DEI PONTI IN GHISA

DISSERTAZIONE E TESI

PRESENTATE

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

della Regia Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Torino

DA

FRANCESCO MORA

da RIVE (Vercelli)

Mora

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI

INGEGNERE LAUREATO

1869

TORINO

TIPOGRAFIA C. FAVALE E COMP.

AI MIEI GENITORI

COME TRIBUTO DI AFFETTO

NON COME COMPENSO AL MINIMO DEI TANTI SACRIFIZII

A MIO ZIO

IL CANONICO TOMASO MORA

CHE COI TESORI DELL'ELETTISSIMO INGEGNO

E CON QUELLI MILLE VOLTE PIU' PREZIOSI

DI UN CUORE BEN FATTO E DI UNA RETTA COSCIENZA

FU A ME

VERO MAESTRO E GUIDA SICURA

I.

Da un secolo a questa parte una maravigliosa rivoluzione s'è operata nell'arte del costruire, che, nulla lasciando d'intatto, taluni dei vecchi sistemi siffattamente modificò da non esser più riconoscibili, e moltissimi ne creò di nuovi tutti improntati di un'originalità e di un ardimento straordinario.

Di questo fatto la causa prima senza dubbio fu l'introduzione in quest'arte dell'uso dei metalli, ed al genio Anglo-Sassone spetta il vanto di questa felicissima innovazione. Dotati di uno spirito attivo ed intraprendente, possessori fortunati di un suolo ricco di minerali ferriferi, e, quel che è più, ricchissimo di carbon fossile, gli Americani e gli Inglesi presto si accorsero che ben altri servigi, che quelli resi fin allora, si potevano attendere dall'impiego dei metalli; ponti, tettoie, sbarcatoi, magazzini, palazzi eziandio presero a costrurre in ferro ed in ghisa, ed anche ultimamente in acciaio, dando a queste costruzioni forme e dimensioni mai più viste, e adattandole a scopi non sognati neanche prima d'allora.

Questo modo di costruire, visto il successo, propagossi a breve andare anche presso le altre nazioni, si tentarono i più arditi problemi, ad ogni difficoltà si ebbe sempre pronta una nuova e felice soluzione; e fu massime nella costruzione dei ponti che rifulse il genio dei diversi popoli, che si operarono i più grandi prodigi. I novelli ponti, leggeri, eleganti, con poca spesa ed in brevissimo tempo costrutti, hanno quasi oramai fatto dimenticare gli antichi, pesanti, severi, d'immenso costo, di lunghissima e difficile esecuzione. L'Europa e l'America ne sono coperte oggidì; adattandosi dappertutto alla natura dei luoghi, alle idee e ai bisogni dei diversi popoli, essi hanno assunto oramai svariatissime ed innumerevoli forme.

Tutte però possono ridursi a tre soli tipi: *ponti ad archi*, *ponti pensili*, *ponti a travate rettilinee;* diversificanti non solo per la forma, ma pel genere di sforzo a cui si sottopone il metallo, ed anche per la natura del metallo stesso. — Nei primi l'arco è sotto al suolo stradale e volge la sua concavità al basso, nei secondi l'arco è al disopra e volge in alto la sua concavità, nei terzi l'arco non è nè sopra nè sotto, è ridotto ad una linea retta. — Nei primi il metallo resiste unicamente alla compressione, nei secondi unicamente all'estensione, nei terzi parte di esso resiste alla compressione parte all'estensione. — Nei primi si adopera la ghisa principalmente, qualche volta il ferro e l'acciaio; nei secondi il ferro sopratutto, alcuna volta l'acciaio; nei terzi quasi esclusivamente il ferro, adoperandosi la ghisa solo per piccolissime portate.

Potrebbesi poi annoverare un quarto sistema, un sistema misto perchè tiene un po' di tutti e tre. Di questo genere sarebbero i ponti *Bow-Strings* (arco-corda), in cui esiste l'arco ed i suoi estremi sono legati da una trave retta sospesa ad esso con tiranti, su cui poggia il suolo stradale; i ponti *Clapeyron* in cui la trave retta, che forma la parte intermedia del ponte, si piega a squadra in vicinanza delle spalle contro le quali va ad incastrarsi; il ponte di *Chepstow* in cui oltre alla trave retta che sostiene il suolo stradale, sonvi superiormente due tubi formanti arco legati con tiranti alla trave; ed altri parecchi.

Ciascuno di questi sistemi ha la sua storia, in cui è scritta

la bontà di esso ed i servigi resi; sorti in epoche diverse, ebbero diverso favore, e ciò secondo i popoli e secondo i tempi, e pur secondo questi camminarono più o meno nella via del loro perfezionamento.

I più antichi pare siano i ponti pensili, e pure, anche volendo fare come coloro che risalgono fino ad Erone di Alessandria per rinvenire l'origine della macchina a vapore, non sarà necessario andar molto in là nelle storie per trovarne la prima comparsa. In Europa mai se n'ebbe notizia prima della conquista del Messico fatta da Cortez. I ponti pensili colà trovati dagli Spagnuoli erano fatti con liane tese dall'una all'altra riva dei fiumi.

Lascio in disparte la descrizione che Humboldt ci ha lasciata del ponte di *Penipè* sul fiume *Chambo*, sospeso a corde di $0^m,1$ di diametro, lungo 40 m. largo $2^m,50$; le *tarabite* delle Cordigliere; i ponti dell'India, della China, del Thibet nominati nelle relazioni dei viaggiatori come sospesi già a catene di ferro: questi poco o nulla hanno che fare coi moderni, e non è certo neanche che ne abbiano suggerita l'idea. Il primo vero ponte pensile, quale l'intendiamo noi, fu costrutto da James Fildey sul Jacob's-creek in America nel 1796. Esso aveva $21^m,3$ di lunghezza.

Rapidamente si diffusero in America, ma non si facevano che per passaggio di pedoni. Fu solo nel 1820 che Samuel Brown capitano di marina inglese gettò sulla Tweed un ponte sospeso della portata di 110 m. capace di sostenere qualunque veicolo. Subito dopo Telford ne lanciava un secondo sullo stretto di Menai.

Il successo coronò queste opere, e Navier era nel 1823 spedito in Inghilterra a studiarle. Fu allora che pubblicò il suo famoso *Mémoire sur les ponts suspendus*, in cui ne diede la teoria ed inneggiò ad essi come ai ponti dell'avvenire. Divenuti presto comuni in tutte le regioni d'Europa, ebbero i loro rappresentanti anche in Italia, fra i quali citerò quello d'Asti sul Tanaro, quello Maria Teresa sul Po a Torino, quello pure sul Po a Casal-Monferrato. Quest'ultimo che per la mole e per la frequenza del sito è fra i primi in Italia, ha la lunghezza totale di m. 199,80 ed è a due luci di m. 97,40 cia-

scuna. Gli assi delle parabole delle catene di sospensione non coincidono col punto di mezzo della campata, per cui mentre la lunghezza dell'ultimo tirante presso la pila è $12^m,80$, quello dell'ultimo presso la spalla, non è che 3^m40, e ciò con risparmio notevole di metallo. Le sue corde sono in numero di 8 ed hanno la sezione totale di 21508 m. m. q. È capace di sopportare carichi comunque enormi, ma le oscillazioni sotto questi pesi sono troppo pronunziate.

Varii accidenti sopravvenuti in questi ultimi tempi a questi ponti, parecchi dei quali si videro portar via dall' uragano mezzo il tavolato e spezzar le catene, hanno alquanto raffreddato il primo entusiasmo. Alcuni ingegneri li vorrebbero addirittura aboliti, cosa molto più comoda che non cercare di correggerne i difetti. Gli Americani furono i soli che non si sgomentarono, e nel 1855 l'ingegnere Roebling ebbe il memorando ardimento di lanciarne uno della enorme portata di $250^m,45$ sul Niagara, 3 chilometri a valle della grande cascata. È affidato a quattro sole catene in fili di ferro della sezione complessiva di 1559 c. m. q. e passano su di esso e gli ordinari veicoli e la vaporiera. Pochi anni dopo ne costruiva un secondo simile sul Kentucky di 373^m, ad un'altezza di $91^m,43$ dalle acque del fiume. Sono cifre che in vero tengono del miracolo.

Secondi in ordine di data vengono i ponti ad arco, i quali furono in principio unicamente in ghisa. Si cominciò nel 1779 col ponte di Coalbrookdale sulla Severn. Altri se ne costrussero poscia in Inghilterra, dove furono impiegati massime come ponti canali. Penetrati in Francia, il loro aspetto elegantissimo e il prestarsi della ghisa ad ogni maniera di ornamento, li fecero adottare per congiungere i quartieri della capitale; e nel 1800 Parigi vedeva sorgere il ponte delle Arti, nel 1806 quello di Austerlitz, più tardi quello del Carrousel costrutto da Polonceau, e in questi ultimi tempi il ponte Solferino. Vincendo i pregiudizi che facevano della ghisa un metallo fragilissimo agli urti e quasi affatto inelastico, si applicarono questi ponti alle vie ferrate, e fecero buonissima prova, come lo attestano lo stupendo viadotto di Nevers della lunghezza di 384^m 45, quello di Beau-

caire con 7 arcate di 60 m. caduna, il ponte Saint-Esprit, e moltissimi altri.

Parecchi ne vennero costrutti anche in Italia: fra gli altri piacemi citare il ponte della Pila a Genova sul Bisagno, e quello di Rivaltella sul Crostolo presso Reggio di Emilia della lunghezza di 82 m. Ha le arcate di 18^{m}, 50 di corda per 2 di saetta. Esso venne costrutto da un privato ed è su terreno privato. Ha solo 3 centine e la larghezza di 4^{m}, 50.

La lamiera di ferro, messa alla moda dei ponti a travate rettilinee, venne impiegata in questi ultimi tempi anche ai ponti ad arco, e diede ad essi maggior arditezza, come lo attesta il ponte d'Arcole a Parigi che ha 80 metri di corda ed uno spessore di centina alla chiave di solo 0,^{m}32. Uno di questo genere, il ponte di Blackfriars, venne inaugurato poche settimane fa a Londra (1), che per la mole e sopratutto per l'eleganza non ha rivali sinora e non ne avrà per un pezzo. È lungo 963 piedi, (290^{m}) largo 75 (23^{m}) ed ha 5 arcate di 55 metri caduna. Quanto ai ponti in ghisa il più ardito finora è il ponte di Sunderland che ha la corda di 73 metri.

I ponti a travate rettilinee si può dire datino dall'anno 1847, in cui Roberto Stephenson gettò sullo stretto di Menai i due immensi tubi del ponte Britannia. Dire il plauso che coronò questo meraviglioso lavoro del figlio di Giorgio Stephenson sarebbe impossibile; basti il sapere che d'allora in poi questi ponti regnano quasi sovrani in Europa non solo, ma fin nelle più lontane contrade, massime per strade ferrate, e fecero dimenticare, sto per dire, quasi tutti gli altri sistemi. Ne sorsero ben presto di giganteschi come il ponte di Conway di una sola campata di 129 metri, il ponte di Kehl sul Reno, della lunghezza di 235^{m}, in parte fisso, e in parte girevole. Citerò, per uscire d'Europa, il ponte sul Chittravatty nell'India, per la strada ferrata di Madras, della lunghezza di 853 metri, costrutto in 10 mesi, il che prova sempre più quanto sieno convenienti dal lato eziandio della prontezza dell'esecuzione i ponti metallici, anche in un paese non certo fornito di tante ri-

(1) Dal giornale inglese: *The illustrated London News* — Novembre 1869.

sorse come il nostro. A questi si possono ben aggiungere in Italia quelli di Piacenza e Mezzanacorti, dei quali l'ultimo, uno dei più giganteschi che siansi costrutti fin qui, deve servire per ferrovia e per strada ordinaria, ed ha la lunghezza di 758^{m},40. L'Italia ne conta un numero grandissimo di altri minori, anzi si può dire quasi se ne sia da noi fatto uso ed abuso.

Affatto recenti poi sono i Bow-Strings e gli altri sistemi citati. I Bow-Strings dall'Inghilterra, patria ad essi come a quasi tutti gli altri, si distesero nelle altre regioni e incontrarono un discreto favore anche in Italia, ove furono adoperati principalmente per le strade ferrate, ma sempre per piccole portate. Citerò fra gli altri il ponte di Cherasco. Il più bell'esempio che si conosca finora è il ponte di Windsor obliquo colla corda di 65 metri.

Di tutti questi ponti quelli ad arco in ghisa furono accolti con meno favore, osteggiati anzi accanitamente da molti, e in Italia si può dire sieno presso che sconosciuti. Io mi restringerò a dire poche parole intorno ad essi, facendo vedere, come meglio potrò, quanto sia ingiusta la guerra che loro venne mossa. Mi servirò di tanto in tanto, per non star troppo sulle generali, di un progetto di ponte di tal genere toccatomi in sorte come tema di costruzioni, di cui il disegno (delle parti principali almeno) va unito alla presente dissertazione. Eccone l'enunciato:

Ponte a centine in ghisa presentanti la forma di archi equilibrati, ed in tre arcate aventi ciascuna la corda di 32 metri e la monta di 6 metri. Il suolo stradale sia di m. 9, e di m. 12 sul livello delle acque ordinarie e sul fondo del corso d'acqua. Si faccia di m. 16 la larghezza della strada ordinaria che passa sul ponte: sia di m. 11 sotto le acque ordinarie il terreno che prestasi a buone fondazioni.

II.

Descrizione.

Ordinariamente nei ponti in ghisa le parti veramente fatte di ghisa son quelle formanti l'arco, il timpano e la cornice; il resto si può fare anche d'altra materia.

Non mancano però esempi di ponti in cui tutto è di ghisa, financo le pile e le spalle. Il fare queste ultime eziandio di siffatto metallo non pare però il più savio consiglio. Certo che l'affondare un cilindro in ghisa, colle potenti macchine di cui possiamo disporre, coll'aiuto dell'aria compressa, non è cosa punto difficile; certo che vi ha il tornaconto della economia e della speditezza del lavoro: ma l'alternato contatto della ghisa or coll'aria or coll'acqua, pei cambiamenti di livello del fiume al variar delle stagioni, la deteriorerà di sicuro, benchè la ghisa sia molto meno del ferro suscettiva d'irrugginirsi. Un guasto in un tal sito è irreparabile, non dirò totalmente ma quasi, perchè a tutto si rimedia oggidì, n costruzione almeno. Il tempo giudicherà di questa innovazione.

Gli *archi* o *centine* sono le parti che più devonsi curare in questi ponti, come in tutti gli altri la parte formante il volto. La loro sezione è ordinariamente quella di un doppio *T* simmetrico (fig. 9), le cui tavole hanno una larghezza quasi sempre compresa fra 0,20 e 0,30 anche per i più gran ponti.

Portano poi una o due nervature longitudinali, e qualche volta anche parecchie trasversali. Per piccole portate sono fuse tutte d'un pezzo; ciò non potendosi fare per le grandi, l'arco per queste è composto di parecchi conci che si toccano secondo faccie ben normali all'arco e accuratamente piallate, la cui larghezza è la medesima delle tavole del *T*, e lo spessore ordinariamente alquanto maggiore di quello delle altre parti del concio.

La lunghezza di questi conci non si fa mai inferiore a 2 m. Taluni ingegneri li esigono 7, 9 e sino 12 m.; parecchi poi non vogliono assolutamente sapere di limiti. È innegabile però che le difficoltà e l'inesattezza dell'esecuzione crescono colla lunghezza,

e che d'altronde l'utilità di questo procedere è molto problematica. Meglio tenersi nei limiti di una facile esecuzione.

Il contatto dei conci è reso esatto ed invariabile col mezzo di chiavarde, che sono 4 o più per ogni giunto. L'altezza dell'arco va decrescendo dall'imposta alla chiave: è mai però minore di $0^m,40$ alla chiave, nè maggiore di 2^m all'imposta; in certi ponti di saetta piccolissima fu adottata addirittura uniforme.

La sezione a doppio *T* non è la sola in uso: si impiegò eziandio la circolare e la elittica, come fece Polonceau nel ponte del Carrousel. Il vuoto interno venne in questo ponte, come in molti altri, riempiuto con travi di larice destinate a impedire le deformazioni degli archi, e a sostituirli provvisoriamente in caso di rottura. Oltre che faticoso e difficile riesce il cacciarli dentro e far che stieno a dovere, l'esperienza ne ha riconosciuto la perfetta inutilità. Al presente non si usano più, ed è anzi, si può dire, abbandonata ogni sezione che non sia quella a doppio *T*.

Timpani. — Le pressioni prodotte dal peso del ponte e dai sovraccarichi sono trasmesse alle centine per mezzo di timpani fatti a guisa di grandi lastre verticali spesso traforate e armate di nervature, unite fra loro e alla centina su cui si posano col mezzo di chiavarde. L'altezza in ciascun loro punto è segnata dalla posizione dell'arco e del suolo stradale, la lunghezza varia come quella dei conci degli archi e secondo il gusto dei costruttori. Per piccole portate sono fin d'un solo pezzo; talvolta sono fuse insieme colle centine; e in certi casi vennero anzi come soppresse, rettificando l'estrados dell'arco.

Al ponte del Carrousel, ed in parecchi altri ad imitazione, si adottarono timpani a circoli, il cui diametro va decrescendo dall'imposta alla chiave. Questo sistema se ha dalla sua la leggerezza e l'eleganza, ha però lo svantaggio di non ripartire in modo continuo la pressione sull'arco, perchè la pressione non è trasmessa che ai punti di tangenza dei circoli e dell'arco.

Collegamenti. — Ogni arcata di ponte è composta di più centine poste ad una certa distanza, che varia da $1^m,20$ a $2^m,50$. Perchè si conservino, unitamente ai timpani cui sopportano, in un piano verticale, s'adoperano collegamenti fatti con traverse di ghisa dis-

poste verticalmente pei timpani, normalmente all'arco per le centine, ed uniti a tenone e mortisa mediante appendici a ciò adatte, fuse a bella posta coi vari pezzi. Alcuni diedero a queste traverse un'importanza straordinaria; al ponte Saint-Esprit sul Rodano sono le traverse verticali, a guisa delle stilate dei ponti in legno, che sostengono il tavolato, i veri timpani non servendo che a collegare fra loro le stilate.

Pei ponti che devono servire a strade ordinarie è sufficiente il collegamento con tiranti in ferro, vestiti fra le due prime centine di un robusto tubo di ghisa (fig. 7 e 9), che si oppone all'avvicinamento. Il primo metodo fa del ponte un sistema rigido assolutamente immobile, ma esige quasi tanta ghisa per le traverse come pei timpani; il secondo serve abbastanza bene, massime per istrada ordinaria, ed ha il vantaggio dell'economia.

Per impedire poi gli spostamenti verticali, o comunque anormali, servono tiranti inclinati a croce di Sant'Andrea, che possono essere in ghisa o in ferro. In quest'ultimo caso la loro unione si fa come quella dei tiranti orizzontali (fig. 20 e 21).

Il *Tavolato* serve eziandio a collegare le parti superiori dei timpani: e questo tanto nel caso che si impieghino travi trasversali su cui poggiano voltini in muratura, quanto in quello di una lastra continua di ghisa appoggiata e inchiavardata sui timpani. I voltini, affatto inservibili per istrade ferrate, hanno, anche per le strade ordinarie, lo svantaggio di spostarsi e di fendersi sotto le oscillazioni prodotte dal passaggio dei grandi carichi, mentre che le lastre di ghisa, oltre ad essere un collegamento saldissimo, non temono gli spostamenti; dando poi ad esse una forma leggermente arcuata, si svilupperà nella ghisa la resistenza alla compressione, in luogo di quella all'estensione, e sarà così eliminato ogni sospetto di pericolo. Le pressioni sono molto meglio e più uniformemente trasmesse agli archi; ma si ha l'inconveniente che le oscillazioni non vengono smorzate, e il resto del ponte vibra col tavolato.

Suolo stradale. — Per ovviare in parte a questo difetto si pone uno strato considerevole di ballast sotto al pavimento del ponte. Rendendo così anche il ponte più pesante, si diminuisce l'effetto

dei sovraccarichi che si trasportano da un punto all'altro. Non è punto necessario cambiare su questi ponti il genere di lastricato della strada che lo varca. I marciapiedi pongonsi ordinariamente ai lati, quantunque in certi ponti d'Inghilterra siasi creduto bene porli in mezzo.

Cornice e parapetto. — Queste sono parti piuttosto ornamentali, che essenziali dell'edifizio. Sono però collegate saldamente al resto del ponte, perchè da esse dipende la sicurezza dei veicoli e delle persone. Per strade ferrate in luoghi lontani dalle città possono sopprimersi. La cornice serve talvolta a contenere il ballast.

Cuscinetti d'imposta (fig. 16, 17, 18 e 19). — Il peso del ponte è trasmesso dagli archi alle pile ed alle spalle per mezzo dei cuscinetti d'imposta. Una gran lastra di ghisa corre per tutta la lunghezza della pila e porta, in corrispondenza delle diverse centine, un pezzo a foggia di T fuso colla lastra, e la cui tavola sopporta poi la faccia normale della centina. Non direttamente però, perchè avvi ancora l' intermediario di cunei in ferro, che si allentano o si stringono battendoli, secondo che il caldo ha fatto dilatare o il freddo accorciare la centina stessa. Al ponte di Beaucaire, temendo soverchiamente l'influenza della temperatura, si progettarono archi finti, indipendenti dal ponte, destinati a coprire gli archi veri per difenderli dalla parte del sole. Si riconobbe poi che soverchio era stato il timore, e gli archi finti vennero soppressi.

Alcuni troncano la lastra di ghisa nei tratti tra centina e centina, e ciò per risparmio di materia; ma non troppo avvedutamente però, perchè localizzando così la spinta dell'arco, rendono quasi inutile una parte della pila, e caricano l'altra più del bisogno.

Per evitare l'inconveniente della troppa distanza del timpano dalla pila, e per impedire che possa scivolare sulla centina, si prolungò nel disegno qui unito il cuscinetto d'imposta ponendo un cuneo eziandio sotto al timpano (fig. 16). Si disposero inoltre a diverse altezze per guidarlo varie caviglie filettate, munite di una chiocciola che si manovra contemporaneamente ai cunei.

Pile e spalle. — Quando sono in muratura od in pietra da taglio, non differiscono per nulla dalle pile ordinarie. Esse presentano una faccia normale all'arco per ricevere il cuscinetto d'imposta saldato ad essa con caviglie in ferro rigonfie alla parte inferiore. Queste s'introducono in un foro praticato nella pietra, che si riempie poi con piombo e zolfo fuso.

Al di sopra dei cuscinetti le pile non sentono più la spinta dell'arco, ma solo la pressione della parte di ponte immediatamente superiore. È lecito quindi traforare le pile fra centina e centina, come appunto io feci (fig. 13). Si avrà così, oltre al risparmio del materiale, il vantaggio di poter molto più comodamente accedere a' cuscinetti onde battere i cunei.

Quando sono in ghisa, sono sempre composte di più colonne circolari, od elittiche coll'asse maggiore parallelo all'asse del ponte. Avvene ordinariamente una ad ogni centina. Servono mirabilmente per grandi cavalcavia, per viadotti sopra terreno asciutto, e se ne ha un esempio stupendo ai Campi Elisi a Parigi, dove pile d'altro genere avrebbero mezzo mascherato uno stupendo panorama. Ma per fiumi, oltre l'inconveniente già notato, hanno anche quello di resister male all'urto dei sassi e d'ogni altro corpo pesante strascinato dal fiume. Queste pile non s'adoperavano prima che in terreni sabbiosi e poco consistenti, come verso il delta dei fiumi; l'introduzione dell'aria compressa ne ha esteso l'uso a qualunqne sorta di terreni.

Fondazioni. — Sono tali quali quelle che si fanno per ponti ordinari. Ai pali in legno si cominciano in Inghilterra a sostituire i pali in ghisa, con risparmio di tempo pel battipalo, e con maggior sicurezza di resistenza, senza prezzi esagerati.

III.

Cenni sul modo di calcolarne le dimensioni.

Ciascun tipo di ponte ha le sue particolarità che esigono uno speciale metodo di calcolo, e rendono così quasi impossibile la soluzione generale del problema. Mi riferirò quindi ad un caso particolare, ed esporrò a brevi tratti il metodo seguìto da me nel calcolo del ponte toccatomi in sorte all'esame. Seguendo la marcia più logica, cioè quella dall'alto al basso, onde non incappare in pesi e forze ignote, il primo pezzo a calcolarsi sarà il tavolato di ghisa.

Potrà considerarsi come un solido appoggiato in due punti distanti fra loro di $1^m,40$, perchè tale lo spazio fra gli orli di due centine intermedie, gravato di un carico permanente e di un sovraccarico, che invece di supporre uniformemente distribuito, locchè condurrebbe a spessori minimi, supporrò concentrato, cosa molto più conforme al vero, e trasportantesi da un punto all'altro, come una ruota di carro ad esempio. Faremo inoltre per semplicità e per fare cosa in favore della stabilità l'ipotesi che il carro o l'altro peso qualunque graviti solo sopra una lista indipendente di $0^m,10$ larghezza.

In generale se p è il peso di carico permanente per metro corrente di lista, $2a$ la distanza dei due appoggi, z l'ascissa di una sezione qualunque, essendo l'origine delle coordinate sull'appoggio di sinistra, l'espressione del momento inflettente per questo carico sarà

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

da cui

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

Differenziando e eguagliando a 0

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

donde $z = a$, cioè il massimo momento inflettente corrisponde alla sezione di mezzo ed è

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

Considero ora il sovracarico mobile che chiamerò $2P$ e supporrò applicato ad un punto distante di b dall'origine delle coordinate. Avremo per sezioni di ascissa $z < b$ essendo R' e R'' le reazioni degli appoggi

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

Ma noi abbiamo per ciascuna delle sezioni d'appoggio la somma dei momenti eguale a zero: per la sezione di sinistra

$$2aR'' = 2bP \qquad R'' = \frac{bP}{a}$$

e sostituendo

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

Evidentemente questo momento è massimo quando $z = b = a$ e allora

$$\mu_m = -Pa$$

Lo stesso avvererebbe considerando sezioni di ascisse $z > b$.

Vedesi che i massimi per amendue le ipotesi corrispondono alla sezione di mezzo, il momento massimo totale sarà

$$M_m = -\left(\frac{p\,a^2}{2} + P\,a\right)$$

Ne considereremo il valore assoluto, che nel nostro caso, essendo $p = 145^{kg}$, come deducesi conoscendo il volume e il peso specifico della ghiaia e della pietra gravitante sull'unità di lunghezza della lista che si considera, e $2P = 5000^{kg}$, il peso massimo che può gravitare sopra una ruota di veicolo ordinario.

$$M_m = \frac{145 \times 0{,}70^2}{2} - 2500 \times 0{,}70 = 1785^{kg}$$

Sostituendo questo valore nell'equazione di stabilità relativa all'estensione

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

in cui

$$R' = 5^{kg} \qquad n' = \frac{1}{10}$$

sono i coefficienti di rottura e di stabilità adottati dai costruttori per la ghisa, v' la distanza della fibra maggiormente allungata della parallela all'asse neutro passante pel centro di gravità, I' il momento d'inerzia della sezione, di cui è incognita una dimensione, fatti i calcoli questa si trova essere $14^{mm},64$. Non è bisogno ricorrere all'equazione di stabilità per la compressione, perchè si è certi di avere un valore minore.

Questo spessore trovato serve benissimo anche pel tavolato nelle centine estreme quantunque più distanti, perchè sovra queste non vi sono che i marciapiedi e quindi un sovracarico molto minore.

I timpani variano d'altezza da un punto all'altro dell'arco, ne dovrebbe quindi variare per ciascun punto lo spessore, giusta i numeri suggeriti dal Rondelet. Così facendo però si otterrebbero verso la chiave spessori assolutamente inammessibili in pratica. L'altezza verticale massima del timpano è $5^{m},50$. Nell'equazione di stabilità relativa alla compressione

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

la forza premente è $T' = 7414^{kg.}$ somma del peso premente gravitante sopra un metro di lunghezza di timpano e del sovracarico già considerato, Ω l'area della sezione, R'', n'' coefficienti di rottura e di stabilità della ghisa per la compressione. Tenendo conto dei numeri del Rondelet e di quello che suolsi fare dai pratici porremo $R'' = 3^{kg.}$, $n'' = \frac{1}{6}$. Lo spessore che cerchiamo, eseguiti i calcoli, sarà $14^{m.m.},83$. Ma siccome il timpano non è fatto di una lastra uniforme perfetta, porteremo questo spessore a $25^{m.m.}$ per tener conto in qualche modo del traforamento. Assegneremo a tutto quanto il timpano questa dimensione, salvo ai due pezzi centrali per cui basteranno $20^{m.m.}$

Trattasi ora di fare che i timpani non abbiano ad inflettersi, calcolando il numero dei ritegni necessarii a questo scopo.

Applicando la formola

$$T = \frac{i^2 \pi^2 E I}{a^2}$$

in cui T è la pressione, E il coefficiente di elasticità della ghisa, I il momento d'inerzia della sezione, a l'altezza del timpano, i il numero dei ritegni incognito, si trova nel nostro caso che un ritegno è più che sufficiente. Questo ritegno è rappresentato nel ponte dai tiranti orizzontali.

Veniamo alla parte più importante, al calcolo dell'arco. Ordinariamente son date la corda e la saetta. Se fosse assegnata anche la forma della curva non si avrebbero che ad applicare le formole della flessione pei solidi inizialmente curvi, trovare la variazione delle coordinate causata dai carichi, e quindi la spinta orizzontale da sostituire nell'espressione del momento inflettente e della forza tangenziale per una sezione qualunque. Le equazioni di stabilità per la compressione e per l'estensione ci darebbero poi la dimensione che avremmo lasciata incognita. Se, e questo è il caso più frequente, non è data la forma della curva, gioverà sceglier quella per cui si abbia un arco equilibrato, ossia un arco tale che in ciascun punto del suo asse tutte le forze ivi applicate si riducano ad una risultante tangente all'asse stesso.

Le forze che sollecitano l'arco non sono che pesi, i quali potremo supporre uniformemente distribuiti sulla corda senza molto scostarci dal vero, e le spinte prodotte da questi pesi. Fra queste forze e la tensione che si sviluppa tangenzialmente all'asse della centina avremo le equazioni di equilibrio

$$T\frac{dz}{ds} - Q = o \qquad T\frac{du}{ds}\int_z^c p\,dz - V = o.$$

in cui u e z sono le coordinate di un punto qualunque, supposta l'origine nel vertice, Q e V le componenti orizzontale e verticale della spinta sugli appoggi, p il peso uniformemente distribuito sulla corda, T la tensione in un punto d'ascissa z, c la semicorda della curva asse. Indichiamo con m la monta, trasformando si verrà alla formola generale che dà la tensione in un punto qualunque dell'asse dell'arco, che sarà nel caso nostro una parabola

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

Per $z = 0$ cioè alla chiave, per $z = c$ cioè all'imposta si avrà

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

Quando, come è appunto il nostro caso, non fossero date la monta e la corda dell'asse, ma sì quelle dell'intrados della centina, siccome è duopo aver quelle perchè entrano nell'espressione generale della tensione, si potranno dedurre con un falso supposto per mezzo di approssimazioni successive, fissando subito una dimensione, l'altezza di chiave della centina ad esempio.

Ciò fatto, sostituendo nell'espressione di T valori successivi d z, avremo le tensioni corrispondenti a questi valori, che sostituite nell'equazione di stabilità relativa alla compressione

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

ci daranno i valori corrrispondenti di Ω superficie della sezione trasversale del solido, ossia superficie resistente.

Il peso che gravita sopra una centina, compreso quello della centina valutato per approssimazioni successive, sarà nel nostro caso di 142380 Kg. e quindi 4237 Kg. per metro corrente di corda. La monta e la corda calcolate pure per approssimazioni successive, saranno rispettivamente $6^m,016$ e $16^m,32$. Sostituendo avremo pei valori delle tensioni di 2 in 2 metri, e per quelli corrispondenti delle superficie resistenti, essendo come già si suppose

$$n'' = \frac{1}{6} \qquad R'' = 3^{Kg.}$$

	mmq.		kg.
T_c	= 95824	Ω_c	= 19164,8
T_2	= 96131	Ω_2	= 19226,2
T_4	= 97244	Ω_4	= 19448,8
T_6	= 99073	Ω_6	= 19814,6
T_8	= 101580	Ω_8	= 20316,0
T_{10}	= 104711	Ω_{10}	= 20942,2
T_{12}	= 108420	Ω_{12}	= 21184,0
T_{14}	= 112640	Ω_{14}	= 22518,0
T_i	= 118260	Ω_i	= 23652,0

I valori di Ω ci daranno i valori corrispondenti di una dimensione lasciata incognita.

Per la sezione di chiave essendo già fissata l'altezza $0^m,80$ se ne dedusse lo spessore $23^{mm},956$, trascurando per maggior sicurezza la parte di resistenza che possono opporre le due tavole del doppio T. Per le altre sezioni invece si tenne fisso lo spessore portato a 25^{mm} e si fece variare l'altezza della centina. Ecco i valori ottenuti per queste altezze.

$$A_0 = 0^m,80000$$
$$A_2 = 0^m,80109$$
$$A_4 = 0^m,81036$$
$$A_6 = 0^m,82560$$
$$A_8 = 0^m,84650$$
$$A_{10} = 0^m,87259$$
$$A_{12} = 0^m,90350$$
$$A_{14} = 0^m,95533$$
$$A_i = 0^m,98883$$

Avremo così quanto occorre per costrurre graficamente la figura della centina. Descritta la parabola asse, segnate le normali, si porteranno sopra di esse i valori ottenuti di A, e si uniranno con una curva continua.

Giunti a questo punto non si avrà più che assegnare la lunghezza ai conci che devono formare la centina, essendone già fissato il numero. Gioverà per questo calcolare la lunghezza della parabola asse. Ricordando la formola del calcolo integrale

$$s = \sqrt{x^2 + \frac{px}{2}} - \frac{p}{4} \log \frac{\frac{p}{2}}{\left(\sqrt{x} + \sqrt{x + \frac{p}{2}}\right)^2} + C$$

in cui s esprime la lunghezza del tratto di curva compreso tra l'origine e un punto d'ordinata x, p il semiparametro, C una

costante da determinarsi; -- o l'altra

$$S = c\left(1 + \frac{2}{3}\frac{m^2}{c^2}\right)$$

che dà solo il valore approssimato della semi-lunghezza della curva; si troverà nel nostro caso la lunghezza totale dell'asse della parabola essere $36^m,24$; ed essendo 9 i conci, potranno aver tutti lunghezza uguale a 4^m, fuori il concio di chiave che sarà lungo $4^m,24$.

Evidentemente tutto questo non basterà a chi dovrà eseguire l'opera. Sarà d'uopo completare queste dimensioni date dall'analisi con costruzioni grafiche in iscala piuttosto ampia. Per le dimensioni dei timpani poi i disegni in grande scala sono assolutamente necessarii e possono dispensare da ricerche analitiche.

Il metodo fin qui esposto non è il solo che vuolsi adoperato dai costruttori. Alcuni considerano questi archi come vere volte fatte di conci giustaposti. Le chiavarde ed i tiranti che uniscono i varii pezzi fanno lo stesso ufficio che le malte nei ponti di struttura murale. Un ponte in pietra è provato che può star benissimo senza malte, e si provò eziandio che un arco sta egualmente in sesto levate le chiavarde. In alcune sperienze, istituite a Fourchambault nel 1854 (1), si osservò che una lamina d'acciaio sottilissima si poteva far penetrare fra le faccie di un giunto più o meno, in guisa da indicare un avvicinamento del centro delle pressioni verso l'intrados o verso l'estrados, a seconda delle circostanze di carico, come appunto succede nei grandi volti ordinarii. In generale può dirsi che il secondo metodo sia migliore per archi formati di molti e brevi conci, ed è desiderabile che una opinione vaga si formuli in una teoria completa; per archi di un solo o pochissimi conci, per archi di ponti in ferro, che si può ben dire sieno d'un pezzo solo, sarà più opportuna la prima maniera.

(1) Mémoire sur le viaduc de Tarascon. — *Annales des ponts et chaussées, An. 1854.*

I calcoli per le dimensioni da assegnarsi alle pile, alle spalle, ai muri d'ala, se ve ne sono, pel numero di pali di fondazione ecc., sono identici a quelli per gli altri ponti, ed io me ne passerò, notando solo che per le pile fatte di colonne in ghisa, si considererà come resistente soltanto la ghisa, non tenendo conto del calcestruzzo di cui soglionsi sempre riempire. Per queste si hanno inoltre formole pratiche.

Rimarrebbe il calcolo dei tiranti. Ma per questi converrebbe fare delle ipotesi, che non potranno mai accordarsi cogli innumeri casi che possono succedere nella pratica. Giova attenersi a regole pratiche. Il diametro ordinario è $0^m,05$.

Come complemento a quanto si disse finora, registrerò qui alcune fra le più importanti dimensioni del presente ponte, chè non tutte sono segnate nella tavola; aggiungendo un calcolo approssimato del costo dell'opera.

Lunghezza del ponte fra le spalle: m. 103,28.

Larghezza della strada, m. 16 di cui m. 5,40 pei marciapiedi, m. 10,60 per la carreggiata.

Spessore della pietra pei marciapiedi e per la carreggiata m. 0,20. Altezza del ballast m. 0,40.

Altezza del parapetto, m. 1; della cornice, m. 0,60; del timpano alla chiave, m. 0,40.

Numero delle centine, 10. Distanza fra le intermedie, m. 1,70; fra le estreme, m. 1,95.

Spessore del corpo verticale, delle tavole superiori ed inferiori di tutte le centine, m. 0,025; spessore delle faccie di giunto m. 0,030.

Spessore comune ai 6 pezzi di timpano più prossimi all'imposta, m. 0,025; ai due di chiave, m. 0,020.

Spessore uniforme del tavolato in ghisa, m. 0,015.

Numero dei tiranti orizzontali fra due centine, 50; degli inclinati, 16.

Loro diametro comune, m. 0,05.

Con questi dati si potrà dedurre il peso della ghisa e del ferro necessari a questa costruzione, e si avrà, facendo un calcolo un po' grossolano:

Peso totale della ghisa 514 tonn. Peso totale del ferro 40 tonnellate.

E ponendo L. 40 al quintale il prezzo della ghisa messa in opera qui da noi, e L. 85 quello del ferro, si avrebbe il prezzo della parte metallica del ponte 205600 + 34000 = 239600 lire.

Il genere di spalle e di pile da me adottato è troppo dispendioso e conveniente solo per ponti nell'interno o in vicinanza di grandi città.

Paragonando con ponti di 3 archi, con spalle e pile ordinarie, in cui la spesa per queste fu i 2/3 della spesa pel resto, avremo, contando anche le spese per l'inghiaiata, che il costo di un ponte delle dimensioni di quello disegnato è L. 415,600. Facendo tutto in ghisa costerebbe assai meno e si potrebbe ridurre la cifra a circa 350,000 lire. Spesa molto tenue per ponte di tale mole.

IV.

Di alcune nuove idee sulla resistenza della ghisa e dei perfezionamenti da arrecarsi a questi ponti.

Esiste un'opinione vecchia ma radicatissima, che fa della ghisa un metallo incapace di resistere agli urti, di assumere la minima deformazione elastica senza spezzarsi. Di qui una diffidenza somma per ogni costruzione in ghisa, di qui la guerra accanita fatta a questi ponti, per cui, fuori d'Inghilterra, ben pochi esempi se ne possono contare in Europa.

Ed è curioso il notare che mentre si negava qualunque elasticità alla ghisa, e si teneva il ferro come il tipo dell'elasticità perfetta, anche riguardo alla compressione, si ammettevano tuttavia i coefficienti: pel ferro $E = 17{,}000{,}000{,}000$ e per la ghisa $E = 12{,}000{,}000{,}000$. Ora se per maggiore o minor grado di elasticità intendesi la facoltà di deformarsi più o meno per poi ritornare allo stato di prima, si vede subito che la ghisa dovrà dirsi ben più elastica del ferro.

Nè valsero le numerosissime sperienze di Tredgold, di Hodgkinson in Inghilterra, di Love e di moltissimi altri in Francia, le quali tutte conchiudevano a ciò che non solo la ghisa era più elastica del ferro (parlo sempre per la compressione), ma che era atta eziandio a sostenere carichi assai più grandi senza rompersi, potendo reggere fino a 90 kg. per m. m. q. di sezione, mentre che il ferro si rompeva sotto il carico di 60 kg.

Pratici e teorici sconsigliarono l'impiego della ghisa e fra questi chiarissimi ingegni, come i signori Molinos e Pronnier così benemeriti d'altronde delle costruzioni metalliche (1). E tutti si basarono sulla considerazione che il *limite di elasticità* è per la ghisa solo di 10 kg., mentre pel ferro è 14 kg. circa. Ma questo benedetto limite di elasticità, vale a dire quello sforzo oltre-

(1) Molinos et Pronnier, *Traité des ponts metalliques.*

passato il quale gli accorciamenti cessano di essere proporzionali, esiste più nella mente dei costruttori teorici che non nella realtà delle cose, e se lo si trovò sperimentalmente, fu perchè lo si era voluto trovare.

Le recenti accuratissime sperienze di Hodgkinson, quelle più recenti ancora di Love, dimostrano che esistono allungamenti permanenti anche per le cariche le più piccole, e che la proporzionalità degli accorciamenti agli sforzi non ha punto luogo. Se si rappresentasse la linea degli accorciamenti progressivi questa invece d'essere dapprima una retta, sarebbe una curva sul bel principio.

E questo è vero tanto per la ghisa come pel ferro. Le curve che seguono nell'accorciarsi questi due metalli, presentano bensì punti singolari, ma variabili secondo le esperienze ed incerti; l'unico punto abbastanza fisso e a cui i costruttori possano affidarsi è il punto in cui avvien la rottura (1). Poco adunque dovendo interessarci sia passato o no questo supposto limite di elasticità, ben vedesi che allorchè trattisi di resistere a sforzi di compressione gioverà sempre affidarsi alla ghisa, perchè col medesimo peso si avrà 1/3 di resistenza in più, e 1/2 di spesa in meno, essendo l'ordinario prezzo della ghisa la metà circa del prezzo del ferro.

La distruzione del limite di elasticità e della legge di proporzionalità degli accorciamenti agli sforzi, tragge con sè naturalmente quella del coefficiente E e delle formole semplici usate finora in costruzione. Converrà per ciascuna materia avere dall'esperienza la curva d'accorciamento ossia la legge, e da questa dedurre una formola. Ma non è qui tutto.

Anche la dimensione dei pezzi influisce, e fu constatato per la ghisa, sulla legge d'accorciamento. Quando si costrusse il gran ponte sul Rodano tra Tarascon e Beaucaire (2), si istituirono nei

(1) Love, *Des diverses résistances et autres proprietés de la fonte du fer et de l'acier.*

(2) Mémoire sur le viaduc de Tarascon. — *Annales des Ponts et Chaussées. An. 1854.*

cantieri e nelle officine delle fonderie esperimenti su diversi pezzi di ghisa e si trovò che, aumentando le dimensioni, diminuiva, facendo uso della formola ordinaria, il coefficiente E, e per sbarre di sezione $0^m,10$ per $0^m,05$ si abbassava fino a 3,000,000,000. E ciò spiegarono facilmente gli sperimentatori.

Un pezzo di ghisa rotto presenta al perimetro uno strato di 3 a 4 millimetri di grana molto più compatta che non la restante parte interna, e ciò perchè al perimetro, il raffreddamento essendo più pronto pel contatto immediato delle forme, il metallo acquista una specie di tempra, mentre l'interna si raffredda lentamente, assumendo anche una densità minore per la assegnata capacità.

Adunque in ciascun pezzo di ghisa si avranno due metalli differenti, uno duro, fragile avrà $E = 12$ miliardi, l'altro men duro e più elastico avrà $E = 3$ miliardi.

Il variare delle dimensioni fa preponderare or l'uno or l'altro dei due metalli, donde le differenze notate nei valori dei coefficienti.

Tutti questi fatti non sono però ancora stati abbastanza studiati. Il Love in Francia (1) è l'unico che abbia loro dato l'importanza che veramente si meritano, e che siasi applicato a ridurre i risultati delle sperienze in formole, che non sono ancora passate però nel dominio della pratica.

Nei casi ordinari che non esigano un'esattezza scrupolosa, potremo attenerci alle antiche formole, modificando però E a seconda delle dimensioni, e non punto adottandone un medio, come fu suggerito da alcuni e come prescriveva lo stesso ufficio *des Ponts et Chaussées* francese, e rigettando poi affatto ogni idea di limite di elasticità.

Il detto per la compressione vale anche per l'estensione, anzi per questa le sperienze sono forse più numerose ed accurate. Però qui la preferenza non sarà più per la ghisa, ma pel ferro; imperocchè per questo la carica di *rottura* va fino ai 60^{kg}, mentre per quella è gala se si può spingere fino a 14^{kg}.

Ciò però a noi importa pochissimo, perchè nei ponti in ghisa

(1) Love, Opera citata.

nessun pezzo lavora per estensione, tutti sono soggetti a compressione In base alle vecchie idee, in tutti quanti i ponti di questo genere finora conosciuti si poneva un peso di ghisa veramente straordinario, che si potrà ora ridurre, a dir poco, della metà. Sicuri della sua elasticità, potremo allontanare le centine anche fino a 3 metri quando si tratti di strade ordinarie, adottando, se si teme che possa entrare in giuoco l'estensione, non il tavolato in ghisa, ma il tavolato in lamiera di ferro, come s'impiegò già al ponte sul fiume *El Cinca* in Ispagna (1); o il tavolato proposto e sperimentato dai signori Cadiat e Oudry, consistente in un reticolato di lastrelle di ferro fermate nei punti di sovrapposizione con saldo collegamento; si avrà così distribuita la pressione sopra una larga porzione di ponte. Venne consigliato anche pei ponti pensili e fin per pavimento di camere (2).

Non sarà neppur necessario il rendere pesante il ponte aggiungendo quel gran strato di ballast, che oltre al danno di far lavorare inutilmente la ghisa, produceva l'inconveniente di trasportare molto in alto il centro di gravità del ponte, compromettendo la stabilità del medesimo. La elasticità della ghisa elimina il pericolo di danno che possono produrre gli urti e le vibrazioni prodotte dal passaggio dei grandi carichi.

Gli Americani, destinati sempre a correrci davanti là dove si tratti d'ardimento, furono i primi a smettere le vecchie idee sulla ghisa; e non ebbero paura a costrurre le ruote delle locomotive completamente in ghisa, e da dar largo posto a questo metallo nella costruzione delle macchine anche sottoposte ad urti. Vero è che essi si sono occupati eziandio di migliorarne la qualità; ultimamente ancora studiarono di porlo in lega con una piccola quantità di stagno, e i risultati, dicono, sono soddisfacentissimi. Da noi invece la ghisa va peggiorando ogni dì più, massime dopo l'introduzione dell'aria calda nei forni reali.

Tornando a' ponti, onde assicurarne vieppiù la stabilità, trasportando in basso il centro di gravità, gioverà fare le centine a

(1) Armengaud, *Publication industrielle*, V. 18.
(2) Armengaud, *Publication industrielle*, V. 8.

sezione di quadruplo *T*, o a sezione elittica, come Polonceau, e riempire il vuoto, non con travi, ma con una materia pesante ed elastica insieme; ad esempio, sabbia agglutinata. Questo proposero Cadiat e Oudry: è dubbio però se l'aggiunta di questo peso giovi più alla stabilità del ponte di quel che non danneggi quella delle centine, aumentando il peso che debbono sopportare. Meglio assai è provvedere alla stabilità del ponte con saldi collegamenti, in modo da renderlo come tutto d'un pezzo. — La sezione a quadruplo *T* però, o la elittica, aumentando il momento d'inerzia, aumenterà eziandio la resistenza, e da questo lato almeno potremo accettare l'innovazione.

Adunque poco peso in alto, tavolati rigidi ed elastici, centine a sezione di grande momento d'inerzia, saldi collegamenti, e sopratutto *dimensioni razionali*, ecco quello che debbe avere al giorno d'oggi un ponte in ghisa.

V.

Convenienza di questo sistema. — Paragone cogli altri. — Conclusione.

L'autore del ponte del Carrousel lasciò scritto (1) in una sua memoria:

« Si l'on compare les ponts en fonte aux ponts en pierre, on « trouve qu'ils sont plus faciles à éxécuter et beaucoup moins « dispendieux, et que, quand'ils ont des tabliers en fonte, ils ne « doivent leur céder rien en durée, si même ils ne sont leurs su- « périeurs ». Quanto alla durata, solo i nostri nipoti potranno dar ragione alla quasi temeraria asserzione dell'illustre costruttore.

Anzi i detrattori dei ponti in ghisa potrebbero citargli il ponte d'Austerlitz, che si dovette demolire, e in cui si constatarono più di 6000 rotture. Ma il ponte d'Austerlitz era tutt'altro che una perfezione dal lato della costruzione; la ghisa vi era « en même « temps assemblée avec trop de rigidité, et coulée sous de trop « faibles dimensions » (2); e si è visto che col diminuire delle dimensioni, diminuisce l'elasticità, e cresce quindi il pericolo di rottura per urto. Del resto altri cento, più vecchi d'assai del ponte d'Austerlitz, sono ancora in piedi in Inghilterra, e non accennano punto d'esser prossimi a rovina. È sperabile adunque che quando saranno attuate le proposte migliorie, ed altre coll'andar del tempo se ne verranno facendo, i ponti in ghisa avran tolto ai ponti in pietra l'ultimo loro vanto: quello di non invecchiare.

(1) *Notice sur le nouveau système des ponts en fonte suivi dans la construction du pont du Carrousel,* par M. Polonceau.

(2) *Annales des Ponts et Chaussées,* An. 1854.

Già li han superati nell'eleganza; qualunque bizzarra ed ardita idea può concretarsi colla ghisa, leggerezza di timpani, fregiati cornicioni, sveltezza e leggiadria di parapetti; mentre colla pietra non è possibile quasi che una sola, severa e monotona decorazione. Oltre a questo, e alla minor spesa e maggior facilità di esecuzione, si ha anche il vantaggio della prontezza dell'esecuzione, che, se non è come quella per ponti in lamiere pei quali quasi tutti i pezzi già son forniti dal commercio, è però sempre del doppio, del triplo, del quadruplo anche superiore a quella dei ponti di struttura murale.

La manutenzione poi nulla pei ponti in pietra, lo è pur quasi per questi, massime quando non v'hanno i voltini in muratura, ma sì il tavolato in ghisa o in ferro. Altra cura non v'ha allora che di battere di tanto in tanto i cunei della dilatazione, se pure non si vuole, fidando nell'elasticità della ghisa, e non temendo i piccoli spostamenti del suolo stradale, lasciare che la chiave si innalzi o si abbassi a sua posta.

Aggiungasi che, mentre pei ponti in pietra una corda di 45 m. con una saetta massima di 5,50, come pel ponte Mosca a Torino, sono già un prodigio d'ardimento, si possono invece noverare ponti in ghisa di corda superiore ai 70 m. e di saetta inferiore ad $^1/_{13}$. E questo non è piccolo vantaggio. La luce in un ponte non è mai troppa; non è nuovo il caso d'inondazione cagionata da un ponte di stretta luce, terminata qualche volta colla distruzione del ponte medesimo. Un ponte in ghisa, col diminuire della metà e anche più il numero delle pile, coll'innalzare la linea d'imposta, col diminuire lo spessore alla chiave, aumenta la luce rimovendo il pericolo delle inondazioni. Non sarà però cosa troppo prudente l'adottare un ponte in ghisa, quando si tema che l'acqua nelle piene possa oltrepassare la linea d'imposta. La curvatura dell'arco, il traforamento del timpano lascierebbero certo il passaggio all'acqua, ma i vortici, gli urti che si produrrebbero pei bruschi cambiamenti di sezione fra centina e centina, potrebbero spostare se non portar via addirittura il ponte, che è più appoggiato che fissato sui cuscinetti d'imposta.

Aggiungasi ancora finalmente che il peso di un'arcata di ponte

in ghisa essendo molto inferiore a quello di un'arcata simile di ponte in pietra, la spinta sulle pile e sulle spalle riesce molto minore, per cui queste si possono fare molto più sottili, con grande risparmio di muratura e insieme con non lieve aumento di luce libera.

Ora ben si vede, da quanto si è detto, che, paragonati ai ponti di struttura murale, i ponti in ghisa la vincono sotto tutti i rapporti. Non altrettanto sempre potrà dirsi quando si paragonino cogli altri ponti metallici.

E prima di tutto, se vincono dal lato dell'economia i loro fratelli di forma costrutti in lamiera di ferro, la cedono poi ad essi quanto alla facilità e alla prontezza dell'esecuzione, dovendo ogni pezzo del ponte essere fuso e fucinato appositamente, non somministrando il commercio neanche le chiavarde.

La cedono poi ancora nell'ampiezza delle portate. È ben vero che, teoricamente parlando, tanto si potrebbe essere arditi colla ghisa quanto col ferro; ma in pratica sarà sempre difficile di avere l'arco perfettamente equilibrato, per difetto dell'ipotesi medesima, che si fa nel calcolarli, del carico uniformemente distribuito sulla corda; entrerà adunque sempre qualche po' in giuoco l'estensione, a resistere alla quale sappiamo la ghisa prestarsi assai male.

Tanto meno per valicar grandi portate possono lottare coi ponti a travate rettilinee, ai quali Stephenson ha fatto fare dei passi maravigliosi. Superano però anche questi nell'economia, perchè è dimostrato che a parità di lunghezza e quando l'altezza della trave di questi è eguale alla saetta di quelli, la quantità di metallo impiegata in questi è i $^4/_3$ di quella impiegata negli altri. Il beneficio però diventa illusorio quando si considera che nei ponti a travi rette, non essendoci spinte orizzontali, le pile possono farsi molto meno spesse, mentre, a cagione delle spinte, negli altri, o bisogna far pile-spalle con troppo grande dispendio, o, facendo pile magre, correre il rischio, per il guasto d'un'arcata, di veder compromesso l'intero edificio.

I ponti a travate rettilinee hanno anche il grandissimo vantaggio di lasciare, come i ponti pensili, la massima luce poss

bile, e ciò ponendo il suolo stradale al basso della trave. Ma se non fosse lecito alzarsi troppo sopra il suolo stradale, come al ponte d'Arcole a Parigi, dove una trave molto alta, oltre al poco grazioso aspetto, comune a questi ponti, che fra i metallici sono i meno eleganti, avrebbe tolto la vista d'una gran parte dei *quais* che fiancheggiano la Senna, sarebbe allora giuocoforza ricorrere ad un ponte ad arco o in ferro, od in ghisa.

Rimangono i ponti pensili, i quali, se fossero perfezionati come suggerirono il Love, Molinos e Pronnier e altri parecchi, in modo da essere rigidi perfettamente e da permettere il ripartirsi uniformemente della tensione prodotta dai carichi, sarebbero somigliantissimi ai ponti in ghisa, e ne avrebbero gli stessi pregi e difetti. L'arco sia sotto, sia sopra, il fatto è che ciascuno dei metalli lavora nella miglior condizione possibile, perchè la ghisa resiste unicamente alla compressione, il ferro all'estensione. Una grande distanza però vi sarà sempre nella spesa, molto minore pei ponti pensili. Non parlo neanche dell'ampiezza delle portate. I ponti del Niagara e del Kentucky lasciano così addietro i ponti in ghisa, che non vi può correr paragone.

A proposito di questi ponti pensili tanto esaltati una volta ed oggi caduti tanto in basso nella stima degli ingegneri, per le avarie e le rovine sofferte da alcuno di essi, colpa più dei costruttori che del sistema, mi sia lecito di aprire una parentesi nella mia dissertazione, per spezzare una lancia in loro favore, poichè tanti, troppi anzi, si sfogarono a dirne tutto il male possibile.

L'economia, l'ampiezza delle portate, tutti gli altri grandissimi pregi sono ammessi da tutti; gli è solo sulla sicurezza di essi che versano gli attacchi. Lasciamo stare che adesso, cogli ultimi perfezionamenti suggeriti, ma pur troppo non ancor praticati, non se ne può più neanche fare questione. Ma non c'era poi, pare a me, da farne tutto quel gran caso. I disastri vestono tutte le forme possibili, e possono piombare tanto sopra un ponte in pietra come sopra un ponte pensile. Se il colpo di vento che sconquassò tutto il ponte di Menai in Inghilterra, si fosse scaricato sopra il ponte in pietra di Locarno sul Ticino, certo non

avrebbe fatto che carezzarlo; ma non è però men vero che le piene che portavano via questo ogni cinque o sei anni, sarebbero passate sotto quello senza neanche accorgersi della sua presenza.

Gli Americani in questo non sono tanto scrupolosi. Rischio non vuol dir certezza del pericolo; dunque avanti. Ed è in questo modo che là si compiono le grandi imprese, che il ponte del Niagara in un anno è ideato, cominciato, condotto a termine; che mentre noi appena da tre anni sentiamo parlare della ferrovia del Pacifico, già la vaporiera fischia in cima delle Montagne Rocciose; e chi sa che mentre noi stiamo ultimando i lavori del canale di Suez, opera che è ben di ardimento americano, quantunque possa dirsi già esistesse allo stato di progetto fin dai tempi di Necao, non ci si porti la nuova del taglio dell'istmo di Panama.

Non dico però che s'abbia perfettamente a seguire l'esempio « *d'une jeune nation qui marche en casse cou.* » V'ha modo di far tutto tenendo quel conto che si deve della sicurezza delle persone; e se non faremo com'essi viadotti in legno da far paura solo a vederli, non esiteremo però ad impiegare i ponti sospesi.

Ma vi è un caso in cui l'impiego di questi ponti è suggerito dalla natura stessa delle cose, ed è quello degli acquedotti o dei ponti canali. Qui la carica è costante ed uniforme, quindi nessun pericolo di oscillazioni, che sono il grande incaglio; per un canale navigabile il sovraccarico di un battello non è sentito dal ponte che pel crescere momentaneo di qualche millimetro il pelo dell'acqua; si avrebbe poi facilità, prontezza di esecuzione ed economia grandissima. Il Love trovò che mentre per un acquedotto in muratura, stabilito sulla valle di Roquefavour, si erano spese 3,700,000 lire, con 500,000 lire si sarebbe potuto costrurre pensile, e in una campagna in luogo d'impiegar 7 anni. Anche i ponti in ghisa potrebbero servire come acquedotti o ponti canali. Non producendosi così più urto veruno si contenterebbero anche coloro che poco confidano nell'elasticità della ghisa. Sono già di un grandissimo uso in Inghilterra.

Vi fu chi propose sostituire negli acquedotti pensili ed anche nei ponti al ferro il legno. L'idea non è tanto pazza come può sembrare a prima vista. Il legno ha una grandissima resistenza

all'estensione; la quercia, ad esempio, regge da 9 a 10 chilogrammi senza rompersi. L'economia sarebbe evidentemente grandissima, si acquisterebbe in leggerezza e fors'anche in rigidità; quanto alle catene, se si fanno con sbarre di ferro, non veggo qual difficoltà possa esservi a farle in legno.

In poche parole, o come acquedotti, o come veri ponti, queste costruzioni sono utilissime, e non van lasciate cadere; con immense portate, con grandissime altezze, in luoghi aspri e di difficile fondazione possono essere talvolta indispensabili; sempre poi sono economici sopra qualunque altro genere di ponte che non sia in legno, non che facili e pronti a costruirsi. Basti il dire che un ponte come quello di Schwylkill presso Filadelfia (1), per pedoni, sospeso a 6 fili di ferro di $0^m,0095$ di diametro e della lunghezza di 122 metri, in tempo favorevole 4 uomini possono costrurlo in 15 giorni.

E qui chiudo la parentesi insieme e la dissertazione; non senza notare ancora che, non ossidandosi la ghisa, o almeno lentissimamente, e non cristallizzando affatto per le vibrazioni prolungate, i ponti in ghisa avranno su tutti gli altri ponti metallici il grandissimo vantaggio della possibilità di una durata indefinita. Io faccio voti che, cessando l'ingiusto disprezzo in cui sono tenuti, si tolga una buona volta quella specie d'ostracismo che li bandisce dalla nostra Italia, che a mala pena ha la fortuna di conoscerli di nome.

FRANCESCO MORA.

(1) NAVIER, *Mémoire sur les ponts suspendus.*

TESI LIBERE

COSTRUZIONI CIVILI, STRADALI ED IDRAULICHE

Varii sistemi di ponti di servizio e di armature per la posa delle centine dei ponti metallici ad arco.

MECCANICA APPLICATA

Descrizione dei meccanismi impiegati per trasportare e collocare a sito i varii pezzi di questi ponti.

MACCHINE A VAPORE E FERROVIE

Resistenza delle rotaie nel passaggio dei treni — Portata intermedia — Portata estrema — Vantaggio delle stecche sospese.

GEOMETRIA PRATICA

Tracciamento di una galleria — Caso in cui l'asse è rettilineo — Caso in cui è curvilineo.

Metodo adottato per la grande galleria delle Alpi Cozie.

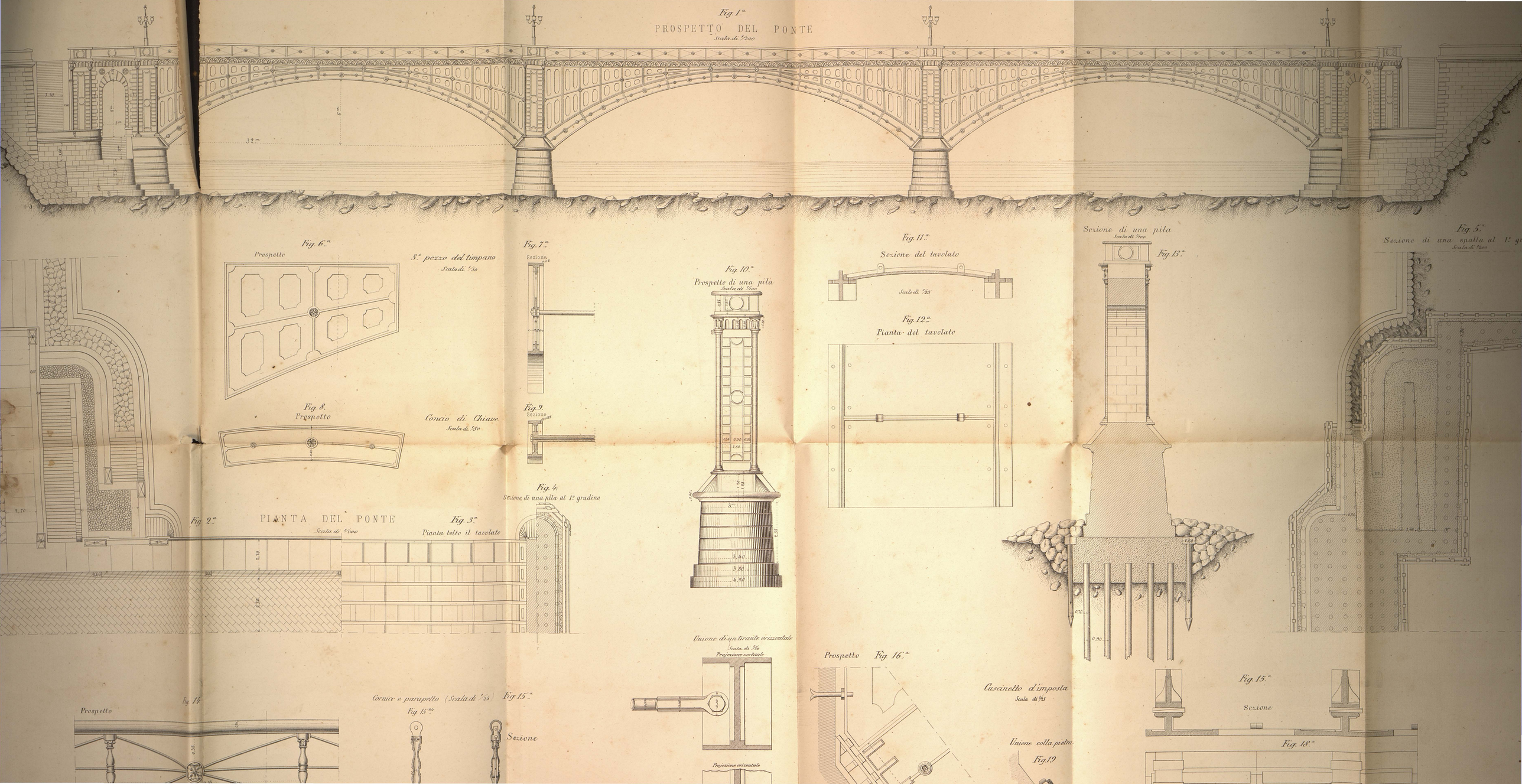
Fig. 1.a
PROSPETTO DEL PONTE
Scala di 1/200
32.m
Fig. 6.a
Prospetto
3.o pezzo del timpano
Scala di 1/50
Fig. 7.a
Sezione
Fig. 8.
Prospetto
Concio di Chiave
Scala di 1/50
Fig. 9.
Sezione
Fig. 4.
Sezione di una pila al 1.o gradine
Fig. 2.a
PIANTA DEL PONTE
Scala di 1/200
Fig. 3.a
Pianta tolto il tavolato
Fig. 10.a
Prospetto di una pila
Scala di 1/200
Fig. 11.a
Sezione del tavolato
Scala di 1/25
Fig. 12.a
Pianta del tavolato
Sezione di una pila
Scala di 1/100
Fig. 13.a
Fig. 5.a
Sezione di una spalla al 1.o gr
Scala di 1/200
Unione di un tirante orizzontale
Scala di 1/10
Projezione verticale
Projezione orizzontale
Prospetto
Fig. 16.a
Cuscinetto d'imposta
Scala di 1/25
Unione colla pietra
Fig. 19
Fig. 15.a
Sezione
Fig. 18.a
Fig. 14
Prospetto
Cornice e parapetto (Scala di 1/25)
Fig. 15.a
Fig. 15.bis
Sezione