

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCXCIV.

1897

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME VI.

1° SEMESTRE



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1897

Fisica. — *Sulle variazioni di resistenza prodotte dalla trazione nell'argentana e nel nichel crudo* (1). Nota del dott. M. CANTONE, presentata dal Socio BLASERNA.

Molte ricerche si hanno sulle variazioni di resistenza dovute alla trazione, e con risultati nelle linee generali piuttosto concordanti; se non che, vuoi per la difficoltà delle misure, vuoi perchè non è possibile avere fili nelle stesse condizioni di struttura interna, non mancano divergenze nei particolari, e quantitativamente parlando l'accordo lascia spesso molto a desiderare.

Il Tomlinson (2) ha voluto trattare a fondo la questione studiando il modo di variare la resistenza non solo col crescere del carico tensore, ma anche col sottoporre i corpi in esame ad azioni capaci di alterare l'assetto delle particelle, occupandosi fra l'altro degli effetti dell'allungamento permanente. Il lavoro è condotto con grande cura, tuttavia parmi che per il metodo seguito dal fisico inglese resti qualche incertezza su talune modalità del fenomeno.

Egli, infatti, dopo avere studiato il comportamento elastico delle varie sostanze, passa allo esame delle variazioni di resistenza in rapporto ai pesi tensori, e deduce la costante di proporzionalità fra queste variazioni e gli allungamenti che vi corrispondono, servendosi dei valori del modulo e del coefficiente di Poisson ottenuti dalle primitive ricerche, autorizzato a ciò dall'uso degli stessi campioni nelle due specie di esperienze e dalla circostanza di non avere in esse ecceduto di molto nel limite di deformazione. A queste seguirono le ricerche, avanti accennate, relative all'influenza degli allungamenti residui, però non si ha il mezzo di collegare i risultati delle ultime esperienze colle altre compiute con pesi tensori assai piccoli, non sappiamo cioè se la costante ricavata nel primo caso valga nel secondo, od in termini più generali se essa conservi il suo valore in tutte le fasi della trazione e della detrazione operando con forze deformatrici estreme anche grandi.

A siffatta indagine mirano le ricerche cui mi sono dedicato in questi ultimi tempi, e delle quali qui saranno esposti i risultati riferentisi ad esperienze eseguite con due fili di argentana.

Oltre a ciò credo utile render conto nella presente Nota di uno studio intrapreso sul nichel crudo, allo scopo di mostrare come i processi ciclici di deformazione influiscano sulla resistenza di un metallo che presenta riguardo al fenomeno in esame un comportamento anomalo, ed ancora per accertare

(1) Lavoro eseguito nel laboratorio di fisica della R. Università di Palermo.

(2) Phil. Trans. of the Roy. Soc., Parte I, 1883.

se i fatti rilevati dal Tomlinson per il nichel ricotto, procedano alla stessa maniera per il metallo crudo.

Metodo usato nella ricerca. — Il metodo adottato per la misura delle variazioni di resistenza fu quello del ponte. Due lati contigui di esso erano costituiti da due rocchetti di argentana aventi ciascuno la resistenza di un ohm, e gli altri dal filo che si cimenta X e dal filo di paragone Y coi rispettivi pezzi di attacco A e B .

I fili X ed Y , porzioni di un unico tratto, venivano distesi parallelamente e vicinissimi fra loro, sostenuti alla parte superiore da una mensola coll'intermediario di due cuscinetti di ebonite stretti a morsa in un tubo di ottone a mezzo di un dado, e portanti agli estremi liberi, il primo un piatto destinato ai carichi torcenti, e l'altro un'asta orizzontale con due masse di piombo agli estremi e con un foro rivestito di sostanza isolante per il passaggio di X , più lungo di Y . L'adattamento di X al pezzo che portava il piatto si faceva nel modo indicato per la sospensione superiore, evitando così in entrambi i casi l'inconveniente cui può dar luogo l'uso di cuscinetti metallici, i quali, quando non si voglia sottoporre i fili ad eccessiva pressione, lasciano incerti sulla natura del contatto al margine.

L'unione di X ed Y ai fili di attacco A e B si operò mediante due asticine di ottone saldate all'estremo di X ed all'asta orizzontale sorretta da Y , facendole pescare in due pozzetti a mercurio dove giungevano i conduttori A e B . E qui bisogna avvertire che a compensare la inuguale resistenza di X ed Y , fu aggiunta a B una porzione di filo della sostanza in esame, e ciò allo scopo di rendere trascurabili le variazioni di resistenza dovute al riscaldamento per il passaggio della corrente.

Nella diagonale che andava dall'origine comune di X ed Y al punto di concorso dei rocchetti di argentana, trovavasi un galvanometro Deprez-D'Arsonval, e nell'altra una coppia Bunsen. L'uso di siffatto elemento potrebbe far nascere a tutta prima qualche sospetto sull'attendibilità dei risultati a causa della intensità non piccola della corrente che veniva a circolare per X ed Y , ma per la precauzione presa di ottenere la stessa corrente in questi fili, la causa disturbatrice di cui ci occupiamo non poteva essere rilevante; e l'esperienza ne diede la conferma, poichè con una chiusura del circuito per un tempo più lungo di quello necessario per fare le misure, non si ebbero variazioni notevoli nei risultati. Del resto la loro regolarità in ogni serie e l'accordo fra le esperienze eseguite con campioni diversi della medesima sostanza, davano completo affidamento sulla bontà del metodo adoperato.

Anche il galvanometro bastava alle esigenze delle nostre ricerche. Ricominciando che la sua sensibilità non era grandissima; però il vantaggio che esso offriva di dare indicazioni pronte, senza che lo specchietto oscillasse attorno la posizione di riposo, era tale da giustificarne la preferenza in uno studio per cui non era necessario l'uso di un apparecchio estremamente sensibile.

Le variazioni di resistenza si misuravano per mezzo delle letture sulla scala del galvanometro, poste in confronto con quelle avute inserendo nel lato del ponte che racchiudeva il filo X un piccolo rocchetto c di 0,0102 ohm; in tal modo le variazioni potevano apprezzarsi sino al *centomillesimo* del valore totale.

Passo a descrivere la disposizione per la misura degli allungamenti. A due punti della regione terminale dei fili X ed Y , e presso a poco alla stessa altezza, si saldavano due striscette di ottone alle quali venivano attaccate con del mastice due lastrine di vetro, l'una con graduazione in millimetri e l'altra con un tratto di riferimento. Sul sistema, illuminato da una candela messa a grande distanza, si guardava con un cannocchiale munito di micrometro oculare, sicchè poteva aversi la misura dell'allungamento in frazione di millimetro e con un'approssimazione maggiore anche del necessario.

Risultati delle esperienze. — Comincio dall'espone, i risultati relativi ai due fili di argentana ricotti Ar_1 ed Ar_2 . In queste, come nelle esperienze sul nichel, il filo Y portava un peso tensore totale di kg. 2,800, ed X un carico costante di kg. 1,800, più un certo numero di pezzi di piombo di 200 gr. ciascuno che formavano il peso tensore variabile. Alla fine di ogni serie però questo peso veniva ridotto a 1000 gr., per ottenere che durante il riposo i fili X ed Y fossero sottoposti alla medesima tensione.

Per dare un'idea del modo come procedevano le esperienze, riporto nella tabella I i risultati della prima serie eseguiti col filo Ar_1 . P indica il peso tensore, D la distanza in divisioni del micrometro oculare fra un determinato tratto della scala incisa in una delle due lastrine ed il tratto di confronto che si aveva nell'altra, d la differenza fra due successivi valori di D , \mathcal{A} la deviazione letta sulla scala del galvanometro e δ la differenza fra due successivi valori di \mathcal{A} .

Dall'andamento delle d ci accorgiamo che la legge di Hooke è seguita quasi esattamente dal nostro filo, e d'altro canto si vede che anche per le variazioni di resistenza vi ha proporzionalità colle forze deformatrici.

Ma le cose procedono in modo diverso se si oltrepassa il carico estremo raggiunto in questa prima serie, come si può argomentare dall'esame delle tabelle II e III che contengono i risultati delle ultime serie compiute coi fili Ar_1 ed Ar_2 col carico massimo di 3600 gr., tenendo presente che (D) e (\mathcal{A}) denotano qui le letture sul micrometro oculare e sulla scala del galvanometro computate a partire dai valori che corrispondono a $P=0$. Per i dati che si riportano in ciascuna tabella convergo di denotare con l la lunghezza della parte del filo X sottoposta a trazione sino al punto di attacco colla striscetta di metallo che sorregge la scala graduata, con R il raggio di X , con ν la sua resistenza per tutto il tratto che si deforma, con \mathcal{A}_1 la deviazione prodotta inserendo nel ponte il rocchetto c , con D_1 il numero di divisioni del tamburo che corrispondono nel micrometro oculare ad un millimetro della scala attaccata ad X , con E il modulo di elasticità dedotto

dalle prime serie di esperienze fra i limiti di forze estreme 0 e 2000, ed in fine con ρ la resistenza specifica di X nello stato iniziale.

I (24 Marzo) Ar_1					II. (15 Aprile) Ar_1				III. (30 Aprile) Ar_1			
P	D	d	s	δ	P	(D)	(s)	a	P	(D)	(s)	a
1000	755	-100	0,2		1000	-573	-6,9	2,25	1000	-549	-7,2	2,18
800	655	-204	-1,3	-1,5	0	0	0,0	-	0	0	0,0	-
400	451	-205	-4,3	-3,0	400	203	2,5	2,31	400	243	3,0	2,05
0	246	204	-7,3	-3,0	800	408	5,1	2,34	800	444	5,8	2,17
400	450	204	-4,3	3,0	1200	615	7,7	2,34	1200	662	8,8	2,21
800	655	205	-1,3	3,0	1600	833	10,5	2,36	1600	892	11,8	2,20
1200	861	206	1,5	2,8	2000	1051	13,4	2,39	2000	1129	14,9	2,19
1600	1077	216	4,3	2,8	2400	1278	16,3	2,39	2400	1376	18,1	2,19
2000	1283	206	7,0	2,7	2800	1511	19,1	2,37	2800	1646	21,5	2,17
1600	1076	-207	4,2	-2,8	3200	1749	22,0	2,35	3200	2123	27,6	2,16
1200	871	-205	1,5	-2,7	3600	2020	25,6	2,37	3600	2721	35,1	2,14
800	663	-208	-1,2	-2,7	3200	1830	22,9	2,34	3200	2515	32,2	2,13
400	455	-208	-3,9	-2,7	2800	1621	20,6	2,38	2800	2292	29,1	2,11
0	247	-208	-6,8	-2,9	2400	1413	17,9	2,37	2400	2055	26,0	2,10
1000	760	513	0,2	7,0	2000	1192	15,3	2,40	2000	1816	23,0	2,10
					1600	969	12,6	2,43	1600	1565	19,8	2,10
					1200	746	9,9	2,48	1200	1305	16,3	2,07
					1000	631	8,5	2,52	800	1036	12,9	2,07
					$l = 1473$	$R = 0,253$			400	770	9,3	2,01
					$D_1 = 925$	$s_1 = 39,8$			0	487	5,9	2,01
					$\nu = 1,8623$	$\rho = 0,0000245$			400	699	8,9	2,11
					$E = 13070$				800	923	11,7	2,11
									1000	1030	13,1	2,11
					$l = 1473$	$R = 0,251$						
					$D_1 = 947$	$s_1 = 44,5$						
					$\nu = 1,9249$	$\rho = 0,0000250$						
					$E = 12780$							

Le ultime due tabelle mostrano che tanto per le (D) come per le (s) si è molto lontani dalla proporzionalità colle rispettive P. Invece essendo

le a , che servono a denotare i rapporti $\frac{d\nu}{dI}$, presso a poco costanti, risulta

che le (s) stanno sensibilmente come le (D). Volendo accertare sin dove questa legge fosse ammissibile, ho costruito per il filo Ar_2 , che rivela sempre un comportamento più regolare dell'altro, il diagramma delle (s) in funzione di (D), ed ho trovato che i punti relativi ai passaggi da $P=0$ a $P=3600$, e da $P=3600$ a $P=0$, non sono sulla stessa retta, ma sopra due archi a

leggiera curvatura, dei quali quello che si riferisce ai carichi crescenti presenta la concavità all'asse delle deformazioni, e l'altro la convessità.

Resta ora ad esaminare l'influenza dei processi di deformazione sul modo con cui varia la resistenza dei nostri fili. Riassumo perciò nei due annessi quadri le esperienze eseguite coi due campioni, limitandomi a riportare le D e le A avute per i punti estremi dei cicli. Trovansi nelle due tabelle i valori di a che si riferiscono alle differenze fra le successive A e le D corrispondenti, e sono altresì segnati nella prima riga, racchiusi fra parentesi, i valori dello stesso rapporto dedotti dalle variazioni di resistenza e di lunghezza dallo stato iniziale del filo sino a quello da cui si parte in ciascuna delle serie, che al principio delle esperienze manifestano un considerevole allungamento residuo del corpo.

Noterò in ultimo che nelle ricerche compiute col filo Ar_1 , quando per la prima volta venne applicato il carico di 3600 gr., la deformazione riuscì tanto grande che si fu obbligati a diminuire il peso tensore senza fare misure. Col filo Ar_2 per lo stesso carico di 3600 gr. l'aumento di lunghezza risultò sin dalla prima volta assai minore. Potrebbe darsi che il diverso comportamento dei due campioni fosse da attribuire al fatto di non aversi nei due casi le medesime condizioni di struttura interna, ma è giusto avvertire che, mentre col filo Ar_1 si pervenne al peso tensore massimo passando direttamente da $P=3400$ a $P=3600$, col secondo il carico fu accresciuto in ultimo di 100 in 100 gr., per cui non è escluso che la diversa rapidità nell'aumentare il peso abbia influito sul disaccordo.

IV.				Ar_1							
P	D	A	a	P	D	A	a	P	D	A	a
<i>24 Marzo</i>				<i>25 Marzo</i>				<i>31 Marzo</i>			
1000	755	0,2		1000	760	0,2		1000	794	0,1	
0	246	-7,3	2,42	0	250	-7,1	2,37	0	275	-6,9	2,28
2000	1283	7,0	2,27	2400	1501	11,1	2,40	2800	1741	12,4	2,23
0	247	-6,8	2,19	0	266	-6,7	2,38	1000	804	-0,1	2,26
1000	760	0,2	2,24	1000	782	0,2	2,20				
<i>11 Aprile</i>				<i>13 Aprile</i>				<i>14 Aprile</i>			
1000	808	-0,1		1000	838	0,1		1000	3400	27,0	(2,27)
0	290	-6,8	2,28	0	321	-6,7	2,41	0	2864	21,1	2,02
3200	1978	14,3	2,20	3200	1991	14,6	2,33	3600	6547	64,9	2,17
1000	847	0,1	2,21	3600	1000	5141	47,2	2,30
<i>15 Aprile (ant.)</i>				<i>15 Aprile (pom.)</i>				<i>16 Aprile</i>			
1000	5138	46,2	(2,19)	1000	5195	47,7	(2,26)	1000	5199	47,9	(2,34)
0	4565	39,3	2,23	0	4625	40,8	2,27	0	4644	41,4	2,27
3600	6585	64,9	2,35	3500	6541	63,7	2,25	3500	6546	63,8	2,28
1000	5196	47,8	2,28	1000	5197	47,6	2,25	1000	5207	47,9	2,30

A_{r_2}															
P				D				S				a			
P	D	S	a	P	D	S	a	P	D	S	a	P	D	S	a
29 Aprile (ant.)				29 Aprile (pom.)				30 Aprile							
1000	860	-2,8		1000	867	-2,8		1000	1105	0,1					
0	318	-10,0	2,19	0	321	-10,0	2,22	0	556	-7,1	2,18				
2000	1421	4,7	2,20	2800	2194	13,9	2,15	3600	3277	28,0	2,14				
0	319	-10,0	2,20	0	560	-7,8	2,24	0	1043	-1,2	2,17				
1000	862	-2,8	2,20	1000	1105	-0,3	2,31	1000	1586	6,6	2,20				

Dai risultati esposti si ricava che, colle restrizioni fatte nell'esame delle tabelle II e III, tanto per gli effetti temporari che per i residui, sieno da riguardarsi le variazioni di resistenza dell'argentina come proporzionali agli allungamenti. Segue da ciò che, essendo

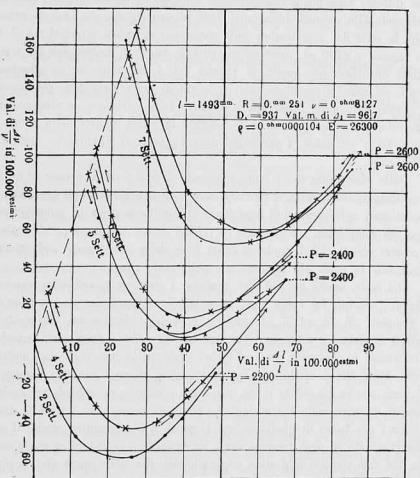
$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} (1 + 2\mu)$$

se è costante il coefficiente di Poisson μ , nelle varie fasi dei cicli compiuti esiste anche proporzionalità fra le variazioni di resistenza specifica e gli aumenti di lunghezza.

Per ciò che riguarda i valori di a ottenuti nelle prime serie di esperienze coi due fili, cioè operando entro limiti di deformazione molto ristretti, farò osservare che essi non si discostano molto da quelli cui pervenne il Tomlinson, e sono fra loro assai concordanti. Questa circostanza e la regolarità che si ebbe nel complesso dei miei risultati, depongono a favore del metodo seguito nelle attuali ricerche.

Le esperienze fatte col nichel crudo rivelarono l'anomalia, osservata dal Tomlinson, di esservi col crescere del carico tensore in principio una diminuzione di resistenza e poi un aumento, con questo di particolare che si trovò per ciascuno dei tre campioni adoperati un minimo di v per $P=1200$, e per quanto riguardava la legge di variazione di v al variare di P un andamento conforme del fenomeno nei tre casi. Se non che i valori D per i primi due fili N_{i_1} , ed N_{i_2} , in ispecie al principio della detrazione, misero in chiaro delle irregolarità nel modo di procedere dei valori di Δl che accusavano un imperfetto funzionamento dei pezzi destinati alla misura delle dilatazioni; per cui fu giuocoforza rinunciare ai risultati ottenuti coi fili anzidetti. L'inconveniente in parola non si verificò col campione N_{i_3} , ed io mi limito pertanto a riferire sulle esperienze eseguite con esso.

Essendo per il nichel messa fuori discussione la costanza del rapporto α , non è qui possibile riassumere i risultati come si è fatto per l'argentana, e d'altro canto ragioni di spazio non mi consentono di esporli per esteso. Credo per ciò utile rappresentarli nell'annesso diagramma, il quale anche nella scala in cui è tracciato dà modo di apprezzare la natura del fenomeno in tutti i suoi particolari e, poichè si riferisce a tutto quanto il processo compiuto, offre al tempo stesso il vantaggio di mostrare a prima vista il comportamento elettrico del filo per riguardo alle deformazioni subite.



Ogni curva porta l'indicazione del giorno di esperienza e del carico massimo raggiunto nella serie. I punti che servirono per il loro tracciamento, sono distinti con un tondino o con una crocetta, a seconda rappresentino stati relativi alla trazione o alla detrazione.

Sin dalla serie del 2 settembre, per la quale si operò entro limiti di deformazione assai ristretti, il fenomeno si presenta complicato, giacchè, oltre il manifestarsi la nota anomalia, le curve di andata e di ritorno non coincidono, discostandosi la seconda dalla prima sempre più a misura che ci si avvicina al carico *zero*, nel senso di indicare un aumento dei valori di r rispetto alle resistenze che si ebbero nel primo passaggio.

Nella serie successiva (4 sett.) colla trazione si passa sensibilmente per i punti della linea che caratterizzava per le esperienze del giorno avanti il passaggio da $P = 2200$ a $P = 0$, ma essendoci ora spinti ad una deformazione estrema assai più grande, abbiamo un nuovo spostamento dell'arco che corrisponde alla seconda detrazione, e più accentuato che nel caso di prima. Segue la serie del 5 settembre nella quale, pur essendoci arrestati per il carico tensore a 2400 gr. come nel giorno 4, la curva di andata che nel tratto iniziale coincideva con quella di ritorno del 4 settembre se ne allontana, sempre nel senso di accusare valori più grandi della resistenza, producendo per questo fatto nella linea rappresentatrice della detrazione un ulteriore sollevamento, senza che però ne fosse alterata la forma rispetto alla curva di ritorno del 4 settembre. I particolari sin qui esposti si riproducono nelle due ultime serie.

Dalla circostanza che i punti terminali di ogni serie si trovano ad un disprezzo lungo la stessa retta, si trae che sono in tal caso gli aumenti di resistenza proporzionali agli aumenti di lunghezza. Il Tomlinson trova in proposito una legge più complicata, ma operando col nichel ricotto; abbiamo quindi ragione di credere che il nichel crudo, a causa forse della sua minore cedevolezza, si comporti in modo più regolare che nello stato ricotto.

Del resto, anche per ciò che concerne i risultati quantitativi esistono differenze notevoli fra i due stati, in quanto dalle esperienze da me fatte coi tre campioni N_1 , N_2 , ed N_3 , i quali come fu detto dettero dal lato elettrico risultati abbastanza concordanti, si può assodare che i decrementi massimi di resistenza in ogni serie sono nel nichel crudo molto minori che nel metallo ricotto, tanto che a cominciare dal 5 settembre, atteso l'aumento residuo di resistenza che ha già subito il filo, non è più possibile, procedendo per carichi crescenti, ottenere, colle diminuzioni che allora ne conseguono, un valore della resistenza più basso di quello da cui si partì il 2 settembre; sicchè il minimo raggiunto in ogni trazione non è da riguardare come tale in modo assoluto, ma solo rispetto allo stato originario del filo nella serie che si considera.