all'amico e collega Arrivabene Fedele

G. B. Pagella

PONTE PROVVISORIO IN LEGNO SUL PO

PRESSO PONTELAGOSCURO

DISSERTAZIONE e TESI

PRESENTATE ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

della R. Scuola d'applicazione degli ingegneri in Torino

DA

PAGELLA GIAMBATTISTA

da Piovera (Tortona)

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI

INGEGNERE LAUREATO

TORINO 1869

TIPOGRAFIA FODRATTI, VIA OSPEDALE, 21.

AI MIEI GENITORI

TENUE PEGNO D'AFFETTO

E DI RICONOSCENZA

Ponte provvisorio in legno sul Po

PRESSO PONTELAGOSCURO

I.

Ponti in legno in genere.

Fra le opere d'arte, che gli Ingegneri sono chiamati ad eseguire, i ponti tengono incontestabilmente il primo posto a cagione sia delle numerose e svariatissime cognizioni che richiedono, sia delle gravi e molteplici difficoltà che sopravvengono nella loro esecuzione. Nè minore importanza essi hanno se si riguardano dal lato dell'utilità e dei servigi che prestano; importanza, che direttamente si collega coi vantaggi di sicuri e rapidi mezzi di comunicazione, e che quindi dovette man mano andar crescendo col crescere della civiltà e dei bisogni delle umane popolazioni. Quindi è che mentre poche travi od un semplice e rozzo tavolato, appoggiato su pali, potevano bastare alle esigenze delle barbare genti primitive; vi si dovette col progresso del tempo sostituire, dapprima ponti in legno ognor più solidi e più complicati, poi ponti in muratura di diverse specie, per giungere infine nel secolo nostro, detto a ragione il secolo del ferro, ai ponti metallici che racchiudono in se quanto di elegante e di stabile in costruzioni di tal genere si possa desiderare.

Avuto riguardo alla diversa materia di cui si compongono i ponti, essi si possono distinguere: in ponti in legno, ponti in muratura e ponti metallici; suddividendosi poi ciascuna di queste classi in altre a seconda delle varie parti, di cui si compone il ponte, della forma e disposizione relativa delle parti medesime; nonchè dell'uso speciale cui debbono servire, e delle difficoltà che sono destinati a superare. Ben soventi poi, dipendentemente dalle particolari circostanze locali, vengono nello stesso ponte associati fra loro due od anche tutti e tre i suddetti sistemi.

La preferenza da darsi all'uno piuttosto che all'altro sistema di ponti è evidentemente subordinata a molte e diverse cause, le principali delle quali sono: le condizioni economiche, politiche e militari della località; l'economia di impianto e di manutenzione; la durata e la stabilità dell'opera. In generale però si può asserire: che i ponti in metallo ed in muratura sono più stabili e più duraturi che quelli in legno, ma richieggono maggior spesa e maggior tempo per la loro costruzione. I ponti in legno invece sono d'una costruzione assai facile e spedita, ed il loro costo è sempre sensibilmente minore di quello dei ponti in metallo ed in muratura: ma d'altra parte esigono delle riparazioni costose, ripetute e tali da intercettare frequentemente le comunicazioni, ed hanno poi una durata relativamente assai breve. Ed è certamente per questi inconvenienti, e specialmente per la breve durata che presentano i ponti in legno, che essi furono per legge esclusi da qualunque opera pubblica non provvisoria.

Notisi per altro a questo riguardo, che alla maggior parte dei suddetti inconvenienti si rimedia coi ponti *all' americana;* e che, in quanto spetta alla durata dei ponti in legno, non pare poi essere così breve, come taluno vorrebbe far credere; della qual cosa assai facilmente può persuadersene chiunque attentamente esamini gli ottimi risultati, che diedero e che danno tuttavia molti ponti

costrutti in legname, sia per vie ordinarie che per vie ferrate. Ed invero senza parlare dei ponti costrutti in America, regione, come ognuno sa, classica per questo genere di costruzioni, e per attenerci a paesi più al nostro affini basta il leggere quanto trovasi nelle opere di Gauthey e Krafft rispetto a molti grandi ponti in legname come quelli di Zurigo, di Ritter, di Wetlingen, di Kandel ed altri, i quali durarono più di quarant'anni senza rinnovamento alcuno. Nè risultati meno soddisfacenti di quelli, che pel passato si ottennero, dobbiamo aspettarci in questi tempi, in cui sì grandi furono i progressi fatti dalla scienza chimica riguardo alla preparazione e conservazione artificiale dei legnami.

I ponti in legno si costruiscono con tre tipi diversi, cioè ad *incavallature rette,* ad *archi* ed a *travate rettilinee* od *all'americana;* quanto ai sostegni poi molte volte tanto le spalle che le pile si fanno in legname, nel qual caso le prime prendono il nome di *stilate* o *palate*, le seconde di *testate:* alcune volte le spalle sono in muratura e le pile in legname; altre volte infine e spalle e pile si fanno in muratura. Quando i sostegni di un ponte in legno sono in muratura hanno la stessa forma dei sostegni dei ponti metallici. Quando invece sono in legno si costruiscono con due tipi diversi cioè *palate semplici* e *palate a castello.*

Le palate semplici consistono in tanti pali posti fra loro a distanze eguali e coi loro assi nello stesso piano verticale parallelo alla corrente. I pali di mezzo sono tagliati allo stesso livello e collegati con una trave orizzontale, su cui poggia poi il ponte. Quelli laterali invece si tagliano in modo da presentare colle loro teste un piano inclinato, vengono collegati con una trave pure inclinata e servono a rompere l'impeto delle acque. Tutto il sistema è poi consolidato col mezzo di due o più ordini di travi orizzontali, disposti a modo di *filagna* e *contro-filagna,* alle quali qualche volta si aggiungono pure delle travi inclinate.

Le palate a castello si fanno con due o più file di pali fra loro parallele ed alla direzione della corrente. In generale si impiegano due sole file di pali, le quali tanto a monte che a valle si ripiegano verso l'asse della stilata in modo da racchiudere fra di loro un'area avente la forma di un rettangolo, ai cui due lati minori sono adossati due triangoli. Il triangolo a valle ha quasi sempre altezza minore di quello a monte; alcune volte manca affatto. Tutti i pali si tagliano allo stesso livello, e un po' al disopra delle acque ordinarie; vengono poi collegati fra di loro mediante filagne e contro-filagne, disposte tanto longitudinalmente all'asse che trasversalmente e diagonalmente. Sopra i pali si appoggiano altrettante travi inclinate, che vengono a serrarsi contro una trave unica orizzontale parallela all'asse della stilata e che sopporta il ponte. Anche le travi inclinate sono collegate fra loro da fascie disposte in varie direzioni.

I ponti ad incavallatura retta sono fra i ponti in legno quelli più in uso presso di noi. Sopra i cappelli, che coronano superiormente le stilate, si pongono secondo l'asse del ponte delle travi assai brevi ed in numero uguale a quello dei travi principali delle stilate. Su ciascuna di queste travi, che fanno quasi l'ufficio di mensole, si colloca una trave longitudinale, che nel suo mezzo è sostenuta da una sottotrave appoggiata essa stessa contro saette inclinate, e fisse nelle palate. Sulle travi longitudinali stanno le travi trasversali, che sopportano il suolo stradale. Palladio modificò notevolmente questo tipo di ponti, impiegando due sole travi longitudinali, mettendo tutte le varie parti della travata molto al disopra delle acque e loro facendo sorpassare il livello del suolo stradale. Un ponte di questo genere fu da lui costruito sul Cismone fra Trento e Bassano con un'apertura di 33 metri; questo ponte però segna già il passaggio fra i ponti ad incavallatura retta e quelli all'americana, accostandosi forse più a questi ultimi, che non ai primi.

I ponti ad incavallatura retta non hanno mai portate maggiori di 20 metri; difficilmente si oltrepassano i 16 metri.

I ponti in legno ad archi sono costituiti da due o più archi paralleli alla fronte del ponte e formati di tavole o tavoloni, che si piegano in modo da dar loro la curvatura, che deve affettar l'arco; ed in modo, che la loro larghezza sia normale alla faccia dell'arco. I sostegni sono generalmente in muratura; in essi esistono appositi fori, in cui entra l'arco stretto in scatole di ferro o di ghisa. Le varie tavole dell'arco sono unite fra di loro con fasciature; parecchie staffe disposte, talvolta verticalmente, altra volta secondo la normale all'arco, abbracciano l'arco stesso e saldamente lo collegano con una trave longitudinale, che gli sta sopra: affinchè poi i vari archi non deviino dalla verticale, sono fra loro collegati da travi trasversali normali agli archi o diagonali. Questo genere di ponte, altra volta assai impiegato in America, vi è ora quasi abbandonato per far posto ai ponti all'americana che sono assai più semplici e più facili a costruirsi. Appartengono a questo tipo i famosi ponti di Trenton e del Potomac.

II.

Ponti in legno all'americana.

I numerosi e grandi corsi d'acqua, che in ogni senso frastagliano il territorio americano, il prepotente bisogno di stabilire sicuri e spediti mezzi di comunicazione fra le sparse membra di quel vasto e ricco continente, l'abbondanza e lo straordinario buon mercato della materia prima: ecco i motivi che diedero alla costruzione dei ponti in legno in America, uno sviluppo veramente sorprendente.

Quindi è che, coordinando fra loro le difficoltà a vincersi coi mezzi disponibili per superare le difficoltà medesime; facendo tesoro dei dati pratici dell'esperienza, e con essi completando i risultati teorici della scienza; modificando in mille guise i sistemi antichi, e di nuovi inventandone, nacquero moltissimi tipi di ponti in legname diversissimi tutti fra di loro nella forma e nella sostanza, ma tutti concorrenti al medesimo scopo e presentanti tutti al sommo grado la stessa impronta caratteristica e distintiva delle costruzioni americane: l'arditezza cioè e l'economia.

Diffatti la maggior parte dei ponti costrutti sui grandi fiumi, laghi e bracci di mare dell' America hanno delle dimensioni tali che non se ne conoscono le uguali presso di noi. La loro lunghezza è assai sovente di 500 o 600 metri, ed è assai facile il citarne dei più lunghi ancora. Invero il ponte sulla riviera del Susquehanna a Colombia e quello del Potomac a Washington, tra gli altri, hanno ciascuno una lunghezza di più di 2000 metri. Le travate di questi grandi ponti giungono frequentemente a 40 ed a 60 metri; vi si scorge per ogni parte la massima leggerezza e la massima economia di materia congiunta con una bene intesa stabilità.

Fra i vari tipi di questi ponti, quello che oggidì, a motivo della sua semplicità, economia e solidità, è quasi esclusivamente impiegato è il tipo dei ponti così detti *all' americana,* perchè in America appunto ebbero la loro prima origine. Questi ponti si compongono essenzialmente di due travi longitudinali a parete reticolata, situati ad una distanza fra loro dipendente dalla larghezza del suolo stradale. Su queste travi poggiano delle travi trasversali, che, mentre sopportano il suolo stradale medesimo, servono a collegare fra loro le suddette travi longitudinali. Il traliccio, se è molto fitto, si eseguisce con tavole o tavoloni; se no, si forma con pezzi di maggiori dimensioni; esso si considera come destinato a mantenere alla voluta distanza le parti che resistono alla flessione. Queste

parti sono travi disposte a guisa di filagna e contro-filagna; ordinariamente si pongono due ordini di filagne fra loro collegate dal traliccio; qualche rara volta se ne aggiunge una terza nel mezzo; spesso, quando le travate hanno grande ampiezza, si impiegano quattro ordini di filagne. L'altezza di queste travi longitudinali è sempre piuttosto ragguardevole; anzi nei migliori modelli è tale, che il ponte diventa tubulare, portando le dette travi sulla loro parte superiore delle capriate con una copertura.

Vedesi quindi che, fra i vari sistemi di ponti, quello all'americana è certamente il migliore dal lato dell'economia e della stabilità; poichè allontanando, come insegna la teoria, il più che si può la materia dall'asse neutro delle travi, permette di ottenere colla minima materia la massima stabilità. Fra le diverse varietà di ponti a travate rettilinee, che si conoscono, merita speciale menzione quella assai ingegnosa e singolare proposta dall'americano Ithies Town, ed oggidì pure assai in uso. In essa tanto il traliccio, che forma una parete quasi continua, quanto le travi longitudinali sottoposte a flessione sono formate completamente di tavoloni; qualsiasi pezzo di legname di grosse dimensioni viene escluso da questo genere di ponte. Per portate inferiori ai 40 m. si hanno solo due file di tavoloni longitudinali, l'una in basso e l'altra in alto, racchiudenti il traliccio; per portate maggiori queste file sono in numero di quattro. Sulle travi così formate poggia inferiormente il suolo stradale, sostenuto da travi trasversali, superiormente una copertura in legno, che, mentre serve a ben collegare fra loro le travi longitudinali, ha per iscopo di difendere il ponte dalle intemperie e favorirne la durata.

Ecco poi come il maggiore Poussin (nella sua opera *sui lavori pubblici degli Stati Uniti*) riassume i vantaggi, che presenta il sistema Town, che a suo credere riunisce la maggior parte delle condizioni necessarie in simil genere di costruzioni:

« 1° Non si ha alcuna spinta contro le pile, le cui dimensioni si possono quindi ridurre al loro minimo.

« 2° L'azione del carico agisce sempre nel senso delle fibre del legno e la sostituzione delle staffe alle unioni a *tenone e mortisa* impedisce i cattivi effetti della penetrazione del legno.

« 3° La luce libera, al dissopra del livello delle acque, è dovunque alla stessa altezza, ed è quindi facile il disporre la costruzione in modo, che siavi una zona di tavolato mobile per il passaggio dei bastimenti.

« 4° L'azione del carico è ripartita su un grande numero di elementi, ed offre così maggior garanzia di resistenza e di durata.

« 5° Questo sistema si adatta a tutte le grandezze di travate con maggior economia che alcun altro dei sistemi fino ad oggi in uso.

« 6° Non consta che di materiali che si possono procacciare ovunque a buon mercato; il rinnovamento di un pezzo isolato si fa colla più grande facilità, di modo che le riparazioni possono farsi senza interrompere la circolazione (vantaggio questo, che non si può abbastanza apprezzare, specialmente per le ferrovie); il ponte può essere rinnovato pezzo per pezzo, senza che la sicurezza sia giammai diminuita.

« 7° Esso offre, come i ponti alemanni, ai viaggiatori ed alle mercanzie un riparo, che difende nello stesso tempo il legname del ponte dalle intemperie della stagione. »

A questi vantaggi, che per la massima parte sono pure proprii degli altri tipi di ponti all'americana, vuolsi ancora aggiungere: che con tali ponti, come con quelli metallici a travate rettilinee, niuna difficoltà si incontra nei passaggi obbliqui; che la loro costruzione è estremamente facile e spiccia e che infine il legname adoperato non perde per nulla del suo valore, non essendo in alcun punto intagliato, ma solo attraversato da qualche foro; cosicchè, se il ponte è provvisorio, cessata la sua necessità, si può tale legname

ad altro uso utilmente destinare. E di questo invero se ne ebbe un esempio nella costruzione del ponte presso Lagoscuro, in cui si impiegarono più di 200 m.c. di legname proveniente dalla demolizione del ponte provvisorio di Piacenza.

III.

Ponte presso Lagoscuro - Sua costituzione.

Il ponte in legno costrutto presso Pontelagoscuro, e destinato a congiungere i due tronchi della ferrovia da Ferrara a Rovigo, si compone di due parti distinte. La prima ha una lunghezza di circa 60 m. e serve a mantenere libera la circolazione dei veicoli sotto la strada ferrata, tanto lungo l'argine maestro, che difende il paese dalle piene del fiume, quanto sulla sponda destra del fiume medesimo. Questa parte nulla presenta di rimarchevole, essendo sostenuta da pali collegati da filagne, puntoni, saettoni e correnti longitudinali come negli ordinarii ponti ad incavallature rette. La seconda parte invece della lunghezza di m. 373,50 è quella che attraversa il fiume, ed appartiene ai ponti all'americana con traliccio discontinuo e con copertura. Essa consta, riguardo agli appoggi, di due testate e 14 stilate intermedie: la distanza fra le stilate è di m. 25,50 quella fra le stilate e le testate è di m. 21,00.

La testata di destra si compone di undici pali di fondazione infissi nel suolo, in media ciascuno per m. 6,00: la testata di sinistra invece non consta che di sette pali infissi alla profondità media di m. 9,00 ciascuno. Tutti questi pali sono tagliati a m. 1,90 sopra il livello delle massime piene, cioè a m. 14,63 sopra il livello delle basse maree dell'Adriatico; sul cappello, che collega le teste di questi pali, poggiano direttamente le travate longitudinali.

Le stilate sono costituite ciascuna da undici pali, la cui infissione nel letto del fiume varia secondo il posto della stilata e secondo lo sforzo che tali pali debbono sopportare. In generale il primo palo a monte che sopporta il parti-acqua e che rompe l'impeto della corrente, ed i sei pali intermedi che sopportano direttamente il cavalletto superiore ed il peso della travata, hanno una infissione maggiore degli altri pali laterali, che non sostengono che i puntoni di rinforzo. L'infissione media di questi pali varia da m. 7, 10 a m. 13, 00; le loro estremità superiori sono tutte tagliate a m. 6, 93 sul livello delle basse maree. L'ultima stilata a sinistra, a motivo della sua posizione meno soggetta all'urto delle acque, ha una costruzione più semplice delle altre, e non consta che di nove pali coll'infissione media di m. 8, 50.

Le teste superiori dei pali di fondazione delle stilate sono fra di loro collegate mediante catene o fascie orizzontali *f'*, disposte in senso longitudinale, trasversale e diagonale all'asse della stilata medesima. Superiormente ai pali intermedii, cioè: N. 4, 5, 6, 7, 8, 9 sono situate sei grosse travi *p* inclinate in senso opposto e riunite superiormente da un cappello trasversale *c*. Il cavalletto così formato da questi travi è rinforzato e consolidato, sia dal doppio ordine di filagne *f* orizzontali, sia dai quattro puntoni *p'*, che, partendo dalle teste dei pali estremi N. 2, 3, 10, 11 vanno ad appoggiarsi e ad incastrarsi in senso contrario nel cappello *c* dei cavalletti, di cui allargano così la base superiore. Il cappello *c* è poi inoltre consolidato dal parti-acqua *p''*, appoggiato al palo N. 1; tre ordini di tiranti inclinati *t* collegano saldamente il parti-acqua ed i due puntoni N. 2 e 3 colla parte anteriore del cavalletto. La faccia anteriore del parti-acqua è arrotondata e coperta da una lamiera di ferro, allo scopo di meglio proteggerla contro l'urto della corrente: contro gli otto travi *p* e al livello delle filagne orizzontali superiori *f* si appoggiano altrettanti saettoni *s*, che, inclinati in

senso opposto a quello delle travi suddette, sorreggono i due correnti longitudinali *d*. Su questi correnti stanno gli ultimi cappelli *c'* che compiscono la costruttura delle stilate, e servono quindi di appoggio alle travate all'americana.

Tanto le travi *p*, i puntoni *p'* e il parti-acqua *p''*, quanto i correnti *d* e i cappelli *c'* hanno una sezione trasversale di m. 0,40 per m. 0,35 di lato: il cappello *c* invece ha una sezione trasversale di m. 0,40 per m. 0,40. La sezione delle filagne *f*, *f'* e dei tiranti *t* è di m. 0,30 per m. 0,20: quella dei saettoni *s* è di m. 0,30 per m. 0,25. Tutte le varie membrature poi delle stilate sono fra loro legate e strette da incastri, staffe in ferro e chiavarde a vite, in modo da formare un sistema rigido assai robusto.

Sui due cappelli *c'*, posti fra loro ad una distanza da asse ad asse di m. 3,00 poggiano le due travate all'americana, che sostengono il ponte. Ciascuna di queste travate consta di due travi continue *a*, *a'* collegate fra loro dal traliccio. La trave superiore *a'* è posta a m. 20,54, l'inferiore *a* invece a m. 14,98 sul livello delle basse maree: quindi il piano inferiore della travata si trova a m. 2,25 sopra il livello delle massime piene. Ciascuna delle travi continue *a* ed *a'* è formata di due pezzi di legname aventi, l'uno m. 0,34 di larghezza per 0,24 di altezza, e l'altro pure m. 0,34 di larghezza su m. 0,20 di altezza. Questi pezzi sovrapposti l'uno all'altro sono stretti fra di loro mediante chiavarde e staffe in ferro, e ciascuno è formato di tante travi unite di punta mediante cunei di rovere, che si internano in apposite scanellature (unione detta a *zig-zag* o ad *arco di Giove*). Le unioni di un pezzo non coincidono con quelle dell'altro: nè le unioni delle travi superiori *a'* cadono sopra quelle della trave inferiore *a* per ovvia ragione di stabilità.

La distanza interna delle due travate all'americana è di m. 4,50; la distanza dei loro assi sarà quindi di m. 4,84. L'altezza esterna

di ciascuna travata è di m. 6,00: l'interna per conseguenza di m. 5,12.

Fra le travi principali *a* ed *a'*, lunghe quanto è lungo il ponte sta interposto il reticolato, costituito da ritti o catene verticali *r* e da travetti inclinati in senso opposto *e* ed *e'*. Le catene verticali *r* sono alte m. 7,60 e accoppiate due a due in modo da abbracciare la grossezza delle travi continue e tenerle a posto. Siccome lo sforzo, cui vanno soggette queste catene, varia col variare della loro distanza dal mezzo della campata; così hanno sezione trasversale differente secondo la posizione che occupano nella campata medesima. Quindi, presso gli appoggi, hanno una sezione di m. 0,36 per m. 0,24; mentre, nel mezzo della campata, non hanno più che m. 0,30 per m. 0,22 di lato.

Ciascuna campata di mezzo è divisa dalle catene verticali in cinque scompartimenti, della larghezza di m. 4,50 ciascuno, oltre allo scompartimento che cade sulla stilata, il quale non ha che m. 3,00 di larghezza. Ciascun scompartimento poi è attraversato da travetti *e e'* inclinati in senso opposto a guisa di *croce di S. Andrea*. Questi travetti sono in numero di due soltanto nel mezzo delle campate e in corrispondenza delle stilate; sono uniti fra loro a metà legno, e sono coi loro estremi incastrati nelle travi continue; la loro sezione trasversale è di m. 0,30 per m. 0,30 di lato. Negli altri scompartimenti invece la croce consta di tre travetti, dei quali quello che va soggetto allo sforzo di compressione, cioè quello inclinato verso la stilata, ha dimensione più robusta degli altri due. Il primo *e* è incastrato nelle travi continue ed ha una sezione variabile colla sua distanza dal mezzo della campata: gli altri *e'* abbracciano tanto le travi continue quanto il travetto *e*, ed hanno una sezione per tutti eguale a m. 0,26 per m, 0,16 di lato.

Sulle travi inferiori continue *a* stanno le travi trasversali *b*,

accoppiate due a due e con una sezione di m. 0, 32 per m. 0, 36 di lato. Le due travi che compongono la stessa coppia hanno lunghezza differente: l'una di esse, essendo soltanto destinata a sopportare le longarine sottoposte alle rotaie, è lunga m. 5, 80; l'altra invece, che deve sostenere anche i due marciapiedi laterali, sporge d'assai più dalle travi longitudinali. ed ha una lunghezza complessiva di m. 9. 00. Sulle parti sporgenti di queste travi stanno da ciascun lato tre travicelli longitudinali, che sostengono il tavolato dei marciapiedi destinati al passaggio dei pedoni; dei tavoloni verticali saldamente infissi nelle travi trasversali e collegate fra di loro da tre ordini di tavole orizzontali costituiscono il parapetto dei marciapiedi stessi. La distribuzione delle travi trasversali è poi tale che la distanza fra ciascuna coppia è internamente di m. 1, 61, ed esternamente di m. 2, 89; la distanza fra asse ed asse sarà quindi di m. 2, 25. Queste travi trasversali infine sono fissate ai correnti *a* mediante chiavarde che li attraversano entrambi, e sono anche rinforzate e rese solidali fra di loro mediante tiranti diagonali.

Le catene verticali *r*, di cui si è sopra fatto cenno, oltrepassano in media di m. 0, 70 il corrente superiore *a'* delle travi all'americana e vanno a sostenere le capriate del tetto. Queste si compongono essenzialmente di due puntoni *g*, che poggiandosi sui ritti *r*, coi quali sono uniti a tenone e mortisa, vanno poi ad incastrarsi in un ometto *o* situato nel mezzo del ponte. Il sistema è rinforzato da quattro saette *h h'* fisse coi loro estremi inferiori sui ritti *r* e poggiate cogli estremi superiori, le due esterne *h'* contro i puntoni *g*, e le due interne *h* contro il monaco *o*. Infine due catene orizzontali *q* abbracciano e collegano fra di loro tutti i pezzi suddetti, mentre, per maggior solidità, poggiano esse stesse sulle travate all'americana. La sezione trasversale di queste diverse parti è per tutte la medesima di m. 0, 20 per m. 0, 24.

Le capriate ora descritte, oltre a sostenere la copertura destinata a difendere il ponte dalle intemperie e ad assicurarne la durata, compiono un altro ufficio ben più importante, che è quello di impedire le oscillazioni delle travate, collegandone fra di loro le catene verticali. Ed invero egli è facile il comprendere che la travata di destra e quella di sinistra, essendo fra loro unite al basso mediante le travi trasversali ed in alto mediante le capriate, è impossibile che esse perdano la loro verticalità, se non si sconnette tutto il sistema. A Piacenza, ove non fu adottato il coprimento del ponte, si osservarono delle oscillazioni assai forti nelle travate, cosicchè si dovettero impiegare varii mezzi per impedire che lo spostamento avvenuto dalla posizione verticale non avesse a mettere in pericolo la stabilità dell'edifizio; a Pontelagoscuro si è certamente rimosso quest'inconveniente col sistema adottato.

IV.

Ponte presso Lagoscuro - Sua costruzione.

Se per una parte degno di particolare studio si è il ponte di Lagoscuro a motivo della sua importanza, della sua mole e delle gravi e molte difficoltà superate, esso formerà pur sempre per altra parte oggetto di considerazione e di maraviglia presso le persone dell'arte, a motivo dell'elegante, accurata e solida sua costruzione, e specialmente del brevissimo tempo entro cui, in circostanze affatto eccezionali e sfavorevoli, fu condotto a compimento.

Difatti la convenzione conchiusa il 28 luglio 1866 fra il Ministero dei Lavori Pubblici e la Società delle strade ferrate dell'Alta Italia,

stabiliva che, per l'attivazione del tronco di ferrovia da Pontelagoscuro a Rovigo, si avesse a costruire un ponte provvisorio in legno sul Po, e la Società obbligavasi di condurre i lavori occorrenti « con tanta attività da aversi a quattro mesi dalla sua data una comunicazione ferroviaria non interrotta da Ferrara a Rovigo, salvo i casi di forza maggiore, provenienti sia da circostanze politiche, sia da piene anormali del Po. » E che la Società scrupolosamente adempiesse agli obblighi assuntisi, chiaro risulta dal fatto che, mentre la suddetta convenzione porta la data del 28 luglio, le prove di collaudo del ponte si fecero il 18 novembre dello stesso anno 1866; in poco più di tre mesi e mezzo adunque si condusse a compimento una opera di tanta importanza.

Vero è che non si sarebbe potuto in così breve spazio di tempo raggiungere un risultato così soddisfacente, se la Società non avesse, prima ancora di conchiudere la suddetta convenzione, fatto studiare il progetto del ponte e stipulati i contratti per l'acquisto del legname necessario, e se principalmente nei magazzeni della Società stessa non si fossero trovate di molte macchine, attrezzi ed utensili provenienti dalla costruzione e demolizione del ponte provvisorio di Piacenza; di modo che si cominciò l'infissione dei pali di servizio prima che il progetto del ponte ottenesse l'approvazione del Ministero e prima ancora che si studiassero i particolari del progetto stesso. Vuolsi però ad ogni modo tributare la meritata lode alla Società dell'Alta Italia, che, conoscendo l'urgente bisogno di congiungere le provincie venete colla base delle operazioni militari di allora, volle e seppe eseguire in un tempo relativamente brevissimo, un'opera di tal fatta, anche a costo di molti sacrifici e di molte maggiori spese.

Il primo palo di fondazione delle stilate fu battuto il 9 agosto: l'ultimo il 29 settembre. Per la battitura di questi pali si impiegarono due berte, mosse da locomobili, i cui magli pesavano 1200

chilogrammi l'uno e 1300 l'altro. L'altezza massima da cui si facevano cadere i magli variava da 2 a 3 m.; sviluppando uno sforzo maggiore si sarebbe conseguita la rottura invece dell' infissione dei pali. Il letto del fiume si mostrò in generale per tutta la sua larghezza abbastanza regolare e non presentò molta resistenza alla palificazione. Infatti i pali anche sotto gli ultimi colpi della berta si abbassarono di un cm. o di un cm. e mezzo per colpo, essendo la caduta del maglio di 2, 50 o 3 metri circa.

La lunghezza dei pali impiegati fu compresa fra m. 16 e m. 19: il loro diametro fra m. 0, 50 e m. 0, 55. La loro punta, affinchè potesse meglio penetrare nel suolo, venne armata con una robusta cuspide in ferro; la loro testa invece, onde non rimanesse schiacciata o spaccata sotto i colpi del maglio, fu rinforzata durante l'infissione con due anelli in ferro posti fra loro a distanza di un metro circa. L'infissione totale fu di m. 1580 pei pali delle stilate e di m. 128 per quelli delle testate. Siccome poi 165 è il numero dei primi e 18 il numero dei secondi, così si vede che si ebbe l'infissione media di m. 9, 57 nelle stilate, e di m. 7, 10 nelle testate.

Durante la costruzione delle stilate, cioè dal principio di agosto al 25 settembre, il livello delle acque si mantenne sempre assai basso, cioè circa presso le prime catene *f'* poste a m. 6, 90 al disopra della bassa marea; la qual cosa contribuì non poco alla rapida e facile costruzione delle stilate medesime. Però nei giorni 26, 27 e 28 settembre le acque crebbero fino a m. 9, 60, per raggiungere poi la mattina del giorno 30 l'altezza di m. 10, 90 sul livello delle basse maree. Se il lavoro si fosse trovato meno avanzato, questa piena abbastanza notevole del Po avrebbe potuto nuocere d'assai alle stilate e compromettere ad ogni modo il compimento del ponte per l'epoca fissata. Ma, siccome le stilate erano ormai portate a compimento, così la piena suddetta non ebbe altro effetto fuorchè quello di mettere alla prova, fin dal principio della

loro costruzione, le fondazioni del ponte e di mostrare quanta ne fosse la stabilità. Difatti, malgrado che le stilate non fossero fra di loro riunite dalle travi all'americana e sostenessero quindi isolate l'urto della corrente, nessuna di esse ebbe a soffrire alcun danno sensibile o a manifestare alcun cedimento che potesse far dubitare, benchè menomamente, della sua futura solidità.

Ed a questo proposito giovi qui il notare come durante questa piena si potè verificare di quanta utilità fosse alle palificazioni una specie di ancoraggio, consistente nel fissare sotto l'alveo del fiume le estremità di parecchie grosse catene congiunte coll'altro loro capo ai cappelli delle stilate. Sull'asse delle stilate N. 3, 5, 7, 8, 9, 11, 13 ed a 30 m. circa sopra corrente si piantarono sette pali di m. 0, 50 di diametro, muniti ciascuno di una scanellatura in cui venne incastrata una grossa catena in ferro mediante una chiavarda che l'attraversa. Questi pali si piantarono nell'alveo per 8 o 9 metri circa, portando così l'estremità fissa delle catene a due o tre metri sotto terra. Le altre estremità di queste catene si attaccarono ai cappelli delle stilate corrispondenti mediante un congegno a vite capace di tendere le catene stesse. Con questo sistema si potè, a Piacenza, raddrizzare per 12 o 15 cm. l'asse del ponte, il quale sotto il peso delle grandi piene era deviato dalla verticale perfino di 25 cm.

Già prima ancora che la costruzione delle stilate fosse condotta a compimento, una buona parte dei falegnami era stata impiegata nel cantiere del ponte a lavorare il legname delle travate e della copertura ed a preparare le unioni dei diversi pezzi, cosicchè, allorquando, compiute le stilate, tutti i falegnami si poterono impiegare in questa parte del ponte, essendovi già buona parte del materiale preparato, si cominciò tosto il collocamento a posto delle travate ed il lavoro si spinse con tanta alacrità che il giorno 18 novembre, compiuto ed ultimato in ogni sua parte il ponte, si potè dalla Commissione governativa procedere alle prove di collaudo.

Queste prove furono tre e consistettero ciascuna nel gravare successivamente le varie travate di un peso abbastanza considerevole, che si faceva correre sul ponte. La prima esperienza si fece con 5 carri di guide gravanti il ponte di chilog. 2000 per metro lineare; nella seconda si impiegarono due locomotive producenti un peso di chilog. 4000 per m. l.; nella terza infine si fece correre una locomotiva-tender del peso complessivo di chilog. 50000. In tutte e tre queste esperienze le stilate fecero prova di una grandissima solidità, niuna di esse avendo manifestato il più piccolo cedimento. Quanto alle travate all'americana, esse dovevano naturalmente sotto il peso del carico inflettersi; e per formarsi un'idea adeguata della loro stabilità, si misurò la saetta massima che ciascuna di esse presentò durante l'esperimento; misurando poi la saetta medesima compiuta la prova, si potè facilmente dedurre quale fosse il rapporto fra le deformazioni *elastiche* e le deformazioni *permanenti* avvenute nelle travate medesime.

Ecco riuniti nel seguente Quadro i risultati che si ottennero colle diverse travate, eccettuata la seconda, che non era accessibile per difetto di un ponte di servizio.

Prove del ponte sul Po a Pontelagoscuro (1)

18 novembre 1866.

Numero d'ordine delle travate da sinistra a destra	Carico con 5 carri di guide t. 2 al m. l.						Carico con 2 locomotive t. 4 al m. l.						Carico con locomotiva e tender, t. 50						Osservazioni
	Flessione a mm.						Flessione a mm.						Flessione a mm.						
	a monte			a valle			a monte			a valle			a monte			a valle			
	Totale	Elastica	Permanente	Totale	Elastica	Permanente	Totale	Elastica	Permanente	Totale	Elastica	Permanente	Totale	Elastica	Permanente	Totale	Elastica	Permanente	
1	5	3	2	5	3	2	»	»	»	13	13	»	20	20	»	20	20	»	
3	21	9	12	20	14	6	29	22	7	30	28	2	23	22	1	26	26	»	
4	13	6	7	12	5	7	21	10	11	13	3	10	26	23	3	22	19	3	Oscillazione laterale mm. 5
5	27	9	18	43	11	32	9	4	5	25	20	5	20	18	2	20	18	2	Id. id. » 3
6	18	7	11	14	6	8	32	23	9	32	23	9	27	22	5	27	23	4	Id. id. » 6
7	20	12	8	20	13	7	21	15	6	22	16	6	24	16	8	24	16	8	
8	12	6	6	13	8	5	25	17	8	26	18	8	25	20	5	25	20	5	
9	15	8	7	15	9	6	24	18	6	25	20	5	22	20	2	23	23	»	TRAVI TRASVERSALI
10	14	9	5	14	10	4	26	19	7	27	22	5	22	20	2	25	22	3	Flessione nel mezzo mm. 7
11	13	10	3	13	11	2	22	3	19	23	4	19	27	20	7	27	25	2	
12	15	10	5	15	10	5	30	21	9	30	21	9	26	20	6	26	20	6	
13	18	10	8	11	9	2	37	22	15	27	20	7	26	20	6	23	19	4	
14	15	5	10	15	5	10	30	24	6	28	20	8	28	25	3	25	20	5	
15	8	7	1	8	7	1	20	15	5	20	15	5	18	15	3	17	15	2	

(1) La presente tavola, unitamente alla maggior parte dei dati relativi alla costruzione del ponte, venne tolta da una memoria dell'ingegnere Arrigo Broglio pubblicata nel giornale del Genio Civile dell'anno 1867.

Risulta da questa tabella che, in generale, furono assai soddisfacenti i risultati delle tre prove di collaudo; poichè la flessione dovuta all'elasticità dei legnami fu quasi sempre proporzionale al peso e la massima corrispose ad $\frac{1}{1000}$ circa della lunghezza delle travate. Quanto poi alla flessione permanente, dovuta al costipamento dei diversi membri della travata, fu in ogni caso assai piccola, se si eccettua la quinta travata, che fu l'ultima a disarmarsi e che probabilmente avrà avuta qualche inesattezza nelle unioni delle sue diverse parti. Anche per questa campata del resto negli ultimi due esperimenti la flessione permanente risultò assai tenue.

Siccome al tempo in cui si dovettero fare gli acquisti del legname necessario alla costruzione del ponte, ferveva la guerra coll'Austria, ed erano quindi chiuse ed impedite le provenienze dal Tirolo, dal Cadore e dall'Istria, da dove si ritraggono ordinariamenti i migliori legnami da costruzione, così si dovette impiegare il larice di Corsica, benchè di qualità alquanto scadente e di prezzo assai più elevato. In tutto arrivarono a Pontelagoscuro 4200 mc. di legname, dei quali 4000 provenienti dalla Corsica e 200 circa dai magazzeni della Società, ossia dalla demolizione del ponte provvisorio di Piacenza. Siccome però nella lavorazione, nei tagli e negli scarti si sprecarono circa 900 mc. e circa 300 ne rimasero in cantiere, così ne risulta che si impiegarono per la totale costruzione del ponte circa mc. 3000 di legname lavorato. Di questi 3000 mc. 2200 compongono le stilate, le travate e la copertura; i residui 800 mc. costituiscono i pali di fondazione. Quanto infine alla ferramenta destinata a collegare e rinforzare le varie parti del ponte, si impiegarono 10000 chiavarde, 8 grosse catene per ancoraggio, 500 staffe e numero corrispondente di viti, chiodi, ecc. ecc.; in tutto un peso complessivo di chilog. 44700 di ferro.

V.

Stabilità delle principali parti del ponte.

Le principali parti del ponte, di cui giova il verificare la stabilità, sono le seguenti: le travi trasversali; le travate longitudinali col loro traliccio; i puntoni, che costituiscono i cavalletti delle stilate ed i pali di fondazione. Per istituire i relativi calcoli si sono presi, rispetto al peso gravitante sul ponte, i seguenti dati:

Peso per metro lineare del ponte . .	Chilog.	2 500
Carico eventuale per m. l. di ponte . .	»	3 500
Peso totale per m. l.	»	6 000

Travi trasversali. — Queste travi, astrazion fatta dal loro peso, non sopportano che il sovraccarico, il quale è applicato a quelle parti delle travi su cui poggiano le longarine delle rotaie. Si possono quindi considerare come solidi rettilinei, orizzontalmente collocati su due appoggi e soggetti ad inflettersi sotto l'azione di due pesi uguali e simmetricamente disposti rispetto al mezzo della trave. La distanza fra asse ed asse di due coppie consecutive di travi trasversali, essendo di m. 2,25 ciascuna coppia, sopporterà il peso di chilog. 3500 $\times$ 2,25 = chilog. 7875, e ciascuno dei pesi ora accennati sarà di chilog. 3937,50. Il punto d'applicazione di uno qualsiasi di questi pesi disterà dal mezzo della trave di m. 0,75 e dall'estremo più vicino di m. 1,67. Ciò posto si sa che i solidi costrutti in legno od in ferro si rompono assai più facil-

mente per pressione che non per trazione; basterà quindi considerare soltanto la resistenza alla pressione.

Ora l'equazione generale di stabilità, rispetto alla pressione dei solidi rettilinei collocati orizzontalmente e gravati di pesi è la seguente:

$$n'' R'' = \frac{V'' \mu_m}{I}$$

in cui rappresentano:

n'' ed R'' il coefficiente di stabilità e di rottura per pressione del solido;

μ_m il momento inflettente rispetto alla sezione pericolosa;

V'' la distanza della fibra più compressa di questa sezione dall'asse neutro della sezione stessa;

I infine il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse neutro stesso.

Ma nel caso che consideriamo è facile il vedere che sono egualmente pericolose tutte le sezioni comprese fra i punti d'applicazione dei due pesi. Per ciascuna poi di queste sezioni il momento inflettente è espresso dal prodotto di uno dei due pesi per la sua distanza dall'estremo più vicino della trave, avremo quindi

$$\mu_m = 1,67 \times 3937,50 = 6575,63.$$

Inoltre è pur facile il vedere che si ha:

$$V'' = \frac{0,36}{2} = 0,18$$

$$I = \frac{1}{12}(0,64 \times 0,36^3) = 0,00248832.$$

Assumendo infine per coefficiente di rottura per pressione del larice rosso, di cui son formate le travi, chilog. 4,50 per mm.q. di sezione e sostituendo tutti i suddetti valori nell'equazione di stabilità avremo:

$$n'' = \frac{0,18 \times 6575,63}{0,00248832 \times 4500000} = \frac{1}{9,4}.$$

Travi all'americana. — Avuto riguardo alla materia di cui è composto il ponte, la cui travatura non può comportarsi esattamente come quella dei ponti in ferro, nel loro calcolo si suole in pratica considerare ciascuna campata isolatamente, supponendola cioè tagliata sugli appoggi, e non tenendo quindi conto del semi-incastramento che sugli appoggi medesimi essa soffre. È evidente che in questo modo si fa un'ipotesi in favore della stabilità della travata. È poi chiaro inoltre che in virtù dei cunei e delle chiavarde che collegano i due pezzi di legname, che costituiscono i correnti a ed a', ed in virtù del traliccio, che tiene a distanza invariabile i correnti medesimi, ciascuna trave principale si può considerare come una trave unica a sezione rettangolare vuota.

Ciò premesso, ciascuna di queste travi non è altro che un solido rettilineo, appoggiato orizzontalmente ai due estremi e gravato di un peso uniformemente distribuito sulla sua lunghezza. Questo peso è di chilog. 3000 per m. l. di trave, cioè la metà del sovraccarico, più la metà del peso del ponte per metro corrente. Ora si sa che nei solidi di questo genere la sezione pericolosa è quella di mezzo, il cui momento inflettente è uguale all'ottava parte del prodotto del peso, che gravita sull'unità di lunghezza, pel quadrato della lunghezza della trave. Perciò avremo:

$$\mu_m = \frac{3000 \times 25,50^2}{8} = 243843,79.$$

$$V'' = \frac{6,00}{2} = \text{m. } 3,00$$

$$I = \frac{1}{12}(0,34 \times 6^3 - 0,34 \times 5,12^3) = 2,32.$$

Sostituendo pertanto questi valori nell'equazione generale di stabilità otterremo pel coefficiente di stabilità il valore:

$$n'' = \frac{3 \times 243843,79}{2,32 \times 4500000} = \frac{1}{14}.$$

Traliccio. — I costruttori sono d'accordo nel considerare i varii pezzi del traliccio come destinati a mantenere alla dovuta distanza le travi principali; ne calcolano quindi la sezione trasversale in modo che sieno capaci di resistere allo sforzo di taglio. Ora lo sforzo, che, in una sezione qualsiasi di una trave sottoposta a flessione, tende a produrre scorrimento trasversale, essendo uguale alla somma algebrica delle componenti normali all'asse delle forze applicate alla trave fra la sezione considerata ed un estremo della trave stessa, nel nostro caso particolare sarà dato dalla formola:

$$P = p\,(a - x)$$

in cui rappresentano:

P la forza che produce lo scorrimento;

p il peso che gravita sull'unità di lunghezza della trave;

a la semi-lunghezza della trave;

x la distanza della sezione considerata dall'estremo più vicino.

Ora P cresce evidentemente col crescere di $(a - x)$, cioè della distanza della sezione dal mezzo della trave. Dunque per ciascun pezzo del traliccio la sezione pericolosa sarà quella che più dista dal mezzo della campata.

Le catene verticali r tengono luogo di tiranti e servono ad impedire l'allontanamento delle due travi continue; sopportano quindi uno sforzo di trazione. La prima coppia di queste catene presso le stilate dista dal mezzo della campata di m. 11,25; la tensione cui è soggetta nel senso del suo asse sarà perciò:

$$P = 11,25 \times 3000 = \text{chilog. } 33750.$$

La sezione trasversale dei due membri componenti la coppia essendo nella parte più intagliata di m. $0,36 \times 0,16 \times 2 = 1152$ cm.q., la tensione unitaria, che essi sopportano, sarà di

$$\text{Chilog. } \frac{33750}{1152} = \text{Chilog. } 29,29$$

per cm.q. di sezione. Ora il coefficiente di rottura per trazione del larice rosso è di chilog. 850 per cm.q.; il coefficiente di stabilità della prima coppia di catene verticali sarà:

$$n' = \frac{29.29}{850} = \frac{1}{28}.$$

La seconda coppia invece dista di m. 6, 75 dal mezzo della campata; sarà quindi soggetta ad uno sforzo di trazione

$$P = 6,75 \times 3000 = \text{Chilog. } 20250.$$

La sua sezione trasversale essendo, nella parte più intagliata di

$$0,30 \times 0,14 \times 2 = 840 \text{ cm.q.}$$

il suo coefficiente di stabilità sarà:

$$n' = \frac{20250}{840 \times 850} = \frac{1}{35}.$$

I travetti *e*, componenti la croce di S. Andrea, impediscono alle travi principali l'avvicinarsi; sono perciò soggetti a pressione. Il primo di questi travetti, quello più vicino alle stilate, dista nella sua sezione più lontana dal mezzo della campata di m. 11, 25. Sopporta quindi una pressione verticale di chilog. 33750, come la prima delle catene *r*, ed una pressione nel senso del suo asse di chilog. $\frac{33750}{\cos \alpha}$, se chiamasi α l'angolo da esso fatto colla verticale. Ora essendo di m. 6,60 la lunghezza del travetto e di m. 5,12 la distanza interna fra i due correnti *a* ed *a'*, si avrà immediatamente:

$$\cos \alpha = \frac{5,12}{6,40} = 0,80$$

Dividendo pertanto lo sforzo che sopporta tale travetto, nel senso del suo asse per la sua sezione trasversale, che è di

$$0,36 \times 0,30 = 1080 \text{ cm.q.}$$

e pel coefficiente di rottura per pressione, che è 450 per cm.q. di sezione si avrà per valore del coefficiente di stabilità:

$$n'' = \frac{33750}{10\,80 \times 4\,50 \times 0,80} = \frac{1}{11}.$$

La sezione più discosta dal mezzo della campata del secondo dei travicelli *e* dista dal mezzo stesso di m. 6, 75; quindi sopporta uno sforzo verticale di chilog. 20250 e secondo l'asse del travetto di chilog. $\frac{20250}{0,80}$ la sezione trasversale essendo di

$$0,26 \times 0,30 = 7\,80 \text{ cm.q.}$$

il coefficiente di stabilità sarà espresso da

$$n'' = \frac{20250}{780 \times 450 \times 0,80} = \frac{1}{13}.$$

I doppii travicelli diagonali *e'* che hanno direzione opposta ai travicelli *e* soggetti a pressione, servono a mantenere questi al loro posto e ad impedirne la flessione; ma non essendo connessi colle travi continue, non sostengono alcuno sforzo di trazione o di stiramento.

Massima saetta affettata dalle travi longitudinali sotto uno sforzo di chilog. 50000. — La terza prova di collaudo del ponte, come si è sopra detto, consistette nel far correre su di esso una locomotiva con *tender* del peso complessivo di chilog. 50000. Giova il calcolare la flessione massima che doveva subire la trave, onde poi paragonarla con quella che effettivamente ebbe luogo. In quest'esperienza la trave era sottoposta ad un peso costante uniformemente distribuito sulla sua lunghezza, cioè il peso del ponte, ed ad un peso mobile da istante ad istante, cioè quello della locomotiva. È poi evidente che per la sezione di mezzo la massima

flessione avrà luogo quando il peso mobile sarà applicato alla sezione stessa.

Ciò posto, l'equazione della curva elastica, secondo cui si dispone l'asse di un solido, orizzontalmente appoggiato ai due estremi e gravato di un peso $2\,P$ nel suo mezzo e di un peso p uniformemente distribuito sulla sua lunghezza, è la seguente:

$$\varepsilon\, u = \frac{1}{24}\, p\, z^4 - \frac{1}{6}\,(P + p\, a)\, z^3 + \frac{1}{2}\,(P\, a^2 + \frac{1}{3}\, p\, a^3)\, z.$$

in cui rappresentano:

ε il prodotto $E\,I$ del modulo di elasticità della materia, di cui è formato il solido, pel momento d'inerzia rispetto all'asse neutro delle sezioni trasversali del solido stesso;

$2\,a$ la distanza fra i due appoggi;

z la distanza di una sezione qualsiasi da un'estremo;

u la flessione, che ha luogo in questa sezione.

Per ottenere poi la flessione massima s è chiaro che basterà fare nella suddetta equazione $z = a$; ed allora avremo:

$$s = \frac{1}{3}\,\frac{a^3}{E\,I}\left(P + \frac{5}{8}\, p\, a\right).$$

Nel nostro caso, assumendo pel valore di E 550 chilog. per mm.q. di sezione, ed essendo

$$P = 12500\,; \qquad p = 1250\,; \qquad a = 12{,}75; \qquad I = 2{,}32$$

avremo

$$s = \frac{1}{3}\,\frac{12{,}75}{2{,}32 \times 550000000}\left(12500 + \frac{5}{8}\, 1250 \times 12{,}75\right)$$

Eseguendo tutti calcoli indicati si trova per la massima flessione il valore:

$$s = \text{mm. } 12{,}16.$$

Puntoni delle stilate. — Su di ogni stilata graviterà il peso uniformemente distribuito su di una campata, cioè

$$\text{Chilog. } 6000 \times 25,50 = 153000 \text{ chilog.}$$

Ma i puntoni, che sorreggono il cappello, che, cioè, formano la parte resistente delle stilate, sono in numero di otto; quindi ciascuno di essi dovrà sopportare verticalmente un peso di chilog. 19125. Se poi α è l'angolo di ciascun puntone colla verticale, la pressione che ha luogo secondo l'asse del puntone stesso, sarà di chilogrammi $\frac{19125}{\cos \alpha} = 20054,68$; poichè, essendo di circa 7,55 la sua lunghezza e di m. 7,20 la differenza di livello fra le sue estremità, si avrà tosto $\cos \alpha = \frac{7,20}{7,25}$. Ora, a motivo delle filagne f, f, che non permettono al puntone di inflettersi, questo si può considerare semplicemente come un solido soggetto a pressione da una forza diretta secondo il suo asse. Perciò, essendo la sua sezione trasversale di

$$0,40 \times 0,35 = 1400 \text{ cm.q.},$$

si avrà tosto pel coefficiente di stabilità il valore

$$n'' = \frac{20054,68}{1400 \times 450} = \frac{1}{31}.$$

Pali di fondazione. — Ciascuno dei pali sottoposti ai puntoni p è gravato da una forza diretta secondo l'asse del puntone di chilogrammi 20054,68 e quindi da una forza verticale di chilog. 19125; se ne debbono però eccettuare i due pali intermedii N. 6 e 7 su ciascuno dei quali appoggiandosi due puntoni graviterà un peso doppio, cioè di chilog. 38250. Ammettendo che a motivo delle filagne f' diagonali e trasversali che collegano fra di loro in ogni senso i varii pali, questi non possono inflettersi, cioè tendere a rompersi per rovesciamento o per scorrimento trasversale, allora è chiaro che essi non resisteranno che per pressione.

Ora il diametro dei pali essendo di m. 0,50, la sua sezione trasversale avrà una superficie di cm.q. 1963 e, considerando uno dei due pali intermedii, il suo coefficiente di stabilità sarà:

$$n'' = \frac{38250}{1963 \times 450} = \frac{1}{23}.$$

Dai calcoli sin qui fatti chiaramente si scorge che, solendosi per comune consenso dei costruttori assumere di $\frac{1}{10}$ il coefficiente di stabilità dei legnami, si ha un'eccedenza di stabilità in tutte le parti considerate, tranne che nelle travi trasversali, il cui coefficiente per altro si avvicina d'assai al suddetto valore medio.

Vuolsi però a questo proposito avvertire che per alcune parti del ponte, come sarebbero le stilate e principalmente i pali di fondazione, soggette di continuo all'impeto delle acque ed all'azione distruggitrice dell'aria e dell'umidità, era prudente cosa l'eccedere piuttosto che rimanere nei limiti del puro necessario; che per quelle stesse parti poi e per tutte le altre non conveniva assottigliare di troppo i legnami, quali il commercio e la demolizione del ponte di Piacenza li aveva forniti, pel semplice motivo di ottenere le dimensioni prescritte dal calcolo; tanto più che, trattandosi di un ponte provvisorio, era util cosa il far sì che il legname conservasse la maggior parte possibile del suo valore.

PAGELLA GIAMBATTISTA.

Tesi Libere

MECCANICA APPLICATA E IDRAULICA PRATICA.

Moto uniforme dell'acqua nei canali scoperti — Determinazione della portata quando sono date tutte le dimensioni del canale — Legge di Castelli — Legge di Guglielmini.

COSTRUZIONI CIVILI, STRADALI ED IDRAULICHE.

Archi equilibrati — Condizioni d'equilibrio — Caso in cui l'arco è gravato di un peso uniformemente distribuito sulla sua proiezione orizzontale — Archi a monta molto depressa.

MACCHINE A VAPORE E FERROVIE.

Iniettore Giffard per l'alimentazione delle caldaie a vapore — Principio su cui si fonda — Quantità d' acqua somministrata — Temperatura dell'acqua d'alimentazione.

GEOMETRIA PRATICA.

Determinazione di un punto trigonometrico mediante tre altri punti dati di posizione — Caso indeterminato.

PONTE IN LEGNO SUL PO PRESSO PONTELAGOSCURO