G 103

PONTE IN GHISA CON ARCHI EQUILIBRATI

DISSERTAZIONE

PRESENTATA

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE DELLA R. SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI

IN TORINO

da

GIOVANNI MOLINARI

da Genova

PER OTTENERE IL DIPLOMA DI LAUREA

DI

INGEGNERE CIVILE

TORINO

TIP. E LIT. CAMILLA E BERTOLERO EDITORI

Piazza Vitt. Emanuele, 1

1873.

A' MIEI CARISSIMI GENITORI

QUAL PEGNO DI GRANDISSIMO AFFETTO

OFFRO RICONOSCENTE.

TEMA DI COSTRUZIONE.

Ponte con centine di ghisa presentanti la forma di archi equilibrati, e numerante tre arcate, colla corda di 25 *metri. Il suolo-stradale sia di metri* 6,20, *e di metri* 8,20 *sul livello delle acque ordinarie, e sul fondo del corso d'acqua. Si assegni la larghezza di metri* 14 *alla strada passante sul ponte e suppongasi che il terreno atto a buone fondazioni si trovi a* 12 *metri sotto il livello delle acque ordinarie.*

CENNI SUI PONTI IN GHISA.

I metalli, e principalmente il ferro e la ghisa, sono presentemente adoperati nelle parti più importanti delle moderne costruzioni. Il loro impiego, non solo presenta grandissimi vantaggi sotto il rapporto della resistenza, ma ancora sotto l'altro non meno importante, principalmente oggi giorno, dell'economia della mano d'opera e della montatura. Poichè, da un lato coi mezzi potenti e ingegnosi di cui ci è dato poter disporre nelle grandi officine, in cui colla massima facilità si lavorano pezzi di metallo di grandissimo peso e di ragguardevoli dimensioni, dall'altra parte colla facilità con cui vengono eretti ponti di servizio, e stabilite potenti gru, vericcelli e macchine di trasporto, sul luogo stesso dove i pezzi già lavorati devono essere messi in opera, possono queste colossali costruzioni in metallo venir eseguite con pochissimi operai e relativamente in brevissimo spazio di

tempo. E a conferma di questo valga a mo' d'esempio, il sapere, che la costruzione del viadotto di Nevers, le cui opere d'arte cominciarono il 15 aprile 1849, era completamente terminata il 13 agosto dell' anno seguente. E tale viadotto serve per strada ferrata a due binari e conta 7 arcate, ciascuna della corda di 42 m.

Venendo a parlare più particolarmente della ghisa, dirò come essa possa venir impiegata nella costruzione di ponti, sotto la forma di barre, per le piccole portate, e sotto la forma di archi quando le medesime eccedano i 7 m. In quest' ultimo caso, si può anche nei ponti con archi di ghisa, come in quelli con archi di ferro, dare ai medesimi uno spessore alla chiave, piccolo più che non lo comporterebbe se il ponte fosse in pietra od in mattoni, ed è questa cosa di sì grande importanza, che può in certi casi motivare la preferenza in favore di un ponte metallico. La ghisa ha inoltre la proprietà di prestarsi molto facilmente alla costruzione dei ponti obbliqui e quella di prendere, per mezzo della fusione, qualsiasi svariatissima forma.

Per queste sue belle proprietà molti sono gli ingegneri che preferiscono la ghisa al ferro, quando questa si possa impiegare sotto forma di archi, sottoponendola al solo sforzo di pressione, della qual cosa fanno fede la gran quantità di ponti in ghisa stati costrutti in Inghilterra, ove vennero impiegati massime per ponti canali, e in Francia, ove servono per strade ferrate e per strade carreggiabili.

Cenni storici. — Come è facile persuadersene, fu in Inghilterra che venne eseguito il primo ponte con archi di ghisa, e pare che quello di Coalbrookdale sulla Severn, costrutto dal 1773 al 1779, sia stata la prima opera in questo genere. Esso offre una sola arcata di m. 30,62 di corda ed è a tutta monta. Nel 1795 Telfort ne fece costrurre un secondo a Buildwars disposto come quello di Coalbookdale.

Dal 1790 al 1796 l'ingegnere inglese Payne immaginò il

sistema dei conci, facendone un'importante applicazione al ponte di Wearmouth, presso Sunderland. Detto ponte ha m. 71,91 di corda, ed una saetta di m. 10,36.

Dal 1800 al 1806 si costrussero a Parigi due ponti in ghisa, uno pei pedoni in faccia al Louvre, l'altro per le vetture ; quest'ultimo conosciuto sotto il nome di ponte d'Austerlitz. Disgraziatamente, il sistema con cui venne costrutto questo ponte, non riuscì, e nel 1855 quando il sig. Mary, ispettore generale di ponti e strade in Francia, chiamò l'attenzione dell'Amministrazione sopra lo stato in cui trovavasi detto ponte, vi si contavano già da 4 a 5 mila rotture, riparate alla meglio con armature in ferro.

Questo insuccesso, e il prezzo elevato della ghisa, arrestarono, durante un mezzo secolo, lo sviluppo di queste costruzioni. Fu solamente dopo la costruzione del ponte del Carrousel, progettato da Polouceau, che le medesime ripresero favore in Francia, e parecchi ne vennero eseguiti collo stesso sistema. Consiste, detto ponte, di archi in ghisa, formati di due mezzi tubi curvi , disposti a giunto e riuniti con chiavarde che li rilegano tanto nel verso longitudinale che nel verso trasversale. I timpani presentano la forma di tanti cerchioni , pure in ghisa, di raggio decrescente dall'imposta alla chiave, come già era stato praticato la prima volta nel ponte di Wearmouth. Questo sistema di timpani non è però da consigliarsi, perchè, con tale disposizione, la pressione viene dai timpani trasmessa alle centine, solo in corrispondenza dei punti di tangenza. Inoltre, il ponte del Carrousel, e tutti quelli eseguiti collo stesso sistema, sono soggetti a forti vibrazioni, che quantunque non abbiano portato finora alcuna alterazione, potrebbero però farne nascere in seguito. Perciò, generalmente si preferisce il sistema di fare i timpani pieni, rinforzandoli con nervature. Ed i primi che vennero eseguiti con quest'ultimo metodo, furono quelli sulle strade ferrate da Montereau a Troyes e da Parigi a Lione. Le esperienze fatte sopra

questi ponti, con convogli composti di locomotive, non fecero constatare che delle inflessioni di poco momento. Però, dopo 16 anni di servizio, si produssero fra i collegamenti, che erano stati fatti di ghisa, delle rotture che si ripararono sostituendo altre traverse, ma in ferro. Questo fatto, e quello verificatosi nel ponte d'Austerlitz, dovrebbe indurre i costruttori a impiegare pei collegamenti, del ferro, anche nei ponti di ghisa, perchè questa male resiste alle vibrazioni a cui è assoggettata.

Infine, in questi ultimi tempi, vennero eseguiti a Tarascon sopra il Rodano, a Nevers sopra la Loira, e a Parigi sulla Senna, dei ponti in ghisa di grandissime portate. Tanto quello di Tarascon come quello di Nevers contano 7 arcate ciascuno, della corda di 60 m. nel primo, di 42 nel secondo. Però, l'ultimo ponte di questo genere fu quello eseguito nel 1862 fra le isole di S. Louis e Cité, e questo ha una corda di circa 64 m. In Italia uno ne esiste sul torrente Bisagno presso Genova, detto ponte della Pila.

Convenienze di questo sistema. — Riguardo poi alla convenienza ed alla economia di questo sistema, si può con certezza asserire che, quando nella costruzione di questi ponti la ghisa verrà impiegata sotto forma di archi, quando questi saranno calcolati colla teoria degli archi equilibrati, perchè in questo caso la ghisa resiste solo per pressione, quando le diverse parti si riuniranno con un ben disposto sistema di saldi collegamenti, e sopratutto, quando verranno calcolate le dimensioni dei vari pezzi, adoperando coefficienti il più possibilmente esatti, per quella certa qualità di ghisa impiegata, si potrà fare certo assegnamento tanto sulla stabilità del ponte, quanto sulla sua durata e tanto più se questo deve servire per vie carreggiabili o per dar passaggio ad una corrente d'acqua.

DESCRIZIONE.

Fondazioni. — Come dato del tema si ha, che il terreno resistente trovasi a 12 metri sotto il livello delle acque ordinarie. Sarà quindi lecito supporre, che nell'epoca delle magre, tempo in cui questi lavori vengono intrapresi, il detto terreno si trovi a soli 11 metri sotto il pelo delle acque, ed allora, il sistema più conveniente per gettare le fondazioni del ponte, sarà quello di far uso di casseri e pali.

Per ciò fare, si comincia dal circoscrivere lo spazio ove le spalle e le pile devono essere fondate, costruendo delle paratie mediante pali rilegati fra loro da filagne e controfilagne, fra le quali si pianteranno degli assi pali: levata quindi l'acqua si farà uno scavo di m. 3,90 di altezza sotto il fondo del fiume. Sul terreno così scoperto, si pianteranno dei pali di m. 8,20 di lunghezza e di m. 0,35 di diametro, facendoli sporgere dal detto scavo di circa m. 1,50. Diremo poi del modo di calcolare il numero di questi ultimi, affinchè presentino la voluta resistenza al peso che su loro gravita. Si riempie quindi lo scavo fatto, con calcestruzzo, e si raggiunge con questo il livello superiore delle acque.

Questo superato, si porrà mano alla costruzione delle spalle che delle pile e si condurranno a compimento: tanto le une che le altre ho supposto che vengano fatte in pietra da taglio. Al livello del piano d'imposta, devono le medesime presentare una faccia normale all'arco, sulla quale vengono stabiliti i cuscinetti d'imposta. Questi ultimi constano di piastre di ghisa, unite le une alle altre

con chiavarde, e tenute a sito, mediante caviglie in ferro rigonfie alla parte inferiore, le quali a lor volta, si fissano alla pietra stessa, introducendole in appositi fori praticati nella medesima, e colando infine piombo e zolfo fusi, fra le pareti del foro e la caviglia.

È bene che dette lastre corrano per tutta la lunghezza del piano d'imposta, perchè son esse destinate a trasmettere alle spalle ed alle pile, tutto il peso del ponte, che alle medesime vien trasmesso dalle centine, solo in dati punti della loro lunghezza. E precisamente in corrispondenza di questi punti, porteranno dette piastre, insieme fuse, delle sporgenze a forma di T, sulle cui tavole superiori verranno ad appoggiarsi le estremità delle centine, coll'intermezzo però di cunei di acciaio, che si dispongono a coppie, entro vani paralellepipedi appositamente lasciati nelle piastre di ghisa. Battendo questi cunei quando tutte le parti di un' arcata son poste in opera, si arriva a serrare convenientemente gli archi sulle loro imposte.

Le *centine*, che sono le parti principali di queste costruzioni, hanno sezione trasversale a doppio T simmetrico; la loro altezza che si fa generalmente crescente dalla chiave all' imposta venne fissata in questo caso di 1^m alla chiave e di $1^m,215$ all'imposta. Ciascuna centina è formata di 11 conci ognuno dei quali porta superiormente, insieme fuso, il corrispondente pezzo di timpano. Si è adottata questa disposizione, stante la non grande altezza che vengon ad avere i timpani più alti, che sono quelli vicino all'imposta, e allo scopo di facilitare la fusione dei medesimi, che sono i maggiori, si fecero i conci della sola lunghezza di $2^m,35$. Con questo mezzo si risparmiano tutte le unioni che, diversamente, sarebbero necessarie per collegare le centine ai timpani, e nel tempo stesso si rende più solido il sistema. Per mettere in opera le centine, vengono quelle facce dei conci, che devono combaciare, accuratamente piallate e quindi insieme riunite per mezzo di chiavarde. Quest'operazione

generalmente viene eseguita nel cantiere stesso che si sarà stabilito sopra una delle due sponde del fiume, a poca distanza dal sito in cui si devono porre in opera. Man mano che si verranno formando vengono trasportate ai piedi dei piedritti che devono sopportarle, sollevate, mediante appositi meccanismi in modo che i piani dei loro assi sieno verticali e collocate finalmente a posto sui cunei. E per non generare delle spinte orizzontali, alle quali le pile non potrebbero resistere, si mettono a posto tutte le centine costituenti le diverse arcate prima di procedere alle altre operazioni, operando nello stesso tempo un concatenamento provvisorio fra le centine di ciascuna arcata man mano che queste vengono formandosi. Ciascuna arcata consta di 11 centine poste alla vicendevole distanza di $1^m,40$ da asse ad asse.

Collegamenti. — Giunti i lavori a questo punto, conviene pensare, prima di procedere oltre, ai collegamenti. In questo genere di ponti in cui le vibrazioni sono tanto nocive alla loro stabilità, per la natura del materiale di cui sono costituiti, l'importanza dei collegamenti è grandissima e devono formare perciò una parte importante dello studio del ponte.

Per eliminare, o almeno diminuire l'effetto pernicioso di queste vibrazioni, vennero anche adottati altri mezzi. Ad esempio, nel ponte di Villeneuve Saint-George, sulla strada ferrata da Parigi a Lione, si fecero i timpani pieni e si dispose il tavolato direttamente sull'estrados dell'arco, riempiendo di ballast tutto lo spazio compreso fra il tavolato e i timpani. Si ottenne così un ponte molto pesante, sul quale l'effetto delle vibrazioni è di molto ridotto. È da notarsi però come questo mezzo porti con sè il non piccolo inconveniente di sottoporre la ghisa ad un continuo sforzo di pressione. Inoltre questo mezzo applicabile ai ponti di media portata, non è più attuabile quando gli archi abbiano una corda piuttosto considerevole. In questo caso però, si ammette dai costruttori

che la massa del ponte, che cresce molto rapidamente colla portata, sia sufficiente per attenuare l'effetto delle vibrazioni e si limitano a mettere uno strato di ballast da $0^m,50$ a $0^m,80$ di spessore.

Con questa disposizione si possono allora fare i timpani perforati e collocare orizzontalmente il tavolato al livello della chiave. Questo però non potrebbe bastare e gioverà ancora studiare un ben disposto sistema di collegamenti, che fra loro rileghino le diverse parti di cui un' arcata è costituita, rendendo il tutto un sistema unico e per quanto si può rigido, non soggetto a deformazioni e capace di opporsi all'azione dei carichi che deve sopportare.

Inoltre, siccome l'effetto delle vibrazioni è massimo per questi collegamenti, come lo attestano le numerose rotture che si verificano in queste parti, nei ponti che vennero costrutti in Francia, quando per i medesimi si adoperò la ghisa, così noi supporremo che essi vengano fatti in ferro.

Collegamenti delle centine. — Nel centro della parete verticale di ciascun concio, è praticata un'apertura circolare, destinata a dar passaggio ad una sbarra di ferro di $0^m,05$ di diametro, che va da un capo all' altro del ponte nel verso trasversale, attraversando inoltre una serie di tubi di ghisa, collocati fra centina e centina e la cui lunghezza è esattamente uguale alla distanza fra le medesime. Gli estremi di queste sbarre, essendo lavorati a vite, ricevono una chiocciola, che resta mascherata da quei rosoni che vedonsi sulle fronti e che servono così, nel tempo stesso, di ornamento. Stringendo contemporaneamente le due chiocciole, si potrà collocare le centine alla loro giusta distanza, che rimarrà inoltre inalterabile. Infine, per maggior sicurezza, si collocheranno delle traverse di ferro, la cui sezione sarà a semplice T, avente la tavola superiore di $0^m,08$ di larghezza e $0^m,01$ di spessore, disponendole diagonalmente e inchiavardandole alla tavola superiore delle centine.

La disposizione di queste traverse si vede nella *fig.* 4. E questo basterà per le centine.

Collegamenti dei timpani. — Queste parti si rileghe-ranno mediante altre traverse, uguali a quelle di cui già abbiam fatto parola, disponendole a croce di Sant'Andrea, in modo che siano contenute in piani verticali e inchiavardandole ai timpani nei siti stessi dove i diversi conci si uniscono fra loro. Per impedire poi ai timpani di inflettersi, calcoleremo il numero di ritegni all' uopo necessari, e questi collocheremo orizzontalmente, unendoli a tenone e mortisa alle nervature verticali dei timpani, mediante appendici a ciò adatte, venute di getto coi medesimi. Queste diverse disposizioni si vedono rappresentate nelle *figure* 3, 6 e 7. Ciò fatto, si potrà procedere nella costruzione del ponte.

Stabilimento del suolo stradale. — Varie sono le disposizioni per stabilire il suolo stradale. Una sarebbe quella di far uso di travi traversali, collocate sui timpani e fra le stesse gettare dei voltini in muratura, sui quali si potrà fare lo stabilimento della via. Questi voltini però, ha l'esperienza dimostrato, che sono facili a sconnettersi, sotto il passaggio dei grandi carichi. Sulle travi si potrebbero anche disporre delle lastre di ferro o di ghisa e questa disposizione viene adottata in quei casi in cui la monta è piuttosto forte o la corda considerevole. Nel nostro caso, essendo l'altezza massima dei timpani di soli m. 2,80 si avrà sufficiente solidità collocando le dette lastre direttamente sulle tavole superiori dei medesimi e così facendo, si saranno, nel tempo stesso, collegate le parti superiori dei timpani stessi. A queste lastre venne data una forma leggermente arcuata, allo scopo di provocare in esse la resistenza alla pressione. La lunghezza di ciascuna è di m. 2,20 e si collocheranno a sito disponendole le une in seguito alle altre, unendole fra loro con chiavarde e pure con chiavarde fissandole alle tavole superiori dei timpani.

Cornice e parapetto. — Sulle parti superiori delle centine e dei timpani di fronte, si fisseranno nel modo istesso delle lastre, i vari pezzi costituenti la cornice del ponte e che si fece pur essa di ghisa. Solo si avvertirà, prima di serrare fortemente le chiavarde che fra loro uniscono i diversi pezzi di cornice, di collocare nelle cavità cilindriche esistenti fra gli stessi le estremità inferiori dei colonotti di ghisa, destinati a far parte del parapetto. Tali estremità sono di ferro e lavorate a vite inferiormente, cosicchè mediante una chiocciola sarà facil cosa fissarli saldamente alla cornice. Si completerà poi il parapetto mediante sbarre di ghisa disposte a traliccio e insieme fuse e che verranno poste fra un colonotto e l'altro, mentre una traversa di ghisa a forma di T ne rilegherà le parti superiori. Come tutto questo sia fatto è facile scorgerlo dalla sola ispezione delle *fig.* 7 e 9.

Finalmente per compiere l' opera non rimane che a disporre uno strato di ballast dell'altezza di 60 cm., sul tavolato e su questo fare lo stabilimento definitivo del suolo stradale.

Riguardo a quest'ultimo abbiamo adottato la struttura lastricata siccome quella che è atta ad impedire che le acque che cadono sul ponte si insinuino fino alla superficie delle sottostanti lastre di ghisa. Ai lati della strada passante sul ponte, e che per dato del tema deve avere una larghezza di 14 metri, si posero due marciapiedi ciascuno della larghezza di 2 metri. Questi marciapiedi si faranno di qualche poco elevati sulla superficie superiore della carreggiata, traendo partito di quest'elevazione per convenientemente collocare sotto ai medesimi gli sfogatoi destinati a scaricare le acque piovane che cadono sulla carreggiata e sui marciapiedi e ciò mediante tubi di ghisa che verranno collocati in prossimità della chiave di ciascuna arcata, in modo che le acque, passando pe detti tubi, abbiano a cadere nel fiume senza urtare nei sottostanti collegamenti.

CALCOLO DELLE PRINCIPALI DIMENSIONI.

Calcolo del tavolato. — Cominciamo dunque a determinare lo spessore da darsi alla coperta del ponte, la quale, come già si disse, è composta di lastre metalliche orizzontalmente collocate sui timpani. Potremo dunque considerarle come poste nelle stesse condizioni di un solido appoggiato agli estremi e caricato di due pesi; il primo dei quali uniformemente distribuito; l'altro, cioè il sovraccarico mobile, variabile di posizione e applicato in dati punti della lastra medesima.

L'equazione di stabilità relativa all'estensione, per un solido posto nelle suindicate condizioni, è

$$n'R' = \frac{v'M_m}{I'}$$

In quest'equazione $R' = 5^{cg}$ per $^{mmq.}$ ed $n' = \frac{1}{10}$ sono rispettivamente i coefficienti di rottura e di stabilità adottati dai costruttori per la ghisa; $v' = \frac{1}{2}\ x$ è la distanza della fibra maggiormente allungata dalla paralella all'asse neutro passante pel centro di gravità, quando dicasi x lo spessore incognito; $I' = \frac{1}{12}\ lx^3$ è il momento d'inerzia della sezione quando prendasi la lunghezza l uguale a $0^m,10$ supponendo cioè di considerare solo una tale larghezza di lastra; finalmente M_m è il massimo momento inflettente che calcoleremo nel seguente modo. Consideriamo dapprima il carico permanente il quale è

uniformemente distribuito e diciamone p il peso gravitante sull'unità di lunghezza della lista considerata. Sia $2a$ la distanza fra gli appoggi, cioè la distanza fra gli orli di due centine consecutive, e z l'ascissa di una sezione qualunque quando suppongasi riferito il tutto a due assi ortogonali la cui origine sia sull'appoggio di sinistra. Ciò posto il momento inflettente per questo carico e per la sezione considerata sarà

$$\frac{p}{2}(2a-z)^2-pa(2a-z)=\mu$$

e riducendo

$$\frac{pz^2}{2}-paz=\mu$$

Trattasi di trovare il massimo di quest' espressione; perciò differenziamola ed eguagliamo a zero il risultato; avremo

$$\frac{d\mu}{dz}=pz-pa=0$$

donde $a=z$ cioè il massimo momento inflettente corrisponde alla sezione di mezzo sarà

$$\mu_m=-\frac{1}{2}pa^2$$

Passiamo ora a considerare il sovracarico mobile che suppongo applicato in un punto distante della quantità b dall'origine. Avremo per sezione di ascissa $z<b$, quando dicasi 2P tale sovracarico ed R' e R'' le due reazioni degli appoggi, la seguente equazione dei momenti

$$2P(b-z)-R''(2a-z)=\mu$$

Ma rispetto alla sezione di sinistra dovremo anche avere

$$2aR''=2Pb$$

donde

$$R''=\frac{bP}{a}$$

ed allora sostituendo questo valore nella precedente, avremo

$$2P(b-z)-\frac{bP}{a}(2a-z)=\left(\frac{b}{a}-z\right)Pz=\mu$$

E questo momento sarà massimo quando sia $b=a=z$, quindi

$$\mu_m=-Pa$$

Si arriverebbe allo stesso risultato considerando sezioni di ascissa $z>b$.

Trovato così che i massimi momenti inflettenti corrispondono per ambedue i casi alla sezione di mezzo, avremo il momento totale massimo

$$M_m=-\left(\frac{pa^2}{2}+Pa\right)$$

Sostituendo ora nell'equazione generale i valori trovati ed estraendo il valore di x, si avrà

$$x=\sqrt{\frac{3pa^2+6Pa}{n'R'l}}$$

Finalmente facendo $p=145^{Cg.},2$ come facilmente deducesi conoscendo il volume e quindi il peso di suolo stradale sovraincombente alla lista considerata; $2P=1000^{Cg.}$, massimo peso che suppongo possa gravitare sopra una ruota di veicolo; ed $a=0^m,60$ ed ancora sostituendo questi valori nella equazione precedente ed eseguendo i calcoli numerici trovasi $x=6^{mm},26$. Non è il caso di applicare l'equazione di stabilità relativa alla compressione perchè si troverebbe certamente un valore minore. Siccome però queste lastre devono aver una lunghezza di $2^m,20$ bisogna tener conto delle difficoltà della fondita, se si ritenesse lo spessore trovato: per questa considerazione porteremo lo spessore da assegnarsi alle medesime a 12^{mm}.

Calcolo dei timpani. — I timpani si dovranno considerare come solidi verticalmente disposti e caricati di pesi che supporremo uniformemente distribuiti. La loro altezza essendo variabile dall'imposta alla chiave, anche il loro spessore dovrebbe variare in relazione; noi adotteremo però uno spessore unico, cioè quello che assegneremo al timpano che trovasi vicino all'imposta e che calcoleremo colla seguente equazione di stabilità relativa alla compressione

$$T''=n''R''\Omega \qquad (2)$$

dove T'' è la forza premente, che nel nostro caso sarà uguale alla somma del carico permanente (peso del tavolato, più peso del suolo stradale) sopra un metro di lunghezza di timpano e del sovraccarico accidentale che in questo caso supporremo anch'esso uniformemente distribuito ed uguale a 600 Cg. per ogni mq. Fatti i calcoli trovasi $T''=2836$.

Il coefficiente di rottura R'' e quello di stabilità n'' per la compressione, tenuto conto dei coefficienti dati da Rondolet determinati dal rapporto fra l'altezza e la grossezza del sostegno, e di quello che suolsi fare dai pratici li prenderemo uguali rispettivamente a 3^{Cg} per mmq. e ad $\frac{1}{6}$. Finalmente l'area Ω della sezione sarà uguale a $1000^{mm}x$ essendo x la dimensione che si cerca.

Sostituiti questi valori nella (2) e fatti i calcoli si trova $x=5^{mm},67$. Siccome però per decorazione, i timpani non son fatti di una lastra uniforme e piena, ma bensì traforata, così per tener conto di questa circostanza porteremo questo spessore a 15^{mm}. Anche qui vi è da considerare inoltre, che dovendo il timpano essere fuso insieme colla corrispondente porzione di centina, se il medesimo avesse uno spessore piccolo difficile e anche impraticabile potrebbe esserne la fusione.

Calcolo dei ritegni. — Devesi finalmente fare in modo che i timpani non abbiano a inflettersi, calcolando il necessario numero di ritegni colla nota formola

$$T=\frac{(n+1)\pi^2 EI}{a^2}$$

dove T è la pressione, n il numero di ritegni che in questo caso è la nostra incognita, π il noto rapporto della circonferenza al diametro, E il coefficiente di elasticitá della ghisa che si potrà assumere di 7000 Cg. per mmq. I il momento d'inerzia della sezione e finalmente a l'altezza del timpano che nel nostro caso è di m. 2,80.

Ricavando il valore di n da quell'equazione e fatti i calcoli trovasi che un ritegno è più che sufficiente. Noi però abbiamo anche aumentato il numero di questi ritegni e la disposizione che loro venne data si può vedere nelle *figure* 6 e 7.

Calcolo dell'arco. — Per dato del tema deve la centina presentare la forma di un arco equilibrato, ossia deve avere una forma tale, per cui in ciascun punto del suo asse, tutte le forze ivi applicate si riducono ad una risultante tangente all'arco stesso. Se ne deduce allora immediatamente che nel materiale costituente l' arco non verrà provocata che la resistenza alla rottura per compressione, come è bene appunto che avvenga in questo caso, perchè noi sappiamo resistere la ghisa molto bene a tale sforzo.

Il nostro arco si troverà adunque sollecitato da forze verticali rappresentate dal peso proprio, da quello che permanentemente ed accidentalmente deve sopportare, e dalle spinte prodotte da questi pesi. Supponendo che i pesi suddetti sieno uniformemente distribuiti sulla proiezione orizzontale dell' arco ossia sulla sua corda, fra queste forze e la tensione che si sviluppa tangenzial-

mente all'asse della centina avremo le note equazioni di equilibrio

$$T\frac{dz}{ds}-Q=0, \qquad T\frac{du}{ds}+\int_z^c pdz-V=0$$

essendo u e z le coordinate di un punto qualunque della curva asse riferita a 2 assi ortogonali aventi l' origine nel vertice della medesima, quello della z orizzontale e quello della u verticale e volto dall'alto al basso; Q e V le componenti orizzontali e verticali della spinta sugli appoggi; p il peso uniformemente distribuito sull' unità di lunghezza di corda; T la tensione nel punto di ascissa z, e c la semi-corda della curva asse. Trasformando queste due equazioni e indicando con m la monta, si giunge all'espressione generale, che ci dà la tensione in un punto qualunque della curva di ascissa z

$$T=p\sqrt{\frac{c^4}{4m^2}+z^2} \qquad (1)$$

Facendo $z=o$ e $z=c$ si avranno i valori della tensione alla chiave e all'imposta rappresentati rispettivamente da

$$T_c=\frac{pc^2}{2m}=Q, \qquad T_i=\frac{pc^2}{2m}\sqrt{1+\frac{4m^2}{c^2}}$$

cosicchè ponendo

$$\sqrt{1+\frac{4m^2}{c^2}}=A$$

risulta che la pressione media la quale si verifica in una sezione qualunque fra la chiave e l'imposta viene data da

$$T_m=\frac{pc^2}{4m}(1+A)$$

Essendo nel nostro caso date la corda e la monta della curva intrados dovremo innanzi tutto, per poter applicare le formole generali, trovare i valori di $2c$ e di m riferen-

tesi all'asse dell'arco; osservisi intanto che essendo l'arco a monta depressa si potrà farlo circolare e allora assumendo immediatamente lo spessore alla chiave di 1^m si avrà $m=3^m,50$ e procedendo per tentativi sarà facile trovare la corda $2c=25^m,6$.

Infine, per poter applicare le formole degli archi equilibrati non ci resta che a trovare il valore di p, peso gravitante all'unità di lunghezza di proiezione orizzontale dell'asse dell'arco. Ecco come procederemo per questa ricerca.

Ponendo che la pressione media dev'essere uguale alla pressione $n''R''\Omega$ che si può far sopportare al materiale costituente l'arco nella sezione di superficie Ω, in cui si verifica detta pressione, si ottiene l'equazione

$$n''R''\Omega=\frac{pc^2}{4m}(1+A)$$

Ma pc rappresenta il peso totale sopportato dal mezzo arco, compreso il peso proprio, quindi dicendo π il peso dell'unità di volume del materiale costituente l'arco, si ha

$$pc=\pi S\Omega+U \qquad (2)$$

nella quale $\pi=7,2$; S sviluppo della metà dell'asse dell'arco è eguale a $13^m,45$; Ω superficie della sezione, è la nostra incognita ed U è eguale alla somma di due pesi U' ed U''. Il peso U' si calcola facendo la somma di tutto ciò che la metà di un arco permanentemente deve sopportare come, ad esempio, pezzi di concatenamento, timpani, tavolato, materiali costituenti il suolo stradale; il peso U'' ci deve rappresentare il peso del sovraccarico accidentale massimo. Fatti i calcoli si trova che nel nostro caso la somma di questi due pesi è 37542^{Cg}.

Ponendo adunque il valore di pc nella penultima equazione, si avrà

$$n''R''\Omega=\frac{(\pi S\Omega+U)c}{4m}(1+A)$$

dalla quale ricavasi

$$\Omega=\frac{Uc(1+A)}{4mn''R''-\pi Sc(1+A)}$$

ed assumendo

$$n''=\frac{1}{6} \quad \text{ed} \quad R''=18^{cg}\cdot \text{ p. mmq.}$$

fatti i calcoli numerici si trova $\Omega=0^{mq}\cdot,026135$.

Sostituendo questo valore nell' equazione (2) e ricavando il valore di p, avremo

$$p=\frac{\pi S\Omega+U}{c}=3130^{cg}\cdot,7$$

Ora colla formola (1) attribuendo a z diversi valori compresi fra o e c, per esempio di 2 in 2 metri, avremo le pressioni che si verificano nelle corrispondenti sezioni dell'arco ed allora per mezzo dell' equazione di stabilità

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

potremo dedurre altrettanti valori di Ω. Fatti i calcoli trovasi che

per $z=0$	$T_c=73265$	$\Omega_c=0^{mq}\cdot,0244216$
» $z=2$	$T_2=73678$	$\Omega_2=0$,0245595
» $z=4$	$T_4=74105$	$\Omega_4=0$,0247015
» $z=6$	$T_6=75646$	$\Omega_6=0$,0252153
» $z=8$	$T_8=77116$	$\Omega_8=0$,0257021
» $z=10$	$T_{10}=79058$	$\Omega_{10}=0$,0263529
» $z=12.8$	$T_i=83598$	$\Omega_i=0$,0278659

A ciascuno dei valori di Ω così calcolati corrisponderanno altrettanti valori della dimensione incognita. Così avendo già fissata per la sezione di chiave l' altezza di 1^m se ne dedurrà immediatamente lo spessore di $1^{cm}\cdot,6$ quando si faccia la forma della sezione a doppio T simmetrico e la larghezza delle tavole di $27^{cm}\cdot,919$.

Per le altre sezioni terremo fisso lo spessore trovato e faremo invece variare l'altezza della centina. Ecco i valori ottenuti per le altezze delle diverse sezioni

$A_c=1^m,00$
$A_2=1,0086$
$A_4=1,0175$
$A_6=1,0496$
$A_8=1,0800$
$A_{10}=1,1207$
$A_i=1,2152$

Con questi valori sarà facile descrivere la nostra centina. Descrittone l'asse che già dicemmo essere un arco circolare di $25^m,6$ di corda e di $3^m,5$ di monta, segneremo su questo, i punti di divisione corrispondenti ai diversi valori dati a z, condurremo i raggi per questi punti e sui medesimi porteremo metà per parte, a partire dall'asse, i valori di A. Otterremo così una serie di punti da ciascuna parte dell'asse, i quali uniremo con curve continue che ci rappresenteranno le curve di intrados e di estrados della nostra centina.

Calcolo delle pile. — Invece di trovare direttamente la grossezza delle pile, assegneremo alle medesime la dimensione di $2^m,20$ misurata al livello inferiore del piano d'imposta e verificheremo se con tale dimensione si ha sufficiente stabilità. Per ciò fare dovremo estrarre dall'equazione

$$P+2V=n''R''z$$

il valore di n'' essendo note tutte le altre quantità. Per maggior semplicità consideriamo una lunghezza di pila uguale all'unità e supponiamo che le medesime vengano fatte in pietra da taglio con malta di calce grassa; allora per questa muratura il coefficiente di resistenza R'' per mmq. è uguale a $0^{Cg}.,50$. Il peso P si compone del peso di masso murale che sta al disopra della linea infima d'imposta, più del sovraccarico accidentale; V è la componente verticale della spinta all' imposta che sarà facile determinare: ed allora essendo noto il peso specifico della muratura potremo dedurre il peso P ed avremo

$$P+2V=96200^{Cg}=n''.500000.2,20$$

dalla quale si ricava

$$n''=\frac{1}{11,34}$$

ossia la grossezza assunta è più che sufficiente. Ritenuta perciò questa dimensione, e applicando nuovamente l'equazione scritta più sopra ricaviamo la grossezza da

darsi alla pila al livello delle fondazioni. In questo caso P ci rappresenta il peso di tutto il masso murale che sta al di sopra del calcestruzzo, più il sovraccarico accidentale, quindi ritenuto $n'' = \frac{1}{11}$ e fatti i calcoli ricavasi $z' = 2^m,44$.

Calcolo del numero dei pali. — Supponiamo che la pressione venga dalla pila trasmessa uniformemente sulle teste dei pali; dovendo questi avere la lunghezza di m. 8,40 assegneremo loro il diametro di m. 0,35 e ne calcoleremo il numero necessario affinchè non avvenga in essi rottura per pressione. E questo si potrà fare facilmente ricorrendo all'equazione

$$n.\pi\frac{d^2}{4}n''R'' = P$$

nella quale il peso P si compone, del peso delle due mezze arcate una a dritta l'altra a sinistra della pila, compreso il sovraccarico accidentale, del peso del calcestruzzo e della pila, sulla quale si terrà anche conto del sovraccarico. Fatti i calcoli trovasi $P = 1,890,000^{Cg}$. e supponendo che i pali sieno di larice rosso prenderemo

$$n'' = \frac{1}{15} \quad \text{ed} \quad R'' = 4,500,000^{Cg} \text{ per mq.}$$

ricavando allora dall'equazione precedente il valore di n, sostituendo i diversi valori ed eseguendo i calcoli numerici trovasi

$$n = \frac{4P}{\pi d^2 n'' R''} = \frac{4.1,890,000}{3,14.0,35^2.300000} = 66.$$

Calcolo delle spalle. — Le spalle devono sopportare il peso delle mezze arcate che su di esse vengono ad impostarsi, devono resistere alla spinta orizzontale che le arcate medesime esercitano sul piano d'imposta, ed inoltre resistere alla spinta delle terre poste dietro alle medesime.

I costruttori però non usano tener conto di quest'ultima forza, potendo essa venir meno. Sottoposte all'azione delle forze anzidette, perchè le spalle si trovino in buone condizioni di stabilità sotto ogni rapporto, è necessario che sieno verificate le tre seguenti condizioni: cioè, sollecitate dalla forza orizzontale Q dovranno le spalle presentare 1° la necessaria resistenza allo *scorrimento* sul piano orizzontale passante per la linea più bassa d'imposta; 2° la necessaria resistenza al *rovesciamento* che potrebbe aver luogo in virtù di una rotazione intorno allo spigolo estremo di base, ed infine sollecitate dal proprio peso e dalla componente verticale V dovranno in terzo luogo presentare la necessaria resistenza allo *schiacciamento.*

Resistenza allo scorrimento. — Cominciamo dunque a porre la condizione che non debba avvenire scorrimento. Per far cosa in favore della stabilità supporremo che il sovracarico massimo accidentale graviti solamente sulla mezza arcata e non sulla spalla. Allora detta Q la spinta orizzontale, n^{IV} il coefficiente di stabilità, f il coefficiente d'attrito fra muratura e muratura, V il peso di mezza arcata col sovracarico, P il peso di spalla che giace al disopra della linea più bassa passante pel piano d'imposta, avremo l'equazione:

$$Q = n^{IV} f(V+P).$$

Nell'espressione del peso P sta appunto la dimensione incognita x. Ora, evidentemente, tanto più grande sarà questo P, tanto minore risulterà la grossezza della spalla. Per non dover dare alla spalla dimensioni eccessive uno dei mezzi che ben sovente venne messo in pratica da valenti costruttori è quello di prolungare l'arcata nell'interno della spalla stessa in modo che debba prendere parte allo scorrimento un peso molto maggiore della medesima. Anche nel nostro caso adotteremo tale espediente, e come esso venne praticato vedesi dalla *fig.* 5.

Considerando allora una lunghezza di spalla uguale all'unità avremo:

$$Q=52333^{Cg}, \quad n^{IV}=\frac{4}{5}, \quad f=0{,}57, \quad V=28623^{Cg},5$$

e

$$P=11180+11960x'$$

quindi sostituendo e ricavando il valore di x' avremo:

$$x'=6{,}27$$

donde

$$x=x'+0{,}83=7^{m}10.$$

La lunghezza $0^{m},83$ è quella che misura la distanza della nuova linea d'imposta dal profilo esterno della spalla.

Resistenza al rovesciamento. — La forza che tende a produrre il rovesciamento delle spalle facendole rotare attorno allo spigolo estremo di base è la spinta orizzontale Q. Le forze che a questa s'oppongono sono la componente verticale V e il peso di spalla di lunghezza unità sulla quale però non considereremo il sovracarico, mentre lo supporremo invece, gravitante sul ponte. Poniamo allora l'equazione dei momenti rispetto allo spigolo suddetto chiamando d' la distanza incognita del centro di pressione della base, dall'indicato spigolo, ed avremo:

$$Qq-Vv-Pp+(P+V)d'=0$$

donde ricavasi

$$d'=\frac{Vv+Pp-Qq}{P+V}=2,^{m}38$$

come è facile dedurre dalla conoscenza di tutte le dimensioni della spalla. Osservisi ora che d' è positivo, maggiore di $\frac{1}{3}$ e minore di $\frac{2}{3}$ della grossezza della spalla al livello delle fondazioni, il che vuol dire che l'intera base è premuta e che quindi colla dimensione trovata di m. 7,30 si ha la voluta resistenza al rovesciamento.

Resistenza allo schiacciamento. — Verifichiamo finalmente se colla dimensione di $7^m,30$ la massima pressione riferita all'unità di superficie sul piano di fondazione, non eccede il limite della pressione riferita alla stessa unità, che per generale consentimento dei pratici si può far sopportare alla muratura affinchè si trovi in buone condizioni di stabilità. Diciamo N la pressione normale alla base di fondazione e applicata alla distanza $d'=2^m,38$ dallo spigolo estremo della spalla; avremo

$$N=V+P=231423^{Cg}.$$

Ora, come già abbiamo osservato, si ha:

$$2,38<\frac{1}{3}7,30$$

quindi la massima pressione riferita all'unità di superficie si calcolerà mediante la formola

$$K=\frac{2}{3}\frac{N}{d'}=43320^{Cg}.$$

Finalmente fatto il coefficiente di resistenza

$$R''=500000^{Cg}.$$

per mq., e detto n'' il coefficiente di resistenza per pressione, avremo:

$$n''=\frac{K}{R''}=\frac{1}{10,8}.$$

Quindi anche per rapporto allo schiacciamento trovasi la nostra spalla in buone condizioni di stabilità.

Calcolo del numero dei pali. — Ripetendo quanto già si disse relativamente alle pile ed osservando che in questo caso il peso P che devono sopportare i pali è com-

posto del peso di mezza arcata col sovracarico, del peso della spalla pure col sovracarico e del peso del calcestruzzo, fatti i calcoli trovasi P=4334080^{Cg}, e allora ritenendo per le altre quantità i valori già riportati, avremo:

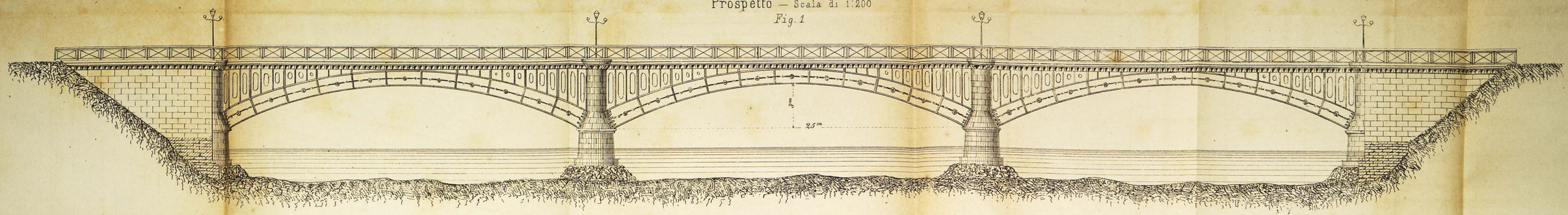
$$n=\frac{17336320}{115395}=151.$$

Finalmente per trattenere le terre contro le teste del ponte, si sono fatti i muri di risvolto che vedonsi nella *fig.* 5 in pianta e in elevazione. Detti muri hanno un andamento rettilineo parallelo all'asse del ponte e venne loro assegnata la grossezza di 2 m. al livello delle fondazioni.

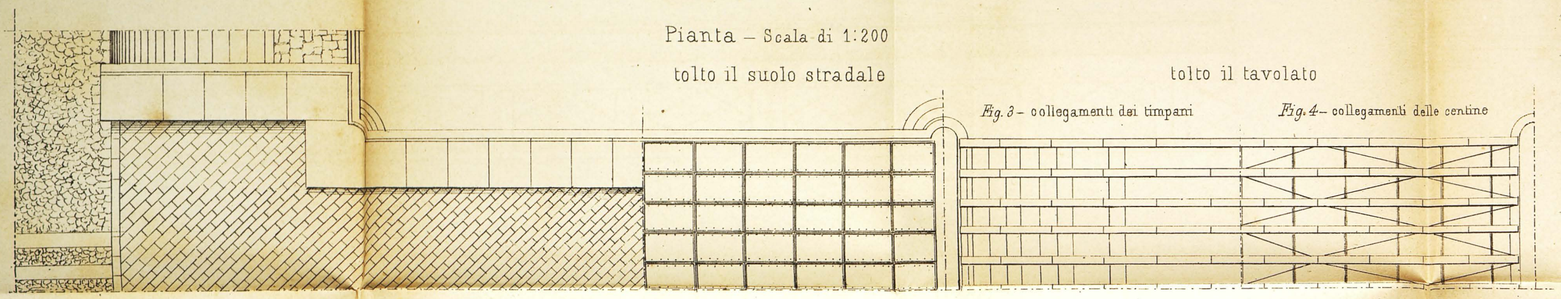
GIOVANNI MOLINARI.

PONTE IN GHISA
CON ARCHI EQUILIBRATI

Prospetto — Scala di 1:200
Fig. 1



Pianta — Scala di 1:200



tolto il suolo stradale

tolto il tavolato

Fig. 3 – collegamenti dei timpani

Fig. 4 – collegamenti delle centine

Sezione della spalla secondo la EF
Scala di 1:200

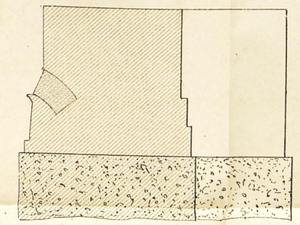
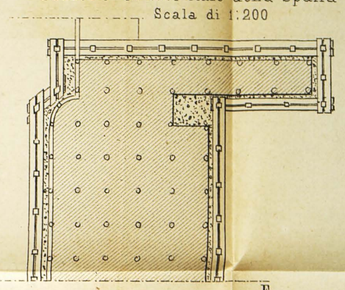
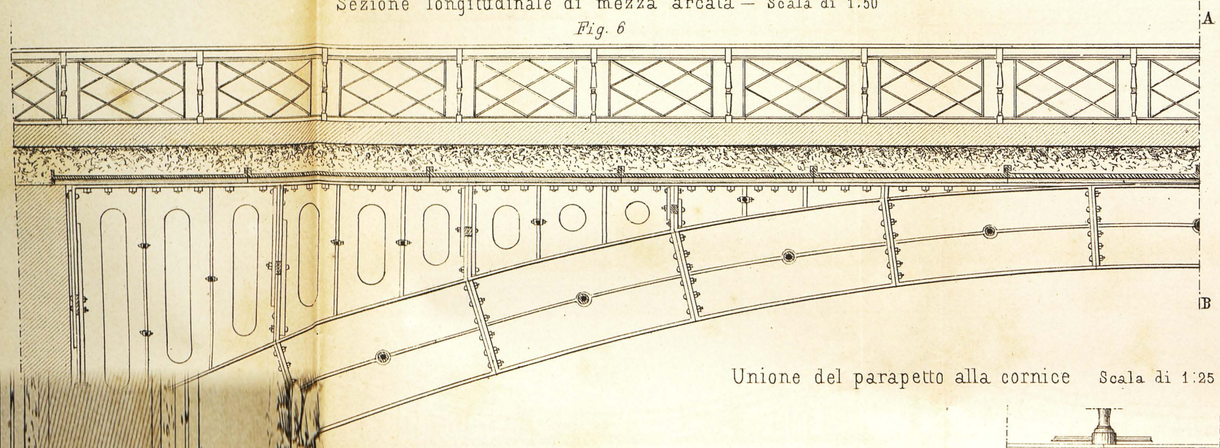


Fig. 5

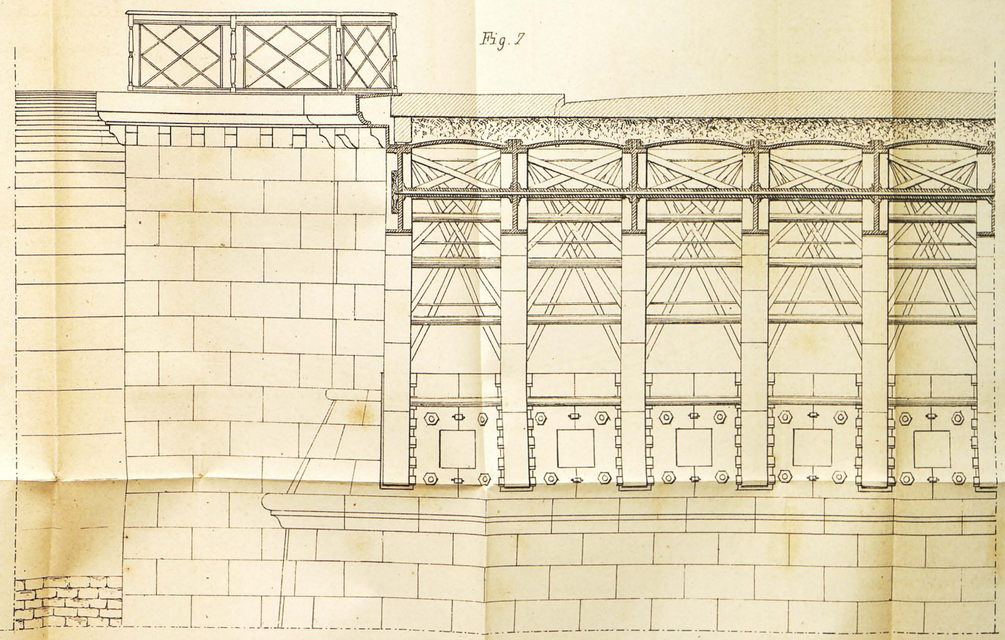
Sezione orizzontale della spalla
Scala di 1:200



Sezione longitudinale di mezza arcata — Scala di 1:50
Fig. 6



Sezione trasversale secondo AB — Scala di 1:50
Fig. 7



Unione del parapetto alla cornice Scala di 1:25

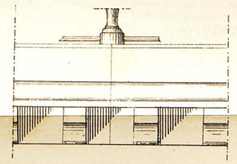
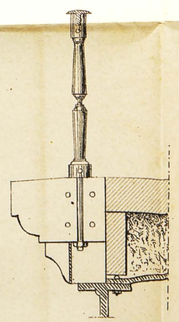
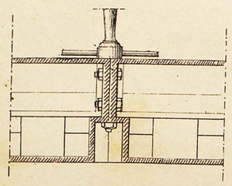
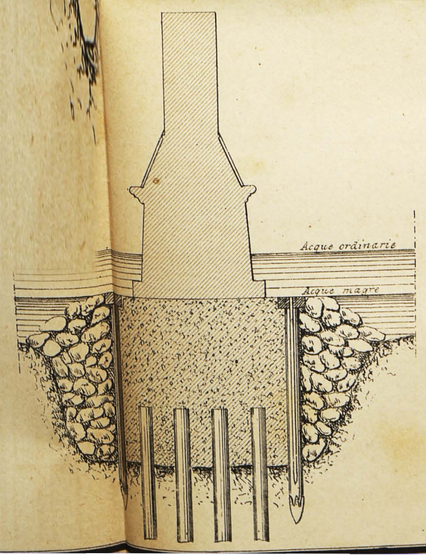


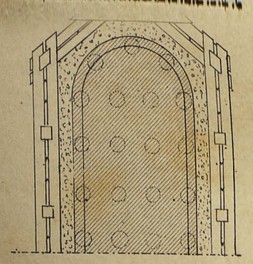
Fig. 9





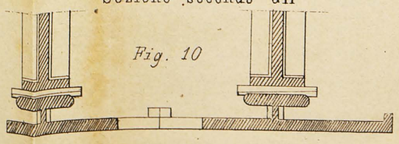
ne verticale di una pila
Scala di 1:100





Cuscinetto d'imposta Scala di 1:25
Sezione secondo GH

Fig. 10



Prospetto del concio di chiave — Scala di 1:25

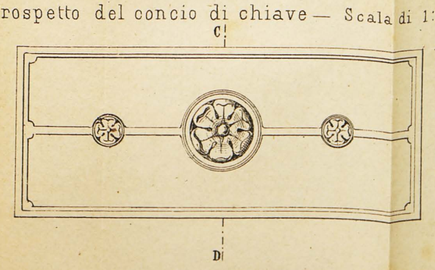
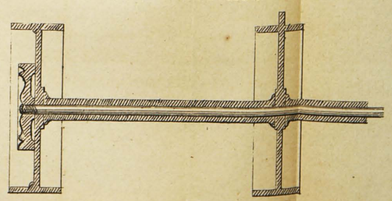


Fig. 11

Sezione secondo CD