conto dei fenomeni di penetrazione della carica, che pur si presentavano in quasi tutte le esperienze.

Il Felici, con vera genialità sperimentale, risolvette tali quistioni ed altre affini. Con ammirevole costanza, dopo aver ripetute volte modificati i suoi apparecchi secondo che gli consigliava la propria esperienza, giunse nel 1871 ad annunziare che l'azione elettrica, sviluppata da un coibente sottoposto all'azione di un corpo elettrizzato:

dotte in una spirale, durante il tempo in cui il nucleo interno di ferro dolce va rapidamente perdendo il magnetismo. Trovò che, al contrario di quanto pensavano alcuni fisici, l'influenza della cor-



Interruttore del Felici.

rente indotta nella massa del ferro sulla velocità della magnetizzazione era piccola, minore anzi di quello che si poteva pensare.

Negli ultimi anni della sua vita, dal 1875 in poi, nient'altro il Felici diede alla luce, se non tre pubblicazioni di minor conto, due delle quali consistono in descrizioni di esperienze da lezione e la terza tratta del potenziale di un conduttore in movimento

movimento sotto l'influenza di un magnete; continuò tuttavia con alacrità il suo insegnamento, e si dedicò con amore, insieme col Betti, alla direzione del *Nuovo Cimento*, che, per virtù dei due illustri scienziati, riuscì ad acquistare prospera vita, ad onta delle difficoltà che si opponevano al suo fiorire.

È questa l'opera scientifica del Felici. Ciò che in essa risalta soprattutto è la chiarezza delle vedute, la precisione dell'esperienza e il riserbo nella conclusione. La critica finissima ch'egli sapeva applicare alle opere altrui, egli rivolgeva anzitutto alle proprie prima di pubblicarle, onde veniva ad esse quella apparenza di perfezione. Abile matematico, di questo mezzo, altrettanto potente quanto talvolta pericoloso, non si valse se non quando le sue formule potevano poggiare sui risultati dell'esperienza. Di ciò diede un classico esempio nel lavoro sull'induzione elettrodinamica ».

RICCARDO FELICI nacque l'11 giugno 1819 in Parma, e giunse a Pisa a venti anni per prepararsi alla Scuola Politecnica di Parigi. Ma le lezioni del Mossotti e del Matteucci, e sopra tutto l'invito di quest'ultimo a frequentare

tare il Gabinetto di Fisica lo indussero a fermarsi per continuare gli studi intrapresi. Dopo dieci anni dalla nomina di Aiuto, avvenuta, come si è detto, nel 1846, fu eletto Professore Aggregato della Facoltà di Scienze Naturali. Tuttavia continuò a disimpegnare l'ufficio di Aiuto e a supplire nelle lezioni il Matteucci, trattenuto spesso fuori di Pisa dalle cure politiche.

Con decreto del Governo di Toscana, il 13 maggio 1859 il Felici raggiunse il titolo di Professore Effettivo e di Direttore del Gabinetto di Fisica, fino allora sempre conservato dal Matteucci. Si ritirò dall'insegnamento nel 1893 e morì a Filettole il 20 luglio 1902. La rappresentanza del Comune di Pisa volle che avesse sepoltura nel Camposanto Monumentale.

So bene che voi potete rispondermi, con flemma troppo inglese: ma lasciate fare la guerra ai soldati. Sta bene; ma noi siamo e vogliamo essere tutti soldati.

Compiuta l'unificazione d'Italia, il Matteucci fu chiamato nel 1862 a reggere il Ministero dell'Istruzione. Il breve tempo del suo reggimento segna nella storia così varia degli ordinamenti scolastici italiani un periodo luminoso, in cui non trionfò l'empirismo, ma un sano concetto delle esigenze varie dell'insegnamento in tutti i suoi gradi dalla scuola primaria alla Università.

Egli fu per quanto riguarda la scuola un precursore, poichè dimostrò di comprendere il valore dei rapporti che fra gli ordinamenti dell'istruzione e la vita politica intercedono, sicchè la scuola in ogni sua forma non sia avulsa dalla vita, ma da essa tragga alimento, in essa viva e ad essa serva. Così possiamo affermare che Carlo Matteucci intese le armonie tra l'opera dello scienziato, del patriota e dell'educatore ».

ALLA cattedra di Fisica fu destinato come Aiuto fin dal 1846 Riccardo Felici, il quale cominciò col supplire il suo Maestro nelle lezioni e finì per ottenere la direzione stessa dell'Isti-

tuto, allorchè il Matteucci, assorbito dalle cure politiche, ottenne di essere esonerato dall'alto incarico.

Alla esuberanza dell'ingegno e al carattere vivacissimo e insofferente di freni del Maestro, il Felici contrappose un temperamento mite, una invitta costanza, una lunga pazienza, uno spirito critico spassionato. E l'Istituto nostro, iniziato con l'opera alacre e talvolta tumultuosa del Matteucci, fu col Felici sede di una serena opera di ricerca. In questo tempo non si sentì mai la necessità di ingrandire o di modificare l'Istituto o di mutarne gli ordinamenti, sicchè la sua storia sta tutta nella bella produzione scientifica in esso svolta.

Non dimenticheremo tuttavia di segnalare che in un episodio della Storia Garibaldina diedero opera il nostro Istituto e il Professor Felici. È noto che dopo la prigionia subita al Varignano in conseguenza del doloroso fatto di Aspromonte, Garibaldi ferito fu trasportato a Pisa. E in una delle diverse operazioni per rintracciare il proiettile, fu richiesta l'opera del Felici.

Questi costruì una specie di sonda con due bacchette di rame montate sopra un blocchetto d'osso e terminate con due lastre di argento le cui estremità erano vicinissime. Quando le due bacchette erano poste in comunicazione con i poli
di

di una pila attraverso a un galvanometro, dalla deviazione di questo si poteva sapere se l'estremità della sonda toccava il proiettile metallico.

L'Istituto conserva due di tali sonde, ma quella che ha servito per esplorare la piaga dell'Eroe appartiene alla Signora Isabella Felici Paladini, che l'ebbe in dono dal Professor Felici, suo padre.

SULL'OPERA scientifica del Felici, tutta svolta nel nostro Istituto, riportiamo qui alcune pagine scritte dal Professor Battelli per una Commemorazione davanti alla Società Italiana di Fisica.

« Il Felici, prima ancora di diventare Aiuto, aveva dato saggio del suo ingegno acuto ed equilibrato in alcune osservazioni, pubblicate nel 1844 sul *Cimento*, intorno a nuove ricerche del Sig. Dutrochet.

A. Battelli,
Comm. di R.
Felici. *Nuovo
Cimento* 4,
233, 1902

Il Dutrochet, avendo studiato il distendersi delle gocce liquide sopra solidi e sopra altri liquidi, aveva concluso che quei fenomeni erano dovuti ad una forza particolare, che egli chiamò *epipolica*. Egli aveva escluso affatto che detti fenomeni potessero attribuirsi alla capillarità, fondandosi specialmente sul comportamento diverso che essi presentavano al variare della temperatura.

Il Felici, con ingegnose ed esatte considerazioni, fece rilevare come il distendersi della goccia proveniva dall'azione di due forze simultanee, cioè da quella che cagiona l'innalzamento di una colonna liquida in un tubo capillare, e dall'affinità dei due corpi, le cui superfici sono a contatto. Egli dimostrò così come fosse completamente immaginaria l'esistenza della forza epipolica, pure ammettendo che in quei fenomeni potessero esercitare la loro influenza lo sviluppo di calore e forse anche di elettricità.

Quando poi, nominato Aiuto, poté metter mano a proprie ricerche sperimentali, il Felici pubblicò un primo studio sulla termoelettricità del mercurio, nel quale, sebbene la disposizione non fosse tale da poter giungere alla soluzione del problema, egli diede prova della cautela e dello scrupolo che distinsero tutti i suoi successivi lavori.

Nel 1850 e '51 pubblicò le due memorie: « Sulla propagazione della corrente elettrica nell'interno di una sfera » e « Sulle polarità galvaniche e sull'influenza della propagazione della corrente elettrica nei liquidi ».

Quest'ultima specialmente ha un'importanza singolare, perchè in essa egli determinò fino d'allora l'andamento della f. e. m. secondaria col variare della temperatura, e scoprì che verso i 4° C. l'acqua
presenta

presenta un minimo di conducibilità: fatto ritrovato poi recentemente dal Professor Lussana, e confermato da altri, sulla conducibilità delle soluzioni acquose.

In quell'epoca appunto, e precisamente nel 1851, il Felici dava principio alla sua massima ricerca, che poi lo occupò quasi ininterrottamente fino al 1859, *sulla teoria dell'induzione*. Egli pervenne in questo studio alle leggi delle correnti d'induzione elettrodinamica ed elettromagnetica, deducendole unicamente da dati sperimentali, con metodo simile a quello usato dall'Ampère, per scoprire le formule sulle attrazioni e ripulsioni di due elementi voltaici filiformi.

Dopo avere investigata l'influenza che sul fenomeno d'induzione esercitano l'intensità della corrente inducente, la natura e la grandezza dei circuiti, le distanze, le forme e le posizioni relative dei circuiti inducente e indotto, egli studiò il fenomeno dell'induzione nelle tre circostanze in cui esso si può compiere; cioè, per l'apertura o chiusura del circuito inducente, per il moto relativo tra l'indotto e l'induceute e per il moto relativo delle parti di uno stesso circuito. Arrivò così alle formole relative ai tre casi diversi, deducendone poi, come conseguenze, fatti e principi noti o da lui stesso subito verificati.

Quando il Felici stabilì sperimentalmente la

sua

sua teoria dell'induzione elettrodinamica, si conoscevano già altre teorie che, partendo da ipotesi più o meno accettabili, erano state proposte da qualche anno; fra esse specialmente pregevoli erano quelle di F. E. Neumann, di Weber e di Helmholtz.

La teoria del Neumann si fonda sull'ipotesi che la f. e. m. indotta sia proporzionale alla velocità con la quale cambia la distanza fra l'elemento inducente e l'indotto, e alla forza ponderomotrice che si eserciterebbe fra i due elementi, se l'indotto fosse attraversato da una corrente uguale ad uno.

Questa ipotesi non era stata giustificata dal Neumann con alcun dato sperimentale. Il Neumann stesso, nell'assumerla come base dei suoi sviluppi analitici, la considerò come la più semplice di quelle che a prima vista vengono suggerite dalla legge di Lenz, ma non fece nessuna considerazione sull'esattezza della medesima. Ora la legge di Lenz si riferisce solo al senso e non alla grandezza delle correnti indotte; era quindi necessario esaminare se e con quale approssimazione l'ipotesi del Neumann si prestava a illustrare quantitativamente i fenomeni di induzione.

Lo stesso inconveniente si riscontra nella teoria dell'induzione proposta qualche anno dopo dal Weber. Anch'essa è intieramente fondata sopra un'ipotesi

un'ipotesi non confermata da alcuna esperienza e certamente più artificiosa di quella del Neumann. È noto infatti che il Weber spiegò i fenomeni di induzione ammettendo, secondo un'idea dovuta al Fechner, che, su due masse elettriche in moto, non agisca soltanto la forza di attrazione o ripulsione conforme alla legge di Coulomb, ma altre forze dovute al movimento relativo delle due masse.

L'espressione trovata dal Weber per l'azione inducente, esercitata da un elemento del circuito primario su un elemento del secondario, differisce da quella data dal Neumann; questa differenza però scompare nei risultati finali relativi all'induzione tra due circuiti chiusi. L'esattezza di questi risultati fu, qualche anno dopo, stabilita dall'Helmholtz, il quale li dedusse dal principio della conservazione dell'energia; essi quindi si presentavano come leggi naturali, e sembrava probabile il poterle stabilire direttamente mediante l'esperienza.

Questa opera venne effettivamente compiuta dal Felici.

Per vero, prima ancora che fosse comparsa la teoria del Neumann, era già stata fatta qualche misura dal Lenz, relativamente alla quantità totale di elettricità indotta di un rocchetto, nel momento in cui esso viene introdotto o tolto da un campo magnetico

magnetico. Ma tali esperienze avevano poca relazione con gli importanti risultati della teoria stessa del Neumann.

Con poche esperienze, sotto ogni punto di vista inoppugnabili e genialmente concepite, riuscì invece al Felici spiegare tutti i casi dell'induzione fra due circuiti chiusi e stabilire per essi la stessa formula alla quale era pervenuto il Neumann. E i suoi risultati rendono conto, sia dell'induzione che si ha per l'apertura o chiusura del circuito inducente, sia di quella dovuta al moto relativo di due circuiti; nel mentre che la formula di Neumann, quantunque possa estendersi anche alle correnti indotte che si producono nel primo caso, non sarebbe a tutto rigore applicabile se non al caso della induzione pel moto relativo; e solo in base ai fatti sperimentali, coi quali il Felici potè passare dal caso delle correnti istantanee a quello del movimento, si può inversamente far valere la formula del Neumann anche per le correnti istantanee.

La coincidenza fra il risultato finale della teoria del Neumann e la esperienza non può ritenersi come prova della verità del principio fondamentale da cui essa parte, e si può dimostrarlo chiaramente considerando l'induzione prodotta da un solenoide chiuso. Infatti il Felici mostrò, che una corrente di
intensità