G 4

DISSERTAZIONE

PRESENTATA

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DELLA

R. Scuola d'Applicazione per gl'Ingegneri in Torino

DA

GUIDO GULIERI

DA PIACENZA

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI

INGEGNERE CIVILE LAUREATO

1870

TORINO

TIPOGRAFIA C. FAVALE E COMP.

ALLA SANTA MEMORIA

DI MIA *MADRE*

AL MIO CARISSIMO *PADRE*

IL PRIMO FRUTTO DE' MIEI STUDI

OFFRO RICONOSCENTE.

DEI PONTI-CANALI IN LEGNO

I ponti-canali avuto riguardo alla diversa materia onde si costruiscono, dividonsi in ponti in muratura, in ferro ed in legno. Da queste derivano altre classi determinate dalla natura, forma e disposizione delle varie parti di cui i ponti stessi si compongono. Le cause che determinano la preferenza da darsi piuttosto all'uno che all'altro dei sovradetti sistemi sono varie; potrei citare fra le principali l'economia di impianto e di manutenzione, la facile e spedita esecuzione dell'opera nonchè la durata e stabilità della medesima. Più duraturi sono certamente i ponti in muratura ed in metallo. Questi ultimi anzi, non andando soggetti ad oscillazioni e perciò non restando modificata la loro struttura molecolare, ciò che invece avviene nei ponti ordinari, ponno presentare una durata indefinita. Dal lato di economia e prestezza di esecuzione ritengo però più conveniente la costruzione in legno, la quale potrebbe essere meglio sviluppata fra di noi se più che ad appagare l'occhio badassimo ai veri nostri interessi. In America, l'abbondanza e lo straordinario buon mercato della materia prima guadagnarono ai ponti in legno un immenso favore. Noi certo non ci troviamo in circostanze altrettanto favorevoli dopo di aver mostrato tanto accanimento nella distruzione delle nostre foreste; ma non credo però che siamo arrivati al punto di doverli bandire affatto. D'altra parte un po' di buona volontà può presto riparare anche alle intemperanze passate: mi auguro che questa non sia per mancare nel mio povero paese.

Il tipo che pei ponti-canali in legno si presenta più conveniente a motivo della sua semplicità, economia e solidità, è quello dei ponti cosidetti all'americana. Questi constano essenzialmente di due travi longitudinali a parete reticolata poste fra loro a conveniente distanza. Sulla parte inferiore di dette travi poggiano le travi trasversali, le quali mentre sostengono il tavolato che deve formare il fondo del canale, servono anche a collegare le travi longitudinali. In queste il traliccio può farsi con tavole o tavoloni, ovvero con pezzi di maggiori dimensioni; esso si considera come destinato a resistere allo sforzo di taglio ed insieme a mantenere alla voluta distanza le parti che resistono alla flessione. Queste parti sono travi disposte a guisa di filagna e controfilagna; ponno poi adottarsi due ordini di filagne, ovvero tre, ponendone una nel mezzo, od ancora quattro se l'ampiezza delle travate sia considerevole. Onde aumentare il momento d'inerzia delle parti resistenti alla flessione, l'altezza delle travi longitudinali è sempre piuttosto ragguardevole; ciò permette di ottenere colla minima materia la massima resistenza. Quanto ai sostegni poi, tanto le spalle come le pile o si fanno in legname, ovvero le spalle sono in muratura e le pile in legname; od infine le une e le altre si costruiscono in muratura, a seconda delle varie circostanze che ponno presentarsi nella costruzione del ponte. Evidentemente nel sistema di ponti a travate rettilinee le dimensioni delle pile ponno ridursi al loro minimo, non avendosi spinta alcuna contro di esse. È ancora un vantaggio di questo sistema del quale devesi pure tener conto.

Il calcolo dei ponti-canali del tipo americano riesce più breve di quello che conviene ai ponti ordinari dello stesso tipo. Difatti sappiamo che in questi ultimi per calcolare le travi longitudinali sono necessarie le varie ipotesi del sovraccarico successivamente posto su ciascuna delle varie travate di cui risulta il ponte, e del carico permanente uniformemente distribuito su tutto il ponte. È dai vari momenti inflettenti e sforzi di taglio che se ne ricavano, che risulta la curva inviluppo utile. Nel nostro caso invece non avremo che da considerare un carico uniformemente distribuito lungo tutto il ponte, e con questa ipotesi calcolare i vari momenti inflettenti e sforzi di taglio per ciascuna travata. Un tale calcolo mi propongo appunto di applicare al seguente caso particolare, che cercherò di risolvere completamente, per quanto almeno le mie deboli forze me lo permetteranno.

« *Studio di un ponte-canale a travate rettilinee attraversante*
« *un torrente della larghezza di m.* 260. *La portata del canale*
« *sia di* $12^{mc.}$ *per ogni* 1'', *ed il suo fondo elevantesi di* 9 *metri*
« *su quello d'un torrente abbia la pendenza di* 0,3 *per mille. L'a-*
« *cqua debba servire come forza motrice.* »

Determino per prima l'area della sezione bagnata del canale. Perciò osservo che dovendo l'acqua utilizzarsi come forza motrice le si deve conservare la massima velocità, cioè devesi determinare quest'area in modo che sia minimo il battente consumato per attrito.

Dico dunque:

χ il perimetro bagnato;

h ed l l'altezza e la larghezza dell'acqua nel nostro canale che suppongo di sezione rettangolare;

Ω l'area corrispondente;

R il rapporto $\frac{\Omega}{\chi}$;

$i = 0,0003$ la pendenza;

V la velocità dell'acqua;

Q la portata del canale;

α e β due coefficienti tali che $\alpha = 0,00015$; $\beta = 0,03$.

Perchè sia minimo l'attrito dovrà essere minimo χ, e perciò l ed h dovranno fra loro essere legati da un certo rapporto che dico m, di modo che sia $l = m\,h$. Avremo allora:

$$\Omega = m\,h^2\,; \qquad \chi = (m + 2)\,h\,; \qquad R = \frac{m}{m+2}\,h = n\,h\,.$$

ponendo $\frac{m}{m+2} = n$.

Onde applicando le equazioni del moto uniforme avremo:

$$Q = m\,h^2\,V; \qquad\qquad n^2\,h^2\,i = \alpha\,(\,n\,h + \beta\,)\,V^2$$

Eliminando V sarà:

$$m^2\,n^2\,i\,h^6 = \alpha\,Q^2\,n\,h + \alpha\,\beta\,Q^2.$$

Osservo ora che il prodotto dei due termini l e $2\,h$ è costante ed $= 2\,\Omega$; onde la loro somma, ossia χ, è minima quando $l = 2\,h$. Sostituendo adunque questo valore di $m = 2$ e gli altri di α, β, i, Q, in questa equazione, ricaveremo:

$$h^6 = 36\,h + 2,16$$

equazione che risolta per tentativi dà:

$$h = 2,06$$

Avremo così:

$$l = 4,12 ; \qquad \Omega = 8,487 ; \qquad V = 1,414.$$

Determinata l'area Ω, potremo facilmente calcolare il peso che corrisponde al metro corrente di ponte. Desso è composto del peso dell'acqua $= 8487^{kg}$ più il peso proprio del ponte. Quest'ultimo, che nel caso dei ponti in ferro si può calcolare con una formola empirica data dal Chiarissimo Prof. Curioni, pei ponti in legno occorre determinarlo per falsa supposizione. Ed è appunto con tale metodo che m'è risultato di poterlo assumere $= 1913^{kg}$ per metro corrente, adottando il larice rosso per la costruzione del ponte. Avremo adunque che il carico totale per la stessa lunghezza di ponte sarà di 10400^{kg} ; ed ogni trave longitudinale andrà calcolata capace di sopportare il carico di 5200^{kg}.

CALCOLO DELLE TRAVI LONGITUDINALI. — Assumo di 20^{m} la distanza fra asse e asse delle pile; il nostro ponte sarà così diviso in 13 scompartimenti. Pel calcolo di queste travi basterà determinare i momenti inflettenti e sforzi di taglio relativi alle prime quattro travate, ritenendo, come ci insegna la teoria, i valori trovati per la quarta travata come convenienti alle 13 — 4 intermedie. Alle quattro ultime poi converranno i valori che troveremo rispettivamente per le prime quattro.

Momenti inflettenti. Essendo:

a' a'' le distanze orizzontali fra asse e asse di tre appoggi successivi;

p' p'' i pesi che gravitano su ogni unità di lunghezza delle due travate fra quelli comprese;

m' m'' m''' i momenti inflettenti relativi alle sezioni che corrispondono ai suddetti tre appoggi;

abbiamo fra queste quantità la relazione:

$$m' a' + 2m'' (a' + a'') + m''' a'' + \frac{1}{4} (p' a'^3 + p'' a''^3) = 0$$

E nel nostro caso di $a' = a'' = a''' = a = 20^{m}$; $p' = p'' = p' = p = 5200^{kg}$:

$$m' + 4\, m'' + m''' + \frac{1}{2}\, p\, a^2 = 0.$$

Dicendo m_0, m_1, m_2, m_3, $m_4 = m_3$ i momenti inflettenti nel 1°, 2°, 3°, 4° e 5° appoggio, questa equazione pei primi tre appoggi ci darà:

$$4\, m_1 + m_2 + \frac{1}{2}\, p\, a^2 = 0. \tag{1}$$

poichè $m_0 = o$. Pel 2°, 3° e 4 appoggio:

$$m_1 + 4\, m_2 + m_3 + \frac{1}{2}\, p\, a^2 = 0. \tag{2}$$

Pel 3°, 4° e 5° appoggio:

$$m_2 + 5\, m_3 + \frac{1}{2}\, p\, a^2 = 0. \tag{3}$$

Onde eliminando m_3 fra (2) e (3):

$$5\, m_1 + 19\, m_2 + 2\, p\, a^2 = 0. \tag{4}$$

E combinando la (1) colla (4):

$$71\, m_1 + \frac{15}{2}\, p\, a^2 = 0. \tag{5}$$

Ricaveremo adunque da questa:

$$m_1 = -\frac{15}{142}\, p\, a^2 = -42{,}25354\, p.$$

Dalla (4):

$$m_2 = -\frac{2\, p\, a^2}{19} + \frac{75}{19 \times 142}\, p\, a^2 = -\frac{209}{2698}\, p\, a^2 = -30{,}9859\, p.$$

E infine dalla (3):

$$m_3 = \frac{11}{5 \times 142}\, p\, a^2 - \frac{1}{10}\, p\, a^2 = -\frac{6}{71}\, p\, a^2 = -33{,}8028\, p.$$

— Cerchiamo ora i momenti inflettenti per sezioni qualunque delle travate. L'equazione che li determina è:

$$\mu = A + B\, z - \frac{1}{2}\, p\, z^2$$

ove μ è il momento per una sezione di ascissa z, presa questa a partire dal centro della sezione corrispondente al prossimo appoggio di sinistra; ed A, B, due quantità che determineremo sostituendo in questa equazione i valori $z = o$ e $z = a$ pei quali μ diviene eguale ai momenti che corrispondono all'appoggio di sinistra e di destra. Detti μ' A' B' z'; μ'' A'' B'' z'' .... i valori delle quantità μ A B z per la 1ª, 2ª ...... travata, avremo:

$$
\text{(I)} \quad \left\{ \begin{aligned}
\mu' &= A' + B' z' - \frac{1}{2} p z'^2 \\
\mu'' &= A'' + B'' z''^2 - \frac{1}{2} p z''^2 \\
\mu''' &= A''' + B''' z''' - \frac{1}{2} p z'''^2 \\
\mu^{IV} &= A^{IV} + B^{IV} z^{IV} - \frac{1}{2} p z^{IV 2}
\end{aligned} \right.
$$

Come vedesi questi momenti inflettenti sono rappresentati dalle ordinate di tante parabole che riferiremo a due assi diretti l'uno nel senso dell'asse primitivo del solido e l'altro a questo perpendicolare; l'origine essendo, come ho detto, nel centro della sezione posta sull'appoggio di sinistra.

Eliminiamo la quantità A e B. A quest'uopo osservo che dalla prima equazione per $z = o$ e $z = a$ abbiamo:

$$\mu' = m_0 = A' = o ; \qquad \mu' = m_1 = B' a - \frac{1}{2} p a^2$$

onde

$$B' = \frac{1}{2} p a + \frac{m_1}{a}.$$

E così delle altre per gli stessi valori di z:

$$A'' = m_1 ; \qquad B'' = \frac{1}{2} p a + \frac{m_2 - m_1}{a}.$$

$$A''' = m_2 ; \qquad B''' = \frac{1}{2} p a + \frac{m_3 - m_2}{a} ;$$

$$A^{IV} = m_3 \qquad B^{IV} = \frac{1}{2} p a.$$

Onde i valori di μ si potranno scrivere:

$$
\text{(II)} \begin{cases}
\mu' = \left(\frac{1}{2} p\, a + \frac{m_1}{a}\right) z' - \frac{1}{2} p\, z'^2 = 41014{,}08\, z' - 2600\, z'^2. \\[2ex]
\mu'' = m_1 + \left(\frac{1}{2} p\, a + \frac{m_2 - m_1}{a}\right) z'' - \frac{1}{2} p\, z''^2 = \\
\quad = -\,219718{,}31 + 54929{,}58\, z'' - 2600\, z''^2. \\[2ex]
\mu''' = m_2 + \left(\frac{1}{2} p\, a + \frac{m_3 - m_2}{a}\right) z''' - \frac{1}{2} p\, z'''^2 = \\
\quad = -\,161126{,}78 + 51267{,}60\, z''' - 6200\, z'''^2 \\[2ex]
\mu^{\text{IV}} = m_3 + \frac{1}{2} p\, a + \frac{1}{2} p\, z^{\text{IV}\,2} = \\
\quad = -\,175774{,}60 + 52000\, z^{\text{IV}} - 2600\, z^{\text{IV}\,2}
\end{cases}
$$

Di queste parabole potremo determinare i punti in cui esse incontrano l'asse delle z, che sono pure i punti di inflessione della trave. Detti Z_1' Z_1'' i corrispondenti valori di z nella prima travata; Z_2' Z_2'' nella seconda... ecc., ed eguagliando a zero queste equazioni, avremo

$$z \left(\frac{1}{2} p\, a + \frac{m_1}{a} - \frac{1}{2} p\, z'\right) = 0$$

onde

$$Z_1' = o\,; \qquad Z_1'' = a + \frac{2\, m_1}{p\, a} = 15^{\text{m}}{,}77$$

Dalla seconda

$$z''^2 - \frac{2}{p}\left(\frac{1}{2} p\, a + \frac{m_2 - m_1}{a}\right) z'' - \frac{2\, m_1}{p} = 0$$

onde

$$Z_2' = \frac{1}{2}\, a + \frac{m_2 - m_1}{p\, a} - \sqrt{\left(\frac{1}{2}\, a + \frac{m_2 - m_1}{p\, a}\right)^2 + \frac{2\, m_1}{p}} = 5^{\text{m}}{,}36\,;$$

$$Z_2'' = \frac{1}{2}\, a + \frac{m_2 - m_1}{p\, a} + \sqrt{\left(\frac{1}{2}\, a + \frac{m_2 - m_1}{p\, a}\right)^2 + \frac{2 m_1}{p}} = 15^{\text{m}}{,}79;$$

Dalla terza

$$z'''^2 - \frac{2}{p}\left(\frac{1}{2}\,p\,a + \frac{m_3 - m_2}{a}\right)z''' - \frac{2\,m_2}{p} = 0$$

onde i valori

$$Z_3' = \frac{1}{2}\,a + \frac{m_3 - m_2}{p\,a} - \sqrt{\left(\frac{1}{2}\,a + \frac{m_3 - m_2}{p\,a}\right)^2 - \frac{2m_2}{p}} = 3^{m},92$$

$$Z_3'' = \frac{1}{2}\,a + \frac{m_3 - m_2}{p\,a} + \sqrt{\left(\frac{1}{2}\,a + \frac{m_3 - m_2}{p\,a}\right)^2 - \frac{2m_2}{p}} = 15^{m},79$$

E finalmente dall'ultima

$$z^{IV\,2} - a\,z^{IV} - \frac{2\,m_3}{p} = 0$$

cioè

$$Z'_4 = \frac{1}{2}\,a - \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{2\,m_3}{p}} = 4^{m},31$$

$$Z_4'' = \frac{1}{2}\,a + \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{2\,m_3}{p}} = 15^{m},69$$

Determiniamo ora i vertici delle nostre parabole. Per ciò ottenere, suppongo di trasportarvi parallelamente a se stessi gli assi delle coordinate. Dette h e k le coordinate della nuova origine rispetto alla primitiva, avremo fra le nuove coordinate z' μ' e le antiche, la relazione

$$z = z' + h; \qquad \mu = \mu' + k$$

Onde l'equazione generale delle parabole, si potrà scrivere:

$$\frac{1}{2}\,p\,z'^2 + (p\,h - B)\,z' + \frac{1}{2}\,p\,h^2 + \mu' + k - B\,h - A = 0$$

Le h e k che finora sono indeterminate, le potremo prendere tali che sia

$$p\,h - B = 0 \qquad\qquad \frac{1}{2}\,p\,h^2 + k - B\,h - A = 0$$

ossia

$$h = \frac{B}{p} \qquad\qquad h = \frac{B^2}{2p} + A$$

Avremo così determinate le posizioni dei vertici delle nostre parabole le quali avranno per parametro $\frac{2}{p}$, risultando la loro nuova equazione

$$\mu' = -\frac{1}{2} p z'^2$$

Sostituendo ad A, B i valori sopra trovati che loro convengono per le varie travate, risultano i seguenti valori

$$h' = 7^m,887\,; \qquad k' = 31,105\ p\,;$$
$$h'' = 10^m,56\,; \qquad k'' = 13,839\ p\,;$$
$$h''' = 9^m,86\,; \qquad k''' = 17,615\ p\,;$$
$$h^{IV} = 10^m,00\,; \qquad k^{IV} = 16,197\ p.$$

Avendo i cinque punti singolari determinati dai valori m, Z, h, k, potremo descrivere facilmente le parabole quali ho appunto rappresentate nella figura che va unita alla presente dissertazione. Non considerandosi dei momenti inflettenti (e così pure degli sforzi di taglio) che il valore assoluto pel calcolo delle travi longitudinali, ho ribattute le dette parabole tutte al dissopra dell'asse XX del solido.

Sforzi di taglio. — Essendo l'espressione generale dello sforzo di taglio

$$N = -\frac{d\mu}{dz}$$

non avremo che a differenziare le equazioni (II) cangiandone il segno, per procurarci i valori N_1 N_2 N_3 N_4 degli sforzi di taglio per una sezione qualunque delle quattro campate. Avremo adunque

$$(\mathrm{I})'' \quad \left\{ \begin{aligned} N_1 &= -\ 41014,08 + 5200\ z' \\ N_2 &= -\ 54929,58 + 5200\ z'' \\ N_3 &= -\ 51267,60 + 5200\ z''' \\ N_4 &= -\ 52000 + 5200\ z^{IV} \end{aligned} \right.$$

cioè gli sforzi di taglio per ogni travata saranno rappresentati dalle ordinate di una retta che riferiremo agli stessi assi a cui abbiamo riferite le equazioni (I). Per descrivere questa retta basterà che ne determiniamo i due punti in cui essa incontra gli assi delle coordinate. Perciò faremo successivamente $N = 0$ e $z = 0$ in queste (I)''. Così avremo per le ascisse delle sezioni di sforzo di taglio nullo:

$$Z_1''' = 7^m,887$$

$$Z_2''' = 10^m,56$$

$$Z_3''' = 9^m,86$$

$$Z_4''' = 10^m,00$$

valori che coincidono con quelli delle ascisse dei massimi momenti μ, cioè dei vertici delle parabole. — Le stesse (I)'' ci dànno per $z = 0$ i seguenti valori degli sforzi di taglio di massimo valore assoluto:

$$\text{(II)}'' \quad \left\{ \begin{aligned} N_1' &= -\ 41014,08 \\ N_2' &= -\ 54929,58 \\ N_3' &= -\ 51267,60 \\ N_4' &= -\ 52000. \end{aligned} \right.$$

Potremo adunque tracciare le rette (I)'', che per la stessa osservazione già fatta a proposito dei momenti inflettenti, ho ribattute in figura al disotto dell'asse $X\,X$ delle z.

Reazioni degli appoggi. — Queste ci serviranno pel calcolo delle pile; conviene adunque determinarle. Perciò sappiamo che detta R la reazione di un appoggio e dette N' ed N'' i valori dello sforzo di taglio in sezioni infinitamente a questo appoggio, considerate l'una a destra e l'altra a sinistra del medesimo, abbiamo la relazione

$$R = N'' - N'.$$

Ora gli sforzi di taglio N' si ottengono facendo $z = 0$ nelle (I)'', e noi li abbiamo già scritti nelle (II)''. Gli altri N'' si hanno ponendo nelle stesse equazioni (I)'' $z = a$; cosichè ricavo:

$$N_1'' = 62985{,}91;$$

$$N_2'' = 49070{,}42;$$

$$N_3'' = 52732{,}39:$$

$$N_4'' = 52000.$$

Per le reazioni R_1, R_2, R_3, R_4, nel 1°, 2°, 3°, 4° appoggio, risultano adunque i valori:

$$R_1 = 41014{,}08;$$

$$R_2 = 117915{,}50;$$

$$R_3 = 110338{,}02;$$

$$R_4 = 104732{,}39;$$

Essendo noti i valori dei momenti inflettenti e degli sforzi di taglio potremo ora calcolare le dimensioni delle nostre travi longitudinali. A queste assegno l'altezza totale di 4^m. In ogni trave longitudinale poi la parte resistente alla flessione la costruisco con tavoloni dei quali una delle dimensioni, quella cioè che disporremo verticale, sia di $0^m,35$, e l'altra orizzontale di $0^m,045$. Così le due filagne o travi, l'una superiore ed inferiore l'altra, le quali col traliccio fra loro racchiuso costituiranno una delle travi longitudinali del ponte, avranno una dimensione, cioè la 0,35, costante per tutta la lunghezza del ponte, e l'altra variabile, cioè multipla di $2 \times 0^m,045$ a seconda dei vari valori dei momenti inflettenti.

Per determinare in modo spedito il numero di questi tavoloni nelle varie sezioni delle parti che resistono alla flessione, mi servo del diagramma dei momenti inflettenti. Perciò ricorro all'equazione di stabilità:

$$n'' R'' = \frac{v'' \mu}{I'},$$

ove $n = \dfrac{1}{10}$ è il coefficiente di stabilità; $R = 4500000^{kg}$ è il coefficiente di rottura per compressione riferito al 1^{mq}; v'' è la semialtezza della trave; I' è il momento d'inerzia della sezione che si considera preso rispetto all'asse neutro; e μ è il momento inflettente per tale sezione. Noi l'I' lo dedurremo supponendo che le due travi superiore ed inferiore siano composte ciascuna di due soli tavoloni stringenti fra di loro il traliccio. Avremo così il valore:

$$I_1' = \frac{1}{12}\left[0,09 \times 4^3 - 0,09\ (4 - 0,70)^3\right] = 0,21047.$$

E quindi il valore corrispondente μ_1 di μ:

$$\mu_1 = \frac{n''\ R''\ I_1'}{v''} = 9,1068\ p$$

Questo valore valutato nella scala dei momenti inflettenti, lo porto sull'ordinata condotta per l'appoggio di sinistra e al disopra dell'asse $X\,X$ della trave tante volte, finchè l'ultima delle parallele all'asse stesso tracciate per questi punti passi superiormente al punto più alto del diagramma dei momenti inflettenti. Dopo ciò sostituisco a questo diagramma un contorno poligonale $A\,B\,C\,D\,E\,F$..... costituito dalle parallele tracciate all'asse e da perpendicolari a queste. Questo contorno è necessariamente descritto in modo da comprendere il diagramma; anzi, per eccedere in stabilità, i suoi vertici ne sono alquanto distanti. Ognuna delle nostre travi sarà adunque costituita: pel primo tratto $A\,B$ di $2 \times 3 = 6$ tavoloni; pel 2° tratto $C\,D$ di 8, ecc.

— Veniamo al traliccio. Questo lo intendo formato di travi fra loro inclinate a croce di S. Andrea, e ad angolo $\alpha = 55°$ coll'asse della trave longitudinale. La distanza fra asse ed asse dei vari pezzi la assumo di $1^m,024$. Supponendo sezionato il traliccio con un piano perpendicolare all'asse del ponte, la sezione retta di ogni pezzo del traliccio è determinata dall'equazione di stabilità:

$$n\ R\ m\ \omega = \frac{N}{sen\ \alpha}$$

dove N è lo sforzo di taglio nel punto in cui si considera fatta la sezione; $n = \frac{1}{10}$ è il coefficiente di stabilità; R è ancora il minore fra i due coefficienti di rottura per pressione e per estensione, cioè 4500000 kilogr.; m è il numero dei pezzi incontrati dal piano secante; nel nostro caso $m = 6$; ed ω la cercata sezione. Dovremo adunque sostituire nell'equazione:

$$\omega = \frac{N}{m\,n\,R\,sen\,\alpha}$$

i valori assoluti dello sforzo di taglio per le sezioni trasversali della trave corrispondenti ai punti in cui gli assi dei pezzi del traliccio incontrano le linee nelle quali trovansi gli assi delle loro chiodature colle travi resistenti alla flessione.

Con questo metodo si verrebbero a determinare le varie dimensioni di tutti i pezzi del traliccio. Osservo però che avvicinandosi ai punti di ascissa $Z_1''' \; Z_2'''$ ...., il valore dello sforzo di taglio va sempre diminuendo fino zero; egualmente diminuirebbe ω. Ora, siccome contro i pezzi del traliccio appoggio il tavolato che deve formare le sponde del mio canale, non potrei diminuire oltre un certo limite le sezioni ω senza correre pericolo di vedere il traliccio cedere alla spinta dell'acqua. È per questa considerazione e per l'altra, che sarebbe forse poco economico il far lavorare pezzi a sezioni sempre varianti di piccole quantità, che credo meglio tenere quest'altro procedimento: di adottare cioè per le varie travate tre soli valori di ω corrispondenti ai valori degli sforzi di taglio per le sezioni di appoggio ed al valore $N = 28014$, che corrisponde alla sezione fatta a $2^m,50$ dal primo appoggio di sinistra. Quest'ultimo ci darà l'ω corrispondente ai pezzi più vicini alle sezioni di sforzo di taglio zero. Ricavo adunque i seguenti valori per le due dimensioni di ω:

per $N = 41014$	0,085	0,218
» 28014	»	0,150
» 54929,6	»	0,292
» 51267,2	»	0,273
» 52000	»	0,277

La dimensione 0,085 che ho tenuta costante per tutti i pezzi del traliccio, è quella che andrà disposta normale alla lunghezza del ponte; essa determina la distanza fra le filagne e controfilagne, che sarà perciò di $0^m,17$. Le altre dimensioni calcolate credo poi opportuno aumentarle a:

0,230 ; *0,170 ;* *0,305 ;* *0,285 ;* *0,29 ;*

Sul diagramma degli sforzi di taglio ho pure rappresentata la distribuzione del traliccio, circoscrivendo allo stesso una linea poligonale formata ancora con tratti paralleli e perpendicolari all'asse XX, condotti i primi alle distanze determinate dal valore dello sforzo di taglio, che corrisponde ai vari valori di ω.

Determinante le dimensioni della parti resistenti alla flessione ed allo sforzo di taglio, osserverò ancora per la costruzione delle travi longitudinali che le unioni di punta dei tavoloni nelle prime le intendo fatte a semplice ugnatura con bietta, rinforzando ancora il sistema con chiavarde, le quali serviranno anche ad unirle ai pezzi del traliccio. Questi poi saranno fra loro uniti a metà legno, di modo che le tavole delle sponde del canale troveranno appoggio contro tutti i pezzi del traliccio.È quasi superfluo l'avvertire che la dimensione 0,085 dovrà riferirsi ai punti di unione.

CALCOLO DELLE TRAVI TRASVERSALI. — Queste sostengono il fondo del canale, e ponno considerarsi come solidi appoggiati ai loro estremi e caricati di un peso uniformemente distribuito sulla loro lunghezza. La distanza da asse ad asse di queste travi trasversali ci è obbligata dalla distanza tra i vani che esistono fra il traliccio e le filagne inferiori delle travi longitudinali, sulle quali debbonsi direttamente appoggiare. Tale distanza è di $1^m,25$ e perciò abbastanza forte per obbligarmi ad adottare travi armate, che ora calcolerò, osservando che intendo armarle con una sola saetta.

Calcolo della traversa. — Per questa la formola che la teoria ci somministra onde determinare la sezione trasversale, è:

$$n'' R'' = \frac{1}{8} p\, a \left(a \frac{u''}{I'} + \frac{5 \cot \alpha}{\Omega_1} \right);$$

nella quale n'' ed R'' hanno i valori già accennati di $\frac{1}{10}$ e di 5200000; n'' è la distanza dell'elemento di fibra che sopporta la pressione massima dalla parallela all'asse neutro condotta pel centro di superficie; Ω_1 è la superficie della sezione trasversale della nostra trave, che suppongo rettangolare; I' è il momento d'inerzia rispetto all'asse neutro; p il peso uniformemente distribuito sull'unità di lunghezza; a la semidistanza fra i due appoggi sopportanti la trave; α l'angolo che fa l'asse del tirante coll'asse orizzontale della trave stessa; che assumo: $= 13^\circ,11$.

Detti b e c i lati della sezione della nostra trave, quell'equazione potremo scriverla così:

$$n'' R'' = \frac{6}{8} \frac{p a^2}{b} \frac{1}{c^2} + \frac{5}{8} \frac{p a \cot \alpha}{b} \frac{1}{c};$$

ossia:

$$\frac{1}{c^2} - \frac{5}{6} \frac{\cot \alpha}{a} \frac{1}{c} - \frac{8}{6} \frac{b}{p a^2} n'' R'' = 0;$$

dalla quale:

$$\frac{1}{c} = -\frac{5}{12} \frac{\cot \alpha}{a} + \sqrt{\left(\frac{5}{12} \frac{\cot \alpha}{a}\right)^2 + \frac{8}{6} \frac{b}{p a^2} n'' R''};$$

onde ricaveremo il valore del lato c verticale dopo che avremo fissato l'altro b orizzontale. In questa equazione entra la distanza $2\,a$ degli appoggi. Per questa distanza osservo che essa varia col variare dello spessore delle filagne delle travi longitudinali. Intanto osservando il diagramma dei momenti inflettenti, si vede che per tutta la lunghezza del ponte ogni filagna e controfilagna ha gli spessori: $2 \times 0^m,045$; $3 \times 0^m,045$; $4 \times 0^m,045$; $5 \times 0^m,045$. Considerando ora che la larghezza interna del canale dev'essere di $4^m,12$, e che lo spessore delle tavole della sponda del canale lo prenderemo $= 0,06$, avremo che le distanze $2\,a$ saranno date dalla differenza fra $4^m,12 + 0,12 = 4,24$ e gli spessori delle filagne interne. Esse saranno:

4,06 ; 3,97 ; 3,88 ; 3,79 ; cioè per a avremo i valori:
2,03 ; 1,985 ; 1,94 ; 1,895.

Preso $b = 0,25$, ed essendo $\cot \alpha = 4,27$; $p = 2575$, e come ho detto $n'' = \frac{1}{10}$; $R'' = 4500000$, avremo i valori:

$c_1 = 0,335$	per $a = 2,03$
» 0,3276	» 1,985
» 0,3202	» 1,94
» 0,313	» 1,895

Queste dimensioni verticali le potremo però diminuire a 0,20 per le parti delle travi trasversali che poggiano sulle filagne; ciò che è reso necessario dal non ammettere i vani fra il traliccio ed esse filagne, in prossimità del 2° appoggio, una sezione maggiore di 0,25 per 0,20 ed inoltre ottenendosi con ciò che le faccie orizzontali superiori delle nostri travi trasversali si trovino su di uno stesso piano orizzontale. Che tale diminuzione si possa fare senza pregiudizio alcuno della stabilità, lo si potrebbe vedere dall'equazione che determina la sezione della trave in vicinanza degli appoggi. Per questa sezione, in cui il momento inflettente è nullo e perciò non esiste che lo sforzo di taglio, si troverebbe che le dimensioni adottate di 0,20 e 0,25 sono eccessive per la stabilità.

Determinazione della saetta in ghisa. — Per determinarne la sezione in modo che resista alla compressione cui è soggetta, abbiamo l'equazione:

$$\frac{5}{4} p\, a = n''\, R''\, \Omega_2 ;$$

ove Ω_2 è l'area cercata della quale prenderemo il lato minore $= 0{,}020$; $n'' = \frac{1}{6}$ è il coefficiente di stabilità ed R il coefficiente di rottura per compressione. Supponendo la saetta di ghisa bigia, la quale se è meno resistente alla compressione è però meno fragile della bianca, avremo pel mm. q.: $R'' = 47^{\mathrm{kg}}, 94 = 70^{\mathrm{kg}} \times 1{,}46$ (essendo 1,46 il coefficiente di riduzione per l'altezza massima 0,32 che daremo alle saette). Trovo così pei diversi valori di a queste altre dimensioni:

per $a =$	2,030	41^{mm}
»	1,985	40^{mm}
»	1,940	$39^{\mathrm{mm}},1$
»	1,895	$38^{\mathrm{mm}},2$

Questi valori corrispondono, come si sa, alla sezione Ω_2 contro la quale preme il tirante. Si potrà fra queste adottare una sola dimensione, cioè la massima, per tutte le saette, che dovranno ancora essere rinforzate con nervatura a sezione crescente verso la base.

Determinazione del tirante. — La sezione Ω_3 del tirante che sopporta la tensione $\frac{5}{8\ sen\ \alpha}\ p\ a$, si ha dall'equazione di stabilità:

$$\frac{5\ p\ a}{8\ sen\ \alpha} = n'\ R'\ \Omega_3$$

nella quale $n' = \frac{1}{6}\ R' = 40^{kg}$ per mm. q. essendo il tirante in ferro; $sen\ \alpha = 0{,}228$. Essendo la sezione circolare avremo i seguenti valori pe' suoi raggi:

$a = 2{,}030$	$\rho = 26^{mm}{,}16$
» 1,985	» $25^{mm}{,}87$
» 1,940	» $25^{mm}{,}58$
» 1,895	» $25^{mm}{,}34$ (*)

CALCOLO DEL TAVOLATO. — Noi potremo calcolare lo spessore delle tavole che lo compongono considerandole come solidi appoggiati ai loro estremi sulle travi trasversali e caricati uniformemente sulla loro lunghezza. Tale ipotesi ci darà un eccesso di stabilità. Essendo $= 1^m{,}25$ la distanza fra asse e asse delle traverse, e $0^m{,}25$ la loro dimensione orizzontale, ne risulta di 1^m la distanza interna dei medesimi. Presa poi $= 0{,}25$ la larghezza delle tavole, il peso per ognuna di esse, corrispondente all'unità di lunghezza, sarà: $1000\ (0{,}25 \times 2{,}06) = 515^{kg} = p'$. Onde detto x lo spessore cercato, avremo, applicando l'equazione

$$n''\ R'' = \frac{\frac{1}{2}\ x\ \mu_m}{I'} = \frac{6\ \mu_m}{0{,}25\ x^2}\ ;$$

in cui

$$\mu_m = -\ \frac{1}{2}\ p' \times \overline{0{,}50}^2 = 64{,}375\ ,$$

che

$$x = 58^{mm},\ 59.$$

(*) La grossezza di questi tiranti non essendo spesso compatibile colla perfetta omogeneità della materia, sarà forse meglio porre due tiranti di raggio $\rho' = \frac{26{,}16}{\sqrt{2}} = 18^{mm}{,}5$ comune a tutti i tiranti, ed a cui corrisponderebbe la sezione di lati 20^{mm} per 29^{mm} della saetta.

Credo opportuno portare questo spessore a 0,07 costruendo un doppio tavolato con tavole di 0,035 di spessore ; ciò che meglio impedirà le fughe d'acqua. Le pareti verticali le faremo con doppie tavole di 0,03 di spessore.

— Le traverse servono già di per se stesse a collegare inferiormente le travi longitudinali; si presenta però necessario collegarle anche superiormente, onde esse non cedano per la spinta dell'acqua. Perciò porremo a distanza di tre in tre metri dei tiranti in ferro con sezione a T il cui gambo abbia le dimensioni di $0^m,035$ per $0^m,006$, e la tavola $0^m,006$ per 0,042. Ufficio del gambo sarà di impedire l'inflessione della tavola, la quale ho calcolata come resistente alla estensione a cui è soggetta, colla relativa equazione

$$T' = n' R' \Omega$$

nella quale $n' = \frac{1}{6}$, $R' = 40$, e la tensione T' del tirante l'ho trovata di $1674^{kg},187$ eguagliando i momenti della spinta e di questa tensione, presi rispetto al piano passante per le faccie superiori delle filagne più basse.

— A completare lo studio del mio ponte-canale mi occuperò ora del calcolo delle pile e spalle, che costruisco in muratura.

CALCOLO DELLE PILE. — Per queste osservo che esse devono resistere alla compressione. Avremo adunque la equazione corrispondente :

$$T'' = n'' R'' \Omega$$

in cui faremo $n'' = \frac{1}{15}$ ed $R'' = 600000$ valori dei coefficienti di stabilità e rottura pei mattoni. Calcoleremo la dimensione minore x delle pile prendendo per T'' la reazione che ha luogo nel 2° appoggio, che è la massima. Perciò essendo 5,48 l'altro lato, ricaveremo

$$x = 1{,}076\,.$$

In vista però dell'altezza di 9^m che le pile devono avere, credo opportuno di portare questa dimensione ad $1^m,30$. Assegno poi alle pile stesse, che potranno armarsi con rostri circolari in pietra da taglio, la scarpa di $\frac{1}{20}$.

CALCOLO DELLE SPALLE. — Le spalle che faremo a parete interna verticale, devono resistere alla compressione ed insieme alla spinta che contro loro esercita la terra che, sovraccaricata di metri 2,06 di acqua, le riempie. La sezione resistente alla pressione si calcola colla stessa formola ora adoperata per le pile sostituendo a T la reazione corrispondente: tale sezione è di gran lunga minore di queste due altre che ora determineremo relative alla resistenza allo scorrimento e al rovesciamento. Occupiamoci adunque di queste, e determiniamo dapprima il valore della spinta massima del terrapieno contro le spalle. Applicando la teoria del professore Curioni avremo per l'angolo che determina il prisma di massima spinta:

$$tang\,\psi = tang\,\varphi + \frac{1}{\cos\varphi}\sqrt{\frac{tang\,\varphi}{tang\,\varphi + tang\,\varphi'}}$$

dove φ è l'angolo d'attrito delle terre sopra se stesse, e φ' è l'angolo d'attrito delle terre sopra la parete del ritegno. Preso $\varphi = 45°$, valore che conviene alle terre ordinarie, e $\varphi' = \varphi$, ricaveremo:

$$tang\,\psi = 2.$$

La spinta orizzontale corrispondente ci è allora determinata dalla equazione:

$$Q_m = \frac{1}{2} Y_1 (\pi Y_1 + 2p) \frac{\cos^2\varphi}{\cos(\varphi + \varphi^1)} \frac{tang\,\psi - tang\,\varphi}{tang(\varphi + \varphi^1)\,tang^2\psi - tang\,\psi}$$

ossia

$$Q_m = \frac{1}{2} Y_1 (\pi Y_1 + 2p) \frac{\frac{1}{2}(tang\,\psi - 1)}{tang^2\psi} = \frac{1}{16} Y_1 (\pi Y_1 + 2p)$$

Sostituendo in questa equazione $Y_1 = 9^m$ altezza del ritegno; $\pi = 1500$ peso di 1^{mc} di terra; $p = 2060$ peso del sovraccarico che gravita nell'unità di superficie, ricaveremo:

$$Q = 9911^{kg.}25.$$

Il punto d'applicazione di questa spinta sarà poi a

$$Z_m = \frac{Y_1}{3} \quad \frac{Y_1 \pi + 3p}{Y_1 \pi + 2p} = 3^m,35$$

a partire dalla sezione infima della spalla.

Procuratici così questi valori veniamo alla determinazione dello spessore delle spalle considerando le due resistenze sovradette.

Resistenza allo scorrimento. — Considerando nulla la forza di coesione nella nostra muratura, e supponendo che sia la sola forza d'attrito quella che si oppone allo scorrimento, avremo l'equazione

$$Q_m = n_1^{IV} f N$$

nella quale assumo il coefficiente di stabilità $n_1^{IV} = \frac{3}{5}$; il coefficiente d'attrito $f = 0,76$; e infine per N il peso della muratura sovrastante alla sezione di scorrimento che è la sezione infima della spalla. Detto x lo spessore medio di questa, ritenendo $= 2200$ il peso di 1^{mc} di muratura ricaveremo:

$$x = 1,098.$$

e perciò dando anche alle spalle la pendenza di $\frac{1}{20}$ avremo che lo spessore alla sommità e alla base sarà di 0,873 e 1,323.

Resistenza al rovesciamento. — Detto M il momento rovesciante, e μ il momento resistente ed n^{IV} il relativo coefficiente di stabilità $= \frac{3}{5}$ abbiamo la relazione

$$M = n^{IV} \mu.$$

che ci somministrerà lo spessore c alla sommità, dopo aver sostituiti i valori

$$M = 33202,68,$$

e

$$\mu = 2200 \times 9 \left(\frac{1}{2} c^2 + \frac{9}{20} c + \frac{81}{3 \times 400} \right).$$

Sarà:

$$c^2 + \frac{9}{10} c - 5{,}45 = 0$$

onde

$$c = 1^{m},93.$$

Alla base lo spessore sarà di $2^{m},38$.

Riterremo adunque quest'ultimo valore che è il massimo.

Ho in questi calcoli ritenuta pericolosa la sezione alla base della spalla. Ciò è confermato dall'avere in detta sezione il massimo valore i due coefficienti di stabilità n_1^{IV}, ed n^{IV}, come si verifica colle due equazioni

$$n_1^{IV} = \frac{Q_m}{f\,N}; \qquad n^{IV} = \frac{M}{\mu}$$

procedendo per tentativi o facendone la derivata.

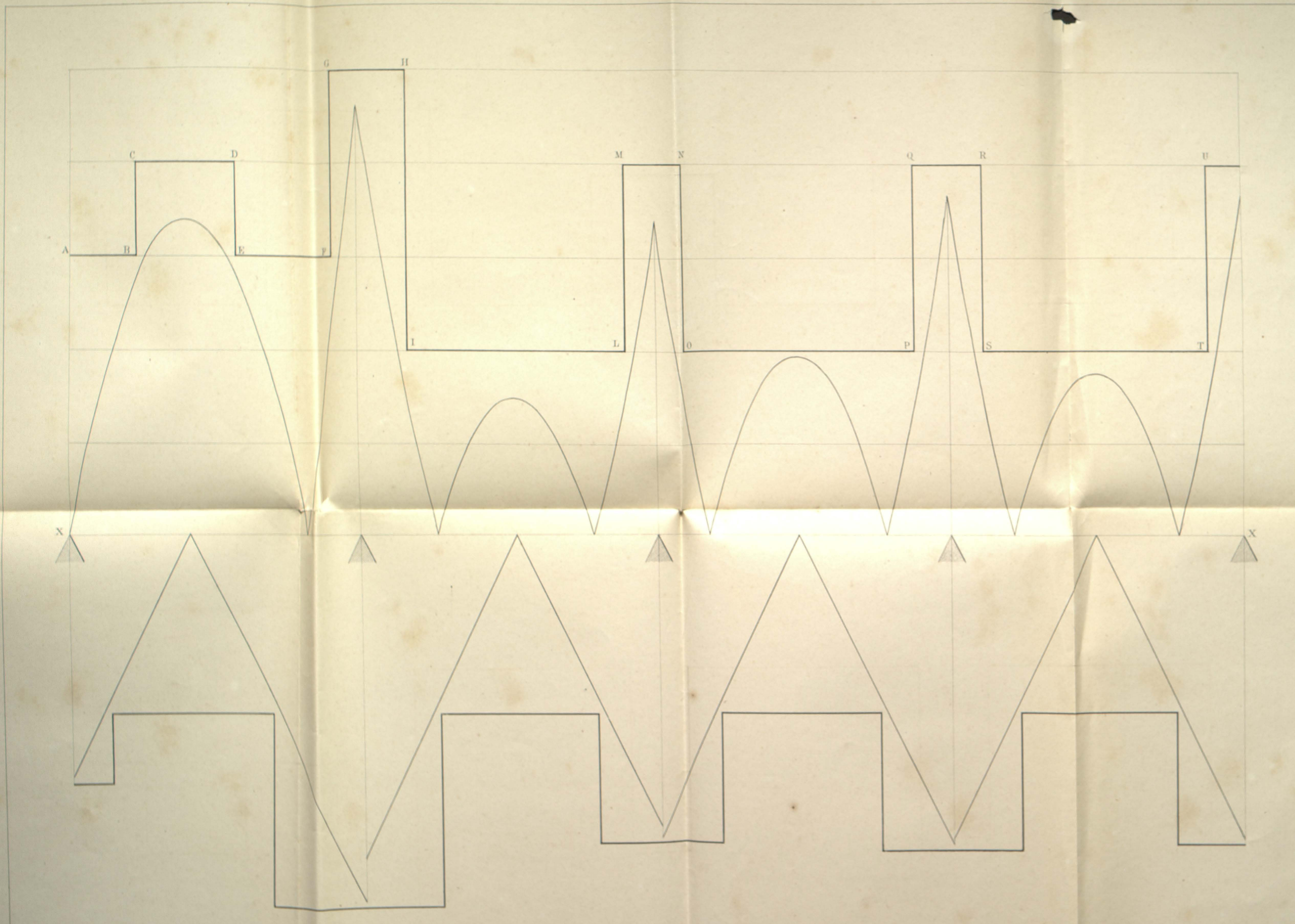
Le fondazioni da adottarsi dipenderanno necessariamente dalla natura del terreno su cui le dovremo stabilire e dall'indole del torrente. Mi dispenso dal fermarmi ad enumerare qui tutti i sistemi di fondazione che potrebbero convenire nei vari casi; ciò mi dilungherebbe dallo scopo che mi era prefisso e che spero di aver raggiunto: questo cioè, di dimostrare con un caso particolare come si possa istituire il calcolo di un ponte-canale a travate rettilinee.

GUIDO GULIERI.

ERRATA-CORRIGE.

pag.	*riga*		*leggi*
11	16	$Z'_1 =_0$	$Z'_1 = 0$
18	28	*5200000*	*4500000*
18	ultima	*13°,11*	*13°,11'*
23	id.	$Q =$	$Q_m =$

Diagrammi dei momenti inflettenti e degli sforzi di taglio



Scala delle ascisse 1 : 200

Scala dei momenti inflettenti $3p = 0,^{m}01$

Scala degli sforzi di taglio $p = 0,01$

G. Galieri dis.

Lit. Etienne Torino