

G 93

PONTE OBLIQUO



DISSERTAZIONE

PRESENTATA ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DELLA

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

DA

COSCIA LUIGI

DI TORINO

PER OTTENERE IL DIPLOMA DI LAUREA DI INGEGNERE CIVILE



TORINO

TIPOGRAFIA G. DEROSI

Via Rossini, N. 42 bis.

1873

AI MIEI
CARI GENITORI.



PONTE OBLIQUO

Spesso in pratica accade di dover attraversare corsi d'acqua in direzione obliqua alla corrente, e ciò specialmente succede per le strade ferrate dove imperiose e ristrette condizioni di pendenza, e curvatura obbligano l'ingegnere a non scostarsi gran fatto da una certa direzione prestabilita; e quindi, a meno che non si reputi più conveniente economicamente di superare il fiume con travate in ferro, la necessità di saper costruire archi in cui gli assi delle luci non sono normali alla direzione della strada. Quando però il fiume possa essere traversato con una sola arcata, il metodo dei ponti a torri si presta assai bene ad eliminare l'inconveniente della obliquità: come ne abbiamo un grandioso esempio nel ponte della ferrovia Torino-Genova, sull'impetuoso torrente Scrivia; che se fossero necessari più archi, evidentemente allora l'ingombro che produrrebbero pile così larghe al libero corso delle acque, vieta assolutamente l'impiego di questo sistema; ed il costruttore si trova nella necessità di costruire ponti effettivamente obliqui.

Ora come ben si vede in questo caso non è più applicabile il sistema di costruzione dei ponti retti; di pren-

dere cioè per giunti trasversali, piani paralleli alle fronti, giacchè i conci avrebbero allora angoli la cui acutezza potrebbe divenir tale, se la obliquità oltrepassasse certi limiti, da frangersi al minimo movimento provocato dal disarmo; e tutt'al più potrebbe essere usato per le obliquità di qualche grado; che se questa sia un po' sentita, è giocoforza rinunciare ai giunti piani per sostituirvi superficie curve.

Un elemento di molta importanza in questo genere di ponti è la così detta *spinta al vuoto*: quando si disarmo una volta, la si abbandona cioè al proprio peso, le parti superiori tendendo a respingere le inferiori, s'opera in tal istante una compressione generale di tutti i materiali. Questa in una volta retta si riparte uniformemente sui giunti longitudinali, e quindi le spinte che trasmettonsi alle spalle secondo piani paralleli alle teste. Ma se il volto è obliquo (fig. 2) considerandolo diviso in tre parti la centrale $m h e n$ appoggiata ai piedritti da ambe le parti si trova nelle condizioni di un volto retto; ma la parte $\beta b c$ che è senza contropressione dalla parte del piedritto acuto, tende ad essere gettata fuori dei piani di testa: spinge cioè al vuoto; inoltre la parte $\beta h e l s$ appoggiandosi a quel debole piedritto triangolare ha una contropressione insufficiente. Di qui si vede come nei ponti obliqui la maggior parte della spinta si trasmette agli angoli acuti; i quali, come appare dalla figura 2, devono sostenere tutto il massiccio $\beta h e c$, e qui specialmente s'hanno a temere le screpolature; questa spinta al vuoto nel senso geometrico non può essere distrutta da alcun apparecchio, ma però con una buona disposizione dei conci, rinforzando le spalle acute, ed anche rilegando i conci più acuti con sbarre di ferro, si può prevenire le screpolature e assicurare la stabilità del volto.

Un altro inconveniente di questo genere di ponti si presenta nella materiale costruzione del volto; difatti in

questi oltre la compressione inevitabile dei legnami dell'armatura, e quella proveniente dalle unioni imperfette: si ha qui un moto di torsione che tende a spingere quella fuori dei piani di testa dalla parte degli angoli acuti, ciò che era prevedibile: difatti (fig. 2) i due massi di volto, che si van costruendo dall'una e dall'altra parte, premeranno normalmente l'armatura in $G G'$ queste due forze avranno due componenti orizzontali NN' , che costituiscono appunto la coppia che tende a far rotare l'armatura nel senso sopra indicato; lo stesso effetto si trasmette ai cunci; quelli acuti han tendenza a sortire dai piani di fronte, a rientrare gli ottusi, gli è perciò, che malgrado quante precauzioni si prendono; di ben rilegare i cavalletti con tirenti normali alle fronti, e su essi solidamente inchiodare le tavole del monto; di puntellare i cavalletti agli angoli acuti, di rilegare da questa parte, i quattro o cinque primi conci con sbarre di ferro, che si vanno ad ancorare nei piedretti: pure è difficile che risultino piane le fronti dei ponti obliqui, e sempre vi si nota una leggera sporgenza agli angoli acuti, e una depressione agli angoli ottusi.

Dal fin qui detto appare come due sono le condizioni da verificarsi in un ponte obliquo ben fatto: 1° che i giunti longitudinali e trasversali si taglino sotto un angolo o retto o molto prossimo al retto; 2° che si elimini il più che sia possibile la spinta al vuoto dando tale direzione ai giunti che la pressione si trasmetta ai piedritti in senso se non assolutamente parallelo alle fronti, almeno poco diverso.

Meccanicamente parlando sarebbe conveniente che le superficie dei giunti longitudinali fossero normali alla superficie delle pressioni massime provocate nel movimento del disarmo, e che per una volta estradossata parallelamente altro non sarebbe che la superficie normale alla volta passante per la linea della massima contrazione. Ora

il signor Lefort appoggiandosi alla dimostrazione da lui data che la linea di contrazione massima è quella di minor diametro per le parti superiori ai giunti di rottura è stato condotto a dividere il volto (fig. 2) in tante falde con piani paralleli alle fronti: e considerando ciascuna di queste separatamente ne conclude che le linee proiettate in $\alpha\beta\gamma\delta$ ecc., sono quelle di maggior contrazione. Ma queste si avvicinano tanto più a quelle parallele alle fronti quanto più piccole sono le falde, ed il parallelismo diverrebbe completo per falde infinitesime. Quindi si vede che l'apparecchio teorico delle volte oblique dovrebbe offrire due serie di giunti gli uni piani paralleli alle fronti, gli altri linee che li incontrassero ad angolo retto cioè traiettorie ortogonali, e che perciò l'apparecchio ortogonale parallelo è quello che dal lato meccanico meglio soddisfa, tenendo conto della contrazione che è pure l'elemento pratico più essenziale. Riguardo al detto sistema giova notare una semplificazione assai opportuna che l'ingegnere Graeff propone nel suo trattato (*Le pont biais*): nell'ordinario sistema ortogonale parallelo, le superficie dei giunti longitudinali essendo generate da una retta che si muove a lungo le traiettorie, restando normale alla superficie di intrados; ne viene che le intersezioni dei giunti col primo di testa sono tutte linee curve, ciò che ne complica di molto il taglio; ora la condizione di superficie normali all'intrados è più geometrica che meccanica, e rigorosamente basterebbe per essere certi della stabilità della costruzione, assicurarsi che la risultante delle pressioni in un punto del giunto faccia colla normale alla superficie del giunto, un angolo minore di quello d'attrito, e si ha quindi una grande latitudine in pratica, gli è perciò che l'ing. Graeff definisce la generazione dei giunti longitudinali, così: una retta che scorre sulla traiettoria in piano parallelo a quello di fronte, e normale alla curva di testa contenuta in quel piano in tutti i punti; e questo

metodo che è la fedele espressione dell'apparecchio teorico da per giunti di testa tutte linee rette normali alla curva d'*intradós*.

Però non è il caso di farsi delle illusioni se questo metodo presenta tanti vantaggi per quanto riguarda la resistenza meccanica del volto e poi di una esecuzione complicatissima, avendo i conci tutti diversi per ogni mezza arcata, come è facile convincersi guardando lo sviluppo dell'*intradós*, dove si vedrebbe che gli intervalli delle traiettorie vanno decrescendo da una sinusoide di fronte all'altra, e che pure tutte diverse di forma sono le varie traiettorie; quindi avendo i conci pannelli tutti diversi, ne risultano grandi difficoltà pel taglio delle pietre, motivo per cui molti altri metodi vennero proposti, i quali avvicinandosi più o meno a questo presentano molto maggior facilità di esecuzione, fra tutti questi quello che ricevette una più estesa applicazione sia per la semplicità della costruzione che per i suoi buoni risultati pratici, e il sistema elicoidale od inglese, perchè in Inghilterra specialmente è stato applicato, e sul principio studiato da G. Watson Buek.

Il principale difetto di questo sistema, è quello di adottarsi malissimamente agli archi un po' rialzati e specialmente a quelli a pieno centro; e ciò per la taglia acutissima che vengono ad avere i conci di fronte in vicinanza dei piedritti. Basta per convincersene guardare la figura 3 dove oa, q è lo sviluppo dell'arco ellittico $AB A'B'$ a pieno centro; la sua equazione riferita agli assi $oa oy$ è data da $x = tg \alpha (r - r \cos \varphi)$ $y = \varphi \mu$ dalle quali differenziando si ha

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{tg \alpha \operatorname{sen} \varphi}$$

mn essendo la normale alla sinusoide $tg \omega' = tg \alpha \operatorname{sen} \varphi$, pq è la normale allo sviluppo dell'elica trasversale, quindi

$tg \omega = \frac{2 tg \alpha}{\pi}$: quindi l'angolo cercato

$\mu = 90 - \Sigma = 90 - (\omega - \omega')$ quindi

$$tg \mu = \frac{1}{tg(\omega - \omega')} = \frac{1 + tg \omega tg \omega'}{tg \omega - tg \omega'} = \frac{1 + \frac{2 tg^2 \alpha}{\pi} sen \varphi}{tg \alpha \left(\frac{\Omega}{\pi} - sen \varphi \right)}$$

Questa espressione per $\alpha = 0$ da $\mu = 90^\circ$ e per valori di $\alpha < 90^\circ$ da valori finiti di μ quindi si vede che μ diminuisce al crescere di α , e quindi nell'apparecchio elicoidale lo spigolo curvilineo di testa diventa tanto più acuto quanto più obliquo è il ponte e quanto più sono vicini ai piedritti i giunti che si considerano. Ne ciò solo ma ancora l'angolo che la tangente all'elica longitudinale d'*intrados* nel piano di testa fa colla tangente in quel punto al giunto curvilineo che dirò ω ha per valore

$$tg \omega = \frac{(r + \Sigma \cos \varphi) \cos \delta}{r \sin \varphi tg \alpha}$$

dove φ è l'angolo colla verticale, δ angolo dei giunti trasversali colle generatrici; α l'obliquità. Ora se si fa

$\varphi = 90^\circ$ $tg \omega = \frac{1}{tg \alpha} \cos \delta$ che è tanto minore di $\frac{1}{tg \alpha}$

(che è la tangente dell'angolo acuto dei piedritti) quanto più piccolo è $\cos \delta$, cioè quanto maggiore è l'obliquità

poichè $tg \delta = 2 \frac{tg \alpha}{\pi}$. Cioè a dire che l'angolo dell'*in-*

trados dei conci di testa col piano di fronte, diventa in quelli prossimi alle spalle, fin più acuto dello stesso angolo acuto dei piedritti, ciò che non succede nell'ortogonale.

Di qui si vede che se il sistema elicoidale è il vero apparecchio dei ponti a monta ribassata, è uno dei più viziosi per quelli a pien centro, poichè desso ci obbliga

a porre dalla parte dei piedritti a spigoli acuti che è la parte in cui come si è visto è concentrata la maggior pressione, concetti fragilissimi per la loro forma; sola la quale deve certamente provocare movimenti indipendenti dalla spinta meccanica, e compromettere la solidità se non l'esistenza della costruzione. Se poi sia assolutamente necessario porre archi a pien centro, sarà sempre più conveniente ricorrere al sistema ortogonale: col quale mentre si evita quest'ultimo inconveniente, si otterrebbe il vantaggio d'avere giunti longitudinali che non tagliano i piedritti, come avviene nell'elicoidale, ciò che offre grandi vantaggi quanto a stabilità.

Se però la monta del volto decresce la corda della sinusoide sviluppo s'avvicina sempre più alla curva, finché se fosse una piattabanda si confonderebbe col tratto d'inflesso, ed il sistema non differirebbe più in nulla dall'ortogonale. Non bisogna tuttavia esagerare l'importanza degli angoli acuti, e l'essenziale veramente si è che gli angoli dei giunti longitudinali sieno pressapoco retti nelle parti dove il volto soffre di più, cioè ai giunti di rottura; ciò che è sempre facile verificare quando si sia stabilita la monta. Così nell'esempio che vado a trattare si trova che $\mu = 84^\circ$ e $\omega = 70^\circ 17'$.

ESEMPIO. Ponte obliquo a tre archi con volto in mattoni, con cuscinetti in pietra, a sistema elicoidale. Corda 16^m, monta 4^m, obliquità 26°. Acque massime, magre, fondo, e terreno stabile per fondazioni a 6; 9; 10; 13 metri sotto il suolo stradale.

La prima questione che si presenta è quella della determinazione dello spessore della volta alla chiave; questione in questo caso doppiamente complicata, avendo a far con un ponte obliquo, nei quali essendo sempre assai complesse le deformazioni che avvengono nel disarmo; riesce incerta la vera corda che si dovrebbe attribuire alla volta; se però suppongasì che siasi perfettamente adem-

pito alla 2^a condizione ; di far sì che le spinte sui piedritti siano dirette secondo la fronte: ed eliminata perciò la spinta al vuoto : si vede che il ponte obliquo si può considerare come un ponte retto, avente per corda la corda di fronte ; ipotesi che si fa sempre in pratica , essendo dessa in favore della stabilità. Ma qui casca l'asino e la elegante teoria della resistenza dei materiali, restando muta in proposito nulla o quasi ci offre, salvo alcune formale empiriche sanzionate più o meno dalla pratica, poichè tali spessori della chiave e dell'imposta, essendo funzioni delle resistenze che vi sono provocate , e di queste non conoscendosi il punto d'applicazione riesce impossibile determinarli in modo sicuro. Quanto alla chiave se la spinta non passa esattamente alla metà; l'Ill^{mo} Ing. Prof. Curioni ed altri autori han fatto vedere in modo assai convincente e per varie vie, che non se ne può scostar gran fatto; resta però sempre l'incertezza sul giunto di rottura; per il quale anzi s'avrebbero molte ragioni di credere che passi al primo terzo ver l'intrados. Se però si ha l'avvertenza di porre nella parte più compressa un po' di stoppa , se si tratta di conci in pietra; o un po' più di malta, se il volto è in cotto , si potrà artificialmente far sì che passi assai vicino alla metà.

Fondandosi su queste due ipotesi l'Ill^{mo} Ing. Prof. Curioni ha recentemente proposto una formola per determinare direttamente lo spessore di un volto estradossato parallelamente; essa esprime che la pressione totale sul giunto di rottura, sia quella che stabilmente possono sopportare i materiali; dicendo z tale spessore essa è :

$$H z^3 + I z^2 + K z + L = 0$$

dove

$$H = \text{sen}^2 \varphi \left[\cos \varphi \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{3} \cos \varphi \right) - \text{sen}^2 \frac{1}{2} \varphi \right]$$

$$I = \left[\frac{n'' R''}{\pi} - (b + m) \operatorname{sen}^2 \varphi \right] \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \varphi - m \left(1 - \frac{1}{2} \cos \varphi \right) \operatorname{sen}^2 \varphi - \frac{1}{2} \operatorname{sen} \varphi$$

$$K = m \left[\frac{n'' R''}{\pi} - (b + m) \operatorname{sen}^2 \varphi \right] - c \left(\frac{1}{2} c \cos \varphi + m \operatorname{sen} \varphi \right) - \frac{1}{2} \frac{P}{\pi} \operatorname{sen} \varphi$$

$$L = - \frac{P'}{\pi} (m \operatorname{sen} \varphi + p \cos \varphi)$$

Dove (fig. 4), $IF = c$, $CN = b$, $BF = m$, P peso del masso $IVB + UN$, e p la distanza della verticale del centro di gravità da I .

L'equazione è di terzo grado ma il termine H essendo sempre piccolissimo, si risolve per approssimazione. In questo caso il giunto d'imposta fa angolo di $50^{\circ}9'$: quindi lo prendo per giunto di rottura e applicando la formola supprorò il coefficiente di stabilità $n = \frac{1}{10}$ lo sforzo R di rottura per metro q 1000000 chilog.

Il sovracarico accidentale lo prendo di 2000 chilog. per metro corrente; e siccome b va espressa in masso di muratura la cui densità è 2200; sarà $b = 0,90$. Il raggio della sezione retta è di 10^m quindi il valore di $\frac{P}{\pi}$ sarà dato da

$$\frac{P}{\pi} = 0,90 \times \frac{8}{\cos 26^{\circ}} + \int_0^{\frac{8}{\cos 26^{\circ}}} 10 \sqrt{1 - \frac{x^2}{10^2}} dx - \frac{8}{\cos 26^{\circ}} 6$$

$$\frac{P}{\pi} = 0,90 \times \frac{8}{\cos 26^{\circ}} + \frac{10^2}{\cos 26^{\circ}} \operatorname{arc} \operatorname{sen} = \frac{8}{10} - \frac{8}{\cos 26^{\circ}} 6 = 19mc, 2$$

$$p = \frac{1}{19,2} \int_0^{\frac{8}{\cos 26^{\circ}}} \left(\frac{8}{\cos 26^{\circ}} - x \right) \left(10,92 - 10 \sqrt{1 - \frac{x^2}{10^2}} \right) dx$$

$$p = \frac{1}{19,2} \times \left\{ \frac{8^2}{\cos^2 26^\circ} 10,92 - \frac{8^2}{2 \times \cos^2 26^\circ} \times 10,92 - \frac{8 \times 10^2}{\cos^2 26} \operatorname{arc} \operatorname{sen} = \frac{8}{10} \right\} = 3^m, 20$$

$$- \frac{10^3}{3 \cos^2 26^\circ} \left(1 - \frac{8^2}{10^2} \right) \frac{2}{3}$$

sostituendo questi valori si trova per z 0,914 la seconda approssimazione non influisce che sui millimetri, perciò tengo questo valore di z portandolo a 0,96 multiplo esatto del mattone a Torino.

Ora più non resta che ad esaminare se la pressione non sia eccessiva negli altri giunti; divido perciò l'arco ellittico d'*intradados* in 5 parti, le cui normali fanno colla verticale angoli di $10^\circ 20' 30' 40' 50' 9'$ (fig. 8); porto sopra l'arco d'*intradados* su ogni normale 0,96, e quindi le verticali $b_1 c_1 b_2 c_2 \dots$. Sostituendo le corde agli archi ellittici misuro le aree $s_1 s_2 \dots$ e le aree dei trapezzi $S_1 S_2 \dots$ ne cerco i centri di gravità, ne misuro la distanza dalla $a_0 b_0$; poi colle formole della meccanica trovo i centri di gravità delle figure comprese tra l'*intradados* $a_0 b_0$ e $a_1 b_1 c_1$, $a_2 b_2 c_2, \dots$ e la loro distanza da $u_1 a_2 \dots a_3$ che dirò Δ_3 ; cerco le altezze di a su $a_1 a_2 a_3 a_4 a_5$ che dirò q_1 . Ora non resta più che a trovare la spinta alla chiave; ponendo l'equazione dei momenti rispetto al punto M si dovrà avere per l'equilibrio

$$Q = \frac{P_5 \Delta_3 + P_5 c_3 \operatorname{sen} 50^\circ 9'}{q_3 - c_3 \cos 50^\circ 9'} = 55946 \text{ Kg. } 9$$

essendo c_3 la distanza dall'*intradados* del punto M d'applicazione della forza; distanza che supponiamo essere $\frac{0,96}{2} = 048$.

I valori di c per gli altri giunti saranno dati dalla equazione

$$c = \frac{Qq - P \Delta}{Q \cos \alpha + P \operatorname{sen} \alpha}$$

Queste forze applicate ai singoli giunti si possono scomporre in due una tangente e l'altra normale che sono date dalle due equazioni seguenti, dove α è l'angolo del giunto colla verticale.

$$T = P \cos \alpha - Q \operatorname{sen} \alpha$$

$$N = P \operatorname{sen} \alpha + Q \cos \alpha$$

I valori ricavati dalle formole precedenti sono consegnati nella seguente tabella:

φ	0°	10°	20°	30°	40°	50° 9'
P_i	0	9447	20570	34012	50087	68947
Δ_i	0	1,013	1,801	2,409	2,829	3,20
q_i	»	0,67	1,191	2,046	3,15	4,46
c_i	»	0,488	0,499	0,517	0,481	0,48
T_i	0	-3228	199	1482	2407	1229
N_i	35946	56740	59607	65456	74952	88780
K_i	60810	65720	84240	85376	82000	98500
n_i	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{10}$
$\frac{T_i}{fN_i}$	»	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{20}$

K_i sono le pressioni all'intrados ricavate dalla formola

$$K_i = 2 \left(2 - 3 \frac{c}{a} \right) \frac{N}{a}$$

$\frac{T}{N} = n'''$ non è altro che il coefficiente di stabilità per

scorimento e come si vede vi ha eccesso di stabilità; così pure quanto a schiacciamento, quindi l'arco è in buone condizioni di stabilità.

CALCOLO DELLE SPALLE (fig. 8).

Stabilità per scorrimento: a_3b è il piano su cui la Q tende a far scorrere il masso di muratura e di ghiaia sovrastante senza il sovracarico accidentale; la forza che vi si oppone è l'attrito, prendo per coefficiente d'attrito $f = 0,65$: la densità della ghiaia è 2200 ma non essendo compressa suppongo in media solo 2000, ciò essendo in favore della stabilità, detto a la grossezza della spalla prendendo 0,7 per coefficiente di stabilità

$(x \times 5,52 \times 2000 + 68947) 0,65 \times 0,7 = 55946$
d'onde $x = 5,07$.

Schiacciamento: applicando la formola

$$K' = 2 \left(2 - 3 \frac{d}{a} \right) \frac{N}{a}$$

dove d è la distanza da m del centro di pressione c , che si trova essere 1,74, $a = 5,07$, si ricava che $K' = 101000$ cioè si ha circa $\frac{1}{20}$ per coefficiente di stabilità.

La verifica della stabilità per rovesciamento è presto fatta: il centro di pressione dista da n di 3^m, 36, la pressione totale è di 254000 chilogr. La forza Q che tende a rovesciare la spalla ha per braccio, 6^m,40, e vale 55946 chilogr.; quindi ha un momento minore della metà della forza che vi si oppone, vi ha perciò molta stabilità da questo lato.

Pile: le dimensioni del ponte esigono pile almeno di 3^m, perchè l'aspetto non sia sgradevole, resta solo a conoscere il grado di stabilità che vi si ha per schiacciamento; ora come è facile ricavare la pressione massima per me-

tro q è di 73,964, si ha cioè $n'' = 0,073$, circa $\frac{1}{13}$

Muri di risvolto: come si vede dalla (fig. 4) la loro altezza massima è nel punto proiettato in m dove essa è di 7^m. Riducendo a 3,70 la loro distanza normale per avere un minor prisma di terra spingente; e supponendo 45° gli angoli d'attrito di terra con terra e di terra con muro; pel piano AB (fig. 5) che fa angolo ψ coll'orizzonte, è facile ricavare l'espressione della pressione Q sul muro, h sia l'altezza l la distanza dei due muri.

$$Q = P \frac{\text{sen} (\psi - 45^\circ)}{\text{sen} \psi}$$

dove P è il peso della terra più il sovracarico

$$P = 5000 + 2200 l \left(h - \frac{l \text{tg} \psi}{2} \right)$$

cerco il prisma di massima spinta

$$\frac{dQ}{d\psi} = \left(5000 + 2000 l \left[h - \frac{l \text{tg} \psi}{2} \right] \right) \frac{1}{\sqrt{2}} \text{sen}^2 \psi - 2200 \frac{l^2}{2} \cos^2 \psi \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}} \text{tg}^2 \psi \right)$$

semplificando ed uguagliando a 0 si trova

$$\text{tg} \psi = \sqrt{\frac{10000 + 4400 \text{ Ch.}}{2200 l^2}}$$

sostituendo ad l ed h i loro valori si trova: $\text{tg} \psi = 1,46$, col quale graficamente determino il centro di pressione, (fig. 5) e il valore di questa.

Ora le pareti dei muri di risvolto dovranno sporgere di 0,10 almeno oltre i mezzi becchi di testa, il ponte essendo largo 5^m nel senso della corrente e le pile larghe 3^m, si ricava per i muri di risvolto uno spessore di 1,90; di cui verifico la stabilità nel modo già visto per le spalle.

Fondazioni: quanto a queste adotterò il sistema dei casseri, mediante pali di 0,30 di diametro che si fan pe-

netrare un metro nel terreno sodo, e tra essi delle palanche di 0,30 di larghezza per 0,10 di spessore, ritenute da filagne e contro filagne. Si scava nell'interno fino a raggiungere il terreno sodo, poi vi si cola il colcestrazzo; ora siccome questo ha solo una resistenza metà dei mattoni, per avere uguale resistenza, prenderò per esso un'area doppia sia nella pila che nella spalla.

Cuscinetti d'imposta. L'arco sezione retta d'*intrados* è facile trovare che è dell'ampiezza di $106^{\circ}, 15' 36''$ che equivale a $106^{\circ}, 26'$; il raggio è 10^m , ora

$$\log \operatorname{arc} \varphi = \log \varphi^{\circ} + \log \operatorname{arc} 1^{\circ}$$

d'onde $\operatorname{arc} \varphi_i = 18^m, 546$. Avendo lo sviluppo della sezione retta, è facile trovare l'angolo che fanno i giunti longitudinali colle generatrici, detto α_i

$$\operatorname{tg} \alpha_i \frac{16 \operatorname{tg} 26^{\circ}}{18,546} = 0,4207 \alpha_i = 22^{\circ} 49'$$

Non dovendo costruire i conci di fronte non porta verun inconveniente il fare che nell'*intrados* le due linee di giunti si taglino ad angolo retto; quindi l'angolo dei giunti trasversali colle generatrici sarà $\beta_i 90 - \alpha_i$; e siccome faccio 10 cuscinetti, e l'imposta è larga 5^m l'ipotenusa del pannello sarà di 0,50, i due cateti saranno 0,194 e 0,460. Per avere i pannelli dei due conci di fronte basta fare un pannello doppio e questo dividerlo in due con il primo tratto della sinusoide sviluppo d'*intrados* ciò che è meglio far graficamente (fig. 6).

Estrados: colle stesse formole precedenti si trova per l'*estrados* $\operatorname{arc} \varphi_e = 20^m, 252$; essendo il raggio $10,96$; ora la frazione di passo corrispondente all'ampiezza di $106^{\circ}, 26'$ delle eliche non è cambiato, ma solo il raggio del cilindro quindi:

$$\operatorname{tg} \beta_e = \frac{20,252}{16 \operatorname{tg} 26^{\circ}} \beta_e = 68^{\circ} 56'$$

Lo stesso per le eliche longitudinali; il passo rimane quel di prima cioè 18,546 $tg \alpha_1$ quindi

$$tg \alpha_e = \frac{20,252}{18,546} tg 22^\circ 49'$$

cioè $\alpha_e = 24^\circ 41'$. Quindi l'angolo dei giunti longitudinali e trasversali che era retto all'*intrados*, qui è di $86^\circ 26'$. Quindi è facile calcolare i lati di un pannello d'*estrados*, e si trova che sono 0,5 0,467 0,209. Per quelli di fronte si fa un pannello doppio, e lo si divide in due colla prima parte della sinusoidale sviluppo dell'arco di fronte dell'*estrados*, però non partirà come per l'*intrados* alla metà del lato di base, sibbene ad una distanza dal vertice di angolo α_e di $0,50 + 0,96 \operatorname{sen} 53^\circ 7' tg 26^\circ = 0,5 + 0,358$ come ben si vede dalla (fig. 6).

Resta a determinarsi la intersezione del piano di testa col giunto longitudinale: due punti già si conoscono dai pannelli d'*estrados* ed *intrados*; ne cerco ancora tre immaginando tre cilindri di raggio 10,24 10,48 10,72, che intersecheranno il giunto longitudinale, secondo tre eliche i cui angoli colle generatrici $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3$ sono presto conosciuti, poichè la frazione di passo per l'ampiezza costante di $106^\circ,26$ è costante, e vale 18,546 $tg 22^\circ 49'$ e gli sviluppi delle sezioni rette si trovano facilmente con semplici proporzioni, si ricava perciò $\alpha_1 = 23^\circ 17'$ $\alpha_2 = 23^\circ 45'$ $\alpha_3 = 24^\circ 13'$.

Ciò fatto si fanno graficamente gli sviluppi delle intersezioni dei tre cilindri col piano di fronte, partendo a distanze dai vertici degli angoli α uguali a

$$0,5 + \frac{0,358}{4}; 0,5 + \frac{0,358}{4}; 2 \cdot 0,5 + \frac{0,358}{4} 3.$$

Le intersezioni di queste sinusoidi colle rette inclinate di $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3$ danno i punti cercati in sviluppo, che si po-

tranno facilmente portare a posto. Per meglio determinare la curva si può usare della proprietà dei fuochi per tirare le tangenti, sapendo che la eccentricità

$\epsilon = r \operatorname{tg} 26^\circ \operatorname{tg} \alpha$; si trova i seguenti valori di ϵ per i cinque punti della curva: 2,0159, 2,099, 2,1466, 2,1958, 2,2410.

Per ultimo bisogna trovare i valori degli angoli che fanno tra loro la faccia dei mattoni da porsi sulla fronte con quella che si trova all'*intrados*; servendomi all'uopo della formola

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\epsilon \cos \varphi + r}{\frac{r \operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} \operatorname{sen} \varphi}$$

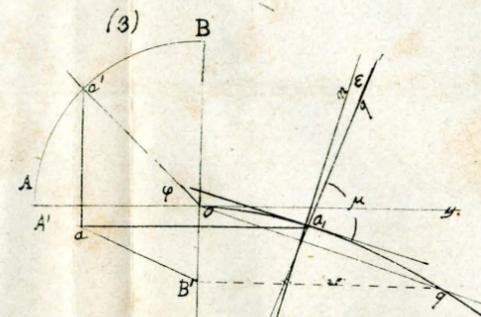
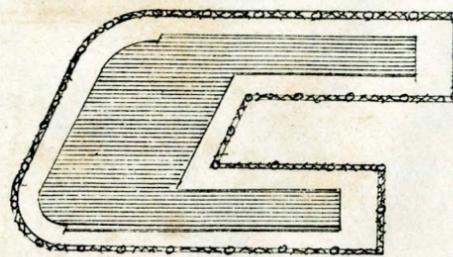
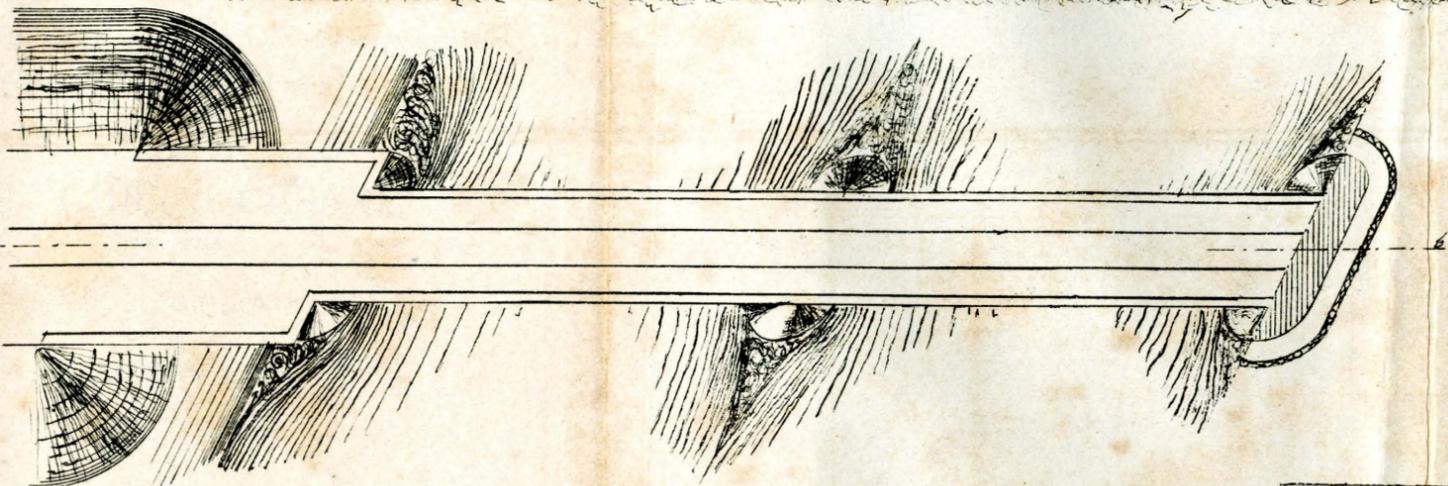
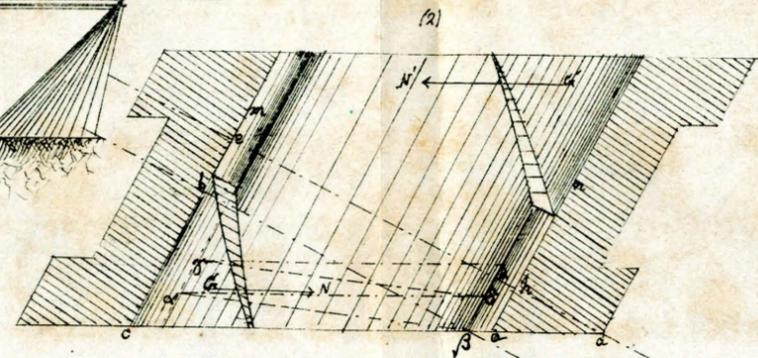
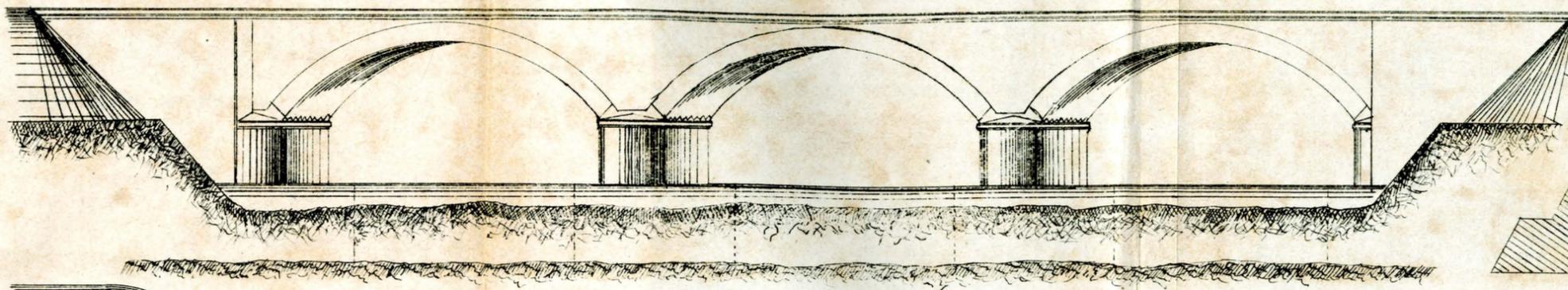
dove φ è l'angolo colla verticale, α l'obliquità, β l'angolo che ho chiamato α_1 , ed r il raggio; ho con essa calcolato 10 valori per intervalli di φ uguali a 5° . Gli angoli come si vede dalla (fig. 9) non differiscono al massimo che di 2° e qualche primo; differenza insensibile sul lato minore del mattone.

E qui pongo termine a questo imperfetto lavoro che malgrado la mia buona volontà, la ristrettezza del tempo e le molte cose cui ho dovuto attendere ostarono a che riuscisse degno del titolo che porta.

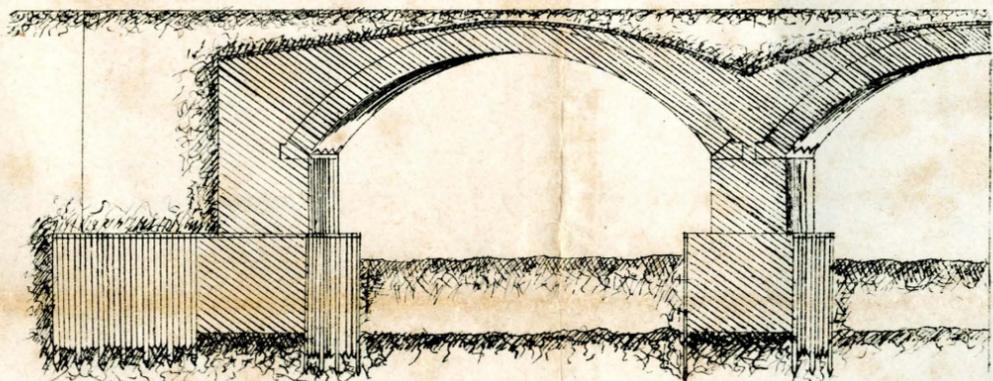
GOSCIA LUIGI.

12 Elevazione. $\frac{1}{100}$

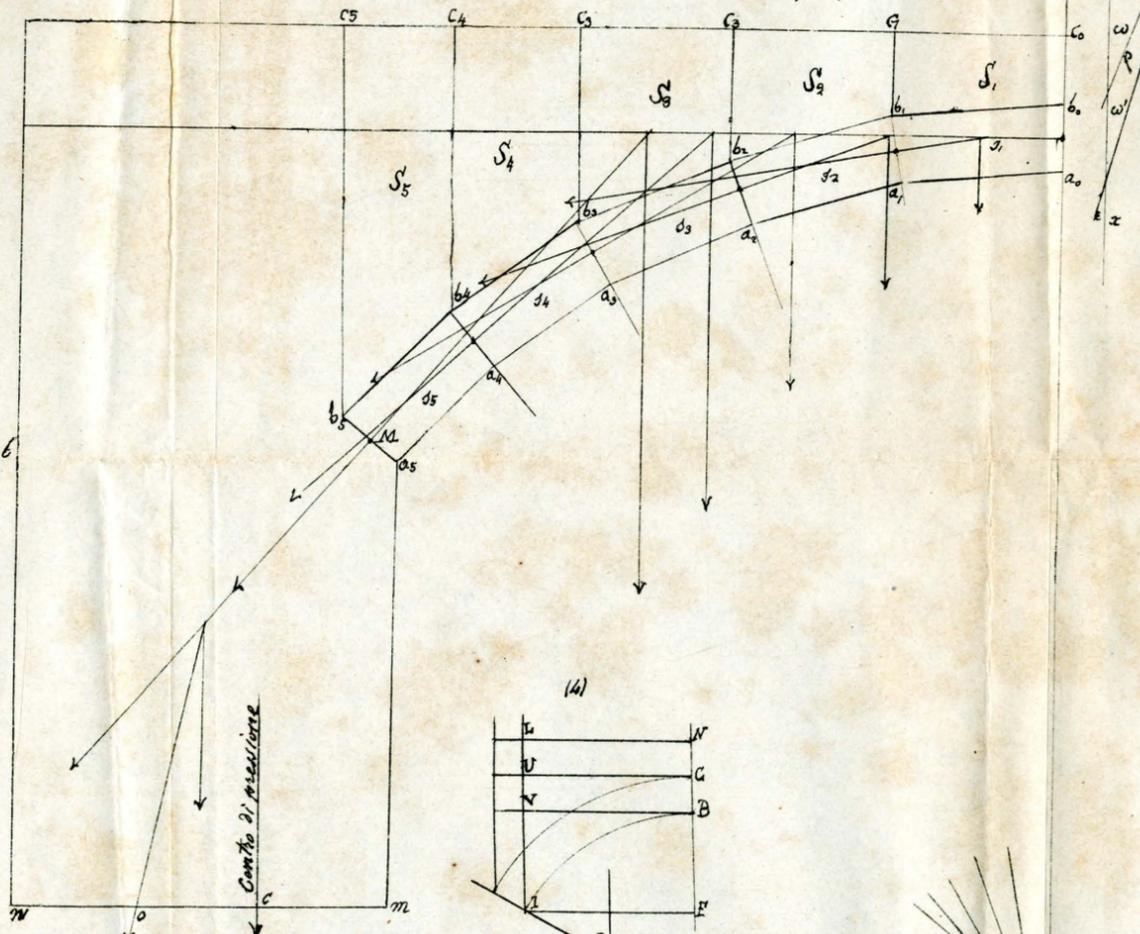
PONTE OBLIQUO



Spaccato ab $\frac{1}{100}$
(7)



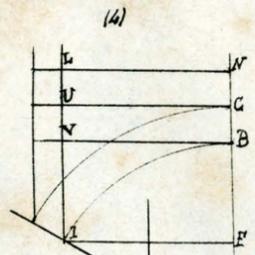
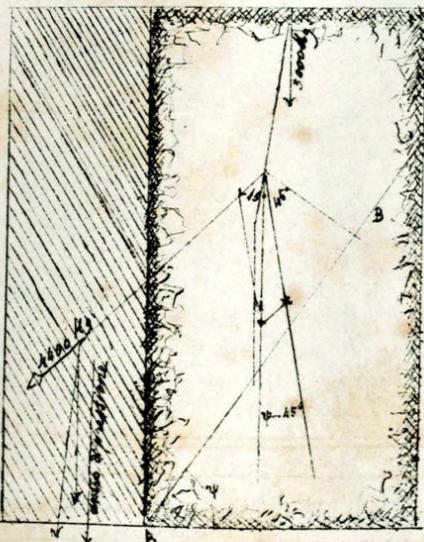
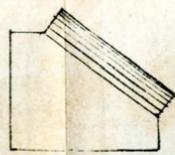
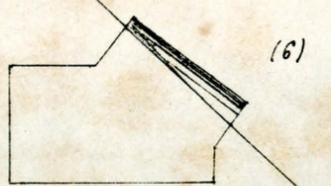
Verifica della stabilità dell'arco (8) $\frac{1}{100}$



$\frac{1}{50}$ Cuscinetto di fronte

$\frac{1}{50}$ Cuscinetto intermedio e pannelli

Muri di rivolto (5) $\frac{1}{100}$



$\frac{1}{100}$ Mattoni per la fronte (9)

