



L'INGEGNERIA CIVILE

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

VERIFICA

DELLA STABILITÀ DELLE ARCADE E DEGLI APPOGGI

nel progetto FERRIA

PEL NUOVO PONTE MARIA TERESA SUL PO

IN TORINO.

(Veggansi le Tav. VI, VII e VIII)

Come appendice alla Relazione della Commissione incaricata di riferire sui diversi progetti per il nuovo ponte, e secondo la nostra promessa (*Ingegneria civile*, 1892, dicembre, pag. 180), pubblichiamo i risultati dei calcoli che l'ing. Elia Ovazza, facente parte di detta Commissione, volle istituire sul progetto di ponte dell'ing. G. G. Ferria (ponte in pietra a tre arcate, di m. 63 la centrale, e di m. 31,50 le laterali).

Sebbene la Commissione avesse ritenuto eccessiva una luce libera di $63 + 2 \times 31,50 = 126$ metri, tanto più che la Commissione Tecnica municipale fin dalla sua prima Relazione dichiarava sufficiente una luce libera di 95 metri, tuttavia i calcoli istituiti presentano non poco interesse dal punto di vista teorico e pratico della scienza delle costruzioni. Ed invero se l'arditezza dell'arcata centrale e la pianta parabolica delle arcate laterali poterono provocare dubbi sulla loro attuabilità, anche l'ipotesi sulla quale i calcoli tutti sono basati potè sembrare a più d'uno altrettanto ardita e difficile ad attuarsi. E quest'ipotesi consiste nell'ammettere l'invariabilità di certi piani, così detti d'imposta, ma che in realtà (vedasi la tavola VIII) sono essi stessi il risultato di un apparecchio a mensola, il quale perciò non potrebbe dirsi *piedrillo* nel vero senso di questa parola.

I calcoli dell'ing. Ovazza, perfettamente concordanti nei risultati con quelli ottenuti dall'ingegnere autore del progetto, si basano per altro sulla stessa ipotesi.

Nel riportare la Memoria dell'ing. Ovazza, siamo costretti a trascurare alcune parti, come costruzioni grafiche sussidiarie, le quali esigerebbero tavole di maggiori dimensioni, e per le quali rimandiamo il lettore alla Memoria originale, negli *Atti della Società Ingegneri ed Architetti di Torino*.

G. S.

MEMORIA DELL'ING. E. OVAZZA.

1. — Per comodità del lettore, riproduciamo nella tavola VI i disegni del progetto in prospetto, sezioni e pianta, gentilmente fornitici dall'ing. Ferria, ed aggiungiamo quelle spiegazioni del progetto, che occorrono per intendere quanto segue, valendoci delle parole di cui l'autore si serve nel suo opuscolo: *Ponte in pietra sul Po in Torino in sostituzione del ponte Maria Teresa*. — Ingegnere G. G. Ferria. — Torino, L. Roux e C., 1892:

« Il ponte è stabilito con tre arcate: quella centrale con m. 10 di saetta sul piano delle magre e m. 63 di corda, e due laterali di m. 7,50 di saetta e 31,50 di corda; le arcate posano, oltrechè sulle spalle, su due pile larghe m. 5 nella sezione più ristretta.

« Il piano stradale si compone di tre parti corrispondenti alle arcate, cui limitano le balastrate sulle fronti del ponte: la parte centrale, lunga m. 68 e larga m. 20, da mezzo a mezzo delle balastrate, va da asse ad asse delle

» pile; le due laterali, lunghe m. 36,50 ciascuna, vanno dalle pile alle spalle allargandosi da m. 20 all'attacco colla centrale a m. 40 alle estremità del ponte. La linea mediana di ciascuna balastrata segue un arco di parabola tangente alla mediana della balastrata centrale da un estremo e ad un orizzontale a 45° coll'asse del ponte dall'altro estremo. Ne risultano due grandi strombature alle teste, che raccordano la larghezza del corso con quella centrale del ponte, cui fanno come da invito.

« Le pile e le spalle sono intieramente in muratura di pietrame, rivestite di sienite della Balma nelle parti più sollecitate, e di granito di Borgone nel resto. Nell'interno sono disposti dei lastroni di *gneiss* per accrescere la resistenza allo schiacciamento e distribuire meglio le pressioni. Le pile sono lunghe m. 25, larghe m. 8, misurate al di sopra dello zoccolo; le spalle m. 41 e m. 9 ivi.

« L'arcata centrale è una volta a botte con strombature, in sienite della Balma: la sezione retta secondo l'asse del ponte dà una curva di intradosso, che ha m. 63 di corda e 10 di saetta. Questa curva si compone di un arco di circolo di m. 70,20 di raggio, m. 34 di corda e m. 5,40 di saetta; e di un arco di raccordamento, che scende fino al piano delle magre contro le pile. Tutta la parte ad arco circolare è apparecchiata a volta ed ha spessore costante di m. 1,20. Il rimanente è *piedrillo*.

« Le arcate laterali sono pure in sienite della Balma, a botte con strombature; la sezione retta secondo l'asse del ponte dà una curva di intradosso, che ha m. 31,50 di corda e m. 7,50 di saetta. Questa curva si compone di un arco di circolo di m. 33 di raggio, m. 26,37 di corda, m. 2,75 di saetta e di un arco di raccordamento, il quale scende fino al piano delle magre contro i piedritti. Anche in queste arcate la parte circolare è effettivamente apparecchiata a volta, ed ha spessore costante di m. 1,20; il rimanente è *piedrillo*.

« I timpani essenzialmente sono costituiti da speroni in parte pieni ed in parte vuoti, grossi m. 0,50 e distanti m. 1,50 l'uno dall'altro, sui quali posano delle voltine destinate a reggere cappa e pavimento. Inoltre posano sulle arcate alcuni massicci in muratura di pietrame destinati a produrre, insieme alle opere descritte, tale distribuzione di pesi da provocare nell'interno delle arcate una ripartizione di pressioni atta ad assicurarne la stabilità ».

2. — Si premette che i calcoli vennero istituiti nelle medesime ipotesi fatte dall'autore del progetto, che qui esplicitamente enunciamo, ritenendo compito della teoria dedurre logiche conseguenze da ipotesi nettamente dichiarate, sicchè la pratica sia da parte sua in grado di provvedere all'attuazione di quel che suppone la teoria.

L'ing. Ferria considera come *corpo elastico* la parte centrale di ciascuna volta, cui fissa spessore costante di m. 1,20, e come *piani invariabili di imposta* quelli secondo cui tali parti poggiano sui massi di dimensioni più robuste dei piedritti. Osserviamo che l'epiteto di *elastico* va inteso nel senso che le forze interne sviluppate dai carichi siano proporzionali alle deformazioni provocate, cioè che è ammissibile entro i limiti della pratica. *L'invariabilità dei piani d'imposta*, condizione assolutamente necessaria perchè i risultati dei calcoli di stabilità qui esposti siano attendibili, dipende da opportune precauzioni nell'apparecchio e nell'esecuzione dei piedritti, le quali invero non sono troppo facili ad aversi in pratica.

3. — Ad assicurare un controllo efficace, non abbiamo voluto limitarci alla revisione delle operazioni numeriche che il Ferria dovette eseguire applicando il noto metodo del Castigliano (1), tanto più che la scienza delle costruzioni, anche dal Castigliano in poi, tali progressi fece da offrirne dovizia di metodi differenti. Ed anzi, prima di confrontare i risultati nostri con quelli del Ferria, volemmo controllarci da noi stessi, operando almeno in due modi diversi. È da notarsi però che la differenza di metodo sta essenzialmente nel diverso modo di eseguire le integrazioni che occorrono nell'applicazione delle equazioni di elasticità. Nel metodo applicato dall'ing. Ferria, le integrazioni si fanno con la regola di Simpson; noi invece ed eseguiamo esattamente le integrazioni, salvo ad apprezzare con la maggior approssimazione a noi possibile i valori numerici delle formole che risultavano ad integrazione eseguita, oppure applicammo il metodo grafico approssimato dell'Eddy (2), perfezionato e reso scevro dagli errori derivanti dal trascurare il lavoro di deformazione dovuto alla compressione longitudinale, per opera del signor prof. ing. C. Guidi, della Scuola degli Ingegneri di Torino, che lo scrivente ha la fortuna di avere tuttora a maestro (3).

Crediamo per altro necessario far notare che dai nostri calcoli non si devono assolutamente dedurre conclusioni per un progetto che, come variante di quello da noi esaminato, possa mutarne la ripartizione dei carichi, tale ripartizione dovendosi studiare caso per caso, trattandosi di volta con piccola monta e spessore relativamente molto piccolo.

ARCATA CENTRALE.

4. — Calcoliamo prima le reazioni degli appoggi nelle varie ipotesi di carico parziale, da cui per somma deduconsi le reazioni degli appoggi nell'ipotesi della volta completamente carica, oltreché dal peso proprio, dal sovraccarico accidentale fissato in chilogrammi 550 per metro quadrato di proiezione orizzontale della superficie stradale.

Consideriamo per semplicità una striscia di volta compresa fra due piani paralleli a quello di fronte, nell'interno della costruzione, e distanti fra loro di un metro, ed assumiamo per unità di forza il peso:

$$\gamma = \text{kg. } 2750$$

di un metro cubo di sienite della Balma, di cui è la parte resistente della volta. Per unità di lunghezza assumeremo il metro, e quindi per unità di momento:

$$2750 \text{ kg.m.}$$

Trattandosi di un arco molto ribassato, facciamo il calcolo, sia considerando come parabolico l'asse dell'arco (con che si hanno formole d'uso più facile), sia considerando l'arco nella sua vera forma. I risultati nella prima ipotesi valgono di buon controllo a quelli della seconda, perchè il raggio di curvatura dell'arco di parabola di corda e saetta eguali a quelle dell'arco circolare, che è asse della sezione della volta, varia fra un minimo di metri 68,075 al vertice ed un massimo di m. 85,026 all'imposta, onde una differenza di appena l'8 0/0 fra il raggio medio di curvatura dell'arco parabolico e quello dell'arco circolare.

(1) Cfr. A. CASTIGLIANO: *Théorie de l'équilibre des systèmes élastiques et ses applications*. — Turin, A. F. Negro.

STRADE FERRATE DELL'ALTA ITALIA, *Applicazioni pratiche della teoria sui sistemi elastici*. — Studi dell'Ufficio di Arte. — Milano, 1878, G. Civelli.

(2) EDDY: *Researches in graphical statics*. — New-York, Van Nostrand, 1878.

(3) C. GUIDI: *L'arco elastico*. — Torino, Tip. e Lit. Commerciale, 1888.

Sulla curva delle pressioni negli archi e nelle volte. — Memorie della R. Accademia delle Scienze di Torino. — Torino, Loescher, 1886.

Sugli archi elastici. — Memorie della R. Accademia delle Scienze di Torino. — Loescher, 1884.

Calcolo delle reazioni degli appoggi.

5. — Notazioni e dati generali.

Raggio dell'asse	$r = \text{m. } 70,80$
Corda	$2l = \text{m. } 51,46$
Saetta	$h = \text{m. } 5,446$
Angolo al centro	$= 2\phi_0 = 45^\circ 14' 10''$
Spessore dell'arco	$b = \text{m. } 1,20$

H = spinta orizzontale.

A e B = componenti verticali delle reazioni degli appoggi, A di sinistra e B di destra.

M_A ed M_B = momenti d'incastro degli appoggi A e B.

$$\rho = \sqrt{\frac{b^2}{12}} = \text{raggio d'inerzia della sezione trasversale}$$

dell'arco rispetto alla mediana orizzontale.

IPOTESI DI CARICO SIMMETRICO.

6. — 1ª ipotesi di carico.

SOLO PESO PROPRIO DELL'ARCATA DI $g = 1,2$ PER METRO LINEARE DI ASSE DELL'ARCO.

a) L'arco si suppone parabolico (1):

$$H = \frac{1}{1 + \frac{45}{4} \frac{\rho^2}{h^2} \left(1 + \frac{2}{3} \frac{h^2}{l^2}\right)} \frac{g l^3}{2h} = 78,04$$

$$M_A = M_B = -\frac{g l^3}{3} \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{45}{4} \frac{\rho^2}{h^2} \left(1 + \frac{2}{3} \frac{h^2}{l^2}\right)}\right] = -13,64$$

$$A = B = 28,25 \times 1,2 = 33,90.$$

7. — b) L'arco si considera come circolare (2):

$$H = g r \left[\frac{2 \sin \phi_0 (\sin \phi_0 - \phi_0 \cos \phi_0) + \sin \phi_0 \left(2 \sin \phi_0 - \frac{3}{2} \phi_0 \cos \phi_0 - \phi_0^2 \sin \phi_0\right) - \frac{\phi_0^2}{2} \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2}\right)}{\phi_0 (\phi_0 + \sin \phi_0 \cos \phi_0) \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2}\right) - 2 \sin \phi_0} \right] = 79,20$$

$$M_A = M_B = H r \left[\frac{\sin \phi_0}{\phi_0 \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2}\right)} - \cos \phi_0 \right] +$$

$$g r^2 \left[\frac{\sin \phi_0 - \phi_0 \cos \phi_0}{\phi_0} \frac{2 + \frac{\rho^2}{r^2}}{1 + \frac{\rho^2}{r^2}} - \phi_0 \sin \phi_0 \right] = -11,35$$

$$A = B = g r \phi_0 = 33,537.$$

8. — 2ª ipotesi di carico.

SOLO SOVRACCARICO ACCIDENTALE RIPARTITO UNIFORMEMENTE SU TUTTA L'ARCATA in ragione di

$$p = \text{kg. } 550 = 0,2 \gamma$$

per metro quadrato.

a) L'arco si suppone parabolico (3):

$$H = \frac{1}{1 + \frac{45}{4} \frac{\rho^2}{h^2} \left(1 + \frac{2}{3} \frac{h^2}{l^2}\right)} \frac{p l^2}{2h} = 13,0$$

$$M_A = M_B = -\frac{p l^2}{3} \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{45}{4} \frac{\rho^2}{h^2} \left(1 + \frac{2}{3} \frac{h^2}{l^2}\right)}\right] = -2,27.$$

$$A = B = p l = 5,446.$$

(1) Cfr. C. GUIDI, *L'arco elastico*, pag. 26.

(2) Cfr. WINKLER, *Die Lehre von der Elasticität*. — Prag, 1867, pag. 346.

C. GUIDI, l. c., pag. 21.

(3) Cfr. C. GUIDI, l. c., pag. 26.

9. — b) L'arco si considera circolare com'è (1):

$$H = pl \frac{\left[\frac{1}{2} (\varphi_0 - \text{sen } \varphi_0 \cos \varphi_0) \left(1 - \frac{\rho^2}{r^2} \right) - \frac{1}{3} \varphi_0 \text{sen}^3 \varphi_0 \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right) \right]}{\varphi_0 (\varphi_0 + \text{sen } \varphi_0 \cos \varphi_0) \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right) - 2 \text{sen}^2 \varphi_0} = 13,086$$

$$M_A = M_B = Hr \left[\frac{\text{sen } \varphi_0}{\varphi_0 \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right)} - \cos \varphi_0 \right] + \frac{pr^2}{2} \left[\frac{\text{sen } \varphi_0 \cos \varphi_0}{2 \varphi_0} + \frac{\varphi_0 - \text{sen } \varphi_0 \cos \varphi_0}{\varphi_0 \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right)} - \text{sen}^2 \varphi_0 - \frac{1}{2} \right] = -1,493$$

A = B = pl = 5,446.

10. — 3ª ipotesi di carico.

SOLO SOVRACCARICO PERMANENTE, considerato come un sistema simmetrico di carichi concentrati P secondo gli assi degli speroni del timpano.

Indichiamo genericamente con ξ , a , b le distanze di ciascuno dei carichi P dalla mezzeria dell'arco e dalle verticali degli appoggi A e B.

Si assumono, secondo l'autore del progetto:

$P_1 = P'_1 = 2,218$	$\xi_1 = m. 2,347$
$P_2 = P'_2 = 2,234$	$\xi_2 = m. 7,041$
$P_3 = P'_3 = 1,978$	$\xi_3 = m. 11,686$
$P_4 = P'_4 = 1,578$	$\xi_4 = m. 16,289$
$P_5 = P'_5 = 1,741$	$\xi_5 = m. 20,821$
$P_6 = P'_6 = 2,123$	$\xi_6 = m. 25,674$
$a_1 = b'_1 = 24,883$	$b_1 = a'_1 = 29,577$
$a_2 = b'_2 = 20,199$	$b_2 = a'_2 = 34,261$
$a_3 = b'_3 = 15,544$	$b_3 = a'_3 = 38,916$
$a_4 = b'_4 = 10,941$	$b_4 = a'_4 = 43,519$
$a_5 = b'_5 = 6,409$	$b_5 = a'_5 = 48,051$
$a_6 = b'_6 = 1,556$	$b_6 = a'_6 = 52,904$

a) L'arco si suppone parabolico (3):

$$H = \frac{15}{32} \frac{1}{1 + \frac{45}{4} \frac{\rho^2}{h^2}} \sum P \frac{a^2 b^2}{l^3 h} = 27,164$$

$$M_A = M_B = \sum \frac{P a b^2}{4 l^2} \left\{ \frac{5}{4 + 45 \frac{\rho^2}{h^2}} \frac{a}{l} - 1 \right\}$$

$$A = B = \frac{1}{2} \sum P = 11,872.$$

11. — b) L'arco si considera circolare (3) (calcolo analitico):

$$H = \sum_{\mu} \frac{Pl}{\mu r^2} \left\{ \sqrt{(r + \xi)(r - \xi)} - (r - h) + \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right) \left(\beta \xi - \frac{\varphi_0 \xi^2}{2l} - \varphi_0 \frac{l}{2} \right) \right\}$$

ove:

$$\mu = \varphi_0 (\varphi_0 + \text{sen } \varphi_0 \cos \varphi_0) \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right) - 2 \text{sen}^2 \varphi_0.$$

Si ha per la totalità dei carichi:

$$H = 29,112.$$

$$(1) M_A = M_B = \left[\frac{l}{\varphi_0 \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right)} - (r - h) \right] H - \frac{1}{2} \sum P \left[l + \frac{r - h}{\varphi_0 \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right)} \right] + \sum_{\mu} P \left[\frac{\beta}{\varphi_0} \xi + \frac{\sqrt{(r + \xi)(r - \xi)}}{\varphi_0 \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right)} \right] = -1,52$$

A = B = 11,872.

12. — c) L'arco si considera nella sua vera forma (calcolo grafico) (fig. 5, tav. VI).

A causa della delicatezza delle formole applicate in b), delicatezza che non ci assicura di una sufficiente approssimazione nei risultati, abbiamo voluto un controllo procedendo in via grafica col metodo grafico approssimato prima proposto dall'Eddy, di Cincinnati, e perfezionato dal signor prof. C. Guidi.

Con una spinta orizzontale $H_1 = 10 \gamma$ provvisoria, presa per tensione orizzontale, si collegarono i carichi:

$$P_1, P_2, \dots, P_6$$

(la figura, per ragione di simmetria, è limitata alla metà destra dell'arco) con un poligono funicolare p'_i ; e si tracciò la retta orizzontale k' di compenso (2) per la poligonale $C_1 B'_1$. Si tracciò l'orizzontale k'' di compenso per l'arco CB dell'asse dell'arco p'' . Diviso l'arco $s = CB$ in sei parti uguali Δs , si applicarono ai loro punti medii orizzontalmente come forze prima le corrispondenti ordinate medie v'' dell'arco p'' rispetto alla orizzontale k'' , e poi le corrispondenti ordinate medie v'_i della poligonale p'_i rispetto alla k'_i , e si misurarono i loro momenti statici nella base $b = m. 8$ rispetto alla corda oB dell'asse dell'arco; ne risultarono le misure:

$$\overline{om'} = m'' = m. 1,91$$

$$\overline{om'_i} = m'_i = m. 5,90.$$

Se ne dedusse la vera spinta orizzontale:

$$H = \frac{m'_i}{m'' + \frac{\rho^2 \cdot s}{b \cdot \Delta s}} H_1 = 29,5 \quad (3)$$

Portato:

$$\overline{DX} = \frac{H_1}{H} \overline{D_1' C'},$$

in X si ha il punto di applicazione della spinta H. Risulta un'eccentricità per la sezione in chiave:

$$\delta_c = m. 0,12,$$

onde un momento flettente in chiave:

$$M_c = \delta_c \cdot H = 3,54;$$

ed un'eccentricità alle imposte misurata verticalmente:

$$\delta_A = \delta_B = 0,095,$$

onde un momento:

$$M_A = M_B = -1,48.$$

(1) Questa formola, dedotta da chi scrive da quella per un sol carico concentrato, esposta nel GUIDI, l. c., pag. 20, è assai più comoda ad applicarsi in questo caso, in cui i carichi concentrati sono due a due simmetrici.

(2) Intendasi qui per *orizzontale di compenso* tal retta che sia nulla la somma algebrica delle ordinate della poligonale rispetto ad essa, prese in corrispondenza dei punti medii di elementi egualmente lunghi dell'asse dell'arco.

(3) Trascurando la correzione dovuta al prof. Guidi:

$$H = \frac{m'_i}{m''} H_1 = 30,89.$$

(1) Cfr. WINKLER, l. c., pag. 346. — C. GUIDI, l. c., pag. 22.

(2) Cfr. C. GUIDI, l. c., pag. 25.

(3) Cfr. C. GUIDI, l. c., pag. 20. La formola da noi applicata, dedotta da quella indicata al l. c., ne è più comoda pel calcolo numerico.

13. — 4^a ipotesi di carico.

LA VÔLTA È COMPLETAMENTE SOVRACCARICATA.

a) L'arco si suppone parabolico.

Le reazioni degli appoggi si hanno per somme dai risultati ottenuti ai numeri 6, 8, 10. Risulta:

$$H = 118,204.$$

$$A = B = 51,218.$$

14. — b) L'arco si considera circolare qual è.

Le reazioni degli appoggi si hanno per somme dai numeri 7, 9, 11 o 12. Risulta:

$$H = 121,6 \text{ (media)}$$

$$M_A = M_B = -14,343$$

$$A = B = 50,855$$

$$\delta_A = \delta_B = 0,11.$$

15. — c) L'arco si considera circolare. — Il calcolo si fa col metodo grafico Eddy-Guidi (tav. VII).

A completo controllo dei calcoli, abbiamo tracciato sulla tavola VII la linea delle pressioni per l'ipotesi di carico completo, senza utilizzare alcuno dei risultati precedenti. Il procedimento è analogo a quello indicato al numero 12.

Ne risultò:

$$b = m. 4$$

$$o m'' = m'' = m. 3,82$$

$$o m' = m' = m. 12,18.$$

Onde la spinta orizzontale (1):

$$H = \frac{m_1'}{m'' + \rho^2 \frac{b \Delta s}{s}} H_1 = 121,8.$$

Ridotte nel rapporto:

$$H_1 : H = \frac{m'' + \rho^2 \frac{s}{b \Delta s}}{m_1'}$$

le ordinate della poligonale p_1' rispetto alla k_1' , si trasportò la poligonale p' in modo che la k' venisse a coincidere con la k'' , e si ottenne il poligono p' delle pressioni.

E per le eccentricità della pressione alle imposte ed in chiave, rispettivamente:

$$\delta'_A = m. 0,11 \quad , \quad \delta'_c = m. 0,12.$$

Onde:

$$M_A = M_B = -14,54 \infty.$$

16. — Raccogliamo in quadro i risultati ottenuti da noi dall'ing. Ferria per l'opportuno controllo:

	Arco parabolico	Arco circolare	
		(Ovazza)	(Ferria)
1 ^a Ipotesi	$\left\{ \begin{array}{l} H = 78,04 \\ M_A = M_B = -13,64 \\ A = B = 33,90 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 79,20 \\ -11,35 \\ 33,54 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 79,50 \\ -11,34 \\ 33,55 \end{array} \right.$
2 ^a Ipotesi	$\left\{ \begin{array}{l} H = 13,00 \\ M_A = M_B = -2,27 \\ A = B = 5,45 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 13,09 \\ -1,49 \\ 5,45 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 13,09 \\ -1,49 \\ 5,49 \end{array} \right.$
3 ^a Ipotesi	$\left\{ \begin{array}{l} H = 27,16 \\ M_A = M_B = - \\ A = B = 11,87 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 29,40 \\ -1,50 \\ 11,87 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 29,61 \\ -1,58 \\ 11,87 \end{array} \right.$
4 ^a Ipotesi	$\left\{ \begin{array}{l} H = 108,2 \\ M_A = M_B = - \\ A = B = 51,22 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 121,7 \\ -14,45 \\ 50,86 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 122,2 \\ -14,41 \\ 50,92 \end{array} \right.$

(1) Trascurando la correzione che tien conto del lavoro di deformazione dovuto alla compressione longitudinale, si ha $H = 127,5$.

Calcolo delle massime pressioni unitarie NELL'IPOTESI DI CARICO TOTALE SIMMETRICO.

17. — Sono pericolose le sezioni d'imposta per cui la pressione normale è:

$$N = 131,9 \gamma = \text{tonn. } 362,715$$

con eccentricità:

$$\delta_A = m. 0,11$$

onde una massima pressione unitaria all'intradosso:

$$\sigma'' = \text{tonn. } 470 \text{ per } m^2.$$

Trattandosi di granito-sienite della Balma, il carico di rottura è in media:

$$K'' = 8000 \text{ tonn. per } m^2$$

onde risulta un largo margine per le probabili eventualità, essendo:

$$\frac{\sigma''}{K''} = \frac{1}{17} \infty.$$

IPOTESI DI CARICO DISSIMMETRICO.

18. — Ci limitiamo a considerare l'arco circolare, e vogliamo studiare le condizioni di stabilità dell'arcata quando, oltre al peso proprio, essa debba resistere al sovraccarico accidentale esteso su mezza arcata, l'arcata di destra. Perciò una volta considereremo l'arcata sotto l'azione soltanto di questo sovraccarico dissimmetrico, ed aggiungeremo gli effetti di questo agli effetti del carico permanente; un'altra volta applicheremo il metodo noto di Schwedler (1), e cioè supporremo prima tutta l'arcata sovraccarica di $p' = \frac{1}{2} p$, metà del carico accidentale, e poscia l'arcata sotto l'azione di un sovraccarico di $\frac{1}{2} p = p'$ positivo sulla mezza arcata di destra, e di un sovraccarico $-p' = -\frac{1}{2} p$, negativo, sulla mezza arcata di sinistra; sommeremo in seguito gli effetti dei due sistemi di forze esterne considerati. Ad assicurare il controllo applicheremo volta a volta il metodo analitico ed il metodo grafico.

19. — 5^a ipotesi di carico.

Sovraccarico accidentale di kg. 550 = 0,2 γ per m^2 di proiezione orizzontale, sulla metà destra dell'arcata.

Indicando con lettere senz'accento le quantità riferentisi alla 2^a ipotesi di carico, e con accento quelle per questa 5^a ipotesi di carico, si ha molto approssimativamente (2):

$$A' = \frac{3}{16} p l \left(1 + 3 \frac{\rho^2}{l^2} \right) = 1,0212$$

onde:

$$B' = p l - A' = 4,4248.$$

Per altro si ha:

$$H' = \frac{H}{2} = 6,543$$

$$M'_c = \frac{1}{2} = M_c$$

onde:

$$M'_A = \frac{1}{2} M_A + \frac{1}{4} A l - A' l = + 8,52$$

$$M'_B = M'_A + A' 2 l - \frac{p l^2}{2} = -10,0129 \text{ (3)}.$$

(1) Cfr. MÜLLER-BRESLAU, *Eléments de statique graphique*. — Paris, Baudry e C., 1886.

(2) Cfr. A. CASTIGLIANO, *Manuale pratico degli Ingegneri*, parte 3^a, pag. 86. — A. F. Negro, Torino.

(3) Come verifica si osservi che:

$$M'_A - \frac{M_A}{2} = - \left(M'_B - \frac{M_B}{2} \right) = 9,2665.$$

20. — 6ª ipotesi di carico.

PESO PERMANENTE COMPLETO E SOVRACCARICO ACCIDENTALE SULLA MEZZA ARCATA DI DESTRA.

a) *Calcolo per somme* dai numeri 7, 11 o 12, 19:

$$\begin{aligned} H &= 115,049 \\ M_A &= -4,350 \\ M_B &= -22,880 \\ A &= 46,430 \\ B &= 49,834 \\ \delta_A &= \frac{M_A}{H} \cos \varphi_0 = 0,0355 \\ \delta_B &= \frac{M_B}{H} \cos \varphi_0 = 0,176. \end{aligned}$$

21. — 7ª ipotesi di carico.

PESO PERMANENTE TOTALE E SOVRACCARICO ACCIDENTALE $\frac{1}{2} p$ SU TUTTA L'ARCATA.

a) *Per somme* dai numeri 7, 11, 9.

$$\begin{aligned} H &= 115,049 \\ M_A = M_B &= -13,616 \\ A = B &= 48,132. \end{aligned}$$

22. — b) *In via grafica, metodo Eddy-Guidi:*

Valgono le spiegazioni date al n. 15. La linea delle pressioni è segnata in p' (tav. VII, fig. 1). Risulta:

$$\begin{aligned} P o = P' o' = H &= 115,2 \\ M_A = M_B &= 13,5. \end{aligned}$$

23. — 8ª ipotesi di carico.

SOVRACCARICO POSITIVO $\frac{1}{2} p = 0,4 \gamma$ SULLA METÀ DESTRA, E SOVRACCARICO NEGATIVO $-\frac{1}{2} p$ PER M. L. SULLA METÀ SINISTRA.

a) *In via analitica* (1):

$$\begin{aligned} H &= 0 \\ M_A = -M_B &= 9,094 \\ A &= \frac{p l}{2,4} + \frac{\mu}{l} = 1,015 \\ B &= \left(\frac{p l}{4} + \frac{\mu}{l} \right) = -1,015. \end{aligned}$$

(1) Poichè il carico equivale ad una coppia di momento $\frac{p l}{2}$, le reazioni degli appoggi formeranno una coppia di momento eguale e di opposto segno. Per altro, trattandosi di arco simmetrico, due carichi eguali ed equidistanti dal vertice dell'asse producono eguali spinte orizzontali H ; segue che nell'ipotesi di carico, che consideriamo, $H = 0$, e le relazioni degli appoggi sono verticali ed eguali. Siccome poi due carichi concentrati eguali, posti successivamente in due punti dell'arco simmetrici rispetto alla mezzzeria producono momenti d'incastro eguali ma simmetrici, i momenti d'incastro per il complesso di due forze eguali, simmetricamente poste ma di versi opposti sono eguali in valore e di segni opposti, ed altrettanto segue per la condizione di carico qui considerata. Sicchè potremo porre in valore assoluto:

$$M_A = -M_B = \mu$$

e per l'equilibrio dovrà essere:

$$\mu = A l - \frac{p l^2}{4}$$

Il valore di A troviamo partendo dalla formola che dà A per un carico P concentrato alla distanza r sen β dalla mezzzeria dell'arco (C. GUIDI, l. c., pag. 20).

$$A = \left[1 + \frac{\beta - \text{sen } \beta (2 \cos \varphi_0 - \cos \beta)}{\varphi_0 - \text{sen } \varphi_0 \cos \varphi_0} \right] \frac{P}{2}$$

Posto successivamente per β due valori β e $-\beta$ eguali ed opposti,

24. — b) *In via grafica.*

Disegnata la curva funicolare (tav. VII, fig. 2) del carico con tensione orizzontale \bar{P} , o eguale alla spinta trovata al numero 22 (in disegno si prese in scala 10 volte più piccola), si osserva che il diagramma del momento flettente è formato dalla figura compresa fra questa curva funicolare ed una retta r passante pel punto C medio di essa. Invero pel centro C della sezione in chiave si ha:

$$M_c = 0$$

mentre per una sezione qualunque dell'ascissa x :

$$M_x = (M_x)_o - A x + \mu$$

ove:

$$(M_x)_o = p \frac{x^2}{2}$$

Le ordinate estreme γ_A ed γ_B si trovano dalla formola al numero 23 ponendo:

$$\gamma_A = -\gamma_B = \frac{\mu}{H} = 8 \times 0,12265 f = 0,9812 f$$

essendo f la freccia degli archi parabolici.

Trascurando il lavoro di deformazione dovuto allo sforzo normale, ed assumendo costante $I \cos \phi$ per tutte le sezioni, le ordinate γ_A ed γ_B in valore assoluto risultano eguali alle saette degli archi parabolici, che sono curve funicolari del carico. In tal caso:

$$\gamma_A = \gamma_B = f.$$

25. — 9ª ipotesi di carico (di nuovo).

TOTALE PESO PERMANENTE E SOVRACCARICO ACCIDENTALE $p = 0,26$ SULLA MEZZA ARCATA DI DESTRA.

a) *Per somme* dai numeri 21 e 23.

$$\begin{aligned} H &= 115,049 & M_A &= -4,522 & \delta_A &= 0,036 \\ A &= 47,12 & M_B &= -22,71 & \delta_B &= 0,180 \\ B &= 49,15. \end{aligned}$$

26. — b) *Graficamente*, costruendo la linea delle pressioni.

Si sommino (tav. VII) algebricamente le ordinate del diagramma di cui a numero 24 con le ordinate (divise per 10) della linea delle pressioni di cui a numero 22 (questa linea riferita all'asse dell'arco costituisce il diagramma del momento flettente per l'ipotesi 7ª di carico). Se ne deduce (figura 3, tav. VII) la linea delle pressioni per l'ipotesi di carico 6ª, che qui ha la maggiore importanza. Se ne deducono:

$$\begin{aligned} H &= 115,2 \\ M_A &= -4,33 \\ M_B &= -22,20 \\ \delta_A &= 0,035 \\ \delta_B &= 0,18. \end{aligned}$$

e sommando, si ha per la reazione A dovuta a due carichi simmetrici P concentrati alla distanza r sen β dalla mezzzeria:

$$A = \frac{\beta - \text{sen } \beta (2 \cos \varphi_0 - \cos \beta)}{\varphi_0 - \text{sen } \varphi_0 \cos \varphi_0} P.$$

Da cui, posto:

$$P = -\frac{p}{2} dx = -\frac{p}{2} \cos \varphi d\varphi$$

ed integrando fra i limiti 0 e φ_0 , deducesi:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{p l^2}{4} \left\{ 1 + \frac{6 l^2 (r-h) - 4 [r^3 - (r-h)^3]}{3 l [r^3 \varphi_0 - l (r-h)]} \right\} = \\ &= \frac{1}{2} p l^2 \times 0,12265. \end{aligned}$$

E per $p = 0,2$:

$$\begin{aligned} l &= 27,23 \\ \mu &= 9,094. \end{aligned}$$

Alcuni, per approssimazione (1), consigliano di assumere:

$$\mu = \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{2} p l^2 = 9,268$$

assumendo costante la quantità $\rho^2 \cos \varphi_0$, e trascurando il lavoro di deformazione dovuto allo sforzo normale.

(1) MÜLLER-BRESLAU, l. c.

27. — Raccogliamo in quadro i risultati ottenuti da noi ed dall'ing. Ferria per l'opportuno controllo.

		Risultati di	
		Ovazza	Ferria
5ª Ipotesi	H =	6,543	6,547
	M _A =	+ 8,52	+ 8,56
	M _B =	- 10,01	- 9,65
	A =	1,02	—
	B =	4,42	—
6ª Ipotesi	H =	115,27	115,66
	M _A =	- 4,44	- 4,20
	M _B =	- 22,80	- 18,41
	A =	46,80	—
	B =	49,45	—

* Calcolo delle massime pressioni unitarie nell'ipotesi 6ª.

28. — È pericolosa la sezione d'imposta B, per cui la pressione normale è:

$$N = 125 \gamma = 343,7 \text{ tonn.}$$

con eccentricità:

$$\delta_B = 0,18$$

onde una massima pressione unitaria all'intradosso:

$$\sigma'' = 547 \text{ tonn. per mq.}$$

Assunto per carico di rottura $K'' = 8000$, risulta:

$$\frac{\sigma''}{H''} = \frac{1}{14,6}$$

ARCATE LATERALI.

29. — Queste arcate nella loro parte elastica hanno asse circolare e spessore costante, ma variano di lunghezza nel senso delle generatrici delle superficie cilindriche d'intradosso e di estradosso, epperò variano di resistenza da sezione a sezione in modo dissimmetrico rispetto all'asse di simmetria del loro asse. Ed anche i carichi sono dissimmetrici rispetto alla mezzeria dell'arco, sicchè quest'arco, per riguardo al suo calcolo statico, presenta uno dei casi più complicati.

Considerando che l'autore del progetto, nello studio delle arcate laterali, prima si propose di determinare la ripartizione dei sovraccarichi fissi in modo da soddisfare determinate condizioni (1), e poscia verificata la stabilità dell'arcata con i carichi così determinati, senza valersi dei calcoli prima istituiti, ottenne appunto quei medesimi risultati che aveva in animo di ottenere, onde un eccellente controllo di quei risultati medesimi; avuto riguardo poi al fatto che già è stabilito di modificare le dimensioni orizzontali di queste arcate, sicchè il calcolo da noi istituito non serve più che come controllo suppletivo a quello del Ferria, ci siamo limitati ad eseguire questo calcolo nel modo per noi più spe-

(1) Cioè: 1° che la spinta orizzontale dell'arcata laterale avesse determinato valore;

2° che i momenti flettenti alle sezioni di appoggio fossero eguali, per modo che pressochè eguali risultassero le eccentricità delle reazioni di appoggio;

3° che il momento flettente per la sezione in chiave fosse $\frac{10}{11}$ di quello delle sezioni di appoggio, ciò che equivale ad avere un'eccentricità della pressione in chiave press'a poco eguale a quella per le sezioni di appoggio;

4° che i sovraccarichi fossero praticamente possibili, cioè compatibili con lo spazio libero fra l'estradosso dell'arcata ed il piano stradale.

Cfr. G. G. FERRIA, Sulla determinazione della curva delle pressioni nel terzo medio dello spessore delle volte da ponte.

dito ed, osiamo dire, di maggior fiducia, cioè col metodo *Eddy-Guidi*. A causa della complicatezza del disegno, lo abbiamo fatto due volte, ottenendo risultati praticamente coincidenti fra loro e con quelli del Ferria. Noi ci limitiamo ad uno dei nostri calcoli grafici, quello che per essere stato eseguito il secondo ed in condizioni più fortunate, ne parve più attendibile.

Rimandando il lettore alla Memoria completa, pubblicata negli *Atti della Società degli Ingegneri di Torino*, qui registriamo solo i risultati:

- Raggio dell'asse $r = m. 33,60$
- Saetta dell'asse $h = m. 2,80$
- Corda dell'asse $2l = m. 26,85$
- Spessore costante dell'arcata . . . $b = m. 1,20$.

Larghezze dell'arcata in corrispondenza dei punti limitanti i sei archi eguali in cui dividesi l'asse dell'arco:

- m. 16,00 ; m. 16,64 ; m. 17,28 ; m. 18,56
- m. 20,32 ; m. 22,90 ; 26,25.

Ne risulta la spinta orizzontale dell'arcata:

$$H = 949 \gamma.$$

Le reazioni \bar{A} e \bar{B} delle imposte contro l'arco:

$$\begin{aligned} \bar{H} &= 949 \gamma \\ \bar{A} &= 1038 \gamma \\ \bar{B} &= 1045 \gamma \end{aligned}$$

Le eccentricità della linea delle pressioni sono massime in chiave ed alle imposte, e misurano rispettivamente alla chiave ed alle due imposte:

$$\begin{aligned} \delta_c &= 0,195 \\ \delta_A &= 0,195 \\ \delta_B &= 0,20 \end{aligned}$$

30. — Il Ferria aveva trovato:

$$\begin{aligned} H &= 947 \gamma \\ \bar{A} &= 1038 \gamma \\ \bar{B} &= 1043 \gamma \\ \delta_c &= 0,196 \\ \delta_A &= 0,196 \\ \delta_B &= 0,197 \end{aligned}$$

Calcolo delle massime pressioni unitarie.

$$31. - \sigma'' = \frac{N}{ab} \left(1 + 6 \frac{\delta}{b} \right), \quad b = m. 1,20.$$

Sezione in chiave C:

$$\begin{aligned} a &= m. 18,56 \\ N &= 949 \gamma = \text{tonn. } 2610 \\ \delta &= 0,195 \\ \delta'' &= 231 \text{ tonn. per mq.} \\ \frac{\sigma''}{K''} &= \frac{1}{34,6} \end{aligned}$$

Sezione d'imposta A:

$$\begin{aligned} a &= m. 16,00 \\ N &= 1038 \gamma = \text{tonn. } 2855 \\ \delta &= 0,195 \\ \delta'' &= 294 \text{ tonn. per mq.} \\ \frac{\sigma''}{K''} &= \frac{1}{27,2} \end{aligned}$$

Sezione d'imposta B:

$$\begin{aligned} a &= m. 26,25 \\ N &= 1045 \gamma = \text{tonn. } 2874 \\ \delta &= 0,20 \\ \delta'' &= 182 \text{ tonn. per mq.} \\ \frac{\sigma''}{K''} &= \frac{1}{44} \end{aligned}$$

PIEDRITTI.

32. — Nel calcolo dei piedritti, da apparecchiarsi in modo che si possano considerare come monoliti, ci limitiamo a determinare la linea delle pressioni per quelle parti che sono in falso, e per cui la costruzione di detta linea ha senso allo stato attuale della questione. Mancando i particolari dell'apparecchio di tal parte dei piedritti, non è possibile ancora di studiare con esattezza la ripartizione del peso loro sui vari giunti *reali*. Quindi consideriamo giunti verticali, *ideali*, e verifichiamo la stabilità per la sezione orizzontale più ristretta, determinandone graficamente (tav. VIII) le risultanti delle forze agenti al disopra di questo piano.

SPALLE.

33. — La fig. 4, tav. VIII, rappresenta la sezione verticale media di una spalla, con il poligono delle successive risultanti a partire dall'imposta dell'arco, supposta in A, fino al piano H F orizzontale, considerando la parte della spalla che corrisponde alla parte di arco che è fra le strombature, ed a cui si riferiscono le cose dette ai numeri 29 a 31. La porzione A D di tale poligono è linea delle pressioni per la parte di spalla che trovasi in falso, e considerata come tale ha andamento soddisfacente.

La sollecitazione esterna pel piano H F incontra questo a distanza di m. 1,05 dal suo centro di gravità; onde una massima pressione unitaria in corrispondenza dello spigolo F di:

tonn. 37,3 per mq.

La pressione unitaria sul piano I L non raggiunge:

tonn. 25 per mq.

PILE.

34. — Ci limitiamo allo studio della stabilità di una parte di pila fra due piani distanti fra loro di 1 m. e paralleli all'asse del ponte, applicandovi le corrispondenti parti aliquote delle azioni delle arcate.

Nella fig. 2, tav. VIII, si disegnarono i poligoni delle successive risultanti p e p' partendo rispettivamente dal piano d'imposta dell'arcata centrale, e da quello dell'arcata laterale. I tratti F H e G D funzionano da poligoni delle pressioni per le parti in falso della pila; il loro andamento è soddisfacente.

La sollecitazione R sul piano AB ha componente verticale eguale a 154,4, è applicata ad una distanza ox di m. 0,06 dal centro della sezione. Onde una pressione unitaria massima:

$\sigma'' =$ tonn. 90 per mq.

Assumendo pel granito di Borgone per carico medio di rottura:

$K'' =$ tonn. 6000 per mq.

risulta:

$$\frac{\sigma''}{K''} = \frac{1}{67}$$

onde un eccesso notevole di stabilità.

STROMBATURE.

35. — Non ci occupammo della parte del ponte riguardante le strombature, essendo solo nostro compito il controllo coi precedenti calcoli, ed occorrendo gli studi dei particolari del progetto per una più minuziosa verifica della stabilità dell'opera.

Ci limitiamo ad accennare ad

ALCUNE CONSIDERAZIONI

sui metodi qui applicati pel calcolo degli archi sotto carichi fissi.

36. — I *metodi analitici* di calcolo, se a prima vista possono sembrare di più facile maneggio e capaci di più esatti risultati, vanno, secondo l'esperienza da noi fatta, applicati in questo genere di ricerche con *scrupolosa diligenza*, spingendo l'approssimazione delle singole operazioni a dei limiti che apparirebbero eccessivi nello studio di una costruzione murale. Ciò si deve al fatto che i valori della spinta orizzontale e dei momenti d'incastro sono generalmente somme al-

gebriche di valore molto piccolo rispetto ai valori dei loro singoli termini, sicchè errori *relativi* anche piccolissimi dei singoli termini possono produrre un errore *relativo* molto grande, magari maggiore dell'unità, nella somma algebrica.

Le modificazioni che abbiamo introdotte nelle espressioni delle reazioni di appoggio, sostituendo alle linee trigonometriche le loro espressioni in funzione delle coordinate, trovano ragione nel più comodo maneggio delle formole così modificate nei casi qui contemplati.

Il *metodo* approssimato del *Castigliano*, opportuno nei casi in cui l'arco non abbia forma semplice, sia per la natura del suo asse geometrico, sia per la legge di variazione della sezione, lo era meno per lo studio dell'arcata centrale che ha spessore costante ed asse circolare. E per archi di forma sì semplice le espressioni esatte delle reazioni di appoggio sono esposte dai più noti trattati.

Il metodo cui per l'esperienza fatta noi diamo la preferenza è l'*Eddy Guidi*. Speditissimo e d'uso facile nei casi semplici (1), e lo prova la semplicità dei grafici (tav. VI e VII), lo è ancora nei casi complessi più del numerico.

E si noti che anche le operazioni eseguite in queste tavole, se pure vanno condotte con quella diligenza che richiede ogni calcolo alquanto complesso, sono d'indole molto meno delicata delle operazioni numeriche portate dal corrispondente calcolo analitico, mentre assicurano quell'approssimazione ch'è giusto richiedere nello studio d'una costruzione murale, evitando gli errori grossolani che si commettono in un lungo calcolo numerico sia per sviste, sia per la difficoltà di stimare le approssimazioni dei risultati.

Ing. ELIA OVAZZA.

MECCANICA APPLICATA

SUI MOTI PERTURBATORI DELLE LOCOMOTIVE

Nota di UGO ANCONA.

I.

Mi propongo di studiare colla massima generalità, in forma nuova, chiara, e condensata, quei moti perturbatori delle locomotive a due cilindri orizzontali, che provengono direttamente dai loro manovellismi.

È questo un argomento importante ed interessante, che pure è svolto assai incompletamente nella letteratura tecnica sulle locomotive (*).

II.

Indichiamo:

con *fianco destro* della locomotiva, quello che si presenta all'osservatore, che ha alla sua destra il camino;

con d ed s gli indici che rispettivamente individuano gli elementi relativi ai fianchi destro e sinistro;

(1) Le costruzioni si semplificano singolarmente quando, com'è di frequente, il prodotto $I \cos \varphi$ del momento d'inerzia della sezione trasversale dell'arco rispetto al suo asse orizzontale baricentrico pel coseno dell'angolo φ che la sezione fa con la verticale sia costante o si possa considerare come tale.

Cfr. C. GUIDI, l. c.

(*) Vedi:

NOLLAU, *Ueber das Anbringen von Gegengewichten an den Triebbrüdern der Locomotiven*. — *Eitzel's Eisenbahnzeitung*, 1848.

COUCHE, *Voie materiel roulant et exploitation technique des Chemins de Fer*. — Tome deuxième. — Paris, 1873.

KOCH, *Das Eisenbahn Maschinenwesen*. — II Theil, 1880. — *Der Betriebsdienst*.

HEUSINGER VON WALDEGG, *Handbuch für spec. Eisenbahn-Tecnik*. — III Band, 1882: *Der Locomotivbau*.

MEYER G., *Gründzüge des Eisenbahn-Maschinenbaues*. — I Theil, 1883: *Die Locomotiven*, ed altri ancora.

con ϕ gli angoli d'inclinazione della manovella destra contati a partire dal punto morto esterno, e supponiamo che la manovella sinistra precorra la prima di 90° ;
 con M una massa di un manovellismo ;
 con M_c una massa compensatrice, e con γ il suo angolo di calettaggio rispetto alla manovella relativa ;
 con l la lunghezza della biella ; con α il suo angolo d'inclinazione ;
 con r il raggio della manovella ; con ω la sua velocità angolare.

La fig. 51, che rappresenta schematicamente la proiezione orizzontale della locomotiva, indica i segni adottati.

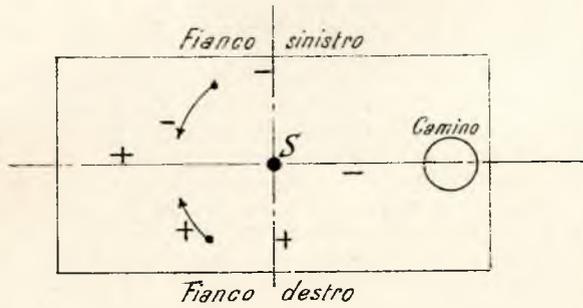


Fig. 51.

III.

Consideriamo anzitutto il gruppo di moti perturbatori provenienti dalla pressione normale N della testa a croce sulla guida, pressione sempre diretta nello stesso senso per la stessa marcia, e generalmente dal basso all'alto per la marcia in avanti.

Sostituendo $\text{tg } \alpha$ con $\text{sen } \alpha$, ed indicando con P la pressione totale media del vapore sullo stantuffo, si ottiene:

$$\text{tra } \dots \dots \begin{cases} 0 - \frac{\pi}{2} \\ \pi - \frac{3}{2}\pi \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} N^d = \pm P \frac{r}{l} \text{sen } \phi \\ N^s = \pm P \frac{r}{l} \text{cos } \phi \end{array} \right\} \dots \dots (1)$$

$$\text{tra } \dots \dots \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \pi \\ \frac{3}{2}\pi - 2\pi \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} N^d = \pm P \frac{r}{l} \text{sen } \phi \\ N^s = \mp P \frac{r}{l} \text{cos } \phi \end{array} \right\} \dots \dots (2)$$

i segni superiori ed inferiori valendo rispettivamente per primi e per secondi intervalli.

Il trasporto di queste N nel piano medio verticale longitudinale origina il momento del *rullio*, mentre la loro risultante dà la forza di *sollevamento*, e, rispetto al centro di gravità S delle parti sospese, il momento del *galoppo*.

IV.

La risultante R delle N si ottiene sommando i due valori corrispondenti di N , valori spostati di 90° rispetto a ϕ . La sua espressione generale è:

$$\text{tra } \dots \dots \begin{cases} 0 - \frac{\pi}{2} \\ \pi - \frac{3}{2}\pi \end{cases} \left\{ R = \pm a (\text{sen } \phi + \text{cos } \phi) \dots \dots (3) \right.$$

$$\text{tra } \dots \dots \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \pi \\ \frac{3}{2}\pi - 2\pi \end{cases} \left\{ R = \pm a (\text{sen } \phi - \text{cos } \phi) \dots \dots (4) \right.$$

dove $a \equiv P \frac{r}{l}$, ed i segni superiori ed inferiori valgono rispettivamente per primi e per secondi intervalli.

Onde formarci una idea esatta della dipendenza reciproca tra R e ϕ , costruiamo la curva $R \equiv \rho = f(\phi)$ facendo variare ϕ tra 0 e 2π . Nel primo quadrante (vedi fig. 52) la curva è rappresentata da un cerchio con centro in:

$$M, \quad \left(\phi = 45^\circ, \quad \rho = a \sqrt{\frac{1}{2}} \right)$$

e raggio $a \sqrt{\frac{1}{2}}$; il cerchio passa per l'origine e per i punti

$$(\phi = 0^\circ, \quad \rho = a) \quad \text{e} \quad (\phi = 90^\circ, \quad \rho = a).$$

Per noi vale soltanto l'arco relativo al primo quadrante, che nella figura è a tratto pieno.

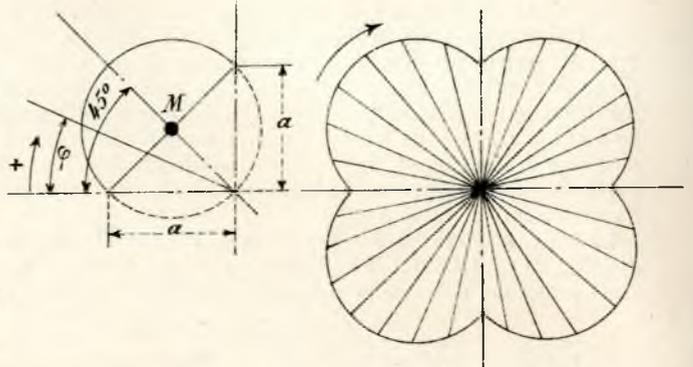


Fig. 52 e 53.

Analogamente per gli altri quadranti.

Epperò la curva $R = f(\phi)$ si compone di quattro archi di cerchio di raggio $a \sqrt{\frac{1}{2}}$, simmetrici rispetto all'origine e raccordatisi sugli assi, come risulta dalla fig. 53.

Per:

$$\left. \begin{array}{l} \phi = \lambda \frac{\pi}{2} \quad \text{dove } \lambda = 0, 1, 2, 3, \dots \quad R = \text{minimo} = P \frac{r}{l} \\ \phi = \lambda \frac{\pi}{4} \quad \text{dove } \lambda = 1, 3, 5, 7, \dots \quad R = \text{massimo} = P \frac{r}{l} \sqrt{2} \end{array} \right\} (5)$$

Queste R si annullano per $l = \infty$; ciò potrebbe ottenersi con manovella a glifo ortogonale, che però non è affatto usata stante i gravi inconvenienti ad essa inerenti.

V.

Il momento M_r del rullio si ottiene sommando algebricamente i momenti di due N corrispondenti rispetto al piano verticale longitudinale. Si ricava:

$$\text{tra } \dots \dots \begin{cases} 0 - \frac{\pi}{2} \\ \frac{3}{2}\pi - 2\pi \end{cases} \left\{ M_r = \pm a s (\text{sen } \phi - \text{cos } \phi) \dots \dots (6) \right.$$

e

$$\text{tra } \dots \dots \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \pi \\ \pi - \frac{3}{2}\pi \end{cases} \left\{ M_r = \pm a s (\text{sen } \phi + \text{cos } \phi) \dots \dots (7) \right.$$

dove s è la distanza delle guide da quel piano, ed i segni superiori ed inferiori valgono rispettivamente per primi e per secondi intervalli. Costruiamo anche qui la curva:

$$M_r \equiv \rho = f_1(\phi)$$

facendo variare ϕ tra 0 e 2π . Nel primo quadrante (vedi figura 54) la curva è rappresentata da un cerchio con centro in:

$$M \left(\phi = 135^\circ, \quad \rho = a s \sqrt{\frac{1}{2}} \right)$$

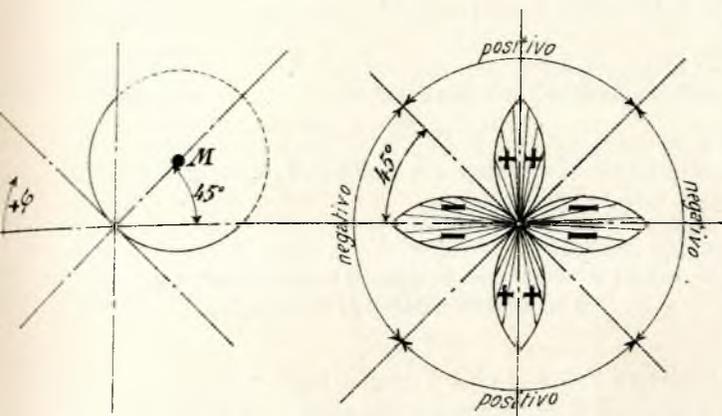


Fig. 54 e 55.

e raggio $a s \sqrt{\frac{1}{2}}$; il cerchio passa per l'origine e per i punti:

$$(\phi = 0^\circ, \rho = -as) \text{ e } (\phi = 90^\circ, \rho = as).$$

Per noi vale soltanto l'arco relativo al primo quadrante, che nella figura è a tratto pieno.

Analogamente per gli altri quadranti.

Epperò la curva $R = f_1(\phi)$ è formata da quattro archi di cerchio di raggio $a s \sqrt{\frac{1}{2}}$, simmetrici rispetto all'origine e raccordantisi così da formare una stella, come risulta dalla figura 55.

Per:

$$\phi = \lambda \frac{\pi}{2} \left\{ \begin{array}{l} \text{se } \lambda = 1, 3, 5, 7, \dots \quad M_r = \text{mass. pos.} = P \frac{r}{l} s \\ \text{se } \lambda = 0, 2, 4, 6, \dots \quad M_r = \text{neg.} = -P \frac{r}{l} s \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\phi = \lambda \frac{\pi}{4}, \text{ se } \lambda = 1, 3, 5, 7, \dots \quad M_r = 0$$

Il momento è periodicamente positivo e negativo, come risulta in modo assai chiaro dalla figura, e com'è naturale, giacchè produce un rullio.

Il rullio non si può completamente ovviare; diminuisce con s , epperò sotto questo punto di vista i cilindri interni sono preferibili agli esterni; il moto perturbatore è di poca entità, e viene smorzato dall'interposizione delle molle.

VI.

Il momento M_g del galoppo è dato dal momento della risultante R rispetto al piano verticale trasversale per S .

Detto m il suo braccio di leva, si ha (vedi fig. 56):

$$m_d = l \cos \alpha - r \cos \phi - s$$

$$m_s = l \cos \alpha + r \sin \phi - s,$$

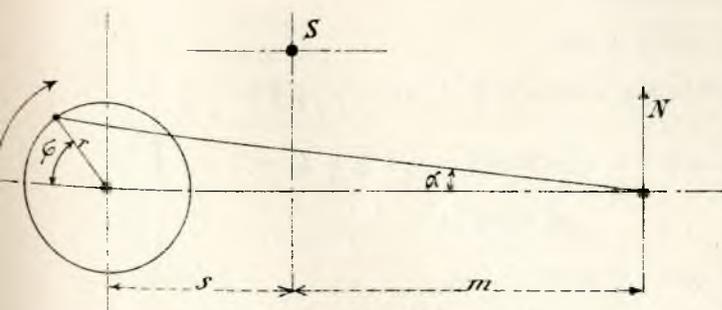


Fig. 56.

s potendo essere positivo o negativo, ossia potendo S cadere a destra o a sinistra dell'asse motore.

Posto con buona approssimazione $\cos \alpha \equiv 1$, si ottengono le espressioni generali:

$$\text{tra } \left\{ \begin{array}{l} 0 - \frac{\pi}{2} \\ \frac{\pi}{2} - \pi \end{array} \right\} M_g = \pm P r \left(1 - \frac{s}{l} \right) (\sin \phi + \cos \phi) \quad (9)$$

$$\text{e } \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{2} - \pi \\ \frac{3}{2}\pi - 2\pi \end{array} \right\} M_g = \pm P r \left[\left(1 - \frac{s}{l} \right) (\sin \phi - \cos \phi) - \frac{r}{l} \sin 2\phi \right] \quad \dots \quad (10)$$

i segni superiori ed inferiori valendo come sopra.

Onde formarci un concetto esatto della dipendenza reciproca tra M_g e ϕ , costruiamo la curva $M_g \equiv \rho = f_2(\phi)$ facendo variare ϕ tra 0 e 2π .

Posto le costanti:

$$P r \left(1 - \frac{s}{l} \right) \equiv a \quad P r \left(\frac{r}{l} \right) = b,$$

avremo nei diversi quadranti le curve:

nel 1° e 3° quadrante rispettivamente:

$$\rho = \pm a (\sin \phi + \cos \phi);$$

nel 2° e 4° quadrante rispettivamente:

$$\rho = \pm \left[a (\sin \phi - \cos \phi) - b \sin 2\phi \right].$$

Nel primo quadrante (vedi fig. 52) la curva è rappresentata da un cerchio con centro in M ($\phi = 45^\circ, \rho = a \sqrt{\frac{1}{2}}$) e

raggio $a \sqrt{\frac{1}{2}}$; il cerchio passa per l'origine e per i punti: ($\phi = 0^\circ, \rho = a$) e ($\phi = 90^\circ, \rho = a$).

Per noi vale soltanto l'arco relativo al primo quadrante, che nella figura è a tratto pieno.

Analogamente per il terzo quadrante.

Nel secondo quadrante, trasformando le coordinate polari rispetto allo stesso polo O , ma al nuovo asse polare OA ($\phi = 45^\circ$), cioè ponendo (vedi fig. 57):

$$\psi = \phi - \frac{\pi}{4};$$

se si indicano con ψ i nuovi argomenti, si ottiene:

$$\rho = a \sqrt{2} \sin \psi - b \cos 2\psi \quad (11)$$

Questa è l'equazione generale di quella famiglia di curve del 6° ordine, dette *scorpioni* o *scarabei*, la cui forma dobbiamo discutere, poichè dipende dalle costanti.

La curva ha tanti rami passanti per l'origine, quante sono le radici reali dell'equazione:

$$\rho = 0,$$

che fornisce:

$$\sin \psi = \frac{-a \sqrt{2} \pm \sqrt{2a^2 + 8b^2}}{4b};$$

quindi 2 valori per il seno e 4 per l'angolo, ossia 4 tangenti alla curva nell'origine, a 2 a 2 egualmente inclinate sugli assi.

Una delle radici è sempre reale, perchè la disuguaglianza:

$$\sqrt{2a^2 + 8b^2} - a\sqrt{2} < 4b,$$

che si riduce alla:

$$0 < 8b^2 + 8\sqrt{2}ab,$$

è sempre soddisfatta, a e b avendo lo stesso segno.

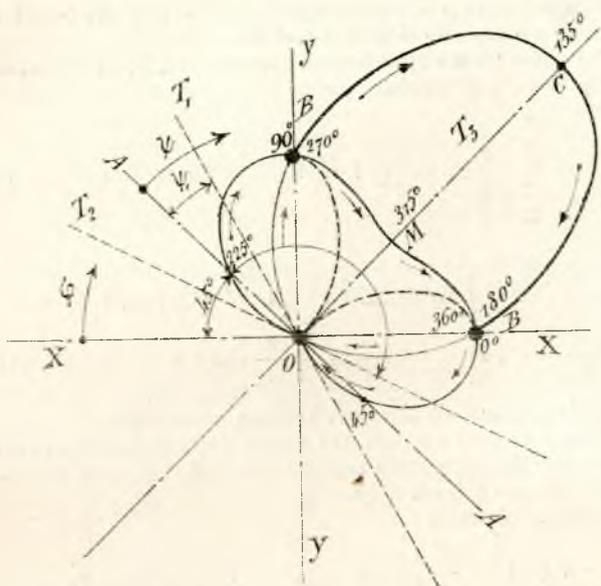


Fig. 57.

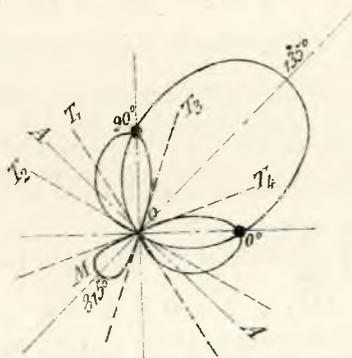


Fig. 58.

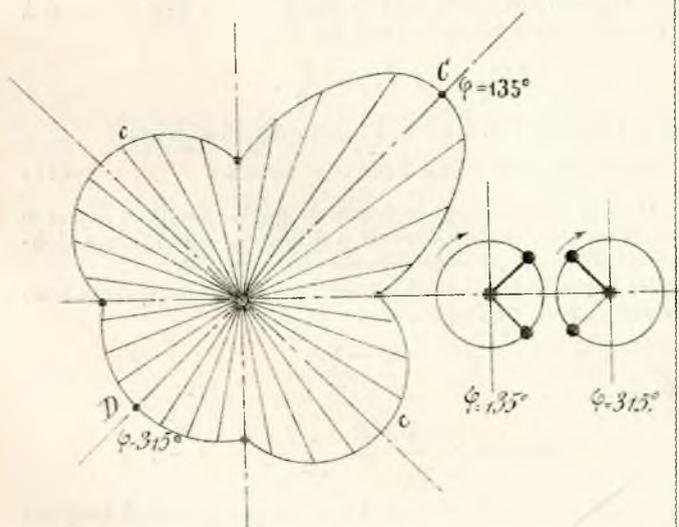


Fig. 59.

L'altra è immaginaria qualora sia:

$$a\sqrt{2} + \sqrt{2a^2 + 8b^2} > 4b,$$

ossia:

$$a\sqrt{2} > b.$$

Se poi:

$$a\sqrt{2} = b,$$

una delle radici diventa $= -1$, ossia due angoli diventano $\frac{3}{2}\pi$.

Avremo dunque i casi seguenti:

Nell'origine si hanno:

1° — se: $a\sqrt{2} < b$, 4 rami e 4 tangenti: T_1, T_2, T_3, T_4
Vedi fig. 58

$$0M > 0$$

2° — se: $a\sqrt{2} = b$, 2 rami, 1 cuspidi, 2 tangenti coincidenti: T_3, T_4
Fig. 57 coll'arco tratteggiato nel 4° quadrante

$$0M = 0$$

3° — se: $a\sqrt{2} > b$, 2 rami, 2 tangenti reali: T_1, T_2
Fig. 57 coll'arco a tratto pieno nel 4° quadrante.

$$0M < 0$$

Il nostro caso è il terzo, giacchè in generale $a > b$.

Nelle figure sono indicati i valori degli angoli ϕ .

Pel secondo quadrante della $M_g = f_3(\phi)$, BCB è il ramo utile.

Pel quarto quadrante si ottiene lo stesso scorpione ribaltato attorno all'asse AA, ed il ramo utile è BMB ribaltato attorno allo stesso asse. In generale il momento del galoppo si annulla mai, quindi i rami utili non debbono nè passare per l'origine, nè avervi cuspidi; ciò conferma che il nostro caso è il terzo.

Epperò la curva $M_g = \rho = f_2(\phi)$ risulta dalla figura 59.

I rami degli scorpioni si raccordano sugli assi X ed Y ai cerchi cc , mentre per:

$$\psi = \lambda \frac{\pi}{4} \text{ dove } \lambda = 1, 3, 5, 7, \dots$$

si ha:

$$\rho = \pm a.$$

Per:

$$\psi = \frac{\pi}{2}$$

(vedi fig. 59, punto C) si ha un massimo (assoluto); in quel punto $\frac{d\rho}{d\psi} = 0$ e passa per ψ crescente dal campo positivo al negativo.

Per:

$$\psi = 3 \frac{\pi}{2}$$

(vedi fig. 59, punto D) si può avere un massimo od un minimo (relativi); in quel punto $\frac{d\rho}{d\psi} = 0$ e $\frac{d^2\rho}{d\psi^2}$ è positivo (minimo) o negativo (massimo) secondo che:

$$a\sqrt{2} \lesseqgtr 4b.$$

Il nostro caso è in generale il terzo, e il quarto ramo assume la forma indicata dalla figura.

Concludendo

per $\phi = 135^\circ$:

$$M_g = \text{mass. assoluto} = Pr \left\{ \left(1 - \frac{s}{l} \right) \sqrt{2} + \frac{r}{l} \right\}$$

per $\phi = \lambda \frac{\pi}{2}$ dove $\lambda = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$:

$$M_g = Pr \left(1 - \frac{s}{l} \right)$$

per $\phi = 315^\circ$:

$$M_g = Pr \left\{ \left(1 - \frac{s}{l} \right) \sqrt{2} - \frac{r}{l} \right\}$$

(12)

Il minimo assoluto di M_g può essere tanto l'ultimo quanto il penultimo valore, a norma delle costanti; la fig. 59 dà le posizioni delle manovelle per $\phi = 135^\circ$ e $\phi = 315^\circ$.

Nella figura 56, s è supposto positivo; potrebbe essere negativo, potrebbe cioè S trovarsi a sinistra dell'albero motore, ciò che aumenterebbe il galoppo.

Il galoppo scompare se $s = l$, ossia se le posizioni medie dei perni d'oscillazione delle teste a croce giacciono nel piano verticale trasversale per S ; ciò non è possibile qualora i cilindri si trovino in posizione normale sul davanti, ma significa che sotto tal punto di vista è preferibile disporli più indietro. Del resto, se gli assi motori ed accoppiati sono i posteriori, un galoppo limitato è favorevole.

VII.

Il gruppo testè studiato di cause perturbatrici imprime dei moti perturbatori alle parti sospese sulle molle e dipende sia in sè stesso, sia nei suoi effetti dalla costruzione delle locomotive; l'ampiezza dei moti dipende altresì dall'ineguaglianza della via.

Sono note, senza che io le dica, le regole da seguirsi nella disposizione delle diverse parti, e nella sospensione, onde rendere questi moti pressochè insensibili; aggiungo solo che la prima è quella: di scegliere un valore relativamente grande pel rapporto $\frac{l}{r}$.

Più importanti sono le cause perturbatrici ed i moti perturbatori del secondo gruppo, che provengono dall'inerzia delle masse che si muovono relativamente al quadro.

Vediamole.

VIII.

Occupiamoci anzitutto dell'equilibrio orizzontale.

Le masse di un manovellismo sono:

a moto rotatorio;

a moto rettilineo alternato;

a moto risultante dai precedenti, nel quale caso ponno dividersi in due parti, ognuna delle quali è animata da uno d'assi.

La forza d'inerzia di una massa a moto alternato eguaglia la componente orizzontale della forza centrifuga relativa alla stessa massa, concentrata nel bottone della manovella che direttamente la muove. Possiamo quindi considerare tutte le masse ridotte al raggio di rotazione r facendo variare i loro angoli di calettamento, e le loro distanze s dal piano verticale longitudinale.

Per le ruote, ossia per M_c , sia $s = \lambda$.

Avremo (vedi fig. 60):

TABELLA T.

		Angoli di calettamento		Distanze s destra e sinistra
		destra	sinistra	
M_1	massa a moto alternato	$\phi + \beta$	$\phi + \beta + \frac{\pi}{2}$	$\pm s_1$
M_2	» biella	»	»	$\pm s_2$
M_3	» manovella	»	»	$\pm s_3$
M_4	» biella accoppiatrice	»	»	$\pm s_4$
M_5	» manovella »	»	»	$\pm s_5$
...
M_c^d	» compensatrice	$\phi + \gamma^d$	—	$+\lambda$
M_c^s	»	—	$\phi + \gamma^s + \frac{\pi}{2}$	$-\lambda$

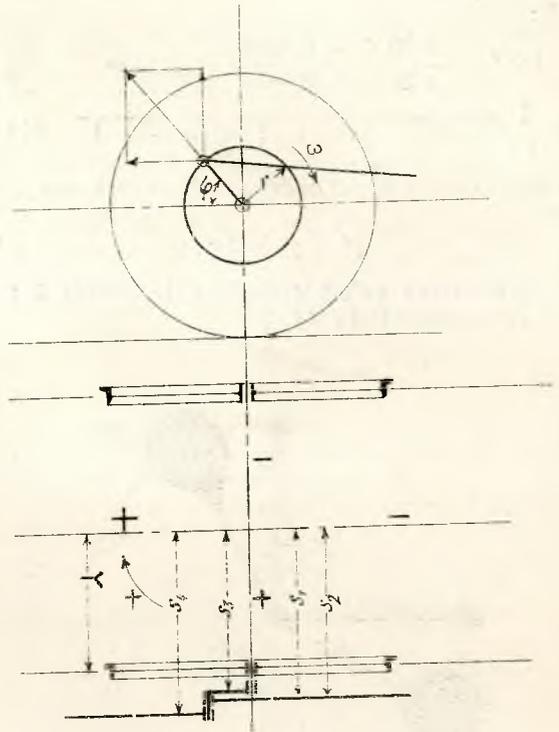


Fig. 60.

dove β è un angolo che può essere $= 0^\circ$, oppure $= \pi$.

La forza risultante orizzontale R_c del rinculo sarà:

$$R_c = r \omega^2 \left\{ (\sum M^d \cos \beta + M_c^d \cos \gamma^d - M_c^s \sin \gamma^s) \cos \phi - (\sum M^s \cos \beta + M_c^d \sin \gamma^d + M_c^s \cos \gamma^s) \right\}$$

Ed il momento M_s del moto serpentino:

$$M_s = r \omega^2 \left\{ (\sum M^d s \cos \beta + M_c^d \lambda \cos \gamma^d + M_c^s \lambda \sin \gamma^s) \cos \phi + (\sum M^s s \cos \beta - M_c^d \lambda \sin \gamma^d + M_c^s \lambda \cos \gamma^s) \sin \phi \right\}$$

Possiamo scrivere:

$$\left. \begin{aligned} R_c &= r \omega^2 (A \cos \phi - B \sin \phi) \\ M_s &= r \omega^2 (C \cos \phi + D \sin \phi) \end{aligned} \right\} (13)$$

Se si pongono le costanti:

$$\left. \begin{aligned} A &= \sum M^d \cos \beta + M_c^d \cos \gamma^d - M_c^s \sin \gamma^s \\ B &= \sum M^s \cos \beta + M_c^d \sin \gamma^d + M_c^s \cos \gamma^s \\ C &= \sum M^d s \cos \beta + M_c^d \lambda \cos \gamma^d + M_c^s \lambda \sin \gamma^s \\ D &= \sum M^s s \cos \beta - M_c^d \lambda \sin \gamma^d + M_c^s \lambda \cos \gamma^s \end{aligned} \right\} (14)$$

Per il completo equilibrio orizzontale dovrà essere:

$$\left. \begin{aligned} A &= 0 \\ B &= 0 \\ C &= 0 \\ D &= 0 \end{aligned} \right\} (14)_a$$

donde:

$$\left. \begin{aligned} 2 \lambda M_c^d \cos \gamma^d &= - \sum M^d (\lambda + s) \cos \beta \\ 2 \lambda M_c^d \sin \gamma^d &= - \sum M^s (\lambda - s) \cos \beta \\ 2 \lambda M_c^s \cos \gamma^s &= - \sum M^s (\lambda + s) \cos \beta \\ 2 \lambda M_c^s \sin \gamma^s &= + \sum M^d (\lambda - s) \cos \beta \end{aligned} \right\}$$

quindi:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma^d &= \frac{\sum M^s (\lambda - s) \cos \beta}{\sum M^d (\lambda + s) \cos \beta} = -\operatorname{tg} \gamma^s \\ M_c^d &= \frac{1}{2\lambda} \sqrt{(\sum M^d (\lambda + s) \cos \beta)^2 + (\sum M^s (\lambda - s) \cos \beta)^2} = M_c \end{aligned} \right\} (15)$$

Le masse compensatrici di destra e di sinistra sono uguali, di più:

$$\gamma^d + \gamma^s = 2\pi \quad (16)$$

Esse si mostrano quindi (sempre a chi guarda il fianco destro) come indica la fig. 61.

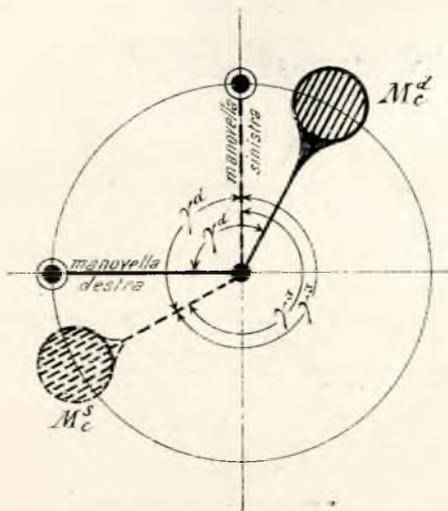


Fig. 61.

Ora è a notarsi che per M_1 , M_2 ed M_3 si ha sempre $\beta = 0^\circ$, quindi onde rendere minime le M_c , ossia le sommatorie da elevarsi al quadrato sotto il radicale, converrà prendere $\beta = 2\pi$ per tutte quelle masse per cui ciò è possibile. Ciò può farsi e si fa infatti per gli accoppiatori qualora si abbiano cilindri interni; ecco il motivo per cui in quest'ultimo caso le M_c diventano minime.

Si noti ancora che se anche l'equilibrio orizzontale non è completo, ossia le (14) non sono soddisfatte, pure, sempreché gli angoli γ non varino, si ricava:

$$\begin{aligned} A &= B \\ C &= D. \end{aligned}$$

IX.

Occupiamoci ora dell'equilibrio verticale. A tale uopo bisogna escludere le masse a moto alternato, le cui forze d'inerzia non hanno mai componenti orizzontali diverse da zero.

Se si pongono le costanti:

$$\left. \begin{aligned} E &= \sum M^d \cos \beta + M_c^d \cos \gamma^d - M_c^s \sin \gamma^s \\ F &= \sum M^s \cos \beta + M_c^s \cos \gamma^s + M_c^d \sin \gamma^d \\ G &= \sum M^d s \cos \beta + M_c^d \lambda \cos \gamma^d + M_c^s \lambda \sin \gamma^s \\ H &= \sum M^s s \cos \beta + M_c^s \lambda \cos \gamma^s - M_c^d \lambda \sin \gamma^d \end{aligned} \right\} (17)$$

Si ottiene, rispettivamente per la risultante R_v e pel momento verticale M_v :

$$\left. \begin{aligned} R_v &= r \omega^2 (E \sin \phi + F \cos \phi) \\ M_v &= r \omega^2 (G \sin \phi - H \cos \phi) \end{aligned} \right\} (18)$$

Epperò le masse M_c e gli angoli γ necessari pel completo equilibrio verticale, si ricavano dalle masse e dagli angoli corrispondenti pel completo equilibrio orizzontale, annullando le masse a moto alternato.

X.

Ci troviamo di fronte ad un noto stato di cose cui mi basta accennare.

Il completo equilibrio orizzontale richiede M_c sensibilmente maggiori che non il completo equilibrio verticale, ed è dannoso, poichè origina nuove forze perturbatrici verticali (in generale maggiori di quelle che si avrebbero senza le M_c), i cui gravi effetti sono:

- 1° Usura dei cerchioni delle ruote motrici, rapida e concentrata in certi punti;
- 2° Pericolo di sollevamento e deviamiento delle stesse ruote.

Sono questi i motivi per cui, in realtà, si procura soltanto il completo equilibrio verticale, accontentandosi di un equilibrio orizzontale parziale. Pure sorpassando il primo non si raggiunge mai il secondo; spesso si riesce a compensare:

Per locomotive di treni diretti sino ad 1/4 delle masse a moto alternato.

Per locomotive di treni merci sino a 1/2 delle masse a moto alternato.

Nel secondo caso il completo equilibrio orizzontale, non molto dannoso grazie alle piccola velocità, è reso difficile dal piccolo diametro delle ruote che male si adattano a ricevere delle grandi M_c .

Ne risulta che orizzontalmente l'azione delle M prevarrà sempre su quella delle M_c ; verticalmente (qualora l'equilibrio verticale sia sorpassato) potrà darsi il contrario. In altri termini, si avranno sempre dei moti perturbatori orizzontali per quanto ridotti, e talvolta anche dei verticali.

Le condizioni teoriche di questi moti sono le stesse, ma le circostanze in cui avvengono sono affatto diverse. Nel primo caso il sistema è rigido, il moto si trasmette integralmente a tutta la locomotiva, e può venire esattamente studiato data che sia l'inerzia con cui quella vi resiste. Nel secondo il sistema è flessibile (molle), le ampiezze d'oscillazione delle parti sospese possono venire ridotte, possono anche annullarsi, giacchè dipendono sensibilmente dall'ineguaglianza del binario, un fattore che non segue alcuna legge.

Studieremo da vicino i moti perturbatori orizzontali.

XI.

Questi moti sono quelli che si avrebbero se tutte le masse mobili fossero ridotte a quella parte della massa a moto alternato che non è compensata, ossia a due masse M'_c al posto delle M_c , tali che le componenti orizzontali delle loro forze centrifughe fossero eguali alla forza d'inerzia delle masse a moto alternato non compensate.

Le costanti A B C D non saranno più nulle: si potranno facilmente determinare in base alle M'_c mediante le (14).

La fig. 62, che rappresenta una proiezione orizzontale della locomotiva, assume il moto risultante dei moti che tendono ad imprimerle la risultante R_c del rinculo ed il momento M_s del moto serpentino, date dalle (13):

$$\begin{aligned} R_c &= r \omega^2 (A \cos \phi - B \sin \phi) \\ M_s &= r \omega^2 (C \cos \phi + D \sin \phi). \end{aligned}$$

Scelto un punto qualsiasi P su S Q inclinata ad angolo α sulla A A, studiamo la curva che esso descrive, riferendola a 2 assi ortogonali per P, e prendendo S Q per asse delle x (vedi fig 62), avremo per le x :

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} &= \frac{g}{G} r \omega^2 A (\cos \phi - \sin \phi) \cos \alpha \\ \frac{dx}{dt} &= \frac{g}{G} r \omega A (\sin \phi + \cos \phi) \cos \alpha \\ x &= -\frac{g}{G} r A (\cos \phi - \sin \phi) \cos \alpha \end{aligned} \right\} (19)$$

E per le x otterremo (le Δx essendo abbastanza piccole onde poter confondere l'archetto descritto da P coll'asse delle y):

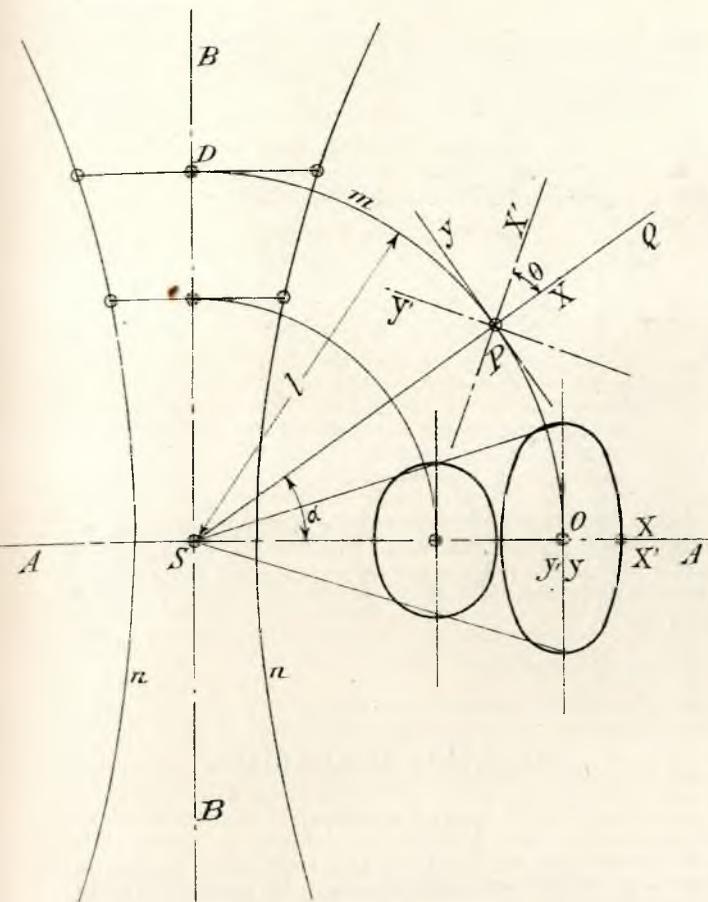


Fig. 62.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 y}{dt^2} &= \frac{l}{I} r \omega^2 C (\cos \phi + \sin \phi) - \\ &\quad - \frac{g}{G} r \omega^2 A (\cos \phi - \sin \phi) \sin \alpha \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{l}{I} r \omega C (\sin \phi - \cos \phi) - \\ &\quad - \frac{g}{G} r \omega A (\sin \phi + \cos \phi) \sin \alpha \\ y &= -\frac{l}{I} r C (\cos \phi + \sin \phi) + \\ &\quad + \frac{g}{G} r A (\cos \phi - \sin \phi) \sin \alpha \end{aligned} \right\} (20)$$

dove I rappresenta il momento d'inerzia della locomotiva rispetto all'asse verticale per S.

Poste le costanti:

$$a \equiv \frac{g r}{G} A$$

$$c \equiv \frac{l r}{I} C$$

osservando però che c è costante solo per i punti del cerchio m, potremo scrivere:

$$\begin{aligned} x &= -a (\cos \phi - \sin \phi) \cos \alpha \\ y &= -c (\cos \phi + \sin \phi) + a (\cos \phi - \sin \phi) \sin \alpha. \end{aligned}$$

Combinando opportunamente queste due espressioni, si può eliminare phi, ottenendo una relazione tra x ed y, che rappresenta la curva cercata.

Si ricava:

$$x^2 (c^2 + a^2 \sin^2 \alpha) - 2xy a^2 \sin \alpha \cos \alpha + y^2 a^2 \cos^2 \alpha - 2a^2 c^2 \cos^2 \alpha = 0 \quad (21)$$

ossia una ellisse riferita a 2 assi ortogonali pel centro P.

Dunque in generale tutti i punti descrivono delle ellissi; in particolare:

Per $\alpha = 0$ (punti dell'asse SA) si ottiene:

$$\frac{x^2}{2a^2} + \frac{y^2}{2c^2} = 1 \quad (21)_a$$

epperò questi punti si muovono secondo ellissi i cui semiassi sono:

l'uno (secondo SA) $= a\sqrt{2}$ che è costante

l'altro (parallelo a SB) $= c\sqrt{2}$ che è proporzionale a l.

Ciò è naturale, essendo questi i massimi assoluti di x ed y che si ottengono dalle (19) e (20) per $\alpha = 0$.

Per $\alpha = \frac{\pi}{2}$ (punti dell'asse SB) si ottiene:

$$x = 0.$$

In questo caso l'ellisse degenera in 2 rette: l'asse orizzontale contato nei due sensi, per ottenere la cui lunghezza riduciamo la (21) a forma canonica.

Scegliamo quindi per assi gli assi proprii X_1, Y_1 dell'ellisse, che sono quelli per cui (vedi fig. 62):

$$\tan 2\theta = \frac{a^2 \sin 2\alpha}{a^2 \cos 2\alpha - c^2} \quad (22)$$

La (21) si scrive allora:

$$\frac{x_1^2}{\left(\frac{4a^2 c^2 \cos^2 \alpha}{a^2 + c^2 - \sqrt{(a^2 + c^2)^2 - 4a^2 c^2 \cos^2 \alpha}} \right)} + \frac{y_1^2}{\left(\frac{4a^2 c^2 \cos^2 \alpha}{a^2 + c^2 + \sqrt{(a^2 + c^2)^2 - 4a^2 c^2 \cos^2 \alpha}} \right)} = 1 \quad (23)$$

Per $\alpha = 0^\circ$ si ricade nella (21)_a; perchè essendo $\theta = 0$, gli assi X ed Y coincidono rispettivamente cogli assi X_1 ed Y_1 .

Per $\alpha = \frac{\pi}{2}$ si ha:

$$\frac{x_1^2}{2(a^2 + c^2)} + \frac{y_1^2}{0} = 1.$$

Quindi:

$$y_1 = 0$$

e l'ellisse si riduce all'asse $\sqrt{8(a^2 + c^2)}$ contato nei due sensi; la lunghezza del semiasse di questa ellisse ridotta e relativa al punto D, eguaglia l'ipotenusa avente per cateti i semiassi dell'ellisse descritta dal punto O; l'asse giace su X_1 , e conforme a quanto risultò prima è orizzontale, perchè essendo $\theta = \frac{\pi}{2}$, gli assi X ed Y coincidono rispettivamente cogli assi Y_1 ed X_1 .

I punti dell'asse SB oscillano quindi su orizzontali, e le loro posizioni estreme sono sull'iperbole:

$$\frac{x_{11}^2}{\left(\frac{2g^2 r^2 A^2}{G^2} \right)} - \frac{y_{11}^2}{\left(\frac{I^2 A^2 g^2}{C^2 G^2} \right)} = 1 \quad (24)$$

presi SA ed SB rispettivamente come assi delle x_{11} ed y_{11} .

Il semiasse trasverso è naturalmente $= a\sqrt{2}$, rappresenta la semiampiezza d'oscillazione di S, ed eguaglia il semiasse orizzontale di tutte le ellissi descritte dai punti di AA.

XII.

È interessante collegare il moto testè studiato colla rotazione delle manovelle; facciamolo, ad esempio, per uno dei punti O dell'asse AA ($\alpha = 0$).

A tal fine costruiamo due curve prendendo per ascisse gli archi phi, e per ordinate successivamente:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= m (\cos \phi - \sin \phi) \\ \rho_2 &= m (\cos \phi + \sin \phi) \end{aligned}$$

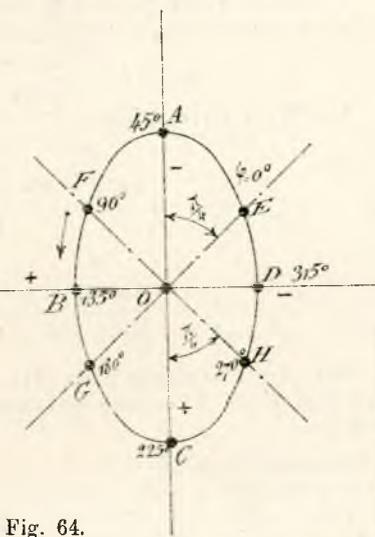
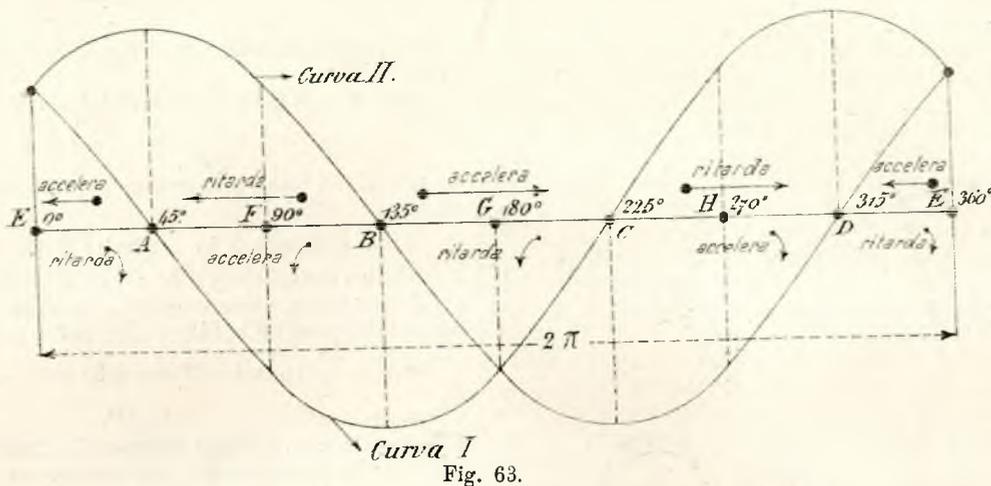


Fig. 64.

dove m è una costante qualsiasi. Otterremo così le due curve I e II (vedi fig. 63), le quali mediante conveniente scelta e variazione nel segno nella natura e nella grandezza dell'unità rappresentativa, possono rappresentare:

- La I le curve di $\frac{d^2 x}{dt^2}$, di $\frac{dy}{dt}$, e di x sugli archi ϕ
- » II » $\frac{d^2 y}{dt^2}$, di $\frac{dx}{dt}$, e di y » »

Le curve danno molto chiaramente i moti componenti secondo gli assi, i quali altro non sono che moti pendolari armonici. I punti A B C D E F G H delle fig. 63 e 64 si corrispondono.

Ad esempio (fig. 64), tra A e C (tra $\phi = 45^\circ$ e $\phi = 225^\circ$), x è positivo, il punto si trova a sinistra della A C, e la sua proiezione orizzontale descrive successivamente i due semiassi O B e B O, il primo con moto ritardato, il secondo con moto accelerato. Contemporaneamente la sua proiezione verticale descrive con moto rispettivamente accelerato e ritardato i due semiassi A O ed O C. Il punto stesso descrive la semiellisse A B C. E così via.

Analogamente per altri punti.

XIII.

È noto come le masse M_c vengano poi ridotte al raggio di girazione al quale debbono applicarsi, e come vengano divise tra i diversi assi accoppiati.

Infine è pure noto che non ostante le sempre crescenti velocità, i moti perturbatori vanno diminuendo, e ciò grazie al continuo crescere della esattezza e razionalità delle costruzioni, della leggerezza delle parti mobili, e della regolarità della via.

Roma, aprile 1893.

TECNOLOGIA INDUSTRIALE

L'ALLUMINIO (*).

Se, uscendo dalla sua onorata tomba di Göttingen, il Woehler potesse tornare a vita, non sarebbe malcontento dell'opera de' suoi nipoti. In breve volgersi d'anni la sua scoperta infatti, dal campo puramente scientifico è entrata nella pratica e l'alluminio, sottratto, per opera appunto dell'eminente chimico tedesco, nel 1827, ai gelosi misteri della natura, non è oggi più una curiosità scientifica, ma un metallo di uso comune, destinato a rendere segnalati servigi all'umanità.

Il nostro secolo, può vantarsi di questa nuova conquista dell'intelligenza dell'uomo sulla natura inerte, per la quale, pur essendo — come alcuni lo chiamano — il secolo del ferro, avrà il merito di aver dato ai posteri l'alluminio, il metallo dell'avvenire.

Secondo la tradizione, un altro uomo, molto prima del Woehler, avrebbe estratto l'alluminio metallico. Vuolsi infatti che un artefice romano trovasse il modo di ricavare dall'argilla un metallo bianco come l'argento, e che, lieto della sua scoperta, fabbricasse con esso una coppa per l'imperatore Tiberio, ma che questi, temendo che il nuovo metallo facesse cadere in dispregio l'oro e l'argento, ordinasse la morte dell'artefice e la distruzione della sua officina, per far perdere ogni traccia della scoperta.

L'alluminio è un metallo bianco leggermente azzurrognolo, di notevole duttilità e malleabilità, sicchè può ridursi in lamine e fili sottilissimi; è più duro dello stagno e meno del rame, ha frattura granulare fina, e fonde a 700°C circa. In pezzi semplicemente fusi, il carico di rottura per trazione è di kg. 10 a 15 per mm^2 di sezione; aumenta sensibilmente quando il metallo è preventivamente sottoposto a martellamento o laminaggio, come risulta dalle esperienze eseguite dal prof. Bauschinger, il quale trovò fino a kg. 26,7 per mm^2 , su pezzi di alluminio trafilati.

Dalle esperienze del Le Chatelier, si deduce inoltre, come appare dalla seguente tabella, che la resistenza dell'alluminio diminuisce col crescere della temperatura.

Temperatura in gradi cent.	Resistenza alla trazione per mm^2 in kg.
15°	18,7
100°	15,2
150°	12,96
200°	10,08
250°	7,68
300°	5,76
350°	3,84
400°	2,4
460°	1,6

(*) Sunto di conferenza tenuta alla Società degli Ingegneri e degli Architetti in Roma dal Cap. E. Stassano.

Infine, una delle qualità più spiccate di questo metallo è la sua estrema leggerezza; il peso specifico, che è di 2,64 per il metallo semplicemente fuso, sale a 2,68 se è laminato, ed a 2,7 se è trafilato.

Prendendo per unità il peso specifico dell'alluminio, quello

dello zinco	sarebbe eguale a	2,7
» stagno	»	» 2,76
» ferro	»	» 2,91
» rame	»	» 3,37
» nichelio	»	» 3,37
» argento	»	» 3,98
» piombo	»	» 4,30
» oro	»	» 7,31
» platino	»	» 8,51

L'alluminio non si ossida alla temperatura ordinaria, stando a contatto dell'aria, sia secca che umida; comincia invece ad essere attaccato dall'ossigeno dell'atmosfera alla temperatura di fusione e la reazione cresce d'intensità allorché la temperatura aumenta.

L'acqua non ha parimenti alcuna azione sull'alluminio, anche alla temperatura di ebollizione; l'acqua di mare intacca pochissimo il metallo; una lastra di alluminio stata immersa nel mare per 40 giorni consecutivi, non presentava quasi alcuna alterazione, mentre un'altra di acciaio, rimasta parimenti immersa per lo stesso periodo, era profondamente ossidata.

L'alluminio non subisce alcuna alterazione a contatto dell'acido solfidrico e dell'ammoniaca, non è intaccato dall'acido nitrico concentrato; si scioglie lentamente nell'acido solforico diluito, mentre è rapidamente e profondamente intaccato dall'acido cloridrico e dalle soluzioni alcaline.

Questo fatto, che merita speciale considerazione, dimostra che tale metallo si comporta come base con alcuni acidi, e come acido per rispetto alle basi alcaline.

Molti sono i metalli coi quali l'alluminio forma delle leghe. La caratteristica principale di queste leghe, che in generale hanno una importanza puramente scientifica, è l'estrema fragilità e durezza. Alcune però, per le speciali loro proprietà, sono di uso industriale.

L'alluminio non si trova allo stato metallico in natura: numerosi ed abbondanti sono però i suoi minerali, fra cui i principali sono: a) il *corindone*, sesquiossido di alluminio cristallizzato (Al_2O_3) che prende il nome di *jafino* quando è incolore; mentre chiamasi *zaffiro*, *smeraldo*, *rubino* od *ametista* quando è colorato da piccole quantità di ossidi metallici, coi quali trovasi combinato. È, dopo il diamante, il corpo più duro che esista in natura. Una varietà di questo minerale è lo *smeriglio*, nel quale la particolare colorazione è dovuta alla presenza di ossido di ferro.

b) la *bauxite*, sesquiossido alluminico-ferrico idrato ($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$).

c) l'*allumite*, solfato alluminico potassico idrato ($KO, SO_3, 3Al_2O_3, 6H_2O$).

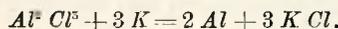
d) l'*alluminite*, solfato alluminico idrato ($Al_2O_3 \cdot SO_3 \cdot 9H_2O$).

e) la *criolite*, fluoruro alluminico sodico ($AlF_3 \cdot NaF$).

f) l'*argilla* ed il *caolino*, che altro non sono se non silicati d'allumina.

g) i *feldspati* in genere, silicati doppi di alluminio e di un altro metallo.

Per estrarre l'alluminio metallico, il Woehler trasse partito della grande affinità che il cloro ha pel potassio, facendo reagire a caldo il cloruro d'alluminio col potassio



Otteneva così una polvere bruna che, stropicciata, prendeva aspetto metallico, e rifiusa forniva piccole masse di alluminio.

Le difficoltà che bisognava superare per ottenere il potassio metallico ed il cloruro d'alluminio, rendevano tale metodo di estrazione dell'alluminio laborioso e costosissimo.

Il Sainte-Claire-Deville continuò gli studii intrapresi dal Woehler, e, coll'appoggio fornitogli dall'imperatore Napoleone III, ottenne buoni risultati.

Egli cominciò dal sostituire al potassio il sodio, metallo di più facile preparazione e meno costoso, e ricavò in tal modo, nel 1854, il primo massello di alluminio di una certa importanza, che presentò all'Accademia delle Scienze di Parigi; quindi, in collaborazione del Debray, impiegò con felice esito nella reazione, in luogo del semplice cloruro anidro di alluminio (Al_2Cl_3), il cloruro doppio alluminico sodico ($Al_2Cl_3 \cdot 2NaCl$).

Contemporaneamente al Deville, il Percy in Inghilterra ed il Rose in Germania, studiarono il problema della estrazione dell'alluminio, cercando invece di ricavarlo dalla criolite, che esiste in natura.

Quantunque questi ed altri moltissimi tentativi, che in seguito furono fatti per l'estrazione dell'alluminio con procedimenti chimici, fossero coronati da felice esito, il prezzo dell'alluminio non discese mai al disotto di 30 a 40 lire per kg., onde, se da una parte si poteva essere lieti del successo ottenuto — riducendo le spese di estra-

zione a sì basso limite, in confronto del costo del primo alluminio fabbricato, che superava le 1000 lire per kg. — non era però possibile l'impiego industriale dell'alluminio per il valore elevato che ancora possedeva.

Spetta quindi ai processi elettrici l'onore di aver resa possibile l'estrazione in grande dell'alluminio a buon mercato.

La prima idea di separare da un sale d'alluminio il metallo collettrolisi, è del Sainte-Claire-Deville, il quale però, non disponendo allora (1854-58) dei potenti generatori della corrente, che oggi si posseggono, non ottenne i risultati che sperava.

Da quell'epoca fino al 1883, nessun tentativo si fece per l'estrazione dell'alluminio coll'elettricità. Il Lutin, fu il primo a riprendere le esperienze del Deville, però con cattivi risultati. Quindi il Kleiner ed il Loissier fecero altri tentativi, con pari sorte, per sciogliere il problema. Solo nel 1885, per opera dei fratelli Cowles, in America, si ottennero i primi risultati veramente pratici, col sistema termoelettrico da essi ideato, col quale però non era possibile ricavarne l'alluminio puro, ma leghe di alluminio.

L'anno appresso invece, l'Hall in America e l'Héroult in Francia, ricavarono il metallo puro dall'elettrolisi di sali fusi d'alluminio, risultato che più completamente fu ottenuto nel 1887 dal Minet, parimenti in Francia. Oltre ai perfezionamenti, che l'Hall e l'Héroult sono andati apportando ai loro primitivi processi, da quell'epoca in poi non si sono avuti altri metodi per l'estrazione dell'alluminio.

Con questi però si è potuto già realizzare una notevolissima riduzione nel costo dell'alluminio, che è ora disceso a sole 6 a 7 lire per chilogrammo. E da sperarsi dai buoni risultati avuti in sì breve tempo che presto altri perfezionamenti vengano portati ai processi ora in uso, pei quali il costo dell'alluminio sia ancora ridotto.

Le proprietà dell'alluminio suggeriscono di per sé le applicazioni industriali che tale metallo può avere. L'estrema sua leggerezza, la sua inossidabilità, il non essere attaccato dall'acido solfidrico e dai vapori d'ammoniaca, favoriranno certamente la sostituzione dell'alluminio al rame, all'ottone ed al piombo nella costruzione di tutti gli oggetti di uso comune.

Perché però ciò possa verificarsi completamente, ed a vincere quella naturale riluttanza, che si ha in generale ad accettare ciò che è nuovo, occorrerà che il prezzo attuale dell'alluminio subisca ancora forti riduzioni e che sia reso possibile di saldare coi metodi ordinarii l'alluminio a se stesso e ad altri metalli.

Nè minor fortuna avranno certamente alcune fra le molte leghe, che l'alluminio forma coi diversi metalli ai quali si associa, le quali presentano dei caratteri sommamente industriali.

Queste leghe, che possono dividersi in due grandi categorie, in leggieri cioè ed in pesanti, rappresentano fin d'ora un notevolissimo progresso industriale.

Fra le leggieri meritano speciale menzione quella al 10 0/0 di stagno, che è duttile e malleabile quasi come l'alluminio puro, e può senza grande difficoltà saldarsi su se stessa, e quelle contenenti piccole quantità di rame, che, come appare dalla seguente tabella ricavata da esperienze del capitano Julien in Francia, hanno grandi tenacità.

Al.	Cu.	Densità	Resistenza alla rottura per trazione in kg. per mm. q.
100	—	2,67	18,7
98	2	2,71	30,7
96	4	2,77	31,1
94	6	2,82	38,6
92	8	2,84	35,5

Fra quelle pesanti sono particolarmente preziose le leghe di rame col 5, col 7,5 e col 10 0/0 di alluminio, conosciute col nome di bronzi d'alluminio e quelle di rame, zinco ed il 2 a 3 0/0 di alluminio, dette ottoni d'alluminio.

Esse sono malleabilissime a freddo e a caldo, hanno grande resistenza, e acquistano maggior tenacità, sia con la fusione in pretella, sia colla fucinatura.

Di fronte a tali eccellenti qualità s'incontrano alcune pratiche difficoltà nella materiale fusione di queste leghe, alle quali è forse dovuto il relativamente scarso uso che attualmente si fa di esse nella pratica.

Non essendo però molto difficile eliminarle, è da sperare che presto esse possano prendere quel posto nelle industrie metallurgiche, che le spiccatissime loro qualità debbono attribuir loro, al quale scopo si giungerà ancora più facilmente, allorché sarà possibile all'umana intelligenza di perfezionare i metodi di estrazione dell'alluminio, per ottenere più a buon mercato.

(Annali della Società degli Ingegneri ed Architetti Italiani).

NOTIZIE

Trasporto d'energia elettrica da Tivoli a Roma. — Gli impianti, mediante i quali da Tivoli viene trasportata a Roma una potenza di circa 1200 cavalli-vapore, costituiscono una delle più importanti applicazioni del trasporto a distanza dell'energia elettrica.

La *Rivista di Artiglieria e Genio* riassume dal periodico *Le génie civil*, ed in parte dal periodico *L'Industria*, le seguenti notizie intorno a tale impianto.

Fino dal 1887 la città di Roma possedeva un'officina d'elettricità impiantata dalla Casa Gaulard e Gibbs, con correnti alternate e trasformatori che funzionavano a 2000 volts. Siccome questa installazione era divenuta insufficiente e d'altra parte funzionava per mezzo di macchine a vapore, si pensò di utilizzare la potenza idraulica delle cascate di Tivoli, che si trovano a 28 chilom. di distanza da Roma. Il sig. Pouchain, direttore delle officine del gaz, caldeggiò con insistenza tale idea, ed è principalmente ai suoi sforzi, ed all'opera del dottor Mengarini della Società anglo-romana, coadiuvata dal prezioso concorso del sig. Ziperowski della Casa Ganz e C., di Budapest, che si deve questo notevole impianto.

Il potenziale di 2000 volts sarebbe al certo stato insufficiente per trasportare a 28 chilom., con convenienza economica, l'energia richiesta, la quale sopra i 1000 kilowatts; fu quindi stabilito, per rendere attuabile tale trasporto dal punto di vista della spesa, di elevare il potenziale a 5000 volts.

Giunta colla differenza di potenziale di 5000 volts alle porte di Roma, l'energia elettrica è dapprima trasformata alla tensione di 2000 volts in una stazione secondaria, poi viene canalizzata nella città, ed infine, mediante altri trasformatori esistenti in vari punti della città stessa, è distribuita colla tensione di 100 volts nei circuiti dove viene adoprata.

Questa doppia trasformazione si eseguisce con estrema facilità, e, quando l'intensità è massima, i trasformatori danno il rendimento di circa il 96 0/0.

In conseguenza di ciò, l'officina a vapore è divenuta semplicemente un'officina ausiliaria, ed in tesi generale lo stabilimento di Tivoli basta per tutti i bisogni.

Per tale stabilimento, con un canale lungo 150 m. largo m. 2,70 praticato in un antico acquedotto romano, viene derivata dall'Aniene la portata di 3750 m³. Il canale sbocca in una torre, nell'interno della quale è contenuto un tubo adduttore, di lamiera di ferro, verticale, del diametro di 1,60 m. e dell'altezza di 40 m. Alla parte inferiore, il tubo in parola si raccorda con un tubo orizzontale di uguale diametro e della lunghezza di 50 m., disposto lungo il soffitto dell'officina, e munito a sua volta di 3 tubi di derivazione orizzontali ad esso normali, da ognuno dei quali si partono 3 tubi verticali che adducono alle turbine.

Queste sono in numero di 9, suddivise in 3 gruppi uguali e si trovano nella parte essenziale dello stabilimento, la quale è costituita da un grande ambiente lungo 25 m. e largo 15 m. La quantità d'acqua da immettersi nei vari tubi viene regolata da saracinesche, tutte comandate dalla pressione idraulica, le quali, anche in caso di rottura della condotta o d'altro accidente, permettono d'isolare le varie turbine.

Delle 3 turbine d'ogni gruppo, 2 sono da 350 cavalli, ed 1, più piccola, posta in mezzo alle altre due, è da 50 cavalli. Tutte sono del sistema Girard, ad asse orizzontale e ad ammissione parziale, con regolatore automatico del sistema Ganz. Tali regolatori assicurano alle turbine tutta l'esattezza e precisione di funzionamento che si potrebbero desiderare da macchine a vapore perfezionate.

Le turbine grandi fanno 170 giri per minuto, quelle piccole ne fanno 375.

Ciascuna delle turbine da 350 cavalli muove direttamente una dinamo a corrente alternata, che con 170 giri per minuto, produce una corrente dell'intensità di 42 ampère e della tensione di 5100 volts. Il sistema induttore del diametro di m. 2,20, ha 30 poli, e dà 42,5 alternazioni per secondo. Ognuna delle turbine piccole, con 375 giri per minuto, mette in azione una dinamo eccitatrice a corrente continua con 4 poli, che produce una corrente di 150 ampère a 180 volts, ossia 27 kilowatts.

Tanto gli alternatori che le eccitatrici sono accoppiati in derivazione. Essi vengono regolati con reostati a mano introdotti nel circuito d'eccitazione, ed anche con reostati automatici del sistema Blatty. In tal modo la tensione della corrente alternata vien mantenuta costante a Roma. Le perdite poi, che hanno luogo lungo la linea, sono compensate da un ugualizzatore di tensione.

Gli interruttori sono costituiti da vasi di ebonite, di forma cilindrica ripieni di mercurio, nei quali sono immerse le bacchette di contatto. Sollevando ed abbassando questi vasi con delle leve, si eseguono con facilità le commutazioni ritenute necessarie.

La linea elettrica aerea che congiunge la stazione di Tivoli con quella di Roma a Porta Pia segue lo stesso tracciato rettilineo della condotta dell'Acqua Marcia, discostandosi solo per poco al principio ed alla fine. La sua lunghezza è di metri 24,855. Essa si compone di

4 cavi, formati ciascuno da 19 fili di rame del diametro di 2,6 mm., sicchè pel conduttore corrisponde una sezione totale di 100 mm². Questi cavi possono essere aggruppati a volontà nella stazione di partenza ed in quella di arrivo. Quando 5 alternatori lavorano a pieno carico, la perdita di corrente nella linea è di 1020 volts, cioè del 20 0/0 circa. Il complesso dei 4 cavi pesa 100 t.

La linea è sostenuta da solidi isolatori ad olio fissati a pali distanti da 35 a 40 m. gli uni dagli altri. I pali di sostegno sono costituiti da ferri a doppio T, collegati insieme e chiodati: essi portano anche 2 fili di bronzo silicioso del diametro di 2 mm., i quali servono per la corrispondenza telegrafica e telefonica: il filo più basso rimane ancora a 7 m. sopra il suolo.

A porta Pia, dinanzi alle mura di Roma, la linea fa capo ad una stazione secondaria, in cui sono impiantati i trasformatori. Ivi la corrente viene subito ridotta da 4000 a 2000 volts per mezzo di 32 trasformatori di 25 kilowatts ciascuno.

Un primo gruppo di 16 trasformatori è destinato al servizio della rete sotterranea che provvede all'alimentazione delle lampade ad incandescenza, per le quali la tensione è mantenuta costantemente a 2000 volts.

Un secondo gruppo, pure di 16 trasformatori, viene impiegato per il servizio delle lampade ad arco.

Ciascuno di questi ultimi trasformatori alimenta 45 lampade, e perciò, siccome due trasformatori sono lasciati in riserva, il numero delle lampade di cui si può disporre è di 600.

In ogni circuito un reostato automatico mantiene costante a 14 ampères l'intensità della corrente, inserendo o distaccando resistenze convenienti. Inoltre, mediante speciali commutatori, si possono disporre le varie sezioni del circuito secondario di ogni trasformatore in modo da produrre tensioni di 500, 1000, 1500 e 2000 volts, passando facilmente da un potenziale all'altro.

L'impianto di cui si tratta funziona perfettamente, e fa onore a coloro che l'hanno progettato, ed a coloro che l'hanno eseguito.

(*Rivista di Artiglieria e Genio*).

BIBLIOGRAFIA

I.

Il trasporto di energia elettrica da Tivoli a Roma. — Monografia del dott. A. BANTI. — Op. in-8° grande di pag. 38 con incisioni nel testo e due tavole litografate. — Roma, 1893.

Questa interessante monografia, che l'Autore ha pubblicato nella *Rivista mensile l'Elettricista*, e poi in un opuscolo a parte, contiene in forma sintetica ma chiara la storia non del tutto recente dell'idea di illuminare elettricamente Roma, utilizzando a Tivoli la forza di uno dei salti delle acque dell'Aniene, e descrive ordinatamente tutti i lavori eseguiti a Tivoli, lungo la linea ed a Roma, per servire all'illuminazione pubblica e privata, e come forza motrice.

Le notizie che sul medesimo impianto hanno trovato posto in questo medesimo fascicolo ci dispensano da ulteriori cenni generali al riguardo. La monografia è ricca di particolari tecnici opportunamente descritti con figure, ed illustrati da vedute fotografiche nitidamente riprodotte.

G. S.

II.

La viabilità della Provincia di Teramo. — Cenni storici e descrittivi dell'Ingegnere GAETANO CRUGNOLA. — Op. in-8° di pag. 128 colla carta geografica della provincia nella scala di 1 a 150,000. — Teramo, 1893.

La viabilità di un paese costituisce senza dubbio uno dei principali elementi della sua esistenza; le sue ricchezze sono intimamente collegate colle sue vie di comunicazione. Oltrechè la forza di un popolo ed il suo prestigio hanno sempre dipeso e dipenderanno molto tempo ancora dalla facilità con cui esso può spostare e trasportare le proprie forze militari.

Delle quali cose convinta la Provincia di Teramo, e comechè si trovasse fra quelle che più difettavano di strade, si mise alacremente all'opera, e providamente aiutata dal R. Governo, riuscì in tre decenni a portare quasi a complemento la propria rete stradale.

L'egregio Ingegnere Capo di quella Provincia, l'ottimo amico nostro cav. Gaetano Crugnola, del quale i nostri lettori conoscono l'attività straordinaria, ed il retto senso pratico, nella pubblicazione che ci sta sotto'occhi fa toccare con mano come lo stato della viabilità dell'Abruzzo Teramano si trovi presentemente in piena armonia coi bisogni della regione, e così pure all'altezza dei tempi per rispetto alle altre provincie.

G. S.

Errata-corrige. — Nel presente fascicolo, pag. 73, colonna seconda, linea 19, invece di $r = \text{mmq. } 9,4865$, leggesi: $r = \text{mm. } 9,4865$. Linea 31, invece di: valore dato dalla (1) leggesi: valore dato dalla (11).

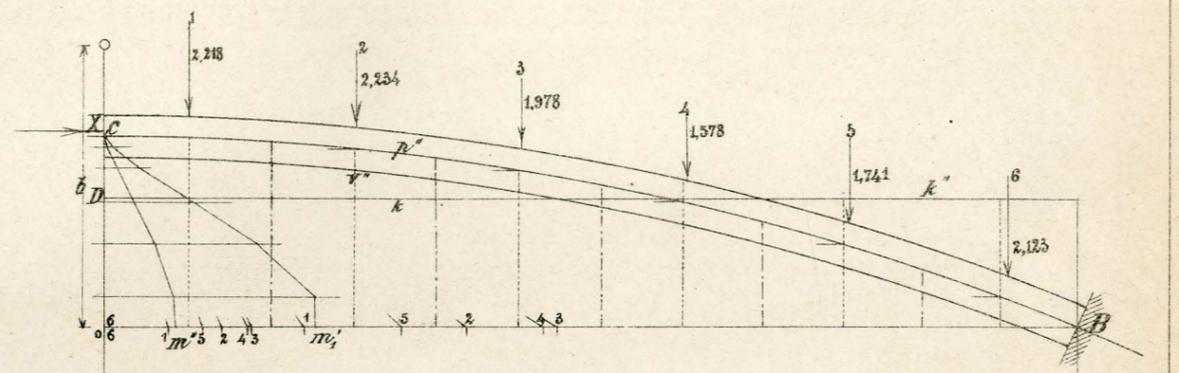
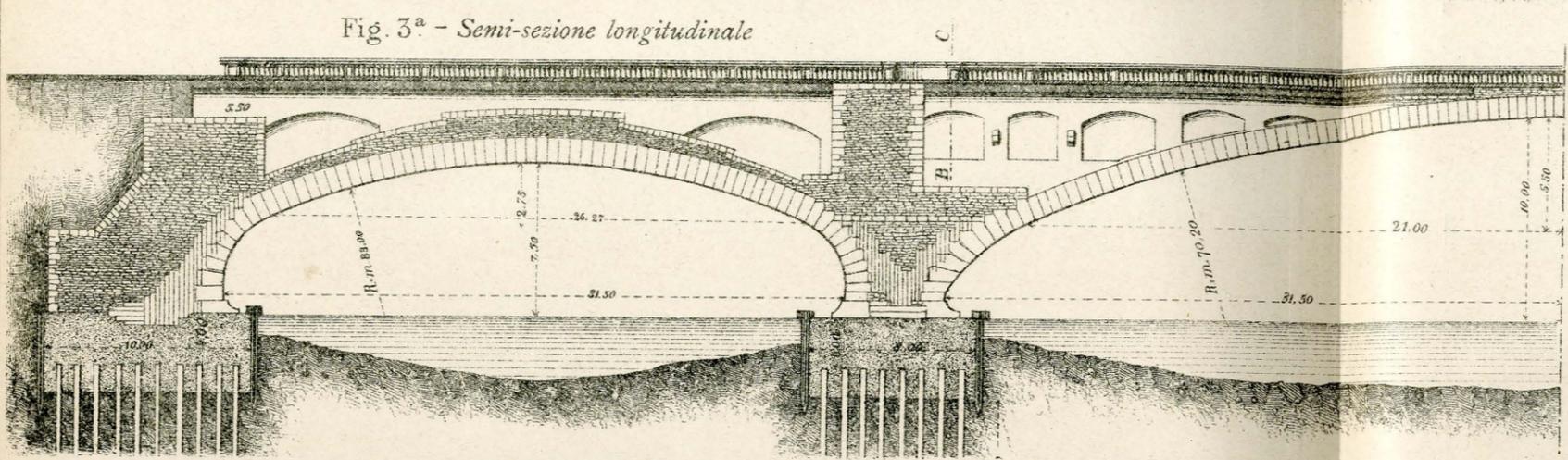
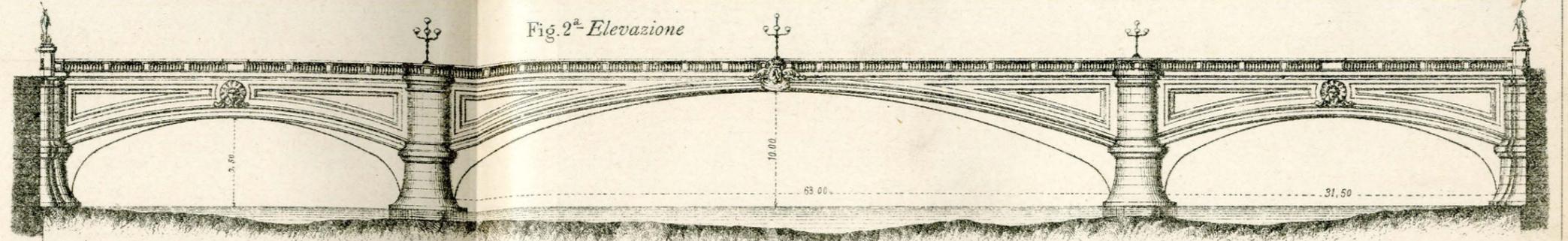
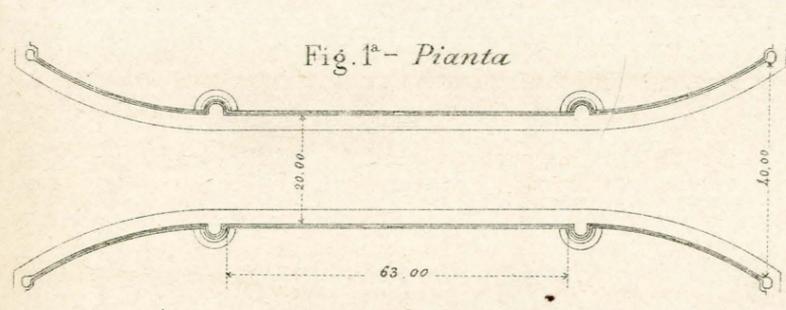
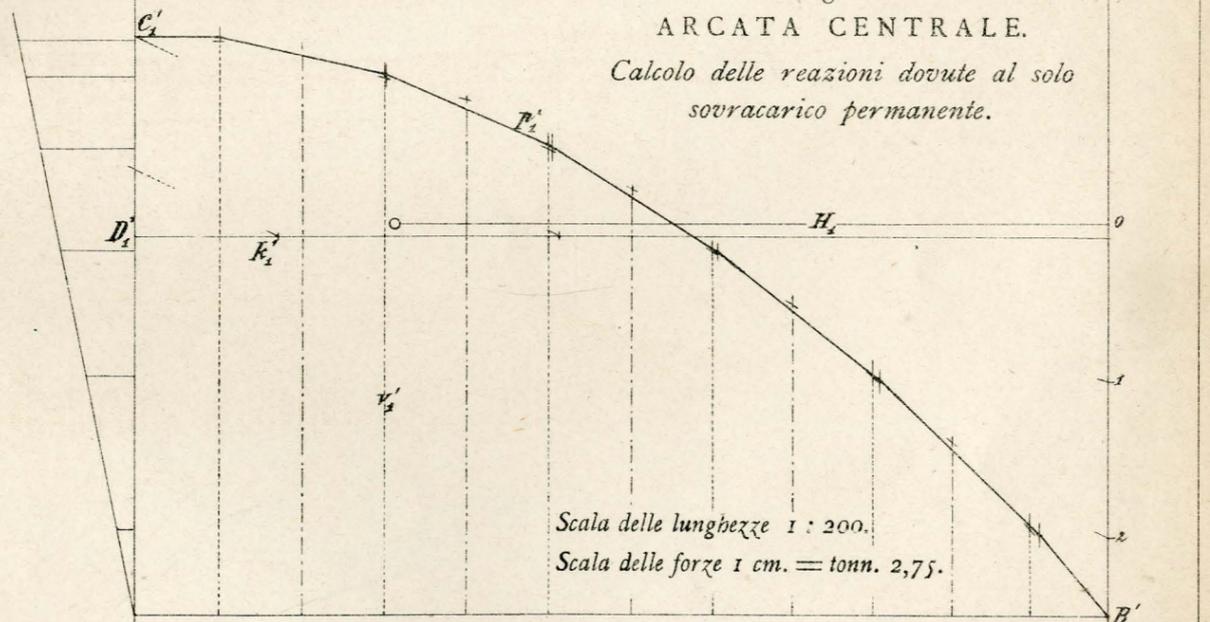
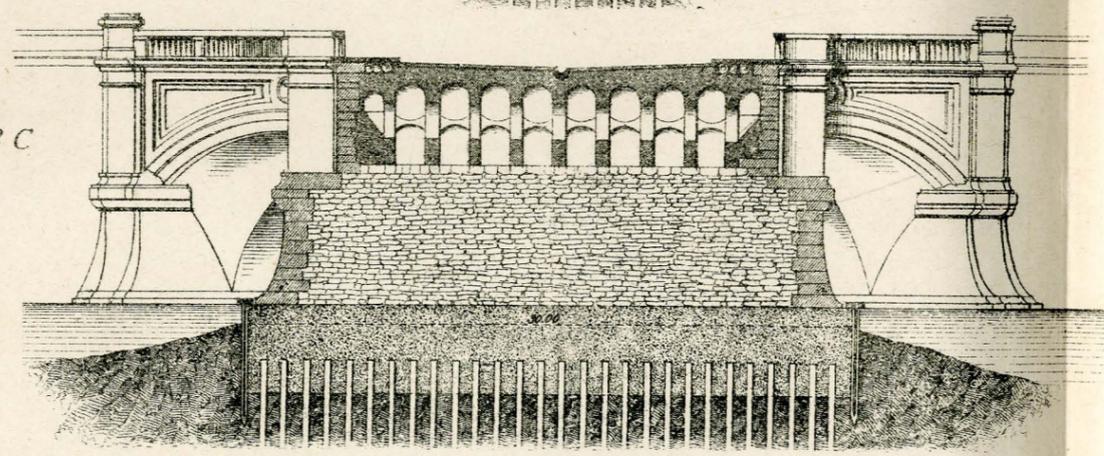


Fig. 5.^a
ARCATA CENTRALE.
Calcolo delle reazioni dovute al solo
sovracarico permanente.

Fig. 4.
Sezione trasversale A B C



Scala delle lunghezze 1 : 200.
Scala delle forze 1 cm. = tonn. 2,75.

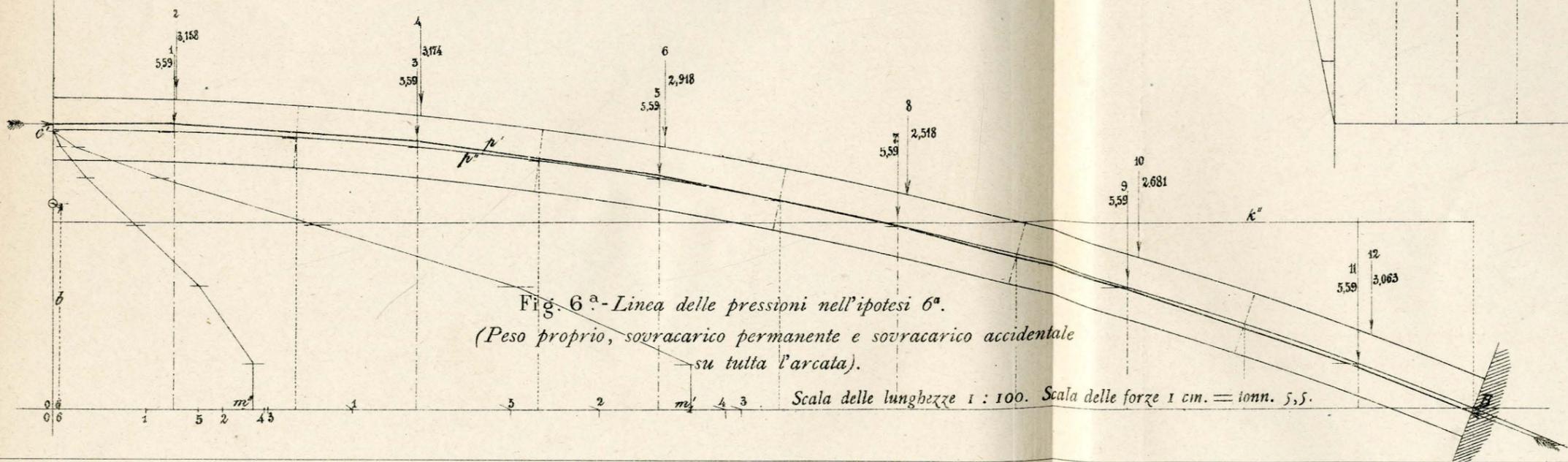


Fig. 6.^a - Linea delle pressioni nell'ipotesi 6.^a.
(Peso proprio, sovracarico permanente e sovracarico accidentale
su tutta l'arcata).

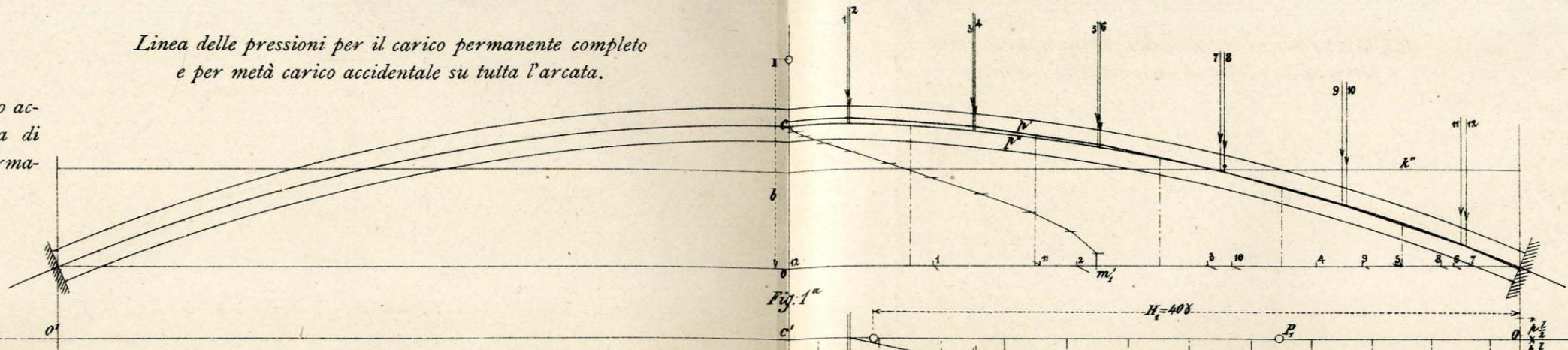
Scala delle lunghezze 1 : 100. Scala delle forze 1 cm. = tonn. 5,5.

$H = \frac{m'_1}{m' + \frac{\rho^2 \cdot s}{b \cdot \Delta s}} H_1.$	
(Fig. 6).	(Fig. 5).
$m'_1 = 12,18$; $m' = 3,82$	$m'_1 = 5,9$; $m' = 1,91$
$\frac{s}{\Delta s} = 6$; $\rho^2 = 0,12$	$\frac{s}{\Delta s} = 6$; $\rho^2 = 0,12$
$b = 4$; $H_1 = 40^{mc}$.	$b = 8$; $H_1 = 10^{mc}$.
$H = 121,8^{mc}$.	$H = 29,5^{mc}$.

ARCATA CENTRALE.

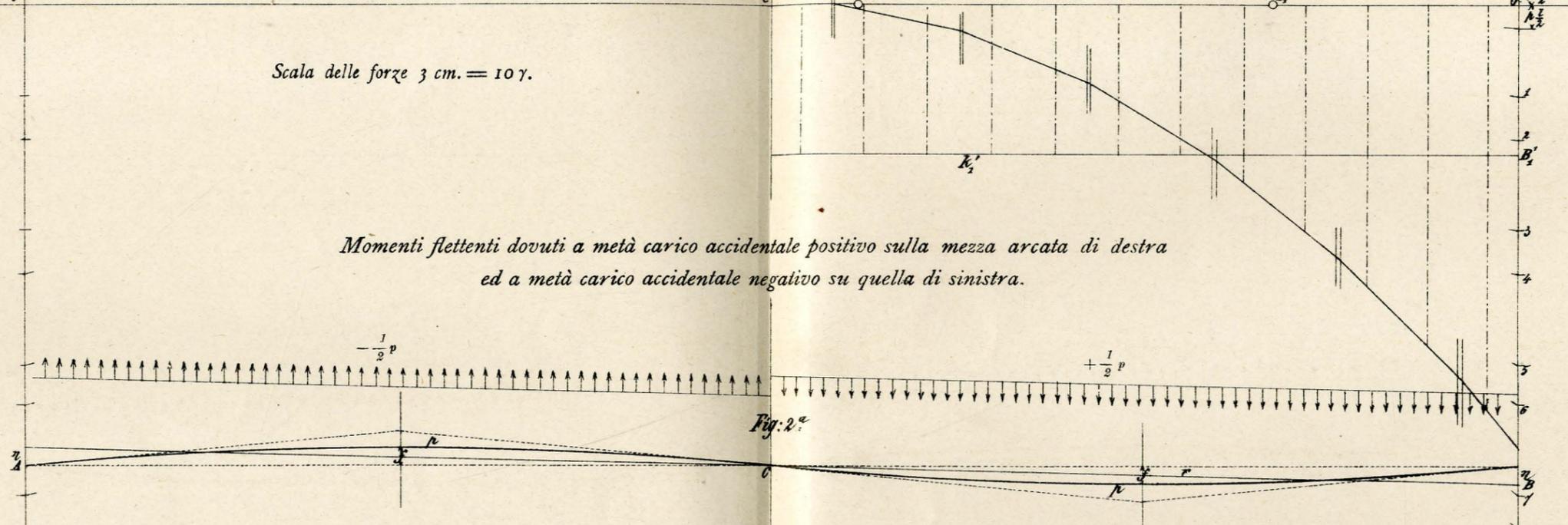
Studio della stabilità pel carico accidentale sulla mezza arcata di destra oltre ai carichi permanenti.

Linea delle pressioni per il carico permanente completo e per metà carico accidentale su tutta l'arcata.



Scala delle forze 3 cm. = 10 γ.

Momenti flettenti dovuti a metà carico accidentale positivo sulla mezza arcata di destra ed a metà carico accidentale negativo su quella di sinistra.

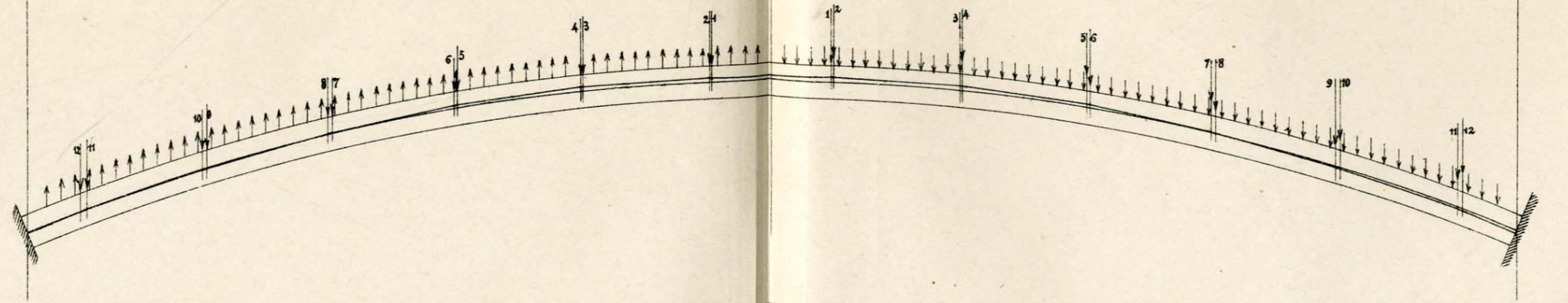


Scala delle lunghezze 1 : 200.

Scala delle ordinate 1 : 20.
Tensione orizzontale H = 115 γ, 2.

Linea delle pressioni per il carico permanente completo ed il sovracarico accidentale sulla mezza arcata di destra.

Fig. 3



Inghilterra

