

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCVI.

1909

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XVIII.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1909

Fisica. — *Sulla misura della variazione di tenacità del ferro nel campo magnetico* (1). Nota riassuntiva del prof. ERNESTO DRAGO, presentata dal Socio P. BLASERNA.

I. È difficile determinare se la tenacità del ferro varii nel campo magnetico, e le poche esperienze istituite in proposito hanno dato risultati incerti (2).

Nel 1879 A. S. Kimball (3) fece una serie di ricerche relative agli effetti della magnetizzazione sulla tenacità del ferro, rompendo dei fili di 0,1623" e di 1/4 di pollice di diametro, magnetizzati a saturazione mediante un solenoide attraversato da una corrente costante, i cui effetti termici, secondo l'autore, erano deboli e probabilmente senza influenza. Egli credette in tal modo di poter concludere che un filo di ferro magnetizzato a saturazione subisce un aumento di tenacità di circa 0,9%.

Pare che le esperienze descritte non siano state eseguite nelle condizioni migliori per la ricerca quantitativa del fenomeno, poichè i fili molto grossi adoperati da Kimball venivano rotti con una macchina Fairbank, mediante la quale, nel breve tempo di 5 minuti, agiva la forza che determinava la rottura e che poteva avere il valore di 1203 libbre. L'A. inoltre non riporta nella sua Memoria nè i valori del campo nè quelli della temperatura con cui fece le esperienze, di guisa che non è dato conoscere il modo come egli si sia assicurato che i fili erano magnetizzati a saturazione, e che gli effetti termici erano probabilmente senza influenza.

Nel medesimo anno Piazzoli (4) istituì delle ricerche sullo stesso argomento, quasi con lo stesso metodo con cui furono eseguite quelle del Pisati (5) relative all'influenza della temperatura sulla tenacità del ferro, con la differenza che invece di sperimentare in un ambiente in cui il filo veniva riscaldato, sperimentava in un ambiente in cui il filo era magnetizzato. Le ricerche furono fatte con fili sottili di ferro ricotti sui carboni ardenti, nell'anidride carbonica, nell'idrogeno, ed opportunamente sospesi nell'interno d'un solenoide in cui poteva circolare una corrente prodotta al massimo da 13 elementi Bunsen. L'A. non fece delle esperienze con fili di ferro crudi, perchè in tal caso questi si rompevano sempre nei punti di contatto coi corpi ai quali erano attaccati, difficoltà incontrate anche da Pisati in analoghe

(1) Lavoro eseguito nell'Istituto Fisico della R. Università di Catania diretto dal prof. G. P. Grimaldi.

(2) Wiedemann, *Electricität*, Vol. III, 1895, pag. 817.

(3) *Sillim. Journ.*, Vol. XVIII, 1879, pag. 99.

(4) *Atti Acc. Gioenia di Catania*, Vol. XIV, 1879.

(5) *Memorie della Società Italiana delle Scienze*, Vol. II, 1869-76, pag. 321.

ricerche. Dalle sue esperienze Piazzoli concluse che la tenacità del ferro dolce cresce nel campo magnetico; però nulla potè dire quanto alla parte quantitativa del fenomeno, non avendola potuta studiare per mancanza di mezzi. Con tutta riserva egli ammise poi un incremento del coefficiente d'allungamento per i fili di ferro sottoposti a trazione fino a rottura nel campo magnetico.

Secondo Hoffmann <sup>(1)</sup> si ha pure un piccolo aumento di tenacità di circa 1 o 2% facendo attraversare un filo di ferro dalla corrente elettrica.

II. Allo scopo di studiare il fenomeno quantitativamente io ho fatto numerose ricerche con fili di ferro possibilmente *nuovi*, perchè presentassero tra loro lievi differenze di carico alla rottura. Si eseguirono dapprima molte esperienze con fili sottili di ferro forniti da Hartmann e Braun, ed altri ne furono preparati da me in varie guise tirandoli alla filiera, quindi sottoponendoli ad una debole tensione longitudinale e ricuocendoli in un'atmosfera inerte mediante corrente elettrica costante o facendoli ricuocere in un focolaio da caldaie a vapore. Tali operazioni, come è noto, hanno per scopo di far sparire le irregolarità di struttura che risultano ordinariamente dal passaggio alla filiera e dalle azioni ulteriormente subite dal filo. Ma per quante prove avessi fatto, ottenni sempre dei fili, tra cui la differenza nel carico di rottura poteva arrivare al 2%.

Del comportamento di essi non rimasi soddisfatto a causa dei risultati incerti ottenuti nelle prime ricerche; e poichè mi mancavano i mezzi opportuni per ritentare altre prove, preferii rivolgermi alla Ditta Redaelli di Lecco e ad Algranati di Napoli <sup>(2)</sup>, perchè volessero prepararmi dei campioni di fili di ferro *nuovi*.

Poterono così sottoporsi ad esperimento tre varietà di filo che d'ora innanzi indicherò con X, A ed R. I fili X furono trovati discretamente omogenei fra varie matasse acquistate presso i rivenditori di ferro della città; quelli A furono forniti da Algranati e quelli R dalla Ditta Redaelli.

III. La disposizione sperimentale da me usata era la seguente. Un solenoide lungo 30 cm. era sostenuto verticalmente da un tavolo a tre piedi collocato nell'incavo d'un muro assai spesso di una delle stanze del laboratorio. Aveva il diametro esterno di cm. 11, quello interno di cm. 5, ed era costituito da 544 spire di filo di rame grosso 2,5 mm., disposte in 8 avvolgimenti, sicchè il prodotto  $4\pi n$  era uguale a 227,8. Internamente conteneva un refrigerante, nel cui asse trovava posto il filo di ferro da sperimentare, opportunamente sospeso per mezzo di un grosso filo ausi-

<sup>(1)</sup> Beibl., Vol. IV, 1880, pag. 559.

<sup>(2)</sup> I signori Redaelli ed Algranati non solo mi fornirono gratuitamente molti campioni, ma mi resero nota la composizione chimica ed i dati di lavorazione del ferro adoperato per i medesimi. Di ciò rendo loro vive grazie.

liario d'ottone ad una robusta spranga metallica fissata al muro. L'acqua che scendeva da un grande serbatoio di zinco, dopo avere attraversato il refrigerante, era condotta, per mezzo di un tubo di gomma, in un tubo di vetro, munito di rubinetto e fissato convenientemente alla faccia inferiore del tavolo. Tale tubo di vetro era piegato in modo che l'acqua, sgorgandone dall'orifizio (<sup>1</sup>), urtasse lateralmente nell'interno di un recipiente di zinco (<sup>2</sup>), sospeso al filo di ferro mediante un secondo filo ausiliario d'ottone, il quale poteva muoversi liberamente attraverso un largo foro del tavolo. In detto recipiente il liquido s'accumulava, caricando così il filo di ferro sino a rottura. Un'asta ancora d'ottone, fissata normalmente a quest'ultimo filo ausiliario andava a riposare su di una ciambella di paglia collocata sul tavolo, quando avveniva la rottura. Allora si pesava il recipiente con l'acqua mediante una sensibile bilancia Sartorius della portata di 50 Kg., quella stessa adoperata da Bartoli nelle ricerche sul calore specifico dell'acqua; ed al peso trovato s'aggiungeva quello costante dovuto a tutto il sistema di sospensione esistente tra il filo ed il recipiente di carico, tenendo conto soltanto del grammo. Così diversamente che nelle esperienze di Pisati e Piazzoli, il carico di rottura veniva determinato direttamente. Dopo la pesata, il liquido effluito era versato di nuovo nel serbatoio in cui, a causa della grande sezione, il livello variava pochissimo durante un'esperienza. In tal modo l'acqua sgorgava dal detto serbatoio sempre sotto pressione sensibilmente costante, cadendo da un'altezza di m. 1.10. Il tempo necessario per la rottura veniva misurato volta per volta con un contasecondi, ed era opportunamente prolungato perchè il carico subisse le variazioni più piccole.

Bisognava prestare la massima attenzione per interrompere l'efflusso nello stesso istante in cui si rompeva il filo; e fu per spendere minor tempo in queste lunghe ricerche e per avere risultati più concordanti, che in molte serie di esperienze venne adottata la seguente disposizione. Al recipiente di carico si saldaronò due fili di rame verticali, di cui uno pescava in un bicchierino con mercurio, mentre l'altro, più corto del primo, distava alcuni centimetri dalla superficie libera del mercurio contenuto in un secondo bicchierino. Quando avveniva la rottura e cadeva quindi il recipiente, veniva chiuso un circuito elettrico; allora una corrente metteva in azione un'elettrocalamita, la cui ancora serrava il tubo di gomma adduttore dell'acqua contro il nucleo, e così automaticamente cessava l'efflusso.

Nel corso delle ricerche, per ottenere valori elevati del campo magnetico senza eccessivo innalzamento di temperatura, si adattò sul tavolo, invece del solenoide, l'elettromagnete di Faraday, disposto verticalmente e munito dei poli

(<sup>1</sup>) Furono adoperati parecchi tubi di vetro con orifizi di diametro variabile secondo il bisogno delle esperienze.

(<sup>2</sup>) Per piccoli carichi di rottura serviva un recipiente pesante 500 gr.; per carichi elevati un altro più grande pesante 817 gr.

forati. La distanza tra questi era variabile secondo le diverse esperienze, ed il filo di ferro era sospeso, come precedentemente nel solenoide, in modo da trovarsi nella parte centrale del campo magnetico. L'intensità di questo venne misurata con il metodo balistico, eventualmente con la spirale di Lenard, e fu trovata fra certi limiti costante almeno dove generalmente si rompeva il filo di ferro.

Quanto al modo di congiungere i fili ai due pezzi ausiliari d'ottone che servivano per sostenerli nella parte centrale del campo magnetico, furono sperimentati vari tipi di attacchi meccanici (1) a due uncini d'ottone, che quindi potevano appendersi alle estremità unciniate dei detti pezzi ausiliari, e fu anche provato d'attaccare il filo a due speciali uncini mediante piccola quantità di saldatura a stagno. Tale metodo evidentemente richiedeva una certa cura per evitare di riscaldare il filo in guisa da alterarne la tenacità; ma dopo molte prove vi si riusciva con facilità. Così si trovò che qualunque maniera d'attacco dei fili tornava forse indifferente dal lato delle variazioni di tenacità dovute esclusivamente alla eterogeneità dei medesimi; solamente l'attacco con poca saldatura a stagno permetteva di misurare con qualche esattezza la lunghezza del filo prima della rottura ed i due pezzi che se ne ottenevano dopo questa. Tale vantaggio dipendeva dal fatto che si potevano precisare meglio che nel caso degli attacchi meccanici i punti d'unione del filo agli uncini. Per la misura delle lunghezze serviva un doppio decimetro diviso in millimetri.

A render piccole le differenze nel carico di rottura dei fili nelle stesse condizioni sperimentali, questi si facevano corti, poichè, come è ben noto, le differenze nel carico aumentano con il crescere della lunghezza e quindi con l'aumento delle eventuali ineguaglianze di diametro e di omogeneità dei fili.

IV. Poichè le variazioni di temperatura hanno notevole influenza sulla tenacità del ferro, fu necessario esaminare fino a qual limite esse avrebbero fatto sentire il loro effetto sui risultati da me ottenuti. Pisati, come ho detto, si occupò di ricerche relative all'influenza della temperatura sulla tenacità del ferro e di altri metalli e dai diagrammi rappresentativi del fenomeno da lui studiato si può vedere che la tenacità del ferro varia irregolarmente col crescere della temperatura. Ma per piccole variazioni e negli intervalli della stessa in cui ho eseguito le esperienze, ho ritenuto che la variazione di tenacità dovesse mantenersi proporzionale alla variazione di temperatura almeno in via approssimativa.

A tale scopo fu fatta una serie di ricerche con i fili X, A ed R, delle quali farò cenno per brevità di tutte le misure eseguite con i fili R.

(1) Atti Acc. Gioenia di Catania, l. c. — H. Abraham, *Recueil d'expériences de physique*, Paris, Gauthier-Villars, 1904.

Questi mi furono spediti dalla Ditta in pezzi lunghi 20 cm. come io li avevo richiesti; ed esperienze preliminari mi resero convinto che tagliandone un pezzo per metà, le due parti ottenute manifestavano lievi differenze di carico alla rottura in identiche condizioni, come si può vedere dalle seguenti misure:

Carico di rottura in gr.	
per	
1 <sup>a</sup> parte	2 <sup>a</sup> parte
2541	2543
2454	2453
2520	2520
2478	2480
2467	2468
2519	2511
2446	2454
2571	2579
2558	2550
2475	2465
<hr/>	
Medie 2502.9	2502.3

Quindi ciascun filo, dopo essere stato esaminato anche con l'aiuto del microscopio, era tagliato in parti eguali, le quali venivano sottoposte a rottura a differenti temperature, e precisamente una parte nelle ore mattutine, l'altra nel pomeriggio dello stesso giorno. Per avere escursioni di temperatura più grandi di quelle che si potevano ottenere per le variazioni giornaliere si lasciava aperta la finestra della stanza da lavoro durante la notte. Ma per evitare sbalzi termici nel periodo in cui si facevano le esperienze, tutte le aperture della stanza venivano chiuse, e così nel posto dove si trovava la disposizione sperimentale, durante un'esperienza, la temperatura si manteneva costante. Essa era data da un termometro diviso in decimi di grado, il cui bulbo si collocava vicinissimo, per quanto era possibile, alla parte centrale del filo dove avveniva quasi sempre la rottura. Con esperienze preliminari si trovò che, dopo avere eseguito l'attacco del filo agli uncini in qualunque maniera, e collocato a posto il sistema, bastavano cinque minuti perchè il filo si fosse completamente raffreddato.

Si giunse a tale conclusione col chiudere volta per volta il filo in circuito con un galvanometro prima della rottura. Con una pila termoelettrica lineare si ebbe cura di accertarsi se la temperatura media del filo fosse diversa da quella segnata dal termometro, ma non si notarono differenze sensibili. Con tali precauzioni fu possibile formare la seguente

TABELLA PER LA CORREZIONE DELLA TEMPERATURA (FILI R).

Numero d'ordine	P	P'	P-P'	T	T'	T'-T	$\frac{P-P'}{T'-T}$
1	2439	2422	17	22,7	27,3	4,7	3,7
2	2531	2506	25	23,6	27,7	4,1	6,0
3	2461	2444	17	23,7	27,8	4,1	4,1
4	2443	2432	11	23,9	27,7	3,8	2,9
5	2508	2499	9	25,1	27,7	2,6	3,5
6	2493	2484	9	24,9	27,8	2,9	3,1
7	2445	2434	11	24,6	27,3	2,7	4,0
8	2427	2418	9	24,7	27,4	2,7	3,2
9	2449	2438	11	24,7	27,4	2,7	4,1
10	2437	2425	12	22,9	27,0	4,1	2,9
11	2466	2454	12	23,2	27,0	3,8	3,2
12	2442	2421	21	23,4	26,9	3,5	6,0
13	2448	2433	15	23,7	26,9	3,2	4,7
14	2448	2436	12	24,1	26,9	2,8	4,3
15	2427	2417	10	24,5	28,6	4,1	2,4
16	2532	2511	21	24,5	28,6	4,1	5,1
17	2477	2459	18	24,7	28,6	3,9	4,6
18	2490	2480	10	25,7	28,4	2,7	3,6
19	2426	2414	12	25,2	28,7	3,5	3,4
20	2454	2435	19	25,6	28,7	3,1	6,1
21	2409	2390	19	25,2	29,1	3,9	4,9
22	2414	2395	19	25,5	29,1	3,6	5,4
23	2441	2424	17	25,6	29,2	3,6	4,7
24	2424	2408	16	26,0	29,1	3,1	5,1
25	2427	2416	11	26,2	29,0	2,8	3,9
26	2487	2446	41	19,0	28,0	9,0	4,6
27	2435	2399	36	19,0	28,0	9,0	4,0
28	2478	2445	33	19,2	28,2	9,0	3,7
						Media	4,2

dove la prima colonna dà il numero d'ordine dell'esperienza, la seconda il carico di rottura P di una delle due parti del filo alla temperatura T data dalla quinta colonna, la terza il carico di rottura P' dell'altra parte alla temperatura T' data dalla sesta, la quarta colonna dà la differenza di carico P-P' corrispondente alla differenza di temperatura T'-T riportata dalla settima, e finalmente nell'ultima colonna si ha il valore calcolato  $\frac{P-P'}{T'-T}$  per la differenza di carico corrispondente alla differenza di un grado nelle due temperature.

Il medio di gr. 4 dei diversi valori di  $\frac{P-P'}{T'-T}$  fu adottato per correggere i risultati delle misure eseguite con i fili R.

Quanto alla correzione di temperatura riguardante i fili X ed A furono istituite delle analoghe esperienze e si ottenne per  $\frac{P-P'}{T'-T}$  il valore medio di gr. 6 per i fili X e di gr. 5 per i fili A.