

RICERCHE INTORNO ALLA FLESSIONE DEI FILI METALLICI.

di G. ERCOLINI.

1. Recentemente i Sig. Bouasse e Berthier ¹⁾ hanno trovato che un filo di ferro, che non può subire un allungamento di un millesimo per trazione semplice senza rompersi, allorchè viene sistematicamente assoggettato a flessioni in sensi contrari, coll'avvolgerlo su di un cilindro e svolgerlo, può allungarsi considerevolmente (anche del 24 %) a seconda del diametro del cilindro, del numero delle flessioni e della tensione, chè se questa è piccola non si verifica allungamento permanente sensibile, mentre se è grande vi è simmetria quasi perfetta fra l'avvolgimento e lo svolgimento.

Quest'ultimo fatto è, a mio credere, assai interessante, anche perchè indica un modo molto semplice di produrre un grande accorciamento in un filo metallico, forse impossibile ad ottenersi in altro modo; e perciò ho stimato utile di studiare il fenomeno, sia per vedere se la simmetria delle deformazioni si mantiene nelle flessioni successive continuate fino alla rottura, mentre nelle esperienze riferite ci si limita alle prime; sia per ricercare se essa si verifica sempre, passando gradualmente da piccole a grandi trazioni.

Ho preferito di studiare i fili di rame pei quali non occorrono grandi pesi e quindi le misure, senza esser meno utili, riescono più agevoli ed esatte.

Mi sono per ora limitato all'esame di fili che, provenienti da un'unica matassa, sono tutti ugualmente stirati del 5%, e del diametro di cm. 0,04.

2. Per l'avvolgimento ho adoprato quattro cilindri di ferro, torniti a perfezione, del diametro di cm. 0,5, 1, 2 e 4, ad asse orizzontale e rotati di moto praticamente uniforme; il numero dei loro giri può conoscersi al centesimo.

1) Journ. d. Phys., dicembre 1905.

Ogni filo vien fissato per un estremo ai cilindri con una vite, fa su di essi un giro completo e scende poi verticalmente portando in basso un gancio, per attaccarvi i pesi, e una leggera striscia di legno orizzontale, munita ad ogni estremità di due cilindretti di ottone, che abbracciano due canne metalliche parallele, ben fissate verticalmente, e così impediscono ogni rotazione del filo.

La lunghezza utile di ogni filo è, sotto tensione, sempre esattamente di 1 m. e i suoi allungamenti si leggono, al mezzo millimetro, su di una scala verticale su specchio.

Ho variato gradualmente il peso partendo da 250 g. per giungere anche ai 3000 g., che producono nei fili un allungamento permanente di circa 4 cm., mentre 2500 g. non ne generano che uno di circa cm. 0,3.

Qui raccolgo i risultati finali indicando con Cu il numero d'ordine del filo studiato, con P la trazione, con N il numero di operazioni di flessione e svolgimento che portano i fili alla rottura, con a_N l'allungamento massimo provocato e con D il diametro dei cilindri.

Cu	P	N	a_N	D
1	250 g.	44	287 mm.	cm. 0,5
8	500	30	393	»
15	1000	20	572	»
20	1500	15	674	»
24	2000	13	847	»
29	2500	10	832	»
31	3000	8	817	»
42	500	90	399	cm. 1
43	1000	43	510	»
48	1500	30	603	»
53	2000	25	743	»
56	2500	18	720	»
58	3000	14	695	»
59	1000	125	398	cm. 2
62	2000	52	629	»
64	3000	25	561	»
67	2000	118	464	cm. 4
65	3000	55	560	»

E notevole il grande allungamento che possono subire questi fili mentre la trazione semplice li rompe quando li allunga del 28‰, una successione di flessioni in sensi inversi li allunga anche dell'84,7‰, sotto una trazione che di per se non provoca che una variazione di lunghezza insignificante

Il valore di α_N dipende da P e da D

a) aumenta al crescere di P fino ad un massimo per $P = 2000$ g e poi diminuisce, ma nel quarto cilindro seguita a crescere. L'aumento è più rapido e la diminuzione più piccola, minore è D,

b) decresce rapidamente al crescer di D e di più per carichi maggiori

Il valore di N

c) diminuisce, più presto se D è più grande, quando P cresce,

d) aumenta, più presto se P è più piccolo, quando D cresce

E poichè questi risultati sono stati confermati da altre esperienze eseguite su molti fili, possiamo ritenere che la rottura di un filo per avvolgimenti e svolgimenti successivi ripetuti dipende, più che dall'allungamento da esso subito, dal modo col quale vi si giunge

Anche l'aspetto e le proprietà di un filo assoggettato a flessioni reiterate è diverso a seconda del diametro del cilindro su cui si avvolge. Ho infatti osservato che la rottura avviene quasi sempre durante lo svolgimento e, in generale, in un punto solo, ma col cilindro più sottile i fili, assai prima di rompersi, presentano alla superficie numerose screpolature irregolari molto sensibili e, dopo rotti, sono talmente fragili, che al più cauto tentativo di raddrizzamento, o coll'urto, si spezzano in piccoli frammenti, mentre ciò non avviene usando il cilindro più grosso, nel qual caso essi mostrano sempre un aspetto assai regolare e possono subire considerevoli flessioni

Questi fatti indicano che, rispetto all'allungamento che può subire un filo, più grande è la deformazione che si opera punto per punto, ineno sensibili diventano gli effetti della inevitabile eterogeneità sia strutturale che geometrica. E poichè

più grande è il numero di operazioni necessarie per produrre una data variazione di lunghezza, minore risulta il valor massimo di questa, vuol dire che il rincrudimento provocato da piccole deformazioni è diverso da quello che le grandi generano

3 *Allungamento* — Riporto ora gli allungamenti, in millimetri, nella prima e nella quinta operazione (1^a e 2^a linea) e, per brevità, le differenze fra quelli osservati di 5 in 5 operazioni successive, limitandomi alle prime 70, giacchè l'ultimo valore segnato per i fili Cu₄₂, Cu₅₉ e Cu₆₇ si è mantenuto all'incirca costante nelle successive

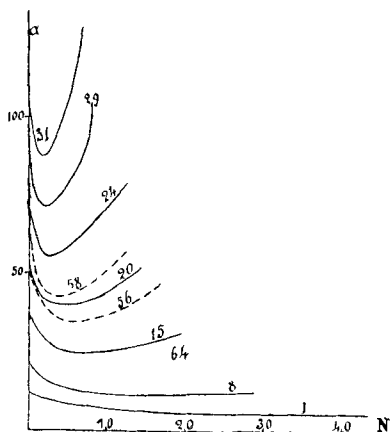
N	1	8	15	20	24	29	31	42	43	48	53	56	58	59	62	64	67	65
1	12	22	37	53	69	89	103	11	20	30	40	203	63	9	21	36	10	22
5	51	86	154	221	218	380	467	42	81	120	160	181	244	38	84	131	42	75
10	39	67	131	210	318	452		30,5	61	96	133	199	232	27,5	63	104	32	53
15	32,5	61	135	243				26,5	57	92	137			23,5	56	103	26	50
20	30,5	60	152					23	55	94	148			20,5	55	106	24	44
25	29	59						24	54,5	97	165			18,5	54	117	21	45
30	29	60						22	»	104				18	55		21	»
35	27							21	»					16	»		18	44
40	27							20	57,5					16	58		»	48
45								20						15	60		17	49
50								20						14	62		17	52
55								19						14,5			17	55
60								19						»			17	
65								19						14			16	
70								19						13			17	

Da qui si deduce principalmente che

α) gli allungamenti nella 1^a e 5^a operazione sono sempre, con buona approssimazione, proporzionali ai pesi, ma la influenza di P è maggiore più piccolo è D,

β) al crescere di N gli allungamenti effettivi a_n , nelle successive operazioni diminuiscono sempre nelle piccole trazioni, diminuiscono e poi crescono nelle medie e grandi, e più presto minore è D e maggiore è P

Se nel piano N-allungamento si rappresentano questi risultati, si ottengono le curve della figura, in cui, a segno continuo, son riportate quelle dovute al cilindro più sottile, quelle a tratti sono dei fili Cu₅₆ e Cu₅₈, l'altra a punti del Cu₆₆.



Il loro ramo ascendente si innalza tanto più e più rapidamente, accostandosi al discendente, maggiore è P, minore è D

Se, riferendosi alla prima deformazione, si calcolano le differenze fra l'allungamento in essa verificatosi e quello prodotto nelle successive, i loro valori, moltiplicati per 10^3 , sono

N	1	8	15	20	24	29	31	42	43	48	53	56	58	59	62	64	67	65
5	4,4	9,1	15,4	19,5	24,2	31,7	31,4	4,3	8,0	12,2	16,7	20,9	25,6	3,2	9,0	17,4	2,3	10,8
10	6,5	10,7	16,0	20,2	21,4			5,9	9,5	14,4	19,1	23,3	27,8	4,8	10,5	19,8	5,3	13,1
15	6,3	12,1	16,6					6,9	10,8	15,5	20,4	21,6		5,3	11,9	21,1	5,5	14,4
20	6,9	13,4						6,5	11,2	16,4	20,4			5,8	12,3	20,4	5,5	14,6
25	6,9	13,0						7,1	12,0	16,7				5,5	12,6		6,5	14,9
30	7,1							7,6	12,0					6,9	13,0		6,6	15,1
35	8,0							8,1	11,9					6,0	13,3		6,6	15,4
40	7,3							7,7	12,2					6,5	12,9		6,7	15,5
45								7,7						6,5	12,6		6,7	15,1
55								7,8						6,5			6,8	
65								7,9						7,0			6,9	
85								8,5						7,1			7,0	
90														6,7			7,8	
120														7,2				

Nonostante che i fili vadano assottigliandosi, i loro allungamenti unitari diminuiscono, sempre più lentamente, al crescere di N ; come pure decrescono coll' aumentare di P , ma ciò di più minore è D .

Possiamo in breve concludere che maggiore è l' aumento di lunghezza subito in principio, più grande è la sua diminuzione nelle operazioni successive; perciò la prima produce sempre un allungamento unitario maggiore.

La rapida diminuzione di allungamento che si verifica al crescere del diametro dei cilindri di flessione, anche in questi fili di rame molto cedevoli, spiega i risultati ottenuti coi fili di *invar*, che vengono usati con grande utilità nella misura celere delle basi geodetiche ¹⁾: avvolti un gran numero di volte sopra cilindri di 50 cm. di diametro, e poi distesi, essi presentano un allungamento trascurabile.

4. *Accorciamento* — Calcolando la lunghezza l_1 della fibra interna dei fili, in contatto coi cilindri, si trova sempre un valore assai inferiore a quello L che essa aveva prima dell'avvolgimento, come mostra la seguente tabella in cui sono segnate le differenze $L - l_1$, in millimetri, nelle operazioni successive:

1) C E Guillaume — La mesure rapide des bases géodésiques Journ d Phys —
 Avril 1906

Un fatto che subito si osserva è il notevole accorciamento che si verifica, specialmente nei cilindri più sottili, e che molte volte supera d'assai l'allungamento prodotto dallo svolgimento

Mentre di solito in una piccola flessione si distingue la *fibra neutra* (cilindro elementare), che non subisce variazione di lunghezza, dalle interna ed esterna che le presentano maggiori e di segno contrario, nelle flessioni qui prodotte quasi sempre tutte le fibre sono considerevolmente contratte. Infatti, se, per esempio, pel filo Cu_1 , nell'ipotesi che conservi la sezione circolare, si calcola la lunghezza l_e della esterna si trova nel primo avvolgimento, $l_e - l_i = 68 \text{ mm}$ e $L - l_e = 81,3 \text{ mm}$ ¹⁾, e pel Cu_{31} , assoggettato al carico massimo, l_e supera l_i di 29 mm ed è 31,6 mm più corta di L , mentre nel Cu_{67} ($D=4 \text{ cm}$) $l_e - L = 9 \text{ mm}$

La deformazione si accosta dunque al tipo di quella provocata da piccola flessione al crescer del diametro del cilindro di avvolgimento

Ma in realtà nel piegarsi i fili diventano leggermente elittici, e siccome la misura del loro schiacciamento sarebbe riuscita difficile e non molto esatta, limiterò le considerazioni dell'accorciamento della sola fibra interna

Dai risultati riferiti si deduce che

α) l'accorciamento nella prima flessione diminuisce al crescer di D , e, in ogni cilindro, al crescer di P , che esercita un'influenza maggiore più piccolo è D ,

β) gli accorciamenti effettivi aumentano, e sempre più lentamente, al crescer di N

Le differenze, moltiplicate per 10^3 , fra la variazione nella prima operazione e quella nelle successive sono

1) Una variazione di temperatura dal punto di fusione del rame allo zero assoluto produrrebbe un accorciamento più di tre volte inferiore a questo

Tale grande accorciamento per flessione può rendersi molto palese con delle spirali cilindriche piegandone una in filo di ferro grosso un millimetro, a spire larghe 26 mm, intorno ad un cilindro tanto sottile in modo che le spire sieno internamente in contatto, esse all'esterno distano fra loro di soli 8 mm, mentre in posizione di riposo stanno a 5 mm l'una dall'altra

N	1	8	15	20	24	29	31	42	43	48	53	56	58	59	62	64	67	65
5	0,6	0,5	-5,2	-7,5	-8,5	-13,3	-16,0	-2,9	-3,3	-5,5	-7,4	-5,1	-15,5	-5,0	-3,9	-13,4	0,1	-0,8
10	1,0	2,6	-1,3	-1,6	-2,3	-3,9		-2,4	-1,2	-4,5	-5,1	-6,7	-12,2	-3,0	-4,2	-12,5	1,2	-0,9
15	2,3	4,4	3,2	2,9				-3,0	-0,6	-3,8	-5,6	-3,7		-3,3	-3,1	-13,4	2,0	-1,2
20	2,9	6,0	5,9					-0,6	0,4	-3,2	-4,2			-2,1	-1,9	-12,0	3,4	-1,9
25	4,0	8,1						-0,6	0,5	-2,4	-1,3			-1,0	-2,0	-11,4	3,9	-3,3
30	3,4	10,0						-0,9	1,5	-1,8				-2,3	-3,8		3,4	-3,6
35	5,2							-0,8	1,6					-1,9	-3,7		2,3	-0,1
40	6,2							-0,7	1,7					-1,5	-4,2		3,0	-0,2
45								-0,5						-1,4	-4,3		3,8	-0,2
50								-0,5						-1,0	-2,4		3,5	-0,3
75								-0,7						-2,6			5,1	
115														-0,5			7,6	

L' accorciamento unitario dL_n presenta un andamento un po' complicato, ch   pu   esser maggiore o minore del primo dL_1 e diverso a seconda di P, D ed N, ma si vede che nei casi in cui dL_1    molto grande (Cu_4 e Cu_8) o molto piccolo (Cu_{67}) $dL_n < dL_1$ e va diminuendo al crescere di N, mentre negli altri dL_n prima aumenta e poi diminuisce al crescere di N.

A differenza dunque di quel che avviene per l' allungamento, i primi avvolgimenti successivi, in generale, conferiscono ad un filo la propriet   di potersi accorciare maggiormente.

5 Confrontando le variazioni di lunghezza osservate nelle flessioni in senso inverso, si riscontra subito che solo nel Cu_{31} si verifica la simmetria quasi perfetta fra l' avvolgimento ($dL_1 = 102,96$) e lo svolgimento ($a_1 = 103$).

Negli altri casi, se si toglie il Cu_1 in cui avviene per $N = 23$ ($dL_{23} = 171,6$, $a_{23} = 171,5$), essa non si verifica mai esattamente ma, o si trovano due operazioni successive i , $i+1$ nella prima delle quali $dL_i > a_i$ e nell' altra $a_i > dL_{i+1}$ oppure $dL_n < a_n$ costantemente, come indica il seguente speoohietto

Cu	N	dL_n	a_n	Cu	N	dL_n	a_n
8	11	168,4	166,0	42	13	91,1	88,5
	12	169,6	178,0		14	91,6	94,0
15	5	162,7	154,0	43	5	86,5	81,0
	6	164,1	179,0		6	87,1	94,0
20	3	153,0	138,0	48	3	80,4	78,0
	4	158,9	180,0		4	82,0	100,0
24	2	145,6	129,0	53	1	65,3	40,0
	3	152,1	185,0		2	72,3	73,0
29	1	112,4	89,0	56	1	62,1	50,0
	2	133,8	162,0		2	66,6	92,0
59	7	51,6	50,0	67	1	17,2	10,0
	8	51,7	55,0		2	18,8	20,0
62	2	43,8	38,0				
	3	44,9	55,0				

Pei Cu_{88} , Cu_{61} e Cu_{65} non segnati    sempre $dL_n < a_n$.

Il numero di operazioni intorno alle quali la simmetria è più vicina è più piccolo maggiore è P , e, in generale, minore è D ; mentre quasi sempre è meno approssimata nei valori più piccoli di P .

Ad ogni modo, nei casi in cui l' accorciamento prodotto dalla flessione è troppo piccolo, la simmetria non si verifica mai, ed anche quando si riscontra perfetta, non si conserva nelle operazioni successive.

Possiamo dunque dire che in generale esistono due operazioni successive, di ordine variabile con P e D , nelle quali a_n e $d L_n$ differiscono il meno possibile.

6. Allo scopo di studiare separatamente le deformazioni generate dalle due flessioni in sensi inversi, ho esaminato i casi $P_a < P_s$ e $P_s < P_a$, ove P_a e P_s indicano rispettivamente i pesi nell'avvolgimento e nello svolgimento.

Poichè sarebbe troppo lungo riportare tutte le esperienze eseguite, riferirò i risultati generali, e, cominciando dal primo caso, trascrivo qui alcune misure; nella colonna 1 segno l'allungamento nella prima operazione, nelle altre le differenze, moltiplicate per 10^3 , fra la variazione per mille in essa trovata e quella nelle successive, di cinque in cinque, solo fino a 50.

Cu	P _a	P _s	D	N	α	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
2	250 g.	500 g	cm. 0,5	40	380 mm.	17	5,8	8,1	9,3	9,6	10,7	10,8	10,3			
3	»	1000	»	26	428	25	9,6	11,9	12,3	13,1	16,5					
5	»	2000	»	18	592	42	16,4	18,6	17,8							
7	»	3000	»	12	634	66	28,7	29,8								
10	500	1000	»	24	489	27	9,1	11,3	12,5	12,8						
12	»	2000	»	17	618	44	16,5	18,2	18,0							
14	»	3000	»	12	682	69	28,2	27,2								
17	1000	2000	»	14	618	53	20,2	20,1								
19	»	3000	»	11	714	75	28,5	29,9								
26	2000	3000	»	10	838	91	32,8									
39	500	2000	cm. 1,0	36	595	26	10,6	12,5	14,1	10,9	15,0	14,6	15,3			
33	»	3000	»	23	661	41	18,5	20,7	20,5	21,2						
45	1000	2000	»	30	620	31	13,2	15,1	15,7	17,1	17,1					
47	»	3000	»	21	705	48	23,3	25,3	25,2	23,4						
55	2000	3000	»	18	738	55	25,2	27,0	26,8							
60	1000	2000	cm. 2,0	69	563	16	5,6	7,9	9,1	9,7	9,9	10,1	10,3	10,8	10,2	11,0
61	»	3000	»	41	660	34	19,6	23,0	23,7	22,7	24,0	22,8	23,1	22,5		
63	2000	3000	»	32	607	35	19,0	20,9	21,4	22,7	23,3	22,3	21,8	20,3	21,2	22,1
66	2000	3000	cm. 4,0	60	510	27	17,7	19,9	20,1	20,3	21,4	21,5	21,8	20,3	21,2	22,1

Se con N_a e N_s indichiamo i valori di N trovati nel caso generale $P_a = P_s$ corrispondenti ai pesi P_a e P_s , e con N_{as} quello ora osservato, risulta sempre: $N_a > N_{as} > N_s$; ma le differenze $N_a - N_{as}$ crescono con P_s e D , le $N_{as} - N_s$ invece diminuiscono al crescere dei pesi e al diminuire di D e sono, in generale, minori delle prime.

In conseguenza l'allungamento massimo α_N risulta diverso da quello osservato in $P_a = P_s$; si mantiene ad esso inferiore tanto più, minore è P_s e tanto meno, maggiore è P_a , chè se questo è grande (3000 g.) α_N risulta ora maggiore; tutto ciò meglio nei cilindri più grossi, mentre nel primo (cm. 0,5) le differenze sono più elevate.

Se con A_a e A_s indichiamo i valori effettivi dell'allungamento trovati in $P_a = P_s$ corrispondenti ai pesi P_a e P_s , e con A_{as} quello ora osservato, è risultato in ogni operazione: $A_a < A_{as} < A_s$ e le differenze $A_{as} - A_a$, come le $A_s - A_{as}$, crescono con P_s e con N , come pure con P_a , ma fino ad un massimo per $P_a = 2000$ g., per poi decrescere. Le prime sono all'incirca uguali alle seconde nella prima operazione quando $P_s - P_a$ è minima, minori o maggiori se $P_s <$ oppure $> 2P_a$, ma nelle successive si fanno sempre più diverse fra loro.

Le differenze ($\times 10^3$) fra gli accorciamenti per mille nella prima e nelle altre operazioni sono:

N	2	3	5	7	10	12	14	17	19	26	38	45	47	55	60	61	63	66
5	0,2	0,1	1,3	-5,3	1,1	1,7	2,3	1,2	3,1	-7,2	0,5	-3,2	-6,6	-5,5	-3,5	-1,5	-5,7	-5,2
10	0,8	2,1	4,7	8,7	3,2	5,2	7,4	4,8	9,2	-0,1	0,9	-1,0	-5,4	-4,2	-4,2	-1,9	-5,6	-4,8
15	3,5	3,3	9,2		5,7	8,3		8,3			1,7	0,3	-3,6	-3,6	-5,7	-2,3	-5,8	-4,3
20	5,1	5,9			8,3						2,1	1,2	-2,0		-5,2	-2,3	-5,3	-3,9
25	5,9	8,4			9,2							2,0			-4,3	-2,8	-5,0	-2,9
30	6,2											2,7			-4,2	-3,1	-4,4	-2,0
35	7,3														-3,9	-2,5		-1,9
40	9,4														-3,7	-2,4		-1,8
50															-4,3			-1,0

In generale esse sono maggiori di quelle osservate in $P_a = P_s$ e crescono con P_s e con N .

L'insieme di questi fatti rivela che al crescere della trazione :

diminuisce il numero di operazioni che portano alla rottura dei fili, e più rapidamente, maggiore è il diametro D e minore il peso iniziale P_a ;

aumenta l'allungamento provocato dal primo svolgimento, di meno però più grande è D , e la sua diminuzione nelle operazioni successive ;

diminuisce l'accorciamento unitario prodotto dall'avvolgimento ¹⁾.

7. I principali risultati ottenuti nel caso $P_a > P_s$ sono raccolti nella seguente tabella, ove nella colonna b sono indicati gli allungamenti totali, in millimetri, subiti dai fili per l'aggiunta dei pesi P_a prima di ogni avvolgimento, e nelle seguenti le differenze ($\times 10^3$) fra le diminuzioni di lunghezza per mille nella prima e nelle successive operazioni :

1) Tutte queste variazioni riescono quantitativamente assai complicate, perchè dipendono da N , P e D . Lo stesso succede in $P_a > P_s$.

Cu	P _a	P _s	D	N	a	b	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
79	500 g.	250 g.	cm. 0,5	29	316 mm.	8,5	1,7	2,3	3,5	5,2	7,7					
70	1000	»	»	21	388	10	-0,1	2,1	3,9	5,8						
81	2000	»	»	14	494	38	-4,9	-1,8								
82	3000	»	»	8	479	41	-8,0									
83	1000	500	»	20	454	10	0,6	2,5	10,7	15,0						
84	2000	»	»	13	502	33	-5,9	-2,4								
85	3000	»	»	10	568	45	-9,5									
89	2000	1000	»	13	639	20	-4,2	-0,8								
87	3000	»	»	9	578	38	-6,2									
88	3000	2000	»	9	572	19	-7,3									
78	1000	500	cm. 1,0	50	391,5	31	-0,2	-0,8	-1,4	-2,2	-2,5	-1,3	-0,5	1,7	2,9	4,8
75	2 00	»	»	30	494	63	-4,7	-4,5	-4,1	-2,3	-1,5					
76	3000	»	»	18	464	80	-5,2	-6,2	-7,7							
73	2000	1000	»	28	588	42	-1,2	-1,5	-1,7	-1,8	-1,7					
74	3000	»	»	16	474	55	-8,0	-7,2	-6,6							
77	3000	2000	»	16	633	32	-10,7	-8,9	-5,8							
72	2000	1000	cm. 2,0	63	453,5	104,5	-1,9	-1,0	-0,5	-1,8	-2,9	-2,0	-1,7	-2,1	-3,3	-2,3
71	3000	»	»	36	444	136	-5,8	-4,6	-4,2	-3,1	-2,2	-3,0	-5,4			
69	3000	2000	»	31	539	63	-7,3	-7,8	-8,4	-7,5	-6,1	-6,0				
68	3000	2000	cm. 4,0	62	438	114	-2,7	-2,0	-1,6	-2,6	-3,6	-3,8	-4,5	-3,2	-1,3	-1,7

In generale risulta ora $N_a < N_{as} < N_s$; ma le differenze $N_{as} - N_a$ crescono con D e al diminuire di P_a , e nel cilindro più sottile sono o nulle o molto piccole; le $N_s - N_{as}$ sono maggiori delle precedenti e crescono al crescere di P_a e D .

Gli allungamenti massimi a_N sono però sempre inferiori a quelli ottenuti nel caso generale $P_a = P_s$, e, in ogni cilindro, tanto più, maggiori sono P_a e P_s .

Se con S_a e S_s indichiamo i valori dell'accorciamento effettivo trovati in $P_a = P_s$ corrispondenti ai pesi P_a e P_s , e con S_{as} quelli ora osservati, risulta che S_{as} è sempre compreso fra S_a e S_s , ma mentre nelle prime operazioni $S_a > S_{as} < S_s$, al crescere di N si trova $S_a > S_{as} > S_s$, e ciò avviene per valori di N tanto più grandi, minore è $P_a - P_s$ e maggiore è D .

Le differenze ($\times 10^3$) fra gli allungamenti per mille nella prima e nelle successive operazioni sono:

N	79	80	81	82	83	84	85	89	87	88	78	75	76	73	74	77	72	71	69	68
1	16	25	44	63	31	48	67	54	74	86	15	25	35	27	40	49	15	23	28	21
5	5,1	9,2	17,2	24,2	12,9	19,1	25,3	19,9	26,4	27,1	5,1	10,5	14,3	8,3	17,0	19,9	5,6	12,1	13,2	12,6
10	5,8	10,2	21,3		13,4	24,3		24,7			6,9	12,1	15,2	10,1	18,2	20,2	7,6	13,4	15,0	13,7
15	6,1	11,4			14,3						8,5	13,4	17,1	11,9	19,3	20,6	8,1	14,2	16,4	15,8
20	7,3	12,5			15,7						8,7	13,2		12,0			9,3	14,7	16,6	16,1
25	8,7										8,9	13,4		13,5			10,2	15,1	15,1	16,3
30											9,0						10,3	14,9	16,0	15,9
35											9,2						10,4	14,1		16,1
40											9,9						10,3			16,0
45											10,7						10,7			16,0
60											11,8						11,2			16,2

Esse sono tutte maggiori di quelle osservate in $P_a = P_s$ e crescono con N , P_a e P_s , ma diminuiscono quando D aumenta.

Dunque nel caso $P_a > P_s$ al crescere della trazione:

diminuisce il numero di operazioni che portano alla rottura dei fili e più rapidamente, maggiore è D e minore è il peso costante P_s ;

aumenta l'accorciamento unitario prodotto dalla flessione nelle prime operazioni, di meno però più grande è D ;

aumenta l'allungamento unitario prodotto dal primo svolgimento e la sua diminuzione nelle operazioni successive.

8. Dal confronto fra i risultati ottenuti nei due casi $P_a > P_s$, tenuto conto delle inevitabili diversità che presentano fili differenti, emerge principalmente ¹⁾ che:

1) Nel primo caso la differenza $N_a - N_{as}$ risulta maggiore di $N_{as} - N_a$ nell'altro, in cui i valori di N ed α_N sono sempre più piccoli. Ciò indica che è la deformazione generata dall'avvolgimento che, più dell'altra, concorre a produrre la rottura dei fili.

2) Nel secondo le diminuzioni di allungamento e di accorciamento unitari al crescere di N sono maggiori che nell'altro, ove anzi, si riscontra che l'accorciamento cresce nelle prime operazioni successive e diminuisce poi nelle seguenti.

Tutto ciò rivela che la diminuzione di allungamento col variare di N osservata nel caso generale $P_a = P_s$ è principalmente dovuta all'azione del peso nel distendimento; e la variazione di accorciamento nella flessione, all'effetto del peso nell'avvolgimento.

9. È da osservare però che il modo con cui la trazione comincia ad agire in $P_a < P_s$ è assai diverso che in $P_a > P_s$, poichè qui l'aggiunta del peso traente, avvenendo quando il

1) Altri confronti fra i valori ottenuti nei due casi portano a relazioni assai complicate, perchè dipendono da N , P e D . Così, p. es., se dalle variazioni di allungamento unitario osservate, si tolgono quelle che provocherebbe il peso costante se agisse sempre da solo, le differenze che si hanno quando $P_a < P_s$ sono, in generale, maggiori delle corrispondenti in $P_s < P_a$; avviene il contrario per la variazione di accorciamento. La diversità fra tali differenze, e la somma di queste, variano con N , P e D . Tutto ciò indica che quantitativamente la trazione produce nell'avvolgimento effetti diversi che nello svolgimento.

filo in istudio è rettilineo, vi provoca un allungamento il cui valore totale, alla fine di tutte le operazioni, può esser considerevole (colonna *b* della penultima tavola); mentre poi il suo valore unitario decresce coll'aumentare di *N*. Questo fatto e l'altro che le deformazioni relative prodotte dalle ultime operazioni sono più piccole delle prime, mostrano che, col ripetersi delle deformazioni, i fili si incrudiscono sempre di più.

10. Possiamo dunque concludere che nei fili di rame che ho studiato :

1° Il primo avvolgimento sopra un cilindro produce un accorciamento rilevante, maggiore più piccolo è il diametro del cilindro e minore è la trazione a cui è assoggettato il filo; esso però nelle prime successive flessioni cresce sempre, tanto più quanto maggiore è il peso traente, e principalmente per l'azione di questo nell'avvolgimento, mentre nelle ultime diminuisce.

Dopo la prima operazione quindi i fili acquistano la proprietà di accorciarsi maggiormente; il che può spiegarsi pensando che la tensione deve, nella flessione, impedire l'allungamento della fibra esterna, e favorire invece l'accorciamento dell'interna¹⁾; ma potrebbe anche ritenersi che ciò sia dovuto almeno in parte, alle screpolature e fenditure prodotte dalle deformazioni subite, poichè nella prima flessione il peso non ha tale effetto.

Il carattere essenziale di queste deformazioni è la completa temporaneità. Un accorciamento del 10,3% (nel Cu₈₃), nello svolgimento sotto debole tensione scompare del tutto, verificandosi anzi un permanente aumento di lunghezza del 6,3%; e dopo una contrazione del 14,9% (Cu₇₉) si trova un allungamento del 1,6%²⁾.

1) Ciò riesce manifesto nell'avvolgimento d'una spirale cilindrica. Quella che ho già ricordata, avvolta sotto la tensione di 400 g., presenta un accorciamento triplo che sotto tensione nulla.

Queste grandi diminuzioni di lunghezza dovute alla flessione devono produrre delle variazioni di densità apprezzabili, che potranno rendersi manifeste colla misura della resistenza elettrica; ciò che spero di fare.

2) Sotto questo punto di vista le deformazioni per grande flessione rassomigliano a quelle prodotte dal calore; ma queste, anche, per grandissime variazioni di temperatura, possono risultare di un ordine di grandezza assai inferiore alle altre.

2° Il primo svolgimento genera un allungamento permanente tanto maggiore, più grande è la trazione e minore è il diametro del cilindro su cui è piegato il filo; ma le operazioni successive diminuiscono sempre l'allungamento unitario, e quest'effetto è principalmente dovuto all'azione del peso nello svolgimento.

Le trasformazioni della materia generate dalle flessioni in un senso sono quindi diverse da quelle prodotte dalle altre.

3° In generale non si ha perfetta simmetria fra le due specie di deformazioni, ma si trovano una flessione e un distendimento successivo in cui essa è più prossima, e il loro ordine è più piccolo, maggiori sono la trazione e il diametro del cilindro di flessione. Però se la diminuzione di lunghezza prodotta dall'avvolgimento è troppo piccola, la simmetria non si verifica mai.

4° La rottura di un filo per flessioni contrarie ripetute, più che dall'allungamento da esso subito, dipende essenzialmente dal modo col quale vi si giunge, cioè dal numero di operazioni, che è più piccolo maggiore è la variazione prodotta in ognuna di esse, dalla tensione, e dal diametro del cilindro di flessione, chè maggiore è il suo valore più grande è il numero di avvolgimenti che portano alla rottura ²⁾).

Questa è più specialmente dovuta alle deformazioni generate dall'avvolgimento, le quali, quindi, più delle altre, modificano le proprietà elastiche dei fili.

Tutto ciò mostra che anche la *tenacità relativa* dipende dal *modo* con cui si opera la rottura.

R. Liceo Garibaldi.

Napoli, maggio 1906.

2) Infatti per es. pel Cu_{16} in cui $a_1 = 37$ mm. è $N = 20$ e pel Cu_{30} , ove $a_1 = 40$, è $N = 25$.