CURVE DI TRAZIONE DEI FILI METALLICI SOTTILI.**G. ERCOLINI.**

1. Nella mia precedente ricerca ¹⁾ delle relazioni che esistono fra la torsione e la trazione di un filo sottile nel caso in cui le forze agenti vengono imposte con legge sinusoidale nel tempo, per trovare l'influenza di uno spostamento di fase fra i due movimenti che producono le deformazioni, poichè era conveniente partire sempre da una torsione nulla, si cominciò quindi la trazione da valori sempre più diversi dal minimo quanto maggiore diveniva lo sfasamento. Ma per conoscere come e quanto veramente la torsione alteri la trazione d'un filo, è necessario confrontare la curva ottenuta colla doppia deformazione con quella dovuta alla trazione sola, purchè però questa si ripeta, non solo con la stessa legge, ma si cominci anche nella stessa fase; poichè, data la grande complessità dei fenomeni elastici, è da pensarsi che il modo con cui si comincia a stirare un filo, influisca, non solo sulla posizione della sua curva di trazione nel piano ove si rappresenta, ma anche sulla forma di questa.

Era quindi necessario esaminare l'influenza del carico da cui si parte per poter trarre conclusioni esatte dalle ricerche precedenti e da altre, in corso di studio, che le completano; e a tale scopo ho eseguito una lunga serie di esperienze variando, da O a P come da P a O, il carico p dal quale si principia la trazione per giungere, sempre con legge sinusoidale nel tempo, ad un altro finale P; ed ho esaminato anche l'influenza di un carico fisso π : in entrambi i casi ho prodotto sia trazioni sufficientemente piccole per non provocare deformazioni permanenti rilevanti, sia trazioni che le producessero di grande ampiezza.

1) Nuovo Cimento, Gennaio-Febbraio, 1906.

2. Gli apparecchi che ho adoprati sono, in sostanza, uguali a quelli usati nel mio precedente studio. Dirò solo che per fare agire sul filo in esperienza il carico iniziale p , o quello fisso π , e insieme p e π , sempre nello stesso modo, la vite, che rende libera la leva producente le trazioni, ha per testa una carrucola entro la cui gola si avvolge un cordoncino che viene mosso uniformemente da un movimento di orologeria a molla, sempre caricato al massimo.

Il periodo della trazione sinusoidale è costantemente di 800^s circa.

Ogni esperienza è fatta su di un filo di rame nuovo; ne ho esaminati oltre 130, tolti dalla stessa matassa che fornì gli altri già studiati; e, dopo averli allungati del 1,7 %, quanto basta cioè per renderli esattamente diritti, ognuno, lungo 1 m. e del diametro di cm. 0,044, vien collocato nell'apparecchio deformante con le precauzioni che descrissi precedentemente.

La temperatura non ha mai variato apprezzabilmente durante una esperienza, e nel corso di tutte ha oscillato da 10°,8 C. a 15° C.

Il carico iniziale che tende un filo è stato in ogni caso di 100 g.; da questo comincerò sempre a contare p , P e π .

3. Ho da prima prodotto trazioni di 200, 400, 600 e 1200 g. e in ciascun caso, variando la posizione dell'eccentrico che produce il moto sinusoidale, ho esaminato la trazione in sei fasi differenti a cui corrispondono i carichi iniziali $0, \frac{P}{4}, \frac{3P}{4}$,

$P, \frac{3P}{4}, \frac{P}{4}$: nelle prime tre si studiano quindi le variazioni di lunghezza con pesi in principio crescenti da p a P , nelle altre con pesi che scemano da $P-p$ a 0 , e le ho sempre seguite per tre periodi completi successivi, cominciandole appena l'azione di p , o $P-p$, o π poteva ritenersi praticamente terminata.

Osservo subito che numerose esperienze preliminari mi hanno mostrato che, almeno pel materiale studiato, fili uguali, assoggettati in condizioni identiche alla stessa trazione, applicata e variante con la medesima legge, non danno curve coincidenti e le differenze, certamente dovute alla loro inevitabile diversità dal punto di vista elastico, in ogni caso risultano

maggiori più piccola è la trazione. Perciò mi limiterò a trarre dalle esperienze conclusioni semplicemente qualitative.

Poichè sarebbe troppo lungo riferire tutte le misure fatte, riassumo i risultati in tabelle che, per lo meno, serviranno a mostrare l'andamento generale delle variazioni di lunghezza dei fili nelle diverse fasi.

Queste, nella seguente, sono indicate rispettivamente coi numeri da 1 a 6 (Φ), mentre Cu rappresenta il numero d'ordine del filo studiato, a , il valore del primo massimo di deformazione, a_2 quello del 1° minimo e b_1 , b_2 la differenza fra il 1° e il 2°, il 2° e il 3° massimo; c_1 , c_2 quella fra il 1° e il 2°, il 2° e il 3° minimo; d_1 , d_2 , d_3 la differenza fra il 1° massimo e il 1° minimo successivo, fra i due secondi e fra i due terzi. Tutto è espresso in decimi di divisione della scala, ciascuno dei quali vale 0,08 micron.

Cu	a_1	a_2	b_1	b_2	c_1	c_2	d_1	d_2	d_3	P	ϕ
7	1545	160	20	—	—	8	1385	1327	—	200 g.	1
10	1162	— 370	42	— 3	— 12	—	1532	1502	—		2
11	404	— 1312	14	— 10	— 19	—	1716	1683	—		3
12	— 70	— 1587	— 5	— 5	— 11	—	1510	1506	—		4
13	265	— 1378	— 10	— 0	— 2	—	1635	1630	—		5
14	1290	— 743	— 25	— 25	— 241	47	1792	1770	1770		6
17	3042	220	10	— 3	— 13	—	2822	2799	—	400 g.	1
20	2131	— 940	51	— 10	— 25	—	3071	2995	—		2
21	775	— 2410	— 3	— 22	— 55	—	3185	3133	—		3
22	5	— 3085	— 19	— 11	— 32	12	3045	3035	—		4
23	593	— 2305	— 0	— 2	— 42	0	2898	2856	—		5
25	2182	— 1040	27	— 15	— 195	5	3027	3000	—		6
28	4735	575	— 8	— 32	— 20	—	4160	4148	—	600 g.	1
29	3195	— 1045	— 0	— 30	— 25	—	4240	4215	—		2
30	1170	— 3245	— 30	— 10	— 65	—	4415	4320	—		3
32	5	— 3985	— 30	— 5	— 60	15	3920	3935	—		4
33	935	— 3285	— 23	— 87	— 55	40	4165	4143	—		5
34	3400	— 1378	— 19	— 26	— 631	62	4147	3945	—		6
41	9460	1480	— 105	— 85	— 190	— 100	7980	7895	7880	1200 g.	1
42	7350	— 895	— 110	— 50	— 150	85	8245	8205	7990		2
43	2640	— 5550	— 50	— 40	— 160	80	8190	8080	8040		3
44	210	— 7780	— 30	— 30	— 130	70	7860	7820	—		4
45	2320	— 6390	— 70	— 30	— 500	120	8210	8160	—		5
46	7020	— 2325	— 90	— 40	— 1365	140	7980	7930	—		6

Nella seconda tabella, allo scopo di far conoscere la posizione relativa delle diverse curve, riporto le differenze $e_1, \dots, e_5, f_1, \dots, f_5$ fra la prima e le altre, rispettivamente ai massimi e ai minimi di trazione.

	1.° Ciclo				2.° Ciclo				3.° Ciclo			
	200	400	600	1200	200	400	600	1200	200	400	600	1200
e_1	783	511	1540	2310	805	552	1548	2305	813	545	1610	2340
e_2	1541	2267	3565	6820	1535	2254	3603	6875	1530	2235	3625	6920
e_3	1945	3042	4735	9460	1995	3027	4748	9355	2005	3011	4750	9410
e_4	—	—	—	—	1660	2439	3808	7245	1675	2442	3817	7260
e_5	—	—	—	—	535	850	1343	2545	515	880	1356	2540
f_1	540	1060	1620	2375	560	1048	1615	2415	—	—	—	2430
f_2	1582	2530	3820	7030	1571	2488	3775	7060	—	—	—	7080
f_3	1740	3305	4560	9260	1759	3286	4520	9320	—	—	—	9350
f_4	1548	2425	3860	7870	1558	2396	3825	7560	—	—	—	7540
f_5	913	1160	1953	3805	680	978	1342	2630	—	—	—	2590

Nella fig. 1 tracciate, con tratto continuo, sono rappresentate le curve di $P=1200$ g. nei primi due periodi completi,

Fig. 1.

contando il tempo sull'ascissa 0, 1, 2 e l'allungamento sull'ordinata.

I risultati ottenuti mostrano che:

a) I valori dei massimi non sono proporzionali alla trazione, i minimi crescono sempre più rapidamente di essa, e le differenze fra i primi ed i secondi decrescono nei cicli successivi, ma aumentano meno di P . Col ripetersi della deformazione le curve vanno innalzandosi, come si vede più nettamente nella trazione maggiore, in cui la quarta (fig. 1) taglia l'ascissa.

Esse sono comprese fra la 1^a più alta rispetto a questa e la 4^a più bassa; la 2^a e la 3^a sono più distanti, giacchè la 6^a e la 5^a vanno ad esse rispettivamente accostandosi, per seguirle poi da vicino dopo il 2^o ciclo, in cui si mantengono quasi tutte assai parallele, meglio nella trazione maggiore; però la 4^a sale meno rapidamente delle altre.

b) Le coppie di curve corrispondenti a trazioni in opposizione di fase, se ricondotte due a due ad un'origine comune, non risultano simmetriche rispetto all'ascissa; infatti nelle prime tre trazioni, in generale, i massimi della 1^a, 2^a e

3^a sono rispettivamente minori dei minimi della 4^a, 5^a e 6^a, i massimi di queste maggiori dei minimi delle altre; cioè, la variazione p , P produce cambiamenti di lunghezza, minori della $P-p$, 0. Ora, le differenze fra i minimi in questa e i massimi nell'altra sono, in generale, più piccole delle deformazioni residue ¹⁾ che i pesi $P-p$ produrrebbero se agissero da soli con legge sinusoidale; ma se si pensa che questi, pel modo come inizialmente vengono fatti gravare sul filo, devono produrre allungamenti diversi da quelli dovuti ad un lento passaggio da 0 a $P-p$, si vede che le maggiori variazioni di $P-p$, 0 possono ascriversi all'effetto temporaneo del carico iniziale.

Nella quarta trazione, invece, l'allungamento l in p , P è maggiore dell'accorciamento l' in $P-p$, 0, ed anche di $l' + r$, se r è la deformazione residua generata da $P-p$; infatti si ha:

	l	$l' + r$	
1	9460	9260	4
2	7350	7220	5
3	2640	2550	6

ove è da notare che in 5 e 6 si sono presi per r i valori dedotti dalle trazioni precedenti per deformazioni lente.

Questo fatto indica che, per carichi sufficientemente grandi, un filo obbedisce di più a valori del peso crescenti che ai decrescenti. E poichè anche a_1 della fase 1 risulta più grande di $-a_2$ della 4, l'effetto, certamente dovuto all'azione del carico iniziale, ch'è maggiore ne è il valore più l è diverso da $l' + r$, non è da attribuirsi tanto alla grandezza delle deformazioni che esso genera, quanto al rincrudimento o alterazione che nasce da queste e pel quale lo stato elastico di un filo, assoggettato al peso $P-p$ con legge sinusoidale, è diverso da quello che acquista quando $P-p$ agisce con rapidità.

Nè ciò è da ascriversi unicamente alla diversa durata di azione di questo peso, nè solo alla sua grandezza, poichè nella fase 3, in cui esso è di 900 g., l risulta maggiore di l' , ed an-

1) Chiamerò sempre così le deformazioni osservate al ritorno al carico nullo, senza, naturalmente, escludere che in gran parte possano essere permanenti.

che di $l + r$, della 6, ove ha il valore di 300 g. e perciò compie più presto la sua azione.

Risulta quindi che l'incrudimento generato da un peso iniziale ha sul rilasciamento una influenza diversa che sulla trazione.

E appunto perchè le deformazioni dipendono, non solo dal tempo pel quale un certo carico iniziale agisce, ma pure da questo diverso comportamento di un filo sotto le due azioni, operate anche fra limiti uguali e con la stessa legge, le sue

Fig. 2.

costanti elastiche non potrebbero determinarsi correttamente nemmeno per diminuzione di peso.

c) Nel piano trazione-allungamento le curve presentano un ramo di prima deformazione staccato dagli altri, che tendono a fissare dei cicli *sinistrorsi*, cioè descritti in senso inverso al moto delle lancette d'un orologio, come si vede nella fig. 2 in cui, tracciate con tratto continuo, sono rappresentate le curve dei fili Cu_{41} , Cu_{44} , Cu_{46} . Il distacco massimo si verifica nelle fasi 1 e 6, il minimo nella 4; e in ogni caso aumenta, maggiore è la trazione. Al crescer di questa aumenta l'angolo che i cicli fanno coll'ascissa, e che in ogni trazione può ritenersi praticamente uguale per tutte le fasi, ma ciò meglio nei carichi maggiori. Nella fig. 2 sono riportate le inclinazioni del primo ramo di deformazione per $P = 400$ e 600 g., e si vede che il valore del modulo di trazione varia coll'intensità di questa, come pure le aree racchiuse nei cicli crescono meno di P .

I fatti osservati mostrano che realmente il carico iniziale p da cui si comincia la trazione, di valor massimo P , influisce sulla forma della curva di deformazione, in modo diverso a seconda della grandezza di P , poichè se alcuni, come la diversa inclinazione dei cicli, la non proporzionalità delle deformazioni al carico, possono anche interpretarsi invocando una modificazione, variabile con P , del sistema costituito da un filo e i suoi punti di attacco, altri rivelano che p produce, nella trazione e nel rilasciamento, azioni essenzialmente diverse.

4. Per vedere come la curva prodotta da p , P si alteri se un peso π agisce costantemente sul filo, ho esaminato i casi :

	π	p, P
1	200 g.	200 g.
2	400 »	200 »
3	200 »	400 »
4	600 »	600 »

e nelle tabelle seguenti raccolgo i risultati.

Cu	a_1	a_2	b_1	b_2	c_1	c_2	d_1	d_2	d_3	P	ϕ
117	1429	53	-19	-2	-4	-21	1376	1391	1372	200 g. $\pi = 200$	1
118	1098	-291	-38	-15	20	9	1389	1336	1342		2
119	385	-943	-15	-30	33	30	1328	1350	1350		3
120	-2	-1370	-1	-23	20	17	1348	1330	—		4
121	330	-1040	-30	-5	28	24	1342	1348	—		5
122	1180	-325	-48	-31	139	41	1366	1375	—		6
123	1710	268	-60	-42	-60	-40	1442	1442	1444	200 g. $\pi = 400$	1
124	1160	-218	-10	-25	35	26	1378	1353	1352		2
125	450	-920	-80	-42	42	37	1470	1400	1413		3
126	20	-1442	-25	-5	24	20	1438	1443	—		4
127	462	-811	-36	-11	51	20	1222	1238	—		5
128	1290	-322	-40	-70	162	39	1550	1551	—		6
129	2915	230	-25	-40	-48	-12	2635	2632	2690	400 g. $\pi = 200$	1
130	2265	-445	-55	-30	55	40	2710	2710	2700		2
131	785	-1885	-20	-15	25	13	2670	2665	2667		3
132	45	-2680	-15	-34	52	28	2673	2650	—		4
133	690	-2053	-40	-25	73	40	2670	2670	—		5
134	2390	-780	-80	-50	389	61	2781	2800	—		6
111	5260	1170	-103	-47	-110	-50	4090	4083	4080	600 g. $\pi = 600$	1
112	4080	-105	-150	-60	-141	-56	4185	4194	4198		2
113	1380	-2815	-125	-45	105	57	4195	4215	4203		3
114	100	-4282	-80	-45	107	80	4185	4175	—		4
115	1490	-2988	-120	-70	458	10	4120	4100	—		5
116	4130	-1050	-110	-68	952	133	4228	4275	—		6

	1.º Ciclo				2.º Ciclo				3.º Ciclo			
	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º
e_1	331	550	650	1180	383	600	620	1133	370	617	630	1120
e_2	1044	1260	2230	3380	1003	1240	2235	3858	980	1240	2260	3860
e_3	1429	1710	2915	5260	1450	1750	2895	5263	1453	1767	2895	5230
e_4	—	—	—	—	1118	1408	2250	3873	1100	1414	2250	3800
e_5	—	—	—	—	268	480	550	1233	322	482	510	1170
f_1	344	486	675	1275	328	511	668	1224	340	525	668	1238
f_2	1096	1188	2115	3985	1067	1206	2138	3990	1058	1209	2138	3983
f_3	1523	1710	2880	5452	1507	1746	2876	5455	1511	1766	2860	5425
f_4	1093	1079	2283	4158	1069	1088	2258	1088	1066	1108	2230	3850
f_5	378	690	—1010	2230	243	588	669	1378	225	589	620	1295

Dal confronto con le precedenti si ricava:

a) Per piccole trazioni i valori dei massimi, minimi, di d , dei punti singoli delle diverse curve sono minori di quelli precedentemente ottenuti per la stessa variazione p , P , ma i massimi e minimi sono nel 4° caso più grandi dei precedenti.

La posizione relativa delle curve non è sensibilmente alterata; esse vanno però elevandosi più rapidamente e le coppie nelle fasi 1 e 4, 2 e 5, 3 e 6 presentano differenze meno accentuate delle coppie precedenti.

b) Le deformazioni prodotte dalle variazioni p , P risultano ora sempre maggiori di quelle dovute a $P-p$, 0, ma l nei primi tre casi è poco diverso da $l' + r$, nel 4° è sempre maggiore.

c) Le curve del piano trazione-allungamento presentano dei rami di ritorno dal valore minimo più elevati di quelli di andata, in modo che, come mostra la fig. 2 nella curva punteggiata del filo Cu₁₁₀, si formano dei cappi *destrorsi* nella parte più bassa dei cicli. Questi fanno coll'ascissa un angolo maggiore che nei primi casi esaminati e racchiudono aree assai più piccole.

L'esame dei primi due casi rivela che i massimi son tutti maggiori, i minimi tutti più elevati, le differenze b , c , d e quelle fra i diversi punti delle curve son tutte maggiori nel 2° che nel 1°, in cui le coppie di curve in opposizione di fase sono meno simmetriche rispetto all'ascissa, i cicli meno inclinati, le aree da essi racchiuse, e nei cappi, maggiori.

Possiamo perciò dire che l'effetto d'un carico iniziale π costante sulla variazione p , P dipende dal valore di π : se questo è piccolo i fili si rincerudiscono e diventano quindi meno sensibili ai cambiamenti p , P ; se è grande, p , P genera deformazioni residue più grandi e temporanee più piccole di quando $\pi = 0$. In generale π rende meno sensibile l'influenza di p , ma per un dato P aumenta l'effetto temporaneo di p , P come risulta dai due primi casi.

Dunque anche il carico fisso π altera la forma delle curve di trazione.

5. Allo scopo di rintracciare come una grande deformazione modifichi le proprietà elastiche di un filo, ho esaminato i casi :

	π	p, P
1	0	1800 g.
1	0	2400 »

in cui P produce, nei fili che ho adoprato, deformazioni permanenti rilevanti, anche di oltre 3 cm., e qui riferisco i risultati .

Cu	a_1	a_2	b_1	b_2	c_1	c_2	d_1	d_2	d_3	P	ϕ
59	82150	66886	-4028	-2226	-4846	-2226	15264	14946	15346	1800 g.	1
60	77592	61480	-3922	-2112	-4067	-2611	16112	15967	15476		2
61	70808	56392	-4070	-2290	-4028	-2374	14416	14458	14374		3
62	3774	-14628	-2014	-1512	3816	2162	14586	14438	—		4
63	77592	-11300	-4240	-2280	74264	-4240	14638	14628	—		5
64	82892	-3816	-4176	-2184	71868	-4282	14840	14734	—		6
87	372488	354892	-6953	-3146	-6906	-3595	17596	17643	17454	2400 g.	1
88	386441	370028	-6149	-3406	-6196	-3406	16602	16555	16555		2
89	268191	251163	-7521	-3548	-7332	-3642	17028	17217	17123		3
90	5913	-17454	-2602	-2081	5629	3264	17738	17075	—		4
91	284746	-13622	-6149	-2933	280394	-6244	17974	17879	—		5
92	388806	-3879	-6386	-2743	369366	-4257	18589	20717	—		6

	1° Ciclo		2° Ciclo		3° Ciclo	
	1800	2400	1800	2400	1800	2400
e_1	4558	-13952	4664	-13149	4770	-13149
e_2	11342	104297	11300	103729	11230	103587
e_3	82150	372488	82404	373528	82616	374332
e_4	—	—	8586	94695	7022	92424
e_5	—	—	3286	-9365	1336	-7619
f_1	5406	-14947	5685	-14237	5800	-14048
f_2	10494	103729	10812	103303	10664	103256
f_3	81514	372346	82044	373623	82108	373954
f_4	78186	368514	8268	95026	6254	92377
f_5	70702	358771	3180	-3689	1124	-4352

Noto subito che i valori massimi α_1 ed i successivi non corrispondono al massimo di trazione, ma ai $\frac{13}{24}$ del periodo; i minimi invece si son presentati al tempo zero; il che mostra come un filo assoggettato a grandi trazioni seguiti ad allungarsi anche quando il carico comincia a diminuire, rivelando ciò che le alterazioni elastiche, provocate durante la trazione crescente, differiscono da quelle nel rilasciamento, in cui l'isteresi si presenta molto più piccola.

Nella fig. 2 si vedono, tratteggiate e riferite all'ascissa 0 l'1'2' con ordinate 47 volte più piccole di quelle delle superiori, le principali curve corrispondenti al secondo caso, e nella fig. 2 quella del filo Cu₅₉.

È da osservare che le deformazioni permanenti crescono molto rapidamente con la trazione e trasportano le curve as-

sai lontano dall'ascissa e prossime fra loro; la 4ª (Cu_{90}), staccandosi dalle altre, la traversa avanti di raggiungere il primo massimo e s'innalza poi meno di tutte col ripetersi della trazione. Questa però non provoca più il grande allungamento suscitato in principio, in virtù del quale resta alterata la posizione relativa delle curve; ciò che, forse, potrebbe anche ascriversi alla non perfetta uguaglianza dei fili o a qualche difetto della loro omogeneità. Però l'esame delle curve prodotte nelle fasi 5 e 6 mostra che, a seconda del modo con cui agisce, un carico produce deformazioni permanenti diverse. Si vede infatti che nella variazione p, P quasi sempre si producono deformazioni minori che nella $P - p, 0, P$: la modificazione provocata da $P - p, 0, P - p$ rende un filo più sensibile all'effetto duraturo di P , e ciò maggiore è p .

Nel piano trazione-allungamento la curva di prima deformazione sale rapidamente quando P si avvicina al massimo, e poi si descrivono dei cicli sinistrorsi (fig. 2, Cu_{90}); ma, al contrario di quello che è avvenuto nei primi casi esaminati, al crescer di P diventa più piccolo l'angolo che essi fanno coll'ascissa, mentre le loro aree non crescono come i carichi.

Una grande deformazione, quindi, influisce più particolarmente sulla posizione relativa delle curve, chè il suo valore dipende dalla fase in cui si comincia la trazione.

6. Ho infine esaminato i casi seguenti:

	π	p, P
1	600 g.	1200 g.
2	1200 »	600 »
3	1200 »	1200 »

in cui si portano i fili a carichi finali uguali ai precedenti, ed ho avuto questi risultati:

Cu	a_1	a_2	b_1	b_2	c_1	c_2	d_1	d_2	d_3	P	ϕ
93	93110	83083	-4558	-2290	-4473	-2332	10028	10112	10070	1200 g.	1
94	61162	51304	-4516	-2311	-4452	-2332	9358	9922	12020	$\pi = 600$	2
95	75048	65084	-4325	-2099	-4282	-2247	9964	10006	9858		3
96	3710	-10134	-2226	-1272	3858	2099	9985	10112	—		4
97	82680	-8098	-4452	-2184	80602	-4452	10176	10176	—		5
88	76178	-2544	-4388	-2290	78652	-4431	10070	10028	—		6
105	20394	15730	-2968	-1802	-806	-1738	4664	4706	4770	600 g.	1
106	18656	13992	-3138	-1738	-2968	-1731	4664	4834	4791	$\pi = 1200$	2
107	17151	12487	-3837	-2523	-3625	-2162	4664	4876	4812		3
108	10812	-4876	-2412	-1466	1081	657	4876	4876	—		4
109	10854	-3646	-2480	-1526	9752	-2317	4749	4812	—		5
110	24486	-1230	-3583	-2120	20080	-3477	4685	4791	—		6
99	364163	355223	-6149	-3122	-5913	-3027	8940	9176	8892	1200 g.	1
100	359102	350424	-6480	-3264	-5913	-3216	8678	8345	8892	$\pi = 1200$	2
101	171604	162712	-5770	-2933	-5440	-2838	8892	9224	9818		3
102	4730	-8041	-2460	-2370	-4021	-2365	8751	8845	—		4
103	177442	-6859	-6054	-3027	165408	-5676	8892	9271	—		5
104	873670	-2318	-6054	-2933	367235	-5676	8703	9082	—		6

Anche qui tutti i massimi di allungamento sono ai $\frac{13}{24}$ del periodo, i minimi si verificano sempre a carico nullo, mentre ciò non succede per le stesse variazioni p, P quando $\pi = 0$; come è da osservare che p, P produce qui sempre deformazioni temporanee e residue maggiori di quelle che genera se $\pi = 0$, e crescenti col ripetersi della trazione.

Sotto un carico iniziale fisso π assai grande un filo è quindi più sensibile ad una variazione p, P , ma gli effetti diminuiscono al crescer di π .

L'esame del 1° e 2° caso rivela che π influisce notevolmente sul valore del primo massimo che è molto meno elevato più esso è grande, come si vede nella curva del filo Cu_{10s} tracciata, nella fig. 1, a tratto e punto.

Il carico finale $\pi + P$ a cui si assoggetta un filo non individua quindi una deformazione permanente, la quale inoltre si presenta più grande nella variazione di carico $P - p, 0, P$ che in p, P , specialmente se $P - p$ è piccolo.

7. Da tutti i fatti osservati nei fili che ho adoprato, e nelle condizioni in cui li ho studiati, possiamo concludere che una trazione, operata con legge sinusoidale nel tempo, produce effetti diversi a seconda del carico dal quale la si comincia, di quello P a cui si giunge e dall'altro π che agisce costantemente. Cioè:

Se si eccettuano le piccole trazioni, l'effetto del primo consiste principalmente in un incrudimento (alterazione) in virtù del quale un filo obbedisce meno al rilasciamento che alla trazione.

Mentre le deformazioni residue, e più ancora le permanenti, crescono molto se P aumenta, π rende maggiori le prime, ma diminuisce le altre e la sua influenza sulle temporanee dipende dalla grandezza della trazione. In ogni caso se π è piccolo rispetto a P , questo genera deformazioni temporanee minori di quando $\pi = 0$, se è grande le produce maggiori; per una data trazione esse crescono con π . Possiamo dunque dire che dopo aver subito una grande deformazione permanente, un filo, che rimanga sotto la tensione che in gran parte l'ha provocata, diventa meno elastico; se essa invece è piccola la

tensione causa un effetto contrario, che però diminuisce con la intensità di questa.

Per valori grandi di P , anche se $\pi = 0$, e piccoli, se π è sufficientemente elevato, l'allungamento è in ritardo sul carico massimo, ma l'accorciamento maggiore si verifica sempre a trazione nulla. Ciò dimostra che una deformazione permanente provoca anche una grande isteresi: il campo di elasticità perfetta diminuisce.

Le curve del piano trazione-tempo si fissano a distanze maggiori, più grande è la differenza dei pesi da cui cominciano; ma una grande deformazione permanente, riuscendo diversa a seconda delle azioni che precedono il carico che la produce, altera il loro ordine; in ogni caso esse vanno continuamente innalzandosi col ripetersi della trazione. Quelle del piano trazione-allungamento dopo un ramo di prima deformazione tendono a fissare dei cicli *sinistrorsi*, di inclinazione variabile con P e π ; per grandi valori di P o di $P + \pi$ presentano dei cappi destrorsi.

Queste esperienze confermano il fatto che una deformazione, oltre che dal carico da cui è prodotta e dalla legge della sua variazione, dipende dalla serie di operazioni che vi conducono e dal modo come queste si sono succedute; e dimostrano la grande importanza della tecnica nelle ricerche di elasticità, che più si determinano nettamente le condizioni sperimentali, più i fenomeni si presentano complicati.

R. Liceo Garibaldi
Napoli, gennaio 1906.