

## L'INGEGNERIA CIVILE

## LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori.

## COSTRUZIONI METALLICHE

IL PONTE SUL GOLFO DI FORTH  
PRESSO QUEENSFERRY IN ISCOZIA.

(Veggansi le Tavole VI e VII)

*Preliminari.* — Il 4 marzo p. p. aveva luogo l'apertura al pubblico servizio del ponte sul golfo di Forth in Iscozia, di quest'opera gigantesca, unica nel suo genere, la cui esecuzione attirò gli sguardi di tutti i tecnici per ben sette anni e la cui splendida riuscita ha tolto ogni dubbio sull'applicazione del sistema delle travi a mensole equilibrate per superare grandi portate. Il principe di Wales coronò l'opera, mettendo l'ultima chiavarda, e nel suo discorso d'inaugurazione ricordò che 30 anni or sono inaugurando il ponte Vittoria sul fiume Lorenzo presso Montereale nel Canada, metteva la milionesima chiavarda, mentre oggi era la milionesima dell'ottavo milione quella che egli ultimo veniva a martellare nel ponte sul Forth, dove circa 54000 tonnellate d'acciaio erano state impiegate.

Il corteccio d'inaugurazione mosse da Edimburgo la mattina del 4 marzo recandosi a Dalmeny, dove era arrivato il principe di Wales il giorno precedente; di qui il convoglio si avviò verso il ponte sul Firth of Forth e sul quale raggiunse la riva opposta (North Queensferry) spingendosi fino a Inverkeithing dove fece una piccola sosta. Al ritorno fermossi a North Queensferry per salire a bordo di due battelli a vapore e visitare il ponte anche dal golfo. Di ritorno a Queensferry la comitiva risalì sul treno e ripassò il ponte fermandosi nel mezzo del medesimo per dare campo al principe di Wales di mettere l'ultima chiavarda, dopo di che il corteccio si avviò a North Queensferry per esaminare i disegni esposti del ponte e delle macchine impiegate, e per coronare l'opera con un banchetto e coi relativi discorsi.

\*

Allorchè si mise la prima pietra di questa grandiosa costruzione, abbiamo descritto in questo stesso periodico il progetto (1) accennando alle fasi del concorso ed alle difficoltà che allora si prevedevano; adesso che l'opera è compiuta non tornerà certo discaro ai lettori dell'*Ingegneria* di passare brevemente in rivista l'andamento dei lavori e le parti principali del ponte. Per non fare ripetizioni rimandiamo alla nostra Memoria primitiva per quelle considerazioni che ivi sono complete, specialmente in rapporto all'aspetto estetico ed agli inconvenienti che avrebbero presentato gli altri due sistemi possibili (ad arco, e sospeso), e riporteremo solo quelle che per modificazioni avvenute hanno bisogno di essere rettificata (2).

(1) V. annata 1884, vol. 9, n. 6, pag. 93.

(2) Per la maggior parte delle notizie ci servimmo della Memoria del prof. G. BARKHAUSEN, *Die Forth-Brücke* pubblicata nella *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1888 e degli articoli pubblicati nelle annate 1882, 1885 e 1887 dell'*Engineering*.

Come è noto Edimburgo si trova a poca distanza dal mare (fig. 2, tav. VI) o meglio da un braccio del medesimo che internandosi nel continente, come avviene generalmente nella Scozia, la separa dal nord del paese e insieme col golfo successivo quello del Tay costituiscono i due ostacoli principali alle comunicazioni commerciali. Questa posizione geografica necessita un attraversamento dei due golfi col mezzo di battelli o un giro vizioso spingendosi fino a Stirling. Per rimediare a tale stato di cose si eseguì negli anni 1882-1887 il ponte sul golfo di Tay che una prima volta (1879) era stato rovesciato dal vento. Ma sebbene con questo ponte si abbreviasse di molto la distanza che separa Edimburgo da Dundey, non si toglieva il giro vizioso di Stirling da dove poi raggiungendo Perth si faceva a meno di utilizzare il nuovo ponte; ne veniva di conseguenza la necessità di riunire le due sponde del golfo di Forth, riducendo in tal modo la distanza fra Edimburgo e Perth da 111 a 76 chilometri, la durata del tragitto da 2 ore e 20 minuti a un'ora. Questo vantaggio, che a noi potrebbe sembrare non proporzionato alla spesa dell'opera, prova quanta importanza per le relazioni della capitale Scozzese col Nord abbia anche una semplice ora di guadagno, il che agli occhi degli Inglesi giustifica la costruzione d'un ponte sul golfo di Forth per la quale appunto le Società ferroviarie Great-Northern, North-Eastern, Midland e North-British Railway si riunirono, costituendo una Società unica la *Forth-Bridge-Railway Company*.

Dopo varie peripezie da noi esposte nell'articolo sopra citato, il Parlamento Inglese approvò il progetto degli ingegneri John Fowler e Benjamin Baker nel luglio 1882 e nel dicembre successivo venne aggiudicata la costruzione dell'opera, per la somma di L. 40,000,000, alla Ditta Tancred, Arrol e Comp. di Glasgow, la medesima che aveva costruito il ponte sul Tay.

La disposizione topografica della località non poteva lasciare dubbio sulla situazione del ponte; infatti il golfo che ha una larghezza considerevole e costituisce per così dire un mare interno, si restringe quasi bruscamente a 12 chilometri circa ad ovest di Edimburgo, fra South-Queensferry e Fife, discendendo la sua larghezza fino a metri 1600. Passato questo punto si allarga nuovamente per una lunghezza di 35 chilometri, dove solo incomincia a restringersi di bel nuovo fino a Stirling. Aggiungasi che fra Queensferry e Fife sorge un isolotto (Inch Garvie) che separa il golfo in due bracci, di circa 500 metri di larghezza ciascuno e con profondità variabile da 50 a 60 metri, circostanza questa favorevolissima potendosi utilizzare l'isola come punto d'appoggio per elevarvi una pila; sulle due sponde poi il terreno offriva due altri punti d'appoggio sicuri che permettevano di costruirvi altre due pile limitando così le luci verso il golfo a m. 521 circa.

*Condizioni principali del programma.* — Le condizioni principali del programma erano le seguenti:

Il ponte doveva essere in acciaio per due binari e capace



di sopportare contemporaneamente un treno per binario, del peso di 3328 kg. per metro corrente e d'una lunghezza illimitata.

Doveva potere sopportare sopra ogni binario un convoglio con due locomotive e carro di scorta in testa, pesanti ciascuna 71 tonnellate e con 60 carri carichi di carbone e del peso di 15 tonnellate ognuno.

Doveva permettere il passaggio di treni viaggianti con velocità di 100 chilometri all'ora.

Il ponte doveva potere resistere impunemente alle maggiori burrasche, tanto nel momento della costruzione, quanto a opera finita, supponendo che la pressione del vento sia di 273 chil. per metro quadrato e la direzione comunque.

L'altezza libera dal più alto livello del mare e per una larghezza di m. 152,40 in ogni braccio di mare, doveva essere di m. 45,80.

L'acciaio non doveva venire cimentato in nessun caso da sforzi superiori a chg. 10,5 per millimetro quadrato.

Queste condizioni e quelle topografiche accennate più sopra condussero al progetto rappresentato dalla fig. 1 e 2 (tav. VII) che salvo poche modificazioni, di cui parleremo in appresso, è il medesimo da noi già dato nelle fig. 61-63, pag. 93, anno IX di questo periodico.

Il sistema è quello così detto delle mensole equilibrate; si hanno difatti sopra ciascuna pila due mensoloni giganteschi (fig. 1 della tav. VI e della VII), riuniti rigidamente in modo da costituire un pezzo solo, equilibrandosi reciprocamente. Le loro estremità servono di punto di appoggio per una travatura mediana, la quale forma il tratto di collegamento. Non ripeteremo qui la giustificazione teorica del sistema, nè i vantaggi ch'esso offre, avendo sviluppato i medesimi con una certa estensione nella Memoria già citata a cui rimandiamo il lettore, solo aggiungeremo che l'idea di esso deve essere all'ing. Gerber, il quale molti anni addietro (1866) la propose all'intento d'evitare gl'inconvenienti prodotti dalle variazioni considerevoli che avvengono nei momenti sui punti d'appoggio di una trave continua, quando nell'altezza dei medesimi si verificano delle variazioni anche piccole, il che si ottiene rendendo indipendenti gli assi dei pezzi che s'incontrano; in tal modo la travatura diviene staticamente determinata, composta di singole travi appoggiate e di altre sporgenti a guisa di mensole. È evidente che la parte di ponte situata sulla pila mediana con due punti d'appoggio e una portata di metri 79,25 deve pure considerarsi come una luce per sé, mentre quelle delle pile minori sulle due sponde aventi una portata di m. 44,2 ciascuna si ripartiscono sulle luci contigue.

Prima di Gerber, A. Ritter e Köpke nel 1862 attirarono l'attenzione dei tecnici sulla possibilità di un sistema come quello in questione; ma fu Gerber che indipendentemente dai suoi predecessori concepì e applicò il concetto; il primo ponte costruito in questo sistema è quello di Regnitz presso Bamberg, al quale tennero dietro molti altri, specialmente negli ultimi tempi per le grandiose costruzioni eseguite nell'America del Nord e nelle Indie Orientali.

Il ponte sul Forth differisce da quelli precedentemente eseguiti in ciò che le travi principali non hanno sulle pile la solita forma rettilinea, ma sono costituite da un sistema complesso, che è caratteristico del ponte stesso, inoltre la tavola inferiore non si mantiene orizzontale fino ai punti d'appoggio che assume un andamento poligonale dal quale il peso proprio della costruzione viene riportato il più possibilmente sulle pile; esso poi differisce dal progetto descritto nel N. 6 (anno 1883), in ciò che le due pile laterali alla centrale invece di costituire un unico appoggio alla travatura si divisero ciascuna in due altre distanti m. 44

da asse ad asse, disposizione a cui noi accennammo già nell'articolo sopracitato e che rese possibile di sostituire al triangolo primitivo un parallelogrammo con due colonne verticali analogo a quello della pila centrale; dove le colonne prima inclinate furono pure raddrizzate e messe in posizione verticalmente nel senso della lunghezza.

\*

*Dimensioni principali del ponte.* — Le dimensioni principali dell'opera sono le seguenti:

A) Parte centrale costituita di 4 luci:	
1) Portata delle due luci centrali m. 521,198 ciascuna composta di due mensole, della lunghezza complessiva di m. 414,522 e di una trave mediana appoggiante sulle medesime ed avente una lunghezza di m. 106,676, le due luci unite	m. 1042,396
2) Larghezza del pilone centrale ossia distanza fra i punti d'appoggio delle mensole sulle 4 pile che lo compongono	» 79,247
3) Larghezza di ciascuno dei piloni di sponda m. 44,195 e per 2	» 88,390
4) Portata delle due luci sulle sponde sud e nord costituite ciascuna da una mensola, di m. 210,232 e per due	» 420,464
B) Viadotto d'accesso sulla riva sud:	
5) Campata a travata rettilinea che fa seguito alla luce di m. 210,232	» 54,558
6) Otto campate a travate rettilinee di m. 51,205 ciascuna, insieme	» 409,640
7) Una campata a travata rettilinea	» 52,729
8) Due arcate in muratura e spalla, della lunghezza complessiva di	» 25,297
C) Viadotto d'accesso sulla riva nord:	
9) Campata a travata rettilinea che fa seguito alla luce di m. 210,232	» 54,558
10) Tre campate a travate rettilinee di m. 51,205 ciascuna, insieme	» 153,615
11) Ultima campata a travata rettilinea	» 52,729
12) Tre arcate in muratura e spalla della lunghezza complessiva di	» 34,746
Lunghezza totale	m. <u>2468,369</u>

L'altezza libera per la navigazione, ossia fra le più alte maree e il disotto del ponte è di m. 45,819 nelle due campate centrali e per una lunghezza di m. 152,397 in ognuna di esse, come era prescritto dalle condizioni del contratto. Il piano superiore delle guide dei binari si trova di m. 1,891 ancora più elevato.

I piloni (fig. 4 e 5, tav. VI) sono costituiti da vere torri di ferro, ciascuna formata di quattro grandi colonne elevantesi sopra pile di muratura per un'altezza di m. 100,582; contando anche la parte in muratura fino alle fondazioni l'altezza diventa di m. 137,295. Queste torri d'acciaio rilegano le mensole cosicchè esse si trovano due a due equilibrate. Quando le due travi centrali di m. 106,676 si trovano in posto appoggiate liberamente sulle mensole, quelle del pilone centrale si equilibrano per se stesse; per le altre, ossia per quelle dei due piloni laterali, si è disposto un contrappeso a ciascuna estremità delle mensole dal lato dei viadotti di accesso (in A e B, fig. 1, tav. VII, corrispondenti ai pesi A e B della fig. 3, tav. VI). In tal modo non possono verificarsi momenti negativi sui punti d'appoggio; però quando il sopracarico si trovasse tutto in una sola delle luci centrali, e la seconda ne fosse priva, il pilone di mezzo verrebbe cimentato dalla tendenza a capovolgere;

mentre in quelli sulle sponde ciò non può avvenire per la presenza dei contrappesi. Allo scopo di evitare un tale evento, si è dato al pilone centrale di Inch-Garvie una base maggiore che non agli altri due; la sua lunghezza, come si disse, è di m. 79,247 e la larghezza, ossia la distanza nel senso trasversale delle pile che lo compongono è di m. 36,575. Ai due piloni di Queensferry e di Fife invece non si assegnò che una lunghezza di m. 44,195; la larghezza è la medesima, m. 36,575.

Questa enorme larghezza era necessaria anche per meglio resistere alla violenza del vento affinché tutta la pressione potesse venire sopportata dalle pile, alle quali viene trasmessa dalla forma curva delle mensole; man mano che l'altezza delle pile metalliche cresce, la larghezza si restringe fino a discendere a m. 10,058 alla sommità (fig. 5, tav. VI); la medesima inclinazione è stata assegnata anche alle pareti delle mensole e corrisponde a m. 1,75; queste alla loro estremità hanno le tavole inferiori distanti soli m. 9,60. La tavola superiore è rettilinea e inclinata nelle mensole; in queste poi corre una travatura rettilinea all'altezza delle travi paraboliche sospese e dei viadotti d'accesso e ciò per ricevere il doppio binario.

\*

*Fondazioni.* — I lavori del ponte, appaltati nel dicembre (21) 1882, furono subito incominciati nei primi mesi del 1883; le installazioni veramente grandiose richiesero un certo tempo, epperò appena la stagione permise, si pose mano alle fondazioni. Queste si possono classificare in due distinte categorie, e cioè fondazioni all'aria compressa e fondazioni ordinarie, le prime furono dall'impresa Tancred, Arrol e C. subappaltate alla Ditta Couvreur, Hersent e Coisseau specialista in questo genere di lavori, le altre invece non offrirono difficoltà alcuna.

Il terreno consta di rocce basaltiche schistose apparenti dal lato sud fino verso la sesta pila del viadotto d'accesso, poi ricoperte di melma e più tardi di quell'argilla detta *boulder clay*, che è caratteristica in Inghilterra, e vanno a perdersi nel primo braccio del golfo. Verso il mezzo del golfo si elevano delle rocce basaltiche che formano appunto l'isolotto Inch-Garvie, poi si nascondono sotto il secondo braccio di mare, per rialzarsi in seguito sulla sponda nord, dapprima ricoperte di argilla e melma, poi di sola melma, e finalmente apparenti.

La marea raggiunge la sponda sud mentre quella nord, trovandosi alquanto più elevata, non viene bagnata, cosicchè tutte le pile del viadotto d'accesso da quella parte poterono fondarsi con molta facilità sul basalto, e senza bisogno di andare molto sotto colle fondazioni. Esse sono in muratura di pietrame basaltico e in malta di cemento, rivestite con conci di granito di Aberdeen; la loro altezza, ossia l'altezza che dovevano raggiungere per ricevervi la travatura metallica, è di m. 46,25; esse però furono elevate dapprincipio solo fino a m. 12,20 al disopra del livello dell'acqua; indi, quando la travatura metallica fu ultimata, si innalzarono tutte le pile contemporaneamente e per strati successivi di m. 1,83 l'una dall'altra, l'intervallo veniva riempito di argilla. In questo modo fu possibile di prosciugare gli scavi e di fondare a secco; le pile vennero elevate

Dal lato sud, sei pile poterono fondarsi a secco in modo analogo sulla roccia schistosa che ivi affiora; per le altre quattro verso il golfo si dovettero costruire delle ture per isolare la fondazione, visto che il terreno si trovava al di sotto delle basse maree. Le ture erano costituite di 2 palificate distanti m. 1,83 l'una dall'altra, l'intervallo veniva riempito di argilla. In questo modo fu possibile di prosciugare gli scavi e di fondare a secco; le pile vennero elevate

fino all'altezza di m. 9,15 circa al disopra dell'alta marea. Per questo lavoro occorsero presso a poco dieci mesi. I rivestimenti sono pure in granito di Aberdeen; l'altezza definitiva (m. 42,70) fu raggiunta come pel lato nord, nel momento in cui si potè montare la travatura metallica e gradatamente coll'elevarsi della medesima.

Tutte le pile sono massicce, ad eccezione di quelle estreme sulle quali appoggiano i becchi delle mensole, che hanno degli spazi vuoti nell'interno coperti da volte e separati da piedritti, 3 nella parte superiore e 5 nell'inferiore.

I piloni che portano le mensole (fig. 2, tav. VII e fig. 4-5, tav. VI) sono costituiti ciascuno di quattro pile cilindriche aventi un diametro di m. 21,336 alla base e di m. 14,935 alla sommità, ossia dove appoggia la parte metallica delle pile ed un'altezza variabile secondo la natura del terreno incontrato.

Delle quattro pile dal lato nord, ossia del pilone Fife, tre non offrirono difficoltà alcuna per le fondazioni, poichè la roccia era apparente e più alta dell'acqua; per la quarta invece si dovette ricorrere a ture analoghe a quelle già descritte e ad aggettamenti energici, poichè si trovava parzialmente nell'acqua.

Due delle pile costituenti il pilone centrale situato sull'isolotto di Inch-Garvie, e più propriamente quelle verso il nord, poterono pure fondarsi con facilità sul basalto, e per così dire a secco, essendo quivi la roccia apparente; le altre due invece offrirono delle difficoltà non poche; esse vennero incominciate con dei cassoni senza fondo ed a pareti doppie, nell'intervallo delle quali si doveva mettere del calcestruzzo e dell'argilla, adattando la parte inferiore alle sinuosità del terreno; i cassoni si sarebbero costruiti all'asciutto e poi trasportativi con galleggianti; messi in posto e resi convenientemente impermeabili si sarebbero fatti gli aggettamenti opportuni onde permettere lo scavo a secco. Ma questo procedimento non soddisfaceva pienamente gli autori del progetto, visto che il sottosuolo presentava una roccia molto inclinata e ad una profondità considerevole, per cui si decise di ricorrere a fondazioni con aria compressa, e l'ingegnere Coisseau, cui si era chiesto consiglio, fu incaricato del lavoro stabilendo otto mesi di tempo, con multe giornaliera fortissime pel ritardo, e reciprocamente con un premio pure molto elevato per ogni giorno d'anticipazione lasciandogli tutta la responsabilità.

Il lavoro fu eseguito regolarmente, e non durò che sei mesi per le due pile. I cassoni di lamiera (fig. 6, tav. VI) furono fabbricati a Glasgow e condotti sopra luogo per mezzo di galleggianti; il loro diametro interno alla base è quello della pila, ossia di m. 21,336; le pareti hanno una scarpata di 1:46 e il diametro superiore è di m. 18,288 corrispondente pure a quello della muratura. Siccome la roccia era molto inclinata tanto chè da un estremo all'altro del cassone offriva un dislivello di m. 6, così il tagliante del cassone non appoggiava dappertutto, si dovette perciò creare innanzi tutto un fondo artificiale, e vi si provvide colando tutto intorno al perimetro del cassone stesso dei sacchi pieni di sabbia fino ad un metro al disopra del punto più alto della roccia; occorsero così 50000 sacchi.

In questo modo però fu possibile, caricando il cassone di calcestruzzo fino a che a marea alta non si sollevava più, di farlo appoggiare su tutto il contorno, e penetrare nel fondo costituito dai sacchi, fino a che questi raggiunsero l'altezza dove si trovava una banchina di un metro di larghezza, collocata alla metà altezza delle mensole della camera di lavoro; il peso sui sacchi si riduceva a soli 3 chilogrammi circa per centimetro quadrato poichè la superficie d'appoggio era considerevole, e così il cassone veniva a trovarsi sopra una base sicura e orizzontale; allora gli

operai poterono accedere nell'interno e dare principio al lavoro di scavo.

Siccome lo sterro era del basalto così si dovette cavarlo colle mine; i fori venivano eseguiti con una perforatrice, e la materia esplosiva impiegata era la tonite, che per la sua proprietà di sviluppare poco fumo, non riusciva d'incomodo agli operai. In tal modo si preparò il fondo dando al cassone un appoggio orizzontale interamente sulla roccia, dopo di che si riempirono di calcestruzzo le camere di lavoro e la parte superiore dei cassoni fino a m. 0,30 al di sopra delle basse maree, il resto della muratura venne eseguito protetto dalle ture già descritte. Le due pile raggiunsero una profondità di m. 22,87 l'una e di m. 25,01 l'altra al disotto dell'alta marea e nella parte superiore sono state eseguite in muratura di pietra arenaria con rivestimento di granito.

La pietra arenaria proveniva da Arbroath e il granito da Aberdeen, poichè nelle vicinanze non si è trovato che pietrame di infima qualità il quale fu utilizzato solo per costruzioni secondarie. La malta fu eseguita quasi interamente con cemento Portland, ad eccezione di quella impiegata per alcuni piccoli muretti dove si fece uso di calce fornita da un calcare (Whinstone) della località.

Le quattro pile del pilone sulla sponda South-Queensferry sono tutte fondate all'aria compressa con cassoni; le profondità raggiunte dalle medesime sono di m. 21,60 e 22,25 quelle dal lato (sud) di terra ferma e di m. 25,60 e m. 27,15 le altre dal lato (nord) del golfo. I cassoni per queste pile (fig. 6, tav. VI) sono costituiti nella parte inferiore e fino all'altezza della bassa marea di due pareti concentriche di lamiera divise in tanti intervalli perpendicolari, i quali si riempivano di calcestruzzo con rivestimento esterno di mattoni caricando in tal modo il tagliante irregolarmente a seconda della diversa durezza del terreno incontrato, e così facilitare il suo approfondamento nel medesimo. Il diametro inferiore dei cassoni era di m. 21,336, la superficie di metri quadrati 357,35; cilindrici per un'altezza variabile fra m. 8,50 e m. 13,10 secondo la profondità a cui si dovevano calare; indi in forma di tronco di cono per un'altezza di m. 5,486 (1), ossia fino a circa m. 0,30 sotto la marea bassa e con un diametro di m. 18,288. Questa costruzione costituiva il cassone propriamente detto destinato a rimanere sul posto, mentre superiormente alla parte tronco-conica si elevava un altro cassone cilindrico per una altezza di metri 10,98 rinforzato da sbadacchiature di legname, destinato a proteggere la muratura durante l'esecuzione ed a togliersi dopo che la medesima era ultimata.

La camera di lavoro W nel cassone propriamente detto aveva m. 2,10 di altezza e veniva illuminata elettricamente, il suo cielo era assicurato a 4 travi a graticcio e sbadacchiato mediante travi a parete piena. Il tagliante costituiva il circuito della medesima.

Il cassone era massiccio assai, pesava più di 1000 chilog., per metro superficiale e l'ingegnere Coisseau in una lettura fatta alla Società degli ingegneri civili di Francia osserva che tutto il materiale di cui si è servito è molto pesante e fu studiato e progettato dagli ingegneri inglesi.

I cassoni vennero costruiti interamente sulla spiaggia, indi varati in modo analogo a ciò che si fa per le navi, e rimorchiati fino al luogo dove dovevano collocarsi; quivi caricavansi con calcestruzzo tanto nella corona circolare alla periferia, quanto nell'interno fino a farli discendere e mantenere in posto. Tre tubi S di m. 0,914 di diametro si elevavano dalla camera di lavoro di ciascun cassone e servivano

due pei materiali, il terzo pel passaggio degli operai. Tre tubi minori servivano per scaricare la melma che riempiva la camera di lavoro, e da cui veniva scacciata soffiando aria nella camera stessa. Lo spessore di questa melma variava da 4 a 6 metri, poi seguiva uno strato di argilla con dei rognoni di silice, e talmente dura che appena poteva cavarli con utensili appositamente costruiti; le materie esplosive non avevano effetto; si pensò di ricorrere alla pressione idraulica facendo agire una pala composta di un cilindro di ferro nel quale si moveva un embolo la cui asta terminava appunto nella pala. Con questo utensile si riuscì a vincere la resistenza dell'argilla per la quale occorreva uno sforzo di 60 chilogrammi per centimetro quadrato.

Alla profondità di 12 a 15 metri sotto il livello dell'acqua bastava una pressione di 2 atmosfere, la quale variava da 0,14 a 0,25 atmosfere col variare della marea di m. 5,50.

In questi limiti gli operai potevano lavorare senza incomodi, ma a profondità maggiori richiedendosi pure una maggiore pressione, talvolta fino a 3 atmosfere, tutti gli operai si ammalarono, e alcuni anche gravemente, ad onta che non si lavorasse più di 3 ore di seguito. Pare però che ciò non debba ascrivarsi alla sola pressione, ma specialmente ai gas che si sviluppavano dall'argilla e che spesso s'infiammavano spontaneamente senza detonazione.

Tutte le fondazioni procedettero regolarmente, salvo quella della quarta pila dalla sponda sud, dove nel dicembre 1886 il cassone caricato di circa 2000 tonnellate e non ancora al suo posto definitivo, si abbassava col riflusso e si rialzava col flusso toccando il fondo; una volta si internò talmente nel fondo, che il flusso non riuscì a farlo galleggiare di nuovo e passandogli sopra lo riempì. In causa di questo incidente occorsero 8 mesi di lavoro difficile per rialzarlo e rimetterlo a posto, mentre per la messa in opera degli altri cassoni non occorrevo mai più di 3 mesi.

Il calcestruzzo nel cassone veniva elevato fino a m. 0,30 al di sopra delle più basse acque, indi si costruivano le pile in muratura con pietrame arenario, rivestito di granito.

La copertina superiore ha uno spessore di m. 0,53 ed è tutta di lastroni di granito; riposa sopra un letto di mattoni murati con cemento alto m. 1,98.

La quantità di muratura occorsa per le pile è di m.<sup>3</sup> 92,000 e per tutto il ponte di 115,068 m.<sup>3</sup>, di cui 18,120 m.<sup>3</sup> di granito per rivestimento, 47,687 di pietrame ordinario e 49,265 di calcestruzzo. Nelle fondazioni la muratura viene cementata con una pressione di chilg. 6,7 per cent. quad. e nella copertina di granito con una pressione di chilg. 13 per cent. quad.

\*

*Parte metallica.* — Per quanto grandiose siano le fondazioni di un manufatto così gigantesco, è naturale che l'interesse da esse svegliato si rimpiccolisce assai davanti alla costruzione metallica, le cui dimensioni sono così superiori a quelle cui ordinariamente siamo abituati, da attirare tutta la nostra attenzione. La costruzione metallica si può dividere in due parti, quella dei mensoloni e quella delle travi che sopra di essi appoggiano e dei viadotti di accesso.

I mensoloni sono costituiti da una pila centrale che tiene riunite le due mensole laterali. La pila centrale si compone di quattro immense colonne (fig. 2, tav. VII e fig. 4-5, tav. VI) elevantisi ciascuna sopra una delle pile in muratura che costituiscono il pilone, inclinate alquanto nel senso trasversale, rilegate superiormente nei due sensi longitudinale e trasversale e riunite nel piano inclinato

(1) Nel pilone centrale i cassoni avevano la parte tronco-conica alta m. 7,315.

longitudinale da una croce di St. Andrea. Da queste pile si staccano le mensole, costituite di una tavola inferiore e di una superiore, rilegate nel senso longitudinale da un sistema di diagonali dirette in un verso e da un altro aventi l'inclinazione nel verso contrario.

Come è noto i pezzi cementati da sforzi di compressione sono le colonne delle pile, la trave inferiore e le croci di St. Andrea che le rilegano, la tavola poligonale o inferiore dei mensoloni e le diagonali inclinate in senso divergente dalla direzione verso l'alto delle pile; gli altri pezzi, ossia la trave che rilega le colonne nell'alto, la tavola superiore dei mensoloni e le diagonali che partendo dall'alto discendono allontanandosi dalle pile, sono cementate da sforzi di trazione. Pei primi pezzi si adottò una sezione rotonda (fig. 5, tav. VII), anzi circolare (fig. 6) per quelli dei mensoloni e per le colonne delle pile; e per tutti gli altri pezzi stirati una sezione (fig. 4) rettangolare; quella della tavola superiore delle mensole è più alta delle altre (fig. 12).

L'altezza delle colonne delle pile è di m. 100,58 (fig. 5, tav. VI) da asse ad asse della tavola superiore all'inferiore; il loro diametro di m. 3,658; le croci di St. Andrea hanno lo stesso diametro. La tavola inferiore ha pur un diametro di m. 3,658 all'imposta, e va diminuendo fino a m. 1,524 dove termina; la sezione utile, che è di 5548 cent. quad., all'origine diminuisce pure fino a 774 cm.<sup>2</sup>. La sezione della tavola superiore è di 4258 cm.<sup>2</sup> in vicinanza alla pila e si riduce a cm.<sup>2</sup> 503 all'estremità. L'altezza della sezione da m. 3,658 diminuisce pure fino a m. 1,524, e la larghezza da m. 3,048 a m. 0,914.

Nella parte superiore di ciascuna pila sono fissate 48 grosse chiavarde di acciaio aventi m. 7,32 di lunghezza e un diametro di m. 0,052 allo scopo di assicurarvi la costruzione metallica.

La travata mediana è indipendente e appoggia sulle estremità delle mensole in modo da potersi muovere girando intorno a un asse mediano dell'ultima trave trasversale, quando avvenisse un riscaldamento ineguale delle due pareti della medesima. Per la dilatazione longitudinale si è provveduto lasciando uno spazio libero su ciascuna estremità delle mensole del pilone centrale, sicchè l'allungamento può arrivare fino a mill. 292 dal lato sud e a 254 mill. dal lato nord; ciò si è ottenuto sospendendo la travatura per mezzo della sua tavola superiore e mantenendo una distanza di mill. 305 fra la sua tavola inferiore e quella della mensola.

Per la dilatazione si ammise come base una variazione di temperatura di 39°, e l'appoggio fu fatto in modo che in ogni pila metallica una delle colonne è relativamente fissa, ossia può muoversi semplicemente intorno al suo asse verticale; le altre tre invece, oltre a questo movimento, possono dilatarsi anche longitudinalmente e trasversalmente fino a m. 0,051. Esse riposano dentro intagli rotondi, aventi un diametro corrispondente al proprio, e però nelle tre colonne dove è possibile la dilatazione, gli intagli sono forniti di appendici rettangolari in conseguenza. Gli intagli sono praticati in due lastre di acciaio sovrapposte ad altre due pure di acciaio fissate nella muratura ed aventi m. 11,278 di lunghezza e m. 5,385 di larghezza, ed uno spessore complessivo di m. 0,10. La fig. 3, tav. VII, dà un'idea della disposizione adottata pel movimento dei pezzi che appoggiano: nel pilone centrale e in quello del Queensferry la pila fissa è designata da N. O., nel pilone Fife è quella S. O.

Le due mensole estreme appoggiano coi loro becchi sopra le pile A e B (fig. 2, tav. VII) dei viadotti di accesso mediante rulli di dilatazione che permettono un movimento

di 127 mill.; dei respingenti o arresti di acciaio fuso impediscono ogni spostamento trasversale. Queste mensole nel progetto primitivo appoggiavano liberamente, il che senza dubbio era poco corretto, inquantochè la corrispondente mensola dal lato della gran luce veniva caricata dalla trave centrale che appoggia appunto per un'estremità sul suo becco, e si avrebbero avuti degli squilibri al passaggio del carico dinamico; nell'esecuzione però queste mensole sono state sopraccaricate da un contrappeso di 2000 tonnellate, applicato in un cassone speciale di lamiera all'estremità delle medesime, e ciò allo scopo di controbilanciare il carico mobile.

La travata che nelle due luci mediane viene sostenuta dalle mensole, ha una lunghezza di m. 106,678 e un'altezza di m. 12,192 alle estremità e di metri 15,240 nel mezzo. Le tavole hanno una sezione a cassetto e sono riunite da una parete reticolata, costituita di diagonali. Nei nodi sono applicate le travi trasversali alla distanza di m. 6,668 da asse ad asse.

Pel calcolo statico si è supposto un peso mobile di 3,33 tonnellate per metro corrente e per binario, come era stato prescritto dal Ministero di Commercio; il peso proprio varia da tonnellate 6,7 a 43,3 per metro lineare, ed è di tonnellate 42660 circa senza i viadotti, e di 46180 tutto compreso.

Nel calcolo si dovette tener conto anche di questa irregolarità nella distribuzione del peso proprio, ciò che d'ordinario non si fa per altri ponti. Siccome poi il peso totale variabile, ossia il sovraccarico, veniva ad essere di 10800 tonnellate in cifra rotonda, e la pressione possibile del vento nel complesso di tonn. 8300; mentre il peso proprio era di 50000 tonnellate, si scorge che qui abbiamo un caso contrario a quello che avviene di solito nei ponti in ferro, dove il sovraccarico prevale sempre.

La pressione del vento è considerevole, e per la posizione speciale del ponte e per la superficie immensa che esso offre; durante i varii anni in cui durò la costruzione si fecero delle osservazioni continue con diversi anemometri e le pressioni osservate non oltrepassarono mai la metà di quella adottata nei calcoli, che è di 273,5 chilg. per metro quadrato.

La costruzione metallica è interamente in acciaio Siemens-Martin, e non si poteva fare diversamente, stante le dimensioni così gigantesche di questo manufatto; il Ministero prescrisse un coefficiente di sicurezza di 0,75, ossia stabili che il materiale non dovesse venire cementato oltre il quarto della resistenza alla rottura. Per determinare questo limite si procedè come segue.

La resistenza alla rottura dei pezzi compressi variava da 5350 a 5830 chilogr. per cm. quad., e il restringimento subito da un pezzo di mm. 203 nel momento precedente la rottura era del 17 per cento. Pei pezzi cementati da trazione, la resistenza alla rottura variò da chilogr. 4725 a 5200 chilogr. per cm. quad., e l'allungamento fu del 20 per cento. L'acciaio per le viti aveva una resistenza alla trazione di 4250 chilogr. per cm. quad., e una resistenza al cesoiamento variabile fra 3460 e 3780 chilogr. e una dilatazione del 30 per cento. Pel calcolo del ponte si tennero presenti i principii di Wöhler e si ammise come resistenza alla rottura a carico morto 4700 chilogr. per cm. quad.; e a carico dinamico 3600 chilogr. per quei pezzi dove gli sforzi si mantengono sempre della stessa natura o non variano che rarissime volte per colpi di vento; per quelli dove gli sforzi alternano più sovente di natura si ammise 3100 chil.; per quei pezzi poi dove gli sforzi di pressione si alternano continuamente con quelli di tensione si ammise una resistenza di 1700 a 2370 chilogr. per cm. quad.

Stabilite così le basi, il calcolo venne condotto in modo che gli sforzi effettivi agenti nei singoli pezzi non oltrepassassero il terzo dei valori suddetti; e in base a ripetute esperienze si dedusse la formola empirica seguente per i pezzi compressi:

$$S' = (0,44 - 0,002 n) (S + 2835) \text{ chilogr.}$$

per le sezioni circolari, e

$$S' = (0,40 - 0,004 n) (S + 2835) \text{ chilogr.}$$

per quelle dei tralicci.

$S'$  indica la resistenza all'inflessione;

$n$  il rapporto della lunghezza alla dimensione trasversale minima e

$S$  la resistenza alla trazione messa come base, aumentata nel rapporto di  $\frac{5350}{4725}$ .

Di questi valori si ammisero i  $\frac{4}{10}$  come sforzo limite; però in realtà non si arrivò fino ai medesimi, poichè quelli veramente ammessi sono i seguenti:

Per le due tavole . . . . .	chil. 1180	per cm. q.
Per le colonne angolari e le diagonali . . . . .	» 1100	»
Per la tavola inferiore della trave mediana . . . . .	» 975	»
Per la tavola superiore della medesima . . . . .	» 944	»
Per i controventi nella tavola inferiore . . . . .	» 630	»
Per tutti gli altri controventi . . . . .	» 600	»

Siccome il ferro e l'acciaio si arrugginiscono facilmente nelle vicinanze della superficie del mare, così tutti i pezzi aventi una sezione tubulare, sono muniti di buchi per potere penetrare nell'interno e rinnovare la verniciatura quando occorre. Queste aperture servirono anche per la chiodatura dei pezzi.

\*

*Posizione dei binari.* — Il binario (fig. 8, tav. VII) è appoggiato sopra longarine rinchiusi in travi conformate a guisa di cassoni e riempite nella parte inferiore di calcestruzzo; manca la massicciata. Sui viadotti di accesso il binario si trova nella parte superiore della travatura, mentre nell'interno delle mensole e delle pile relative vien sopportato da travi appoggianti a mezzo di palate sulla tavola sottostante tubulare o sopra travi trasversali come si scorge dalle fig. 5, tav. VI e fig. 9, tav. VII; quest'ultima rappresenta una sezione trasversale passante pel primo nodo della tavola inferiore di un mensolone; nelle travature mediane che appoggiano sulle mensole il binario si trova situato sulla tavola inferiore disposto sopra longarine e cassoni come si è detto. La dilatazione delle rotaie è considerevole, a cagione della enorme lunghezza; vi si provvede nei punti di riunione della travatura mediana colle mensole, sostituendo alla guida tipo Brunel, che è quella adottata, un'altra a sezione piena, la cui forma esterna è la medesima del tipo Brunel; queste rotaie sono tagliate all'esterno a sghembo con un'inclinazione di 1 a 63; un'altra rotaia presso a poco come quelle che si usano per gli aghi degli scambi, si applica dal lato interno e può muoversi nel senso della lunghezza, mantenendosi però sempre a contatto colla precedente; in tal modo la dilatazione può variare fino a raggiungere il massimo di mm. 610.

\*

*Montatura della parte metallica.* — Per un'opera così grandiosa, dove tutto è gigantesco, la montatura della parte metallica doveva offrire difficoltà non ancora incontrate in lavori analoghi; tuttavia i mezzi adoperati furono scelti così bene adattati allo scopo, che tutta la montatura potè eseguirsi non solo con una facilità relativa, ma contrariamente a quanto ha luogo negli altri ponti, i pezzi

che si montavano non ebbero mai a subire sforzi maggiori di quelli che li cimentano a lavoro ultimato, e si evitò quasi interamente l'uso di armature speciali.

La parte metallica fu tutta approntata sulla località; gli appaltatori avevano creato sulla sponda sud un cantiere di un'estensione di 20 ettari circa: un binario speciale lo riuniva alla linea Ratho-South Queensferry, cosicchè tutto il materiale poteva arrivare facilmente sul luogo del lavoro. Quivi si preparò tutto l'acciaio, dandogli quelle forme che richiedeva; quivi si bucarono tutti i fori senza ricorrere ad alcun punzone, e si tracciarono e aggiustarono i singoli pezzi. I ferri ad angolo, quelli piatti e le lamiere vennero tagliate colla sega, non già cesoiate. Le lamiere per i tubi aventi m. 4,867 di lunghezza, vennero incurvate a caldo, la curvatura a freddo, pur sperimentata, avendo dato cattivi risultati. La fig. 6, tav. VII, indica con due proiezioni la disposizione in cantiere per la costruzione dei pezzi componenti le colonne e tavole inferiori dei mensoloni.

Le chiodature venivano eseguite mediante una macchina idraulica, e i chiodi riscaldati in appositi focolari a riverbero alimentati con residui di olio. Gli utensili e macchine adoperate venivano quasi tutte azionate dall'acqua compressa.

Il cantiere era rischiarato alla luce elettrica mediante 80 lampade ad arco di 3000 candele e 500 lampade a incandescenza. Gli operai occupati variavano da 3000 a 4000, di cui la maggior parte alloggiata nei dintorni in abitazioni apposite; altri venivano trasportati ogni sera a Edimburgo e ripresi il mattino successivo con battello a vapore all'uopo.

La montatura (fig. 10, 11 e 12, tav. VII) cominciò sui tre piloni quasi contemporaneamente nel 1886; dapprima si collocarono su ciascuna delle singole pile costituenti i piloni, lastre d'acciaio sottostanti alle colonne e destinate a distribuire uniformemente sulla muratura l'enorme peso delle medesime e delle altre parti che ne dipendono. Le colonne vennero elevate fino all'altezza di 15 metri mediante gru stabilite sul suolo e i cui bracci potevano raggiungere quell'altezza. Da questo punto si dovette ricorrere ad una piattaforma mobile A, A (fig. 10 e 11, tav. VII), per la quale si pensò di utilizzare le travi che dovevano costituire le tavole superiori di rilegamento delle colonne. A tal uopo in ciascun tubo si tralasciava di collocare a posto provvisoriamente due lamiere nel senso trasversale, e si applicavano invece due grandi travi d'acciaio B, B, le quali servivano di sostegno a quattro altre travi disposte in senso perpendicolare ad esse, ossia longitudinalmente, e costituivano unite la piattaforma destinata alla montatura delle parti superiori. Su questa collocavansi le gru e le altre macchine, e da essa procedevansi all'erezione delle colonne; delle gabbie C (fig. 10 e 12, tav. VII) sospese alla medesima portavano i torchi idraulici con cui si inchiodavano le parti ultimate fino a m. 4,88 di altezza senza spostarsi. Coll'aiuto di torchi collocati nell'interno delle colonne si innalzava, mano mano che il lavoro progrediva, la piattaforma dell'altezza di una lamiera. Arrivata la piattaforma al sommo delle colonne, veniva inchiodata alla medesima, e con ciò la pila era ultimata (fig. 13, tav. VII). I pezzi inferiori e le croci di St. Andrea venivano collocati a posto mediante gru idrauliche, situate sulla trave dei binari e sulla parte superiore e pesanti circa 50 tonnellate.

Per le mensole il lavoro suddividevasi in due parti distinte, la montatura delle tavole inferiori e delle diagonali montanti fino al punto d'incrocio, e quella delle tavole superiori colla rimanente parte delle diagonali.

Le tavole inferiori aventi sezioni circolari, si incomin-

ciarono contemporaneamente tanto le due tavole di una mensola, quanto quelle dell'altra e simultaneamente colla montatura della pila. Per una lunghezza di m. 4,90 si costruirono le tavole in aggetto; dal lato di terra però si diede loro un appoggio col mezzo di puntelli (fig. 11 e 12), e dal lato del mare venivano mantenute mediante cavi metallici attaccati alle colonne centrali (fig. 12). Al di là dei m. 4,90 si circondava la tavola di una gabbia G (fig. 11 e 12) rettangolare mobile che avanzava mano mano che il tubo andava allungandosi coll'aiuto di un torchio idraulico; su di essa trovavansi una gru idraulica e tutti gli accessori pel lavoro. Un binario collocato sul tubo permetteva un facile trasporto dei materiali occorrenti; questi venivano pure condotti a luogo per le parti estreme mediante battelli e sollevati dalla gru che si trovava nella gabbia.

Per le diagonali, nella parte inferiore si fece uso di una piattaforma analoga a quella descritta per la montatura delle pile; essa è indicata dalle lettere DD nella fig. 12, e veniva sostenuta ad un'estremità da travi K, le quali più tardi servivano per le travature trasversali sopportanti i binari, ed all'altra estremità appoggiava contro le colonne delle pile; dei torchi idraulici permettevano di sollevare la piattaforma mano mano che si compieva il lavoro. Dei piccoli bilancini *i* sospesi alle diagonali servivano per la chiodatura definitiva delle medesime.

Per le tavole superiori si procedè in modo quasi analogo a quanto già venne esposto; si cominciò dal costruirne una porzione in aggetto a partire dalla pila (fig. 12), ossia dal suo punto d'incastro colle colonne e coll'aiuto delle gru, collocate sulla piattaforma superiore delle medesime; indi si installò sulla porzione montata un carrello A scorrevole portante due gru (fig. 7 e 8, tav. VI), una a vapore e l'altra idraulica, con cui si compivano tutte le operazioni di montatura per l'avanzamento del lavoro. Una piattaforma (*a, a*) avente metri 13,70 di larghezza e m. 23,20 di lunghezza, era sottoposta al carrello e serviva agli operai ed anche per ricevere quei materiali, ritagli e simili che avessero potuto cadere. Nel punto d'incrocio delle diagonali una trave K verticale, composta di pezzi destinati tutti ai longaroni del binario, serviva di appoggio alle medesime per impedire di inflettere; questo ritto (fig. 12), veniva prolungato provvisoriamente fino sotto la tavola superiore allo scopo di servirle di appoggio alla medesima fino a che non fosse arrivata ad un nodo, dove incontrandosi colle diagonali trovava il sostegno definitivo. Allora solo procedevansi alla chiodatura.

I nodi o congiunzioni dei vari pezzi concorrenti offrirono delle difficoltà serie là dove si trattava di unire pezzi con sezione circolare; tanto che questa veniva modificata in vicinanza al punto di congiunzione, trasformandola in sezione a cassetta rettangolare o quadrata. Per facilitare le soluzioni opportune si costruivano spesso dei modelli dai quali solamente si poteva dedurre il vero modo di eseguire la congiunzione. La difficoltà maggiore però si è incontrata al piede dei ritti d'angolo delle pile dove concorrono nientemeno che 10 pezzi.

Cionullameno si riuscì a vincere ogni ostacolo, senza andare incontro a gravi inconvenienti.

\*

*Montatura della travata centrale.* — Per la trave centrale si era pensato, come noi annunciammo nel nostro articolo del 1883 (pag. 93), di rimorchiarla per mare in corrispondenza delle estremità delle mensole e di elevarla quivi verticalmente; ma dopo maturo esame, vista la difficoltà di trovar dei punti di appoggio pel sollevamento di

una travata avente m. 106,678 di lunghezza, si preferì di costruirla in modo affatto analogo a ciò che si fece per le mensole; essa fu quindi montata in aggetto, e le sue estremità furono fissate superiormente colle tavole superiori delle mensole mediante lastre di acciaio, capaci di sopportare interamente la metà del peso della travata. Inferiormente si frappose ai due ritti un blocco di acciaio, in modo da obbligare la parte centrale della travatura a rilevarsi alquanto. Le due parti si riunirono cominciando dalle tavole inferiori, e nel momento più caldo della giornata, cosicchè la trave riuscì ad essere alquanto curvata verso l'alto. Col diminuire della temperatura si contrassero le mensole, lasciando liberi i blocchi di acciaio che furono tolti, e così la trave potè appoggiarsi liberamente sui suoi sostegni definitivi; per la stessa causa anche le tavole superiori si trovarono nella posizione che avrebbero dovuto occupare definitivamente, cosicchè si poterono allontanare i tiranti che congiungevano le mensole alla trave, e questa si trovò a posto.

\*

*Prove.* — Il ponte doveva aprirsi al pubblico ai primi del marzo scorso, per cui le prove furono eseguite il 21 gennaio ultimo. Due convogli percorsero il ponte parallelamente e ciascuno sul proprio binario; constavano ciascuno di 50 carri carichi, del peso singolo di tonn. 13,5 con una locomotiva in testa e un'altra alla coda del peso di 72 tonn. ognuna; il peso totale di ciascun convoglio, compreso il carro di scorta, veniva così ad essere di 950 tonn.; la sua lunghezza era di 300 metri quando tutti i respingenti si toccavano, e di 312 metri in caso diverso.

Il movimento dei due treni era lento; partirono dalla estremità sud e si fermarono arrivati a circa tre quarti della campata centrale, ossia nella posizione più sfavorevole per la mensola dal lato nord di Queensferry; l'estremità nord della mensola si inflettè di m. 0,1275 e quella della mensola sud di Inch-Garvie di m. 0,0405; contemporaneamente l'estremo sud di questa si elevava di tutta l'aria o vuoto lasciato nella congiunzione, ossia di m. 0,045; la mensola di Queensferry rilevavasi di m. 0,0285.

Fatte le osservazioni suddette, i convogli continuarono nella loro corsa e si fermarono sull'altra campata in una posizione analoga alla precedente, in modo da caricare il più sfavorevolmente possibile la mensola nord di Inch-Garvie. In tale posizione la flessione della mensola nord di Inch-Garvie fu all'estremità di m. 0,186 e quella della mensola sud di Fife di m. 0,0637; contemporaneamente l'estremità della mensola sud di Inch-Garvie rialzavasi di m. 0,089.

Le colonne del pilone di Queensferry nella prima posizione si inclinarono di m. 0,028 verso il nord, e quelli del pilone di Inch-Garvie nella seconda posizione si inclinarono di m. 0,031 verso il nord, mentre quelli del pilone di Fife assumevano un'inclinazione di m. 0,0125 verso il sud.

\*

*Considerazioni generali.* — Nell'insieme tutta la costruzione si comportò in modo soddisfacentissimo; e non vi si rimarcarono vibrazioni maggiori di quelle che avvengono in una costruzione muraria.

Non è a credersi che un'opera così grandiosa sia rimasta senza critiche; noi non vogliamo però accennare a tutti i difetti più o meno reali che si vollero attribuirle prima e durante la costruzione, ci basterà di riassumere qui in poche parole le critiche che anche ad opera finita possono avere un certo peso. Si è detto che il manufatto non è punto estetico, e purtroppo l'aspetto suo, male armonizza colle

linee pittoresche che presenta la natura in quella località descritta con tinte magistrali da Walter Scott nel suo romanzo « The Antiquary », ma qual è il ponte in ferro cui non si possa fare un rimprovero analogo? Se escludiamo quello ad arco di Coblenz, e l'altro sospeso di Pest, non vi è forse ponte in ferro che sia esteticamente bello nel senso che siamo abituati ad attribuire a questi manufatti con cui si scavalcano i fiumi e le valli; ma se invece riguardiamo la costruzione nel suo vero carattere, certo che moltissimi ponti in ferro sono belli, e colpiscono vuoi per l'arditezza loro, vuoi per la snellezza delle loro forme, e la correttezza delle linee, vuoi per l'armonia delle parti col tutto. Certo questa armonia nel ponte sul Forth difetta, e perciò l'aspetto non è dei più aggradevoli, ma cionondimeno la grandiosità delle sue dimensioni, concorda colla vastità del golfo e risveglia nello spettatore il senso dell'ammirazione.

L'avere adottato una sezione circolare per i pezzi sottoposti a pressione fu pure ritenuto come un errore, e in verità, questa circostanza cagionò moltissime difficoltà nelle congiunzioni dei pezzi concorrenti; vi si avrebbe potuto rimediare anche diminuendo la sezione dei singoli pezzi ed aumentando il numero dei medesimi, ma con ciò la quantità di materiale, e quindi la spesa, sarebbe stata molto maggiore; più difficile la costruzione dei singoli pezzi, e non si avrebbe avuto quell'effetto che ora presentano le forme geometriche del manufatto, che alcuni criticano, forse perchè escono dall'ordinario, ma che a noi sembrano contribuire a rendere più chiara e razionale la distribuzione degli sforzi e la correttezza statica delle forme scelte.

La disposizione dei controventi concentrati nelle colonne dei piloni e fra i pezzi compressi, e orizzontalmente nella tavola inferiore, non sembra sufficiente; scopo degli ingegneri costruttori fu quello di portare tutta la pressione sulle pile, ma ciò non si ottiene solamente col dare ai controventi posizioni speciali, in quanto che l'azione del vento si esercita su tutta la costruzione e il centro d'applicazione della medesima non si può riportare dove si vuole; per cui è probabile che in seguito occorrerà completare il manufatto coll'aggiunta di altri controventi; l'esperienza lo dimostrerà.

Un altro difetto gravissimo è la vicinanza dell'acciaio alla superficie del mare, la cui azione produce facilmente e con gran rapidità la ruggine, perciò il manufatto dovrà essere sottoposto ad una sorveglianza rigorosa e continua per evitare che la ruggine lo rovini dalla base.

\*

I lavori furono incominciati nell'aprile del 1883 e terminati nel febbraio 1890.

La quantità di acciaio impiegato è di 53838 tonnellate, di cui 4820 tonn. per le pile esterne e tonn. 7040 per quella centrale; le mensole esterne pesano ciascuna tonnellate 5440; quelle intermedie tonn. 5380 ciascuna, e 820 tonn. ognuna delle due travi centrali appoggiate su di esse. Le travi dei due viadotti di accesso pesano complessivamente tonn. 3118, per cui si ha un totale di tonnellate 53838. Se consideriamo la sola parte centrale, che ha una lunghezza di m. 1630,50, troviamo che per superarla con sole quattro luci occorsero tonn. 28,15 per ogni metro lineare.

Nelle mensole (pila centrale) il peso proprio viene ripartito come segue: nel primo intervallo tonn. 2160; nel secondo tonn. 1330; tonn. 860 nel terzo; 510 nel quarto; 310 nel quinto e 210 nel sesto.

La lunghezza del ponte è di m. 2468,37, ma contando

anche gli accessi sale a m. 2720. I lavori furono appaltati a misura per una somma di 40,000,000, e ad opera finita vengono a costare circa 62,500,000 lire (1), non comprese L. 225,000 per gli studi preliminari; cosicchè il costo del ponte per metro corrente sarebbe di lire 22977,94. In questo prezzo però le macchine di servizio, le installazioni e le spese generali figurano per 20 milioni di lire, ossia per circa il terzo della spesa totale.

Il prezzo dell'acciaio per chilogramma risulta di circa una lira, il che è enorme se si volesse considerare il manufatto dal punto di vista economico. Ma un'opera di questo genere, unica nel mondo, deve riguardarsi più dal punto di vista tecnico e professionale, poichè una gran parte della spesa, come abbiamo visto, si dovette addire alle installazioni e macchine necessarie all'esecuzione dell'opera; ora questa è riuscita splendidamente, sia come applicazione del principio delle mensole e travature appoggiate sopra di esse per superare le grandi portate, sia per la montatura della parte metallica, problema difficile e così ben risoluto.

Se vogliamo paragonare il ponte con altri per rispetto alla lunghezza troviamo che viene superato da due solamente, quello di Vittoria in Montreal e l'altro sul Tay recentemente costruito e poco distante da esso, la cui lunghezza è di m. 3157; ma se lo consideriamo nella sua luce, non viene superato da alcuno, nemmeno da quello di Brooklyn, che pure è sospeso (non ha elementi rigidi). A titolo di curiosità citiamo qui appresso i ponti aventi le massime portate del mondo:

Ponte sul Forth, di cui abbiamo data la descrizione, portata . . . . .		M. 521,21
Id.	a mensola equilibrata, di Sukkew. . . . .	» 249,94
Id.	id. del Niagara . . . . .	» 143,26
Id.	ad arco di Luigi I sul Duero . . . . .	» 172,50
Id.	id. di Garabit . . . . .	» 164,60
Id.	id. Maria Pia sul Duero . . . . .	» 160,00
Id.	id. di Poughkepssee . . . . .	» 157,00
Id.	id. di San Luigi . . . . .	» 156,00
Id.	id. di Haarlewer . . . . .	» 155,45
Id.	id. di Paderno sull'Adda . . . . .	» 150,00
Id.	id. di Kulembourg . . . . .	» 147,70
Id.	a tubulatura, di Britannia . . . . .	» 143,87
Id.	Vittoria di Montreal . . . . .	» 106,00
Id.	sul Tay . . . . .	» 75,00
Id.	sospeso, di Brooklyn . . . . .	» 487,70
Id.	id. del Niagara . . . . .	» 250,25
Id.	id. di Friburgo (Svizzera) . . . . .	» 246,00
Id.	id. di Monongahla . . . . .	» 244,00
Id.	id. di Clifton . . . . .	» 214,00
Id.	id. di Mènoc . . . . .	» 176,78

Da ciò si vede quanto fu audace il progetto di un ponte con dimensioni così gigantesche, e dobbiamo certamente ammirare non solo il coraggio e la perseveranza degli ingegneri che l'idearono e ne diressero la costruzione, ma delle Società ferroviarie che coi proprii mezzi osarono intraprendere e guidare a buon fine un monumento di questa natura, la cui spesa è forse di molto superiore ai vantaggi economici che ne derivano.

Teramo, li 20 aprile 1890.

G. CRUGNOLA.

(1) Da una notizia pervenutaci in questi giorni la spesa totale sarebbe in cifra rotonda a 3,000,000 di sterline, ossia L. 75,000,000.

COSTRUZIONI METALLICHE

INCAVALLATURE INGLESII CON CATENA ORIZZONTALE E PUNTO INCLINATO DI 0.50

Procedimento di calcolo e formule generali per i differenti tipi che occorrono nella pratica

Studio dell'ing. C. CANDELLERO

III.

Incavallatura a due saette.

Assumendo per questo caso notazioni simili a quelle dei casi precedenti, avremo:

$$\left. \begin{aligned} \text{Reazione degli appoggi: } R &= \frac{\sqrt{5}}{2} pc \\ \text{Relazioni statiche: } T_2 &= \frac{\sqrt{5}}{2} (T_1 - T_4) \\ T_3 &= \frac{1}{2} (T_1 - T_4) \\ T_6 &= -\sqrt{2} T_5 \end{aligned} \right\} (1)$$

LAVORO DI DEFORMAZIONE.

$$\sum M^2 + \frac{I}{\Omega} \sum P^2 + \frac{I}{\frac{\sqrt{5}}{12} c} \sum \frac{l}{\omega} T^2 \dots (2)$$

nella quale espressione valgono rispettivamente:

$$\sum M^2 = \frac{1}{3} (M_0^2 + 4M_1^2 + 2M_2^2 + 4M_3^2 + 2M_4^2 + 4M_5^2 + M_6^2) (3)$$

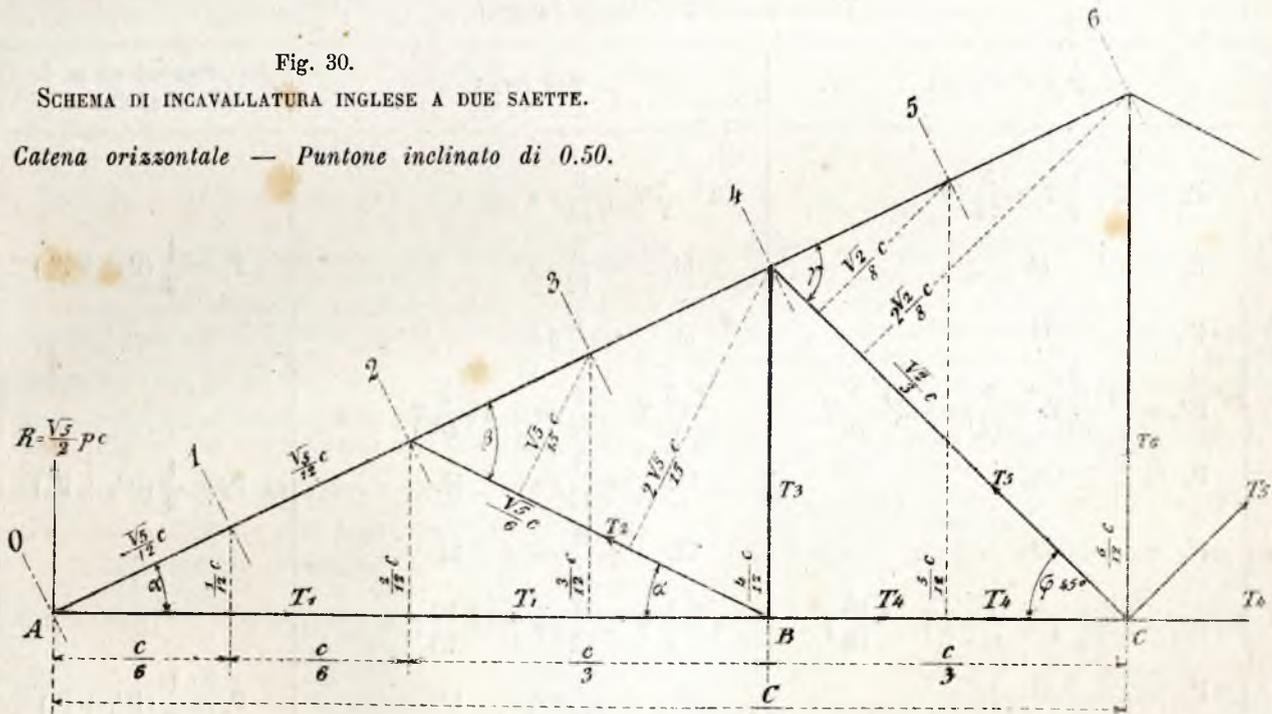
$$\sum P^2 = 2 (P_1^2 + P_3^2 + P_5^2) \dots (4)$$

$$\sum \frac{l}{\omega} T^2 = \frac{l_1}{\omega_1} T_1^2 + \frac{l_2}{\omega_2} T_2^2 + \frac{l_3}{\omega_3} T_3^2 + \frac{l_4}{\omega_4} T_4^2 + \frac{l_5}{\omega_5} T_5^2 + \frac{l_6}{\omega_6} T_6^2 (5)$$

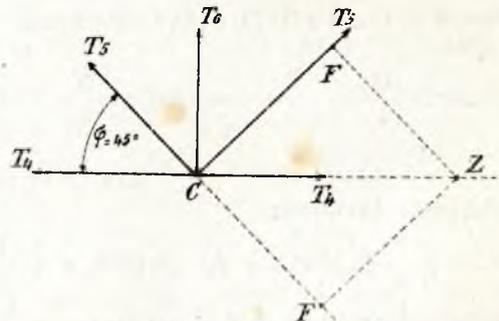
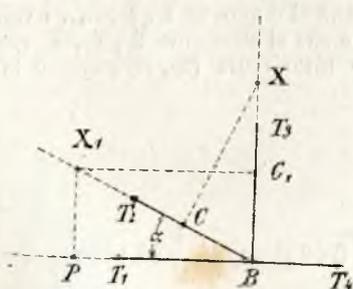
Fig. 30.

SCHEMA DI INCAVALLATURA INGLESE A DUE SAETTE.

Catena orizzontale — Punto inclinato di 0.50.



Composizione delle forze concorrenti nei nodi B e C.



$$T_2 = \frac{1}{2} \sqrt{5} (T_1 - T_4)$$

$$T_3 = \frac{1}{2} (T_1 - T_4)$$

$$T_6 = -\sqrt{2} T_5$$



TABELLA DEI MOMENTI.

Sezioni	Pesi concentrati	Pesi diffusi
0	$M_0 = 0.00$	0.00
1	$M_1 = \frac{1}{12} c T_1 - \frac{10}{144} \sqrt{5} p c^2$	$\frac{1}{12} c T_1 - \frac{11}{144} \sqrt{5} p c^2$
2	$M_2 = \frac{2}{12} c T_1 - \frac{20}{144} \sqrt{5} p c^2$	$\frac{2}{12} c T_1 - \frac{20}{144} \sqrt{5} p c^2$
3	$M_3 = \frac{1}{12} c T_1 - \frac{26}{144} \sqrt{5} p c^2 + \frac{2}{12} c T_4$	$\frac{1}{12} c T_1 - \frac{27}{144} \sqrt{5} p c^2 + \frac{2}{12} c T_4$
4	$M_4 = 0.00 - \frac{32}{144} \sqrt{5} p c^2 + \frac{4}{12} c T_4$	$0.00 - \frac{32}{144} \sqrt{5} p c^2 + \frac{4}{12} c T_4$
5	$M_5 = \frac{5}{12} c T_4 - \frac{34}{144} \sqrt{5} p c^2 + \frac{1}{8} \sqrt{2} c T_5$	$\frac{5}{12} c T_4 - \frac{35}{144} \sqrt{5} p c^2 + \frac{1}{8} \sqrt{2} c T_5$
6	$M_6 = \frac{6}{12} c T_4 - \frac{36}{144} \sqrt{5} p c^2 + \frac{2}{8} \sqrt{2} c T_5$	$\frac{6}{12} c T_4 - \frac{36}{144} \sqrt{5} p c^2 + \frac{2}{8} \sqrt{2} c T_5$

TABELLA DELLE PRESSIONI NORMALI.

Sezioni	Pesi concentrati	Pesi diffusi	Pressioni medie comuni ai due casi
0	$P_0 = 2 \sqrt{\frac{5}{5}} T_1 + \frac{5}{12} p c$	$2 \sqrt{\frac{5}{5}} T_1 + \frac{6}{12} p c$	
1	$P_1 = \text{id.}$	$\text{id.} + \frac{5}{12} p c$	$P_1 = \frac{1}{2} (P_0 + P'_1)$
2	$P'_2 = \text{id.}$	$\text{id.} + \frac{4}{12} p c$	
	$P''_2 = \frac{\sqrt{5}}{10} T_1 + \frac{3}{12} p c + 3 \frac{\sqrt{5}}{10} T_4$	$\frac{\sqrt{5}}{10} T_1 + \frac{4}{12} p c + 3 \frac{\sqrt{5}}{10} T_4$	
3	$P_3 = \text{id.}$	$\text{id.} + \frac{3}{12} p c + \text{id.}$	$P_3 = \frac{1}{2} (P''_2 + P'_4)$
4	$P'_4 = \text{id.}$	$\text{id.} + \frac{2}{12} p c + \text{id.}$	
	$P''_4 = 2 \sqrt{\frac{5}{5}} T_4 + \frac{1}{12} p c + \frac{\sqrt{10}}{10} T_5$	$2 \sqrt{\frac{5}{5}} T_4 + \frac{2}{12} p c + \frac{\sqrt{10}}{10} T_5$	
5	$P_5 = \text{id.}$	$\text{id.} + \frac{1}{12} p c + \text{id.}$	$P_5 = \frac{1}{2} (P''_4 + P_6)$
6	$P_6 = \text{id.}$	$\text{id.} + 0.00 + \text{id.}$	

Con questi elementi sostituiti nelle (3) e (4), e supponendo che nella (5) si abbia:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_6 = \frac{\Omega}{2} \quad \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \frac{\Omega}{6}$$

e che nella medesima si diano ad  $l_1, l_2, \dots$  i valori risultanti dalla figura, e che si eliminino  $T_2, T_3, T_6$  con le (1), e sostituendo infine tutto nella (2), ricaveremo la seguente espressione del

LAVORO DI DEFORMAZIONE.

Per il caso dei pesi concentrati:

$$\left. \begin{aligned} & T_1^2 \left( 0.0370 \cdot c^2 + \frac{1}{\Omega} 26.5387 \right) + T_4^2 \left( 0.4259 \cdot c^2 + \frac{1}{\Omega} 22.8610 \right) + T_5^2 \left( 0.0833 \cdot c^2 + \frac{1}{\Omega} 26.1120 \right) \\ & + T_1 T_4 \left( 0.0370 \cdot c^2 - \frac{1}{\Omega} 34.7665 \right) + T_4 T_5 \left( 0.3143 \cdot c^2 + \frac{1}{\Omega} 1.1314 \right) - T_1 \left( 0.1932 \cdot c^2 - \frac{1}{\Omega} 1.7143 \right) p c \\ & - T_4 \left( 1.1732 \cdot c^2 - \frac{1}{\Omega} 0.9689 \right) p c - T_5 \left( 0.3806 \cdot c^2 - \frac{1}{\Omega} 0.1054 \right) p c \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

Per il caso dei pesi diffusi:

$$\left. \begin{aligned} & T_1^2 \left( 0.0370 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 26.5387 \right) + T_4^2 \left( 0.4259 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 22.8610 \right) + T_5^2 \left( 0.0833 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 26.1120 \right) \\ & + T_1 T_4 \left( 0.0370 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 34.7665 \right) + T_4 T_5 \left( 0.3143 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 4.1314 \right) - T_1 \left( 0.2001 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 4.7143 \right) pc \\ & - T_4 \left( 1.1974 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.9689 \right) pc - T_5 \left( 0.3880 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.1054 \right) pc \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

dalle quali espressioni si ricavano le equazioni differenziali che serviranno a determinare le tensioni  $T_1, T_4, T_5$  lasciate indeterminate dalla statica:

Per il caso dei pesi concentrati:

$$\left. \begin{aligned} & 2 T_1 \left( 0.0370 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 26.5387 \right) + T_1 \left( 0.0370 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 34.7665 \right) = \left( 0.1932 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 4.7143 \right) pc \\ & 2 T_4 \left( 0.4259 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 22.8610 \right) + T_1 \left( 0.0370 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 34.7665 \right) + \left( 0.3143 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 4.1314 \right) T_5 = \\ & \qquad \qquad \qquad = \left( 1.1732 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.9689 \right) pc \\ & 2 T_5 \left( 0.0833 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 26.1120 \right) + T_4 \left( 0.3143 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 4.1314 \right) = \left( 0.3806 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.1054 \right) pc \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

Per il caso dei pesi diffusi:

$$\left. \begin{aligned} & 2 T_1 \left( 0.0370 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 26.5387 \right) + T_4 \left( 0.0370 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 34.7665 \right) = \left( 0.2001 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 4.7143 \right) pc \\ & 2 T_4 \left( 0.4259 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 22.8610 \right) + T_1 \left( 0.0370 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 34.7665 \right) + T_5 \left( 0.3143 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 4.1314 \right) \\ & \qquad \qquad \qquad = \left( 1.1974 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.9689 \right) pc \\ & 2 T_5 \left( 0.0833 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 26.1120 \right) + T_4 \left( 0.3143 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 4.1314 \right) = \left( 0.3880 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.1054 \right) pc \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

in quali sistemi non differiscono che nei coefficienti numerici dei termini noti.

Si ha così quanto occorre per procedere all'applicazione delle solite equazioni di stabilità, previa la fissazione di un conveniente valore per il rapporto  $\frac{I}{\Omega}$ .

Anche qui, nei casi ordinari della pratica, quando il puntone sia fatto con due ferri d'angolo nel solito modo, la quantità  $\frac{I}{\Omega}$ , piccolissima, può essere supposta nulla. E allora al procedimento rigoroso potrà essere sostituito il seguente

PROCEDIMENTO SPEDITIVO APPROSSIMATO.

Con l'ipotesi  $\frac{I}{\Omega} = 0$  le equazioni (8) e (9) diventano:

$$\left. \begin{aligned} & 2 \times 0.0370 \cdot T_1 + 0.0370 \cdot T_4 - \frac{0.1932}{0.2001} pc = 0 \\ & 2 \times 0.4259 \cdot T_4 + 0.0370 \cdot T_1 + 0.3143 \cdot T_5 - \frac{1.1732}{1.1974} pc = 0 \\ & 2 \times 0.0833 \cdot T_5 + 0.3143 \cdot T_4 - \frac{0.3806}{0.3880} pc = 0 \end{aligned} \right\} (10)$$

nelle quali si avrà a scegliere per il termine noto in  $pc$  il coefficiente numerico superiore se si tratta di pesi concentrati, e quello inferiore se di pesi diffusi.

Però anche qui, nel caso dei pesi concentrati, sarà meglio ricorrere al sistema di equazioni che si ricava dietro la condizione  $M_0 = M_1 = M_2 = \dots = M_6 = 0$ , che è conseguenza dell'ipotesi  $\frac{I}{\Omega} = 0$ , sistema equipollente a quello della (10),

e che è:

$$\left. \begin{aligned} & M_1 = M_2 = \frac{1}{12} c T_1 - \frac{10}{144} \sqrt{5} pc^2 = 0 \\ & M_3 = M_4 = \frac{4}{12} c T_4 - \frac{32}{144} \sqrt{5} pc^2 = 0 \\ & M_5 = M_6 = \frac{6}{12} c T_5 - \frac{36}{144} \sqrt{5} pc^2 + \frac{2}{8} \sqrt{2} c T_5 = 0 \end{aligned} \right\} (11)$$

Con queste adunque e con la equazione (4) nel caso dei pesi concentrati, e con la (10) e con la (1) nel caso dei pesi diffusi, si deducono, espressi unicamente in funzione di  $pc$ , gli elementi raccolti nel seguente prospetto:

Tensioni			Momenti			Pressioni massime		
T	Pesi concentrati	Pesi diffusi	M	Pesi concentrati	Pesi diffusi	P	Pesi concentrati	Pesi diffusi
$T_1$	$+ 1.8634 \times pc$	$+ 1.9440 \times pc$	$M_0$	0.00	— 0.00	$P_0$	$2.0833 \times pc$	$2.2388 \times pc$
$T_2$	$- 0.4167 \times pc$	$- 0.4739 \times pc$	$M_1$	0.00	$- 0.008811 \times pc^2$	$P_1$	id.	$2.1554 \times pc$
$T_3$	$+ 0.1863 \times pc$	$+ 0.2120 \times pc$	$M_2$	0.00	$+ 0.013434 \times pc^2$	$P_2$	id.	$2.0721 \times pc$
$T_4$	$+ 1.4907 \times pc$	$+ 1.5201 \times pc$	$M_3$	0.00	$- 0.003914 \times pc^2$	$P_3$	$1.6667 \times pc$	$1.7044 \times pc$
$T_5$	$- 0.5270 \times pc$	$- 0.5383 \times pc$	$M_4$	0.00	$+ 0.003794 \times pc^2$	$P_4$	id.	$1.6211 \times pc$
$T_6$	$+ 0.7454 \times pc$	$+ 0.7619 \times pc$	$M_5$	0.00	$- 0.005350 \times pc^2$	$P_5$	$1.2500 \times pc$	$1.2726 \times pc$
			$M_6$	0.00	$+ 0.010561 \times pc^2$	$P_6$	id.	$1.1892 \times pc$

Dall'esame di questa tabella, col sussidio dell'equazione di stabilità, apparisce che per il puntone la sezione pericolosa cade in un punto qualunque del tratto 0-2 nel caso dei pesi concentrati, e in 2 nel caso dei pesi diffusi. Quindi, ferme stando le considerazioni e le notazioni poste per il tipo a 4 saette, ricaveremo le seguenti

FORMULE PRATICHE SPEDITIVE.

A. — *Ipotesi dei pesi concentrati.*

$$\left. \begin{aligned} \text{Puntone} \quad \Omega &= \frac{P_m}{R} = 2.0833 \frac{pc}{R} \\ \text{Catena} \quad \omega_1 &= \frac{T_1}{R} = 1.8634 \frac{pc}{R} \\ \text{Saette e tiranti} \quad \omega_5 &= \frac{T_5}{R} = 0.5270 \frac{pc}{R} \\ \text{Tirante medio} \quad \omega_6 &= \frac{T_6}{R} = 0.7454 \frac{pc}{R} \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

equazioni che potranno, nei casi ordinari, essere impiegate con piena fiducia con la sola e solita avvertenza di assegnare ad R nella prima un valore inferiore del 30 0/10 a quello che si vuole realmente provocare.

B. — *Ipotesi dei pesi diffusi.*

$$\left. \begin{aligned} \text{Puntone} \quad \varepsilon^3 - 0.054529(\varepsilon + 0.004880.c) \frac{pc}{R} &= \\ &= 0, \Omega = 38 . \varepsilon^2 \\ \text{Catena} \quad \omega_1 &= \frac{T_1}{R} = 1.9440 \frac{pc}{R} \\ \text{Saette e tiranti} \quad \omega_5 &= \frac{T_5}{R} = 0.5383 \frac{pc}{R} \\ \text{Tirante medio} \quad \omega_6 &= \frac{T_6}{R} = 0.7619 \frac{pc}{R} \end{aligned} \right\} (13)$$

equazioni che, in generale, nei casi ordinari della pratica sono applicabili senza nessuna riserva.

IV.

**Incavallatura ad una saetta.**

Ferme stando le notazioni precedenti e quelle della figura, abbiamo:

Reazione degli appoggi:  $R = \frac{1}{2} \sqrt{5} pc$

Relazione statica in B:  $T_3 = -2 \frac{\sqrt{5}}{5} T_2 \dots (1)$

LAVORO DI DEFORMAZIONE.

$$\Sigma M^2 + \frac{I}{\Omega} \Sigma P^2 + \frac{I}{\frac{4}{8} \sqrt{5} . c} \Sigma \frac{l}{\omega} T^2 \dots (2)$$

Nella quale espressione valgono rispettivamente:

$$\Sigma M^2 = \frac{1}{3} (M_0^2 + 4 M_1^2 + 2 M_2^2 + 4 M_3^2 + M_4^2) \dots (3)$$

$$\Sigma P^2 = 2 (P_1^2 + P_2^2) \dots (4)$$

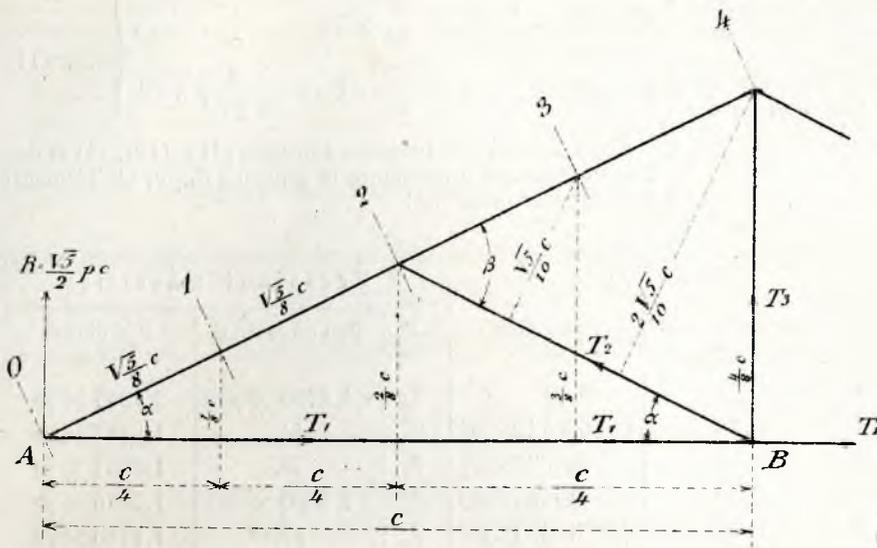
$$\Sigma \frac{l}{\omega} T^2 = \frac{l_1}{\omega_1} T_1^2 + \frac{l_2}{\omega_2} T_2^2 + \frac{l_3}{\omega_3} T_3^2 \dots (5)$$

TABELLA DEI MOMENTI.

Sezioni	Pesi concentrati	Pesi diffusi
0	$M_0 = 0.00$	0.00
1	$M_1 = \frac{1}{8} c T_1 - \frac{6}{64} \sqrt{5} p c^2$	$\frac{1}{8} c T_1 - \frac{7}{64} \sqrt{5} p c^2$
2	$M_2 = \frac{2}{8} c T_1 - \frac{12}{64} \sqrt{5} p c^2$	$\frac{2}{8} c T_1 - \frac{12}{64} \sqrt{5} p c^2$
3	$M_3 = \frac{3}{8} c T_1 - \frac{14}{64} \sqrt{5} p c^2 + \frac{1}{10} \sqrt{5} T_2$	$\frac{3}{8} c T_1 - \frac{15}{64} \sqrt{5} p c^2 + \frac{1}{10} \sqrt{5} c T_2$
4	$M_4 = \frac{4}{8} c T_1 - \frac{16}{64} \sqrt{5} p c^2 + \frac{2}{10} \sqrt{5} c T_2$	$\frac{4}{8} c T_1 - \frac{16}{64} \sqrt{5} p c^2 + \frac{2}{10} \sqrt{5} c T_2$

TABELLA DELLE PRESSIONI NORMALI.

Sezioni	Pesi concentrati	Pesi diffusi	Pressioni medie comuni ai due casi
0	$P_0 = 2 \frac{\sqrt{5}}{5} T_1 + \frac{3}{8} p c$	$2 \frac{\sqrt{5}}{5} T_1 + \frac{4}{8} p c$	$P_1 = \frac{1}{2} (P_0 + P'_1)$
1	$P_1 = \text{id.}$	$\text{id.} + \frac{3}{8} p c$	
2	$P'_2 = \text{id.}$	$\text{id.} + \frac{2}{8} p c$	$P_2 = \frac{1}{2} (P''_2 + P_2)$
	$P''_2 = 2 \frac{\sqrt{5}}{5} T_1 + \frac{1}{8} p c + \frac{3}{5} T_2$	$\text{id.} + \text{id.} + \frac{3}{5} T_2$	
3	$P_3 = \text{id.}$	$\text{id.} + \frac{1}{8} p c + \text{id.}$	$P_3 = \frac{1}{2} (P''_3 + P_3)$
4	$P_4 = \text{id.}$	$\text{id.} + 0.00 + \text{id.}$	



Composizione delle forze concorrenti nel nodo B.

$$ZB (T_3 + 2 T_2 \text{ sen } \alpha) = 0$$

$$T_3 = 2 \frac{\sqrt{5}}{5} T_2$$

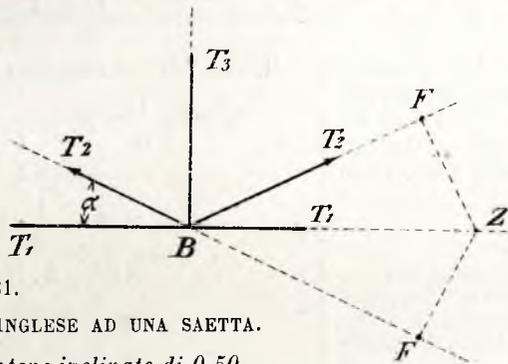


Fig. 31.

SCHEMA DI INCAVALLATURA INGLESE AD UNA SAETTA.

Catena orizzontale — Puntone inclinato di 0.50.

Per il caso dei pesi diffusi :

$$\left. \begin{aligned} & T_1^2 \left( 0.3333 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 10.3554 \right) + T_2^2 \left( 0.1333 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 15.5822 \right) + T_1 T_2 \left( 0.3727 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 2.1466 \right) \\ & - T_1 \left( 0.9317 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 1.7889 \right) pc - T_2 \left( 0.4792 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.3000 \right) pc \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

dalle quali espressioni si ricavano le equazioni differenziali che serviranno a determinare le tensioni  $T_1, T_2$  lasciate indeterminate dalla statica.

Per il caso dei pesi concentrati:

$$\left. \begin{aligned} & 2 \left( 0.3333 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 10.3554 \right) T_1 + \left( 0.3727 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 2.1466 \right) T_2 = \left( 0.8851 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 1.7889 \right) pc \\ & 2 \left( 0.1333 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 15.5822 \right) T_2 + \left( 0.3727 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 2.1466 \right) T_1 = \left( 0.4583 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.3000 \right) pc \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

Per il caso dei pesi diffusi :

$$\left. \begin{aligned} & 2 \left( 0.3333 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 10.3554 \right) T_1 + \left( 0.3727 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 2.1466 \right) T_2 = \left( 0.9317 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 1.7889 \right) pc \\ & 2 \left( 0.1333 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 15.5822 \right) T_2 + \left( 0.3727 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 2.1466 \right) T_1 = \left( 0.4792 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.3000 \right) pc \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

Sistemi che, come al solito, non differiscono che nei coefficienti numerici dei termini noti.

Si ha così quanto occorre per procedere all'applicazione delle equazioni di stabilità, e determinare le dimensioni di resistenza di tutte le membrature del sistema col procedimento rigoroso.

Anche qui, quando il puntone sia tale che il rapporto  $\frac{I}{\Omega}$  riesca trascurabile, al procedimento rigoroso potrà sostituirsi il seguente

PROCEDIMENTO SPEDITIVO APPROSSIMATO.

Con l'ipotesi  $\frac{I}{\Omega} = 0$ , le equazioni (8) e (9) diventano :

$$\left. \begin{aligned} & 2 \times 0.3333 T_1 + 0.3727 \cdot T_2 - 0.8851 pc = 0 \\ & 2 \times 0.1333 T_2 + 0.3727 \cdot T_1 - 0.4583 pc = 0 \end{aligned} \right\} \dots (10)$$

Con questi elementi sostituiti nelle (3) e (4), e supponendo che nella (5) si abbia:

$$\omega_1 = \omega_2 = \frac{\Omega}{2} \quad \omega_3 = \frac{\Omega}{6}$$

e che nella medesima si diano ad  $l_1, l_2, l_3$  i valori risultanti dalla figura, e che si elimini  $T_3$  con la (1), e sostituendo infine tutto nella (2), ricaveremo la seguente espressione del

LAVORO DI DEFORMAZIONE.

Per il caso dei pesi concentrati:

$$\left. \begin{aligned} & T_1^2 \left( 0.3333 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 10.3554 \right) \\ & + T_2^2 \left( 0.1333 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 15.5822 \right) \\ & + T_1 T_2 \left( 0.3727 \cdot c^2 + \frac{I}{\Omega} 2.1466 \right) \\ & - T_1 \left( 0.8851 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 1.7889 \right) pc \\ & - T_2 \left( 0.4583 \cdot c^2 - \frac{I}{\Omega} 0.3000 \right) pc \end{aligned} \right\} (6)$$

nelle quali il termine noto in  $pc$  avrà il coefficiente numerico superiore o inferiore, secondochè si tratta di pesi concentrati o di pesi diffusi.

Anche qui, nel caso dei pesi concentrati, sarà da preferirsi il sistema di equazioni che si ricava dietro la condizione  $M_0 = M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = 0$ , che è conseguenza dell'ipotesi  $\frac{I}{\Omega} = 0$ , e che è:

$$\left. \begin{aligned} M_1 = M_2 &= \frac{1}{8} c T_1 - \frac{6}{64} \sqrt{5} p c^2 \dots \dots \dots \\ M_3 = M_4 &= \frac{4}{8} c T_1 - \frac{16}{64} \sqrt{5} p c^2 + \frac{2}{10} \sqrt{5} c T_2 \end{aligned} \right\} \dots (11)$$

Con i sistemi di equazione adunque (11), (10), (1) si deducono, espressi unicamente in funzione di  $pc$ , gli elementi del seguente prospetto:

Tensioni			Momenti			Pressioni massime		
T	Pesi concentrati	Pesi diffusi	M	Pesi concentrati	Pesi diffusi	P	Pesi concentrati	Pesi diffusi
$T_1$	$+ 1.6771 \times pc$	$+ 1.7964 \times pc$	$M_0$	0.00	0.00	$P_0$	$1.8750 \times pc$	$2.1067 \times pc$
$T_2$	$- 0.6250 \times pc$	$- 0.7136 \times pc$	$M_1$	0.00	$- 0.020120 \times pc^2$	$P_1$	id.	$1.9817 \times pc$
$T_3$	$+ 0.5590 \times pc$	$+ 0.6383 \times pc$	$M_2$	0.00	$+ 0.029637 \times pc^2$	$P_2$	id.	$1.8567 \times pc$
			$M_3$	0.00	$- 0.010295 \times pc^2$	$P_3$	$1.2500 \times pc$	$1.3036 \times pc$
			$M_4$	0.00	$+ 0.019650 \times pc^2$	$P_4$	id.	$1.1786 \times pc$

Dall'esame di questa tabella, col sussidio dell'equazione di stabilità, apparisce che per il puntone la sezione pericolosa cade in un punto qualunque del tratto 0-2 nel caso dei pesi concentrati, e in 2 nel caso dei pesi diffusi. Quindi, ferme le notazioni poste per i casi antecedenti, ricaveremo le seguenti

FORMOLE PRATICHE SPEDITIVE.

A. — *Ipotesi dei pesi concentrati.*

$$\left. \begin{aligned} \text{Puntone} \quad \Omega &= \frac{P_m}{R} = 1.8750 \times \frac{pc}{R} \\ \text{Catena} \quad \omega_1 &= \frac{T_1}{R} = 1.6771 \times \frac{pc}{R} \\ \text{Saette e tir.} \quad \omega_2 &= \frac{T_2}{R} = 0.6250 \times \frac{pc}{R} \\ \text{Tir. medio} \quad \omega_3 &= \frac{T_3}{R} = 0.5590 \times \frac{pc}{R} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (12)$$

equazioni da impiegarsi con piena fiducia, nei casi ordinari, con la sola avvertenza di dare ad R, nella prima, un valore inferiore del 30 0/0 a quello che si vuole realmente provocare.

B. — *Ipotesi dei pesi diffusi.*

$$\left. \begin{aligned} \text{Puntone} \quad \varepsilon^3 - 0.048861 (\varepsilon + 0.012015 \cdot c) \frac{pc}{R} &= 0, \\ &\Omega = 38 \cdot \varepsilon^2 \\ \text{Catena} \quad \omega_1 &= \frac{T_1}{R} = 1.7964 \frac{pc}{R} \dots \dots \dots \\ \text{Saette e tir.} \quad \omega_2 &= \frac{T_2}{R} = 0.7136 \frac{pc}{R} \dots \dots \dots \\ \text{Tir. medio} \quad \omega_3 &= \frac{T_3}{R} = 0.6383 \frac{pc}{R} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (13)$$

equazioni applicabili, senza riserve, nei casi ordinari.

V.

Incavallatura semplice senza saette.

In questo tipo di incavallatura, per determinare l'unica incognita, che è la tensione T della catena, le considerazioni della statica non valgono a togliere l'indeterminazione. Quindi bisogna ricorrere subito al teorema del minimo lavoro.

Il lavoro di deformazione è espresso da:

$$\begin{aligned} \Sigma M^2 + \frac{I}{\Omega} \Sigma P^2 + \frac{I}{\frac{1}{4} \sqrt{5} \cdot c} \Sigma \frac{l}{\omega} T^2, \text{ in cui:} \\ \Sigma M^2 &= \frac{1}{3} (M_0^2 + M_1^2 + M_2^2) \dots \dots \dots \\ \Sigma P^2 &= 2 \cdot P_1^2 \dots \dots \dots \\ \Sigma \frac{l}{\omega} T^2 &= \frac{l}{\omega} T^2 \dots \dots \dots \end{aligned} \left. \right\} (1)$$

TABELLA DEI MOMENTI.

Sezioni	Pesi concentrati	Pesi diffusi
0	$M_0 = 0.00$	0.00
1	$M_1 = \frac{1}{4} c T - \frac{2}{16} \sqrt{5} p c^2$	$\frac{1}{4} c T - \frac{3}{16} \sqrt{5} p c^2$
2	$M_2 = \frac{2}{4} c T - \frac{4}{16} \sqrt{5} p c^2$	$\frac{2}{4} c T - \frac{4}{16} \sqrt{5} p c^2$

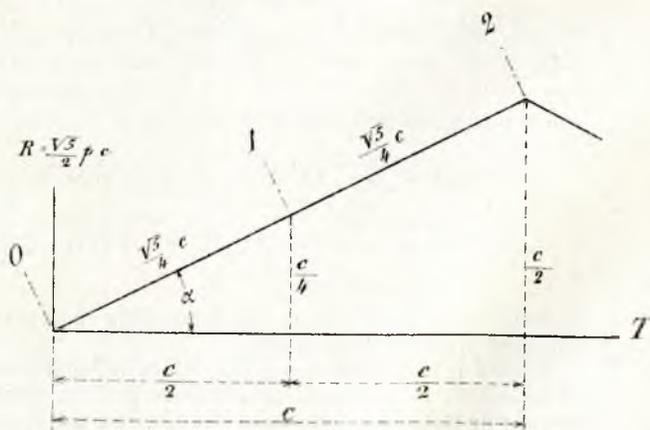


Fig. 32.

SCHEMA DI INCAVALLATURE SEMPLICI SENZA SAETTE.  
Catena orizzontale. — Puntone inclinato di 0,50.

TABELLA DELLE PRESSIONI NORMALI.

Sezioni	Pesi concentrati	Pesi diffusi	Pressioni medie comuni ai due casi
$P_0$	$2\sqrt{\frac{5}{3}}T + \frac{1}{4}pc$	$2\sqrt{\frac{5}{3}}T + \frac{2}{4}pc$	
$P_1$	id.	id. $+\frac{1}{4}pc$	$P_1 = \frac{1}{2}(P_0 + P_2)$
$P_2$	id.	id. $+0.00$	

Con questi elementi, sostituiti nella (1), e ritenuto di fare  $\omega = \frac{\Omega}{2}$ , ricaviamo la seguente espressione per il

LAVORO DI DEFORMAZIONE.

Per il caso dei pesi concentrati:

$$\left. \begin{aligned} T^2 \left( 0.1667 \cdot c^2 + 5.1777 \frac{I}{\Omega} \right) \\ - T \left( 0.3727 \cdot c^2 - 0.8944 \frac{I}{\Omega} \right) pc \end{aligned} \right\}$$

Per il caso dei pesi diffusi:

$$\left. \begin{aligned} T^2 \left( 0.1667 \cdot c^2 + 5.1777 \frac{I}{\Omega} \right) \\ - T \left( 0.4658 \cdot c^2 - 0.8944 \frac{I}{\Omega} \right) pc \end{aligned} \right\} (*)$$

EQUAZIONE DIFFERENZIALE.

Per il caso dei pesi concentrati:

$$\begin{aligned} 2T \left( 0.1667 \cdot c^2 + 5.1777 \frac{I}{\Omega} \right) &= \\ &= \left( 0.3727 \cdot c^2 - 0.8944 \frac{I}{\Omega} \right) pc \end{aligned}$$

Per il caso dei pesi diffusi:

$$\begin{aligned} 2T \left( 0.1667 \cdot c^2 + 5.1777 \frac{I}{\Omega} \right) &= \\ &= \left( 0.4658 \cdot c^2 - 0.8944 \frac{I}{\Omega} \right) pc \end{aligned}$$

Dalle quali si può ricavare il valore dell'incognita T, e procedere quindi, per mezzo degli elementi della tabella, all'applicazione delle equazioni di stabilità.

La semplicità di queste equazioni rende, in questo caso, meno utile il solito

PROCEDIMENTO SPEDITIVO APPROSSIMATO.

Tuttavia sarà bene conoscere anche i risultati di questo, che saranno:

$$T = \begin{cases} 1.1180 \times pc \\ 1.3971 \times pc \end{cases}$$

$$M_0 = \begin{cases} = 0.00 \\ = 0.00 \end{cases} \quad P_0 = \begin{cases} = 1.2500 \cdot pc \\ = 1.7496 \cdot pc \end{cases}$$

$$M_1 = \begin{cases} = 0.00 \\ = -0.0699828 \times pc^2 \end{cases} \quad P_1 = \begin{cases} = 1.2500 \cdot pc \\ = 1.4996 \cdot pc \end{cases}$$

$$M^2 = \begin{cases} = 0.00 \\ = +0.1395431 \times pc^2 \end{cases} \quad P_2 = \begin{cases} = 1.2500 \cdot pc \\ = 1.2496 \cdot pc \end{cases}$$

(\*) A questa formola si arriva del pari se si suppone  $T_2 = 0$  nell'espressione del lavoro trovata, per il caso precedentemente considerato, di un'incavallatura ad una saetta; ben inteso soltanto nel caso del peso uniformemente distribuito, perchè nell'ipotesi dei pesi concentrati non è possibile passare da un tipo di incavallatura all'altro con la sola supposizione della soppressione della saetta.

dove i valori superiori si riferiscono al caso dei pesi concentrati, quelli scritti al disotto al caso dei pesi diffusi.

E di qui, con le solite considerazioni, si ricaveranno finalmente le seguenti

FORMULE PRATICHE SPEDITIVE.

A — *Ipotesi dei pesi concentrati.*

$$\text{Puntone} - \Omega = \frac{P_m}{R} = 1.2500 \frac{pc}{R}$$

$$\text{Catena} - \omega = \frac{T}{R} = 1.1180 \frac{pc}{R}$$

B — *Ipotesi dei pesi diffusi.*

$$\text{Puntone} - \varepsilon^3 - 0.032884(\varepsilon + 0.084059 \cdot c) \frac{pc}{R} = 0, \Omega = 38 \cdot \varepsilon^2$$

$$\text{Catena} - \omega = \frac{T}{R} = 1.3971 \frac{pc}{R}$$

DISPOSIZIONI REGOLAMENTARI

PRESSIONE DI PROVA

DELLE CALDAIE A VAPORE IN ESERCIZIO.

(Circolare diretta dal Ministero d'Agricoltura ai Prefetti e Sotto-Prefetti del Regno).

L'applicazione delle disposizioni, contenute nell'articolo 22 del regolamento approvato con R. decreto 3 aprile ultimo, n. 6793 (1), alle caldaie a vapore contemplate nell'articolo 46, ossia a quelle che erano in esercizio prima della entrata in vigore di esso Regolamento, ha dato luogo al quesito se la regola prescritta per la pressione di prova debba rimanere immutata qualunque sia il paese d'origine delle caldaie e la formola che abbia servito di norma alla loro costruzione.

Il Ministero, preoccupatosi dell'argomento sotto il doppio punto di vista della sicurezza delle persone e della opportunità di adottare per la prova degli apparecchi anzidetti un criterio diverso da quello normale, pensò di sentire in proposito una Commissione tecnica la quale, avendo esaminato il quesito, è venuta nella seguente conclusione:

« Considerando che molte fra le caldaie esistenti prima dell'entrata in vigore del Regolamento 3 aprile sono state costruite secondo regolamenti che richiedono, entro i limiti ordinari di pressione non eccedenti 8 atmosfere, una pressione di prova minore di quella ora prescritta, si dovranno autorizzare i periti, dietro domanda degli utenti, a provare le dette caldaie ad una volta e mezza la pressione di lavoro, più un'atmosfera, il quale sistema, mentre dà sufficiente guarentigia di sicurezza, si fonda su quella fra le formole usate finora, che, nei limiti indicati, dà la pressione minore ».

A complemento però di quanto precede, la Commissione ha osservato che le caldaie esistenti, specialmente le più vecchie, non potrebbero sempre impunemente sopportare la pressione di prova calcolata in relazione alla pressione di lavoro dichiarata a priori dall'utente; e però ha emesso il parere che:

« Qualora nella prova di una caldaia venga accennato ad una deformazione permanente o si manifestino altri segni di debolezza prima che sia raggiunta la pressione di prova, si dovrà arrestare a questo punto il cimento della caldaia, e la pressione massima raggiunta servirà a sua volta come pressione di prova per calcolare, con la regola di una volta e mezza più un'atmosfera, la pressione di lavoro alla quale la caldaia potrà con sicurezza continuare a funzionare ». Ciochè, se per es., una caldaia, che fu dichiarata per 5 atmosfere di lavoro, cominciasse a dare qualche segno di deformazione a 7 atmosfere, si dovrebbe cessare a questo punto la prova idraulica e bollare la caldaia per la pressione di lavoro di  $\frac{7-1}{1.5}$  ossia di 4 atmosfere.

Il Ministero accettando integralmente le su riferite conclusioni, invita i signori Prefetti e Sotto-Prefetti a dare di ciò comunicazione ai Periti incaricati delle visite.

(1) Vedasi *Ingegneria civile*, fasc. preced., pag. 76.

## NECROLOGIA

Hirn (Gustavo Adolfo)

NATO A LOGELBACH IL 21 AGOSTO 1815.

MORTO A COLMAR IL 14 GENNAIO 1890.

La sua carriera industriale e scientifica incominciò nel 1834, come chimico, in una fabbrica di tessuti di cotone, e vi rimase in qualità di ingegnere, ed occupandosi di questioni puramente industriali.

Ma non tardò a rivolgere la sua attenzione agli argomenti scientifici, e porse il raro esempio di uno scienziato che senza avere frequentato scuola alcuna regolarmente e neppure le Università, e senza avere avuto posizione ufficiale nell'insegnamento, senza essersi fatto meriti a spese dei meriti altrui, consacrò la sua vita ed il suo patrimonio a studi scientifici di interesse generale.

Egli era membro corrispondente dell'Accademia delle Scienze di Parigi, e di moltissime Associazioni scientifiche d'Europa.

Nel campo tecnico il suo nome resterà sempre connesso colla determinazione sperimentale dell'equivalente meccanico del calore, e collo studio delle condizioni fisiche del vapore nelle macchine motrici; le sue ricerche sull'utilità dell'impiego della camicia di vapore attorno ai cilindri motori hanno indubbiamente contribuito alla adozione quasi generale che se ne è fatta dai costruttori dopo non poche alternative di favore e di rigetto.

I metodi sperimentali dell'Hirn vanno distinti per originalità; ed il prenderli ad esame può riescire utilissimo dal duplice punto di vista storico e didattico. Inquantochè l'Hirn si era poco a poco dedicato interamente alla termodinamica, che aveva preso a coltivare fin dal suo nascere. Ma le sue prime ricerche sull'equivalente meccanico del calore avevano avuto un primo punto di partenza verso il 1846 mentre gli occorreva di studiare le sostanze meglio adatte a servire da lubrificanti per le parti delle macchine in movimento. Da così umili ricerche e indipendentemente dalle scoperte altrui, che non sempre conosceva, risalì poco a poco alle questioni più difficili e più sublimi, e poco mancò non si smarrisse nel campo in cui dallo studio degli effetti si vuole assurgere all'indole delle cause, ossia dove la scienza sperimentale cede il passo alla filosofia. Meritano pure di essere particolarmente ricordate le importanti esperienze che l'Hirn aveva intrapreso sul rendimento delle macchine viventi.

Egli ha inoltre contribuito potentemente alla invenzione ed alla applicazione delle funi telodinamiche per il trasporto del lavoro a distanza, alle quali il nome dell'Hirn è particolarmente legato, sebbene fossero, per confessione stessa dell'Hirn, più specialmente opera del fratello Ferdinando, che lo ha preceduto da alcuni anni nella tomba, ed il quale eragli stato di valido aiuto in tutte le sue ricerche,

G. S.

## NOTIZIE

**Premio di Lire 5000 del Ministero dei Lavori pubblici alla migliore Memoria sul regime e sulla sistemazione dei fiumi in Italia.** — Il Ministro Segretario di Stato per i Lavori pubblici decreta:

Art. 1. È aperto per tutti gli ingegneri italiani il concorso ad un premio da conferirsi per memorie, originali ed inedite, sul regime e sulla sistemazione dei fiumi in Italia.

Art. 2. Le memorie dovranno essere presentate al Ministero dei Lavori pubblici, prima delle ore 12 meridiane del giorno 31 luglio 1891.

I concorrenti consegneranno il proprio nome in una scheda suggellata, cui farà richiamo un'epigrafe apposta alla memoria. La scheda sarà aperta solo quando il lavoro sia giudicato meritevole di premio.

Art. 3. Sul merito delle memorie giudicherà un'apposita Commissione, da nominarsi con decreto ministeriale. La Commissione darà il suo giudizio non più tardi del 31 dicembre 1891.

Art. 4. La Commissione avrà facoltà di proporre un unico premio di lire *cinquemila* per l'autore della memoria giudicata veramente rispondente al fine del concorso e notevolmente superiore a tutte le altre. Qualora la Commissione giudichi che nessuna delle memorie presentate sia meritevole in modo assoluto di tale premio, essa potrà sceglierne due fra le più pregevoli e proporre per gli autori di esse la ripartizione della somma in due minori premi, sia eguali fra loro, sia di tremila e di duemila lire rispettivamente.

In ogni caso, ed anche qualora nessuno degli scritti sia giudicato meritevole di premio, la Commissione presenterà al Ministro dei Lavori pubblici una relazione motivata del giudizio pronunciato.

Art. 5. Le memorie premiate rimarranno proprietà del Ministero dei Lavori pubblici, e quella giudicata meritevole del premio unico verrà pubblicata a cura e spese del Ministero. Le memorie non premiate dovranno essere ritirate entro 30 giorni dalla pubblicazione del giu-

dizio della Commissione, mediante presentazione della ricevuta rilasciata all'atto della consegna. Trascorso questo termine il Ministero non sarà più responsabile della conservazione di tali memorie.

Roma, addì 24 maggio 1890.

**Avorio artificiale.** — Vi è un brevetto De Ponte per ottenere artificialmente l'avorio con tutti gli elementi costitutivi e tutta l'apparenza di quello che si ricava dai denti dell'elefante, colle stesse proprietà fisiche e chimiche.

Si sa che nella costituzione dell'avorio entrano: il fosfato di calce tribasico, il carbonato di calce, la magnesia, l'allumina, la gelatina e l'albumina.

Per ottenere l'avorio artificiale si tratta la calce caustica  $CaO$  colla quantità d'acqua necessaria per la sua idratazione, ma prima che la calce sia completamente idrata, e quando ha ancora un certo grado di causticità, vi si versa una soluzione acquosa di acido fosforico:  $H^3PO^4$  per formare un miscuglio intimo di fosfato di calce.

Mentre si ottiene il miscuglio, per mezzo di un continuo rimescolamento, aggiungesi gradatamente ed a piccole dosi per volta le sostanze seguenti: carbonato di calce,  $CaO$ ,  $CO^2$ ; magnesia,  $MgO$ ; allumina,  $Al^2O^3$ , e poi un miscuglio di gelatina e di albumina disciolte insieme nell'acqua, o di sostanze chimiche equivalenti, come fibrina, caseina, od anche albumina, caseina o fibrina, vegetali.

Le proporzioni che sembrano migliori per il miscuglio sarebbero:

Calce caustica	$CaO$	— 100 parti
Acqua pura	$H^2O$	— 300 »
Soluz. d'acido fosforico alla densità di 1,05 a 1,07	$H^3PO^4$	— 75 »
Carbonato di calce	$CaO, CO^2$	— 16 »
Magnesia	$MgO$	— 1 a 2 »
Allumina precipitata od idrata	$Al^2O^3$	— 5 »
Gelatina		— 15 »

Si rimescola il tutto per mezzo di un agitatore di molta energia fino a che siasi raggiunto un certo grado di plasticità, dipendentemente dalla durezza che si vuole ottenere. Infine si abbandona l'impasto prima ancora che esso abbia perdute le ultime tracce di umidità. L'azione dell'acido fosforico continuando a farsi sentire, trasforma poco a poco quella pasta in un corpo solido, bianco, che non s'infiamma, ma che è resistente, e simile in tutto all'avorio animale.

La materia così ottenuta si porta entro appositi recipienti in una stufa attraversata da una corrente d'aria e riscaldata solamente a 15 o 20° per non toglierle affatto qualsiasi traccia di umidità. E quando l'umidità ha penetrato in tutta la massa, si fa essiccare completamente in una stufa a 150 o 200 gradi e per mezzo di una corrente d'aria costante. Quest'ultima operazione dura da una a due ore, secondo lo spessore della massa ed il grado di plasticità o di durezza che si desidera ottenere. E per ultimo si passa al torchio idraulico, esercitando una pressione corrispondente alla densità che si desidera.

I prodotti così ottenuti, ed i cui risultati variano assai col tempo impiegatosi nella fabbricazione e colla pressione alla quale furono sottoposti, prima di essere lavorati hanno d'uopo d'essere tenuti a stagionare in ambiente secco per tre o quattro settimane.

Alcune delle sostanze ingredienti possono essere sostituite con altre, e così impiegare barite in sostituzione di parte del carbonato di calce per ottenere un aumento di peso specifico; adoperare ossido o solfato di zinco per accrescerne il volume; aggiungere cellulosa od olii (di trementina, di ricino) o gomme per accrescere la plasticità o la elasticità a piacimento di chi fabbrica.

Se si desidera ottenere un avorio colorato, basta introdurre nelle prime fasi dell'operazione tracce di anilina, di alizarina, di legno di campecchio o del Brasile od altre sostanze coloranti ben note.

(Revue de Chimie industrielle et agricole).

**Sull'azione della luce sulla fermentazione acetica.** — Da accurate ricerche fatte dal dott. Michele Giunti, risultano queste conclusioni:

1. La luce diretta del sole ostacola la formazione del *mycoderma aceti*, e però la fermentazione acetica.

2. La luce diffusa delle giornate nuvolose basta ad impedire la fermentazione acetica, purchè la superficie del liquido fermentescibile non sia ombreggiata.

3. Nel caso di giornate coperte e quando la superficie del liquido venisse ad essere alquanto ombreggiata, il *mycoderma aceti* si sviluppa nei punti meno illuminati; però appena si aumenta la quantità di luce comincia ad affondare, e cessa immediatamente la fermentazione acetica.

4. Nella condizione delle suesposte esperienze, un lungo periodo di insolazione non basta a sterilizzare un liquido seminato col *mycoderma aceti*.

5. Il fatto dell'immediato arresto della fermentazione acetica in un vino esposto al sole fa pensare alla possibilità di un metodo curativo per l'acetificazione dei vini fondato sull'azione della luce: sulla cui efficacia e convenienza però ora sarebbe prematuro ogni giudizio. (Rivista Scientifico-Industriale).

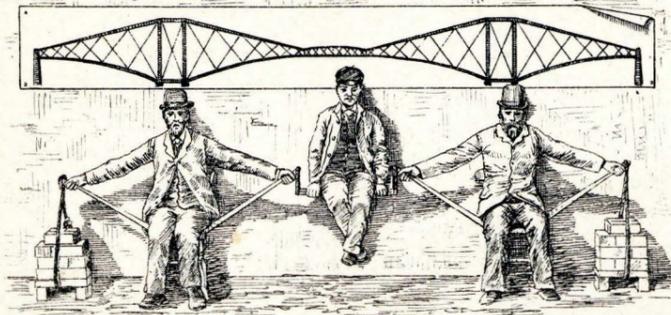


Fig. 3.

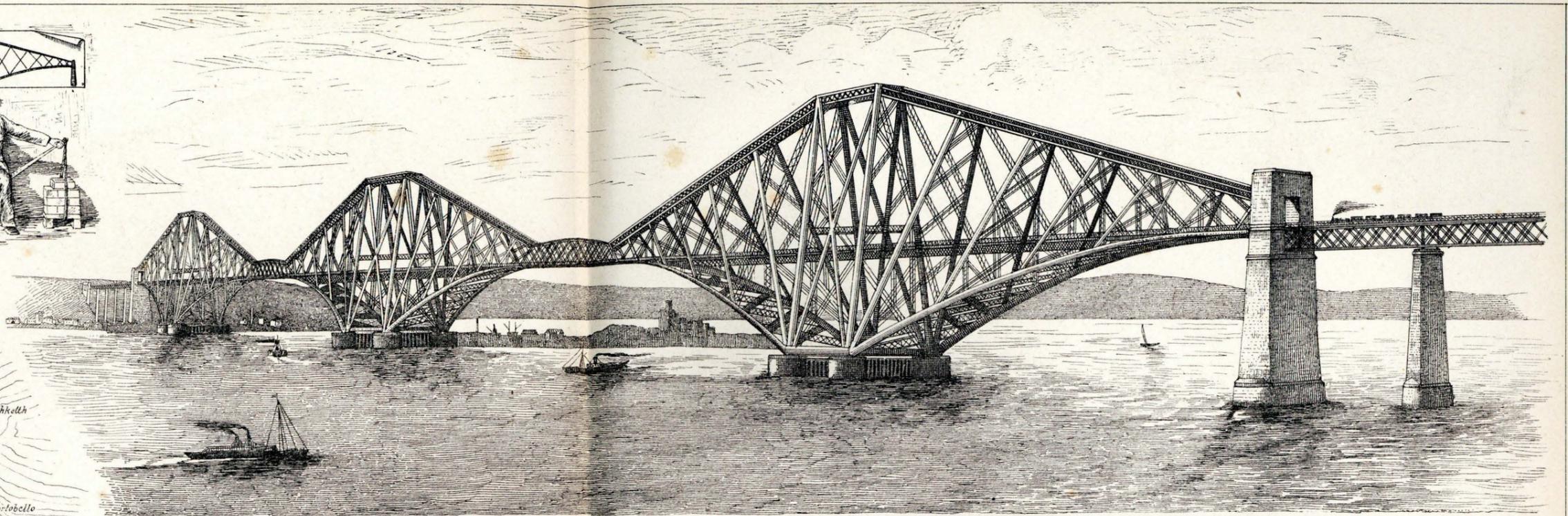


Fig. 1. — Veduta prospettica dalla sponda South Queensferry.

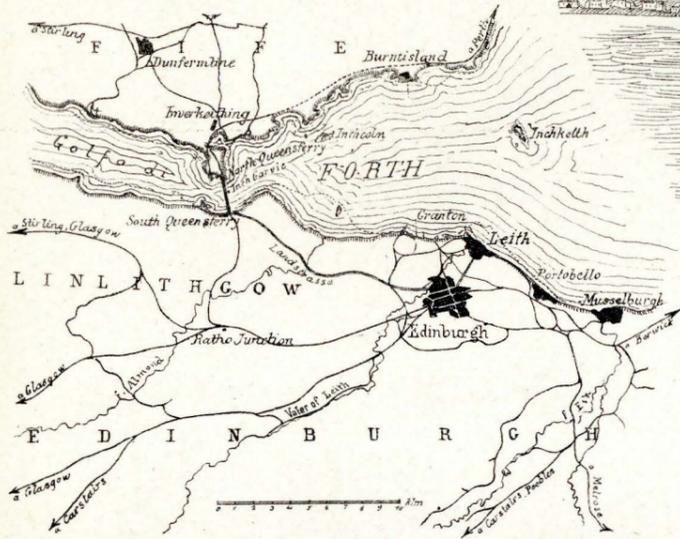


Fig. 2. — Pianta della località.

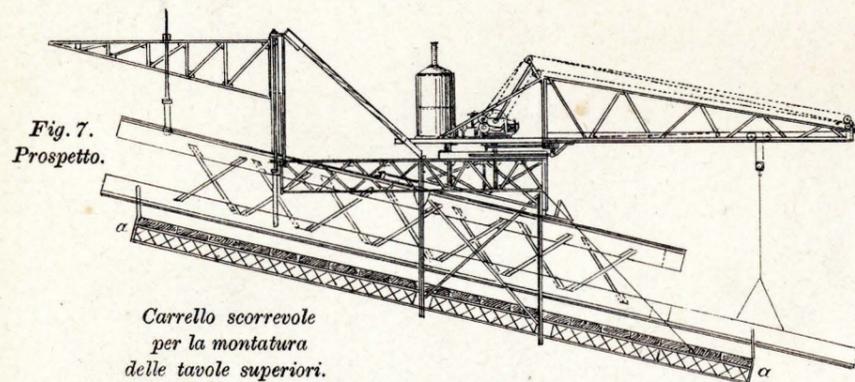


Fig. 7. Prospetto.

Carrello scorrevole per la montatura delle tavole superiori.

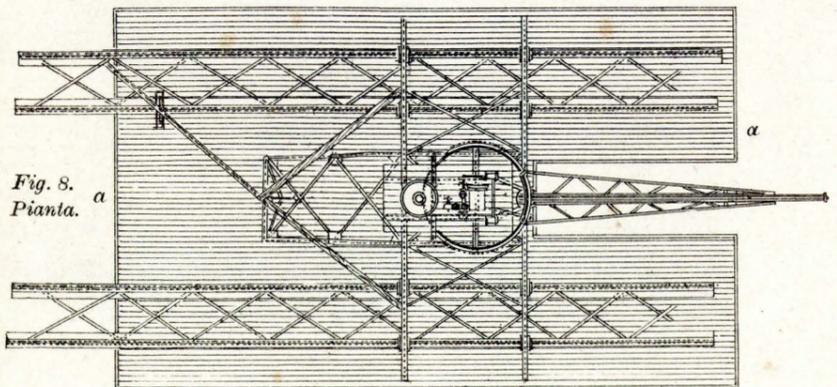


Fig. 8. Pianta.

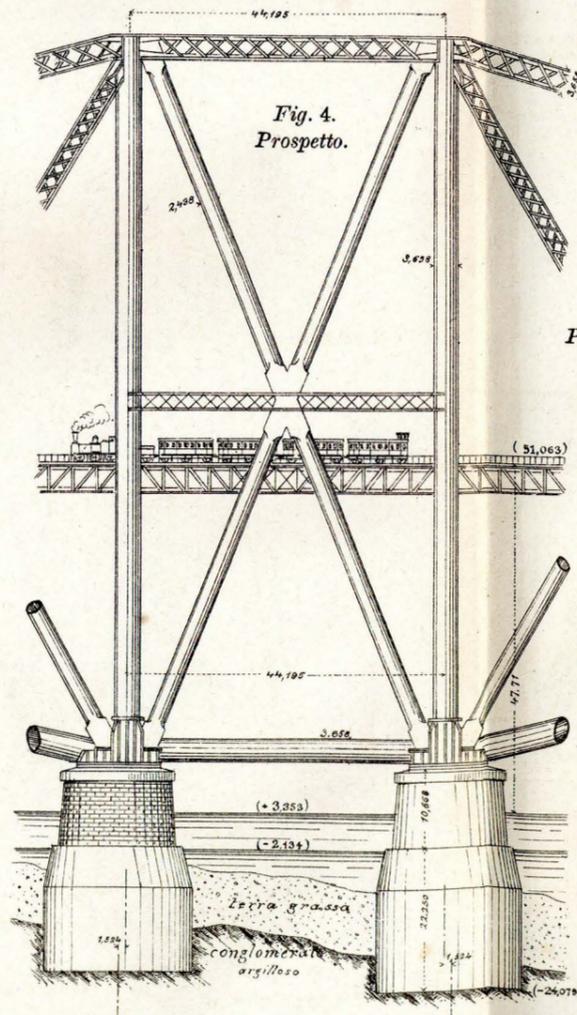


Fig. 4. Prospetto.

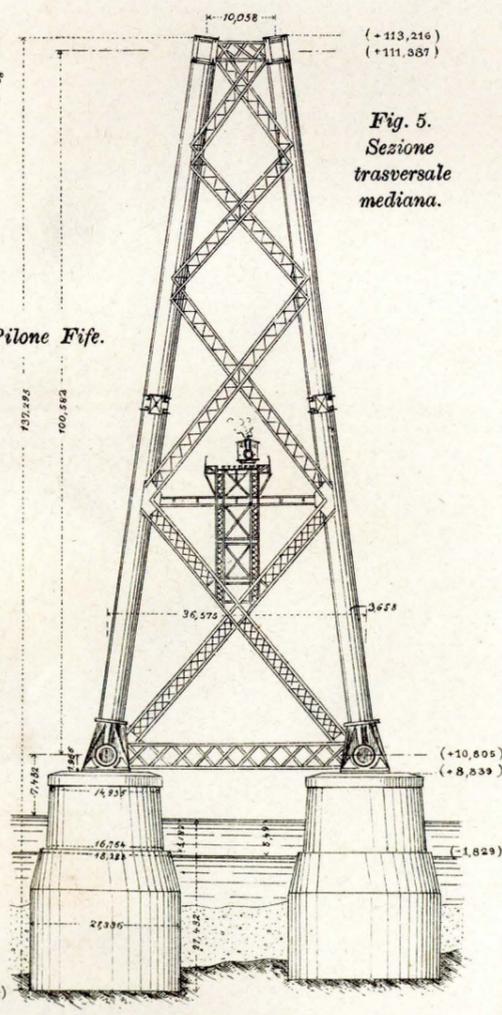


Fig. 5. Sezione trasversale mediana.

Pilone Fife.

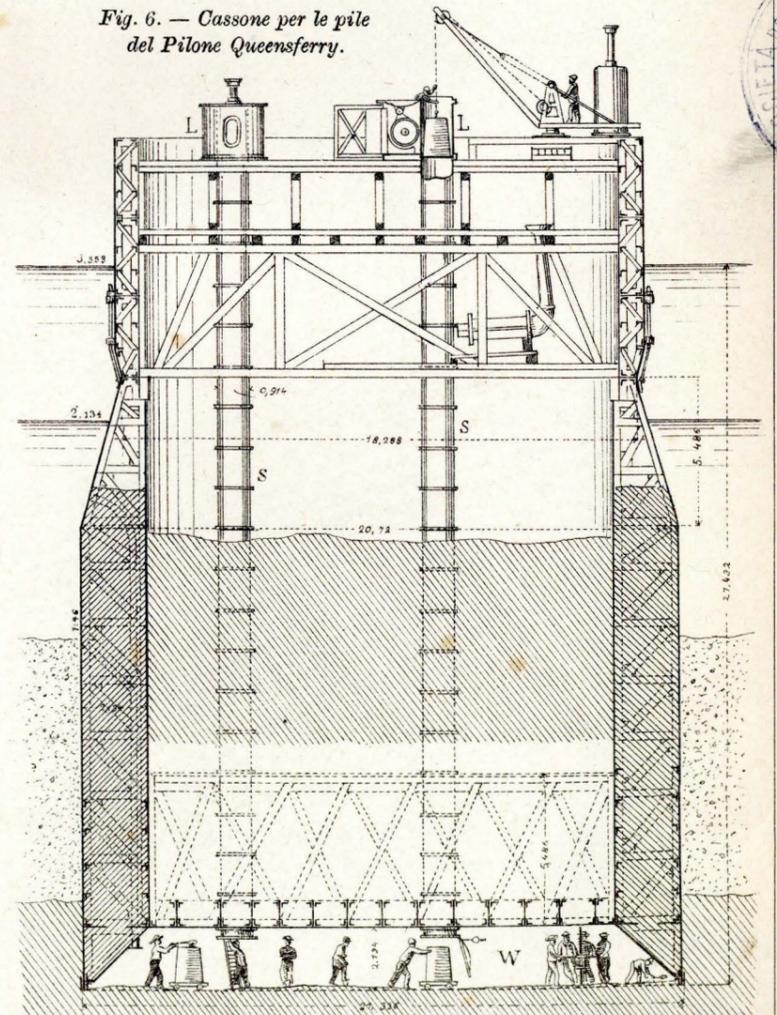


Fig. 6. — Cassone per le pile del Pilone Queensferry.

Fig. 1. — Elevazione del ponte.

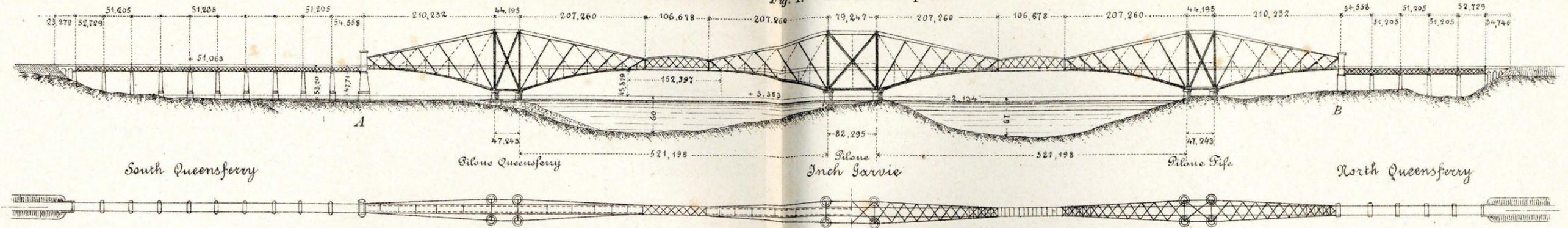


Fig. 2. — Pianta dei contravventi della tavola inferiore.

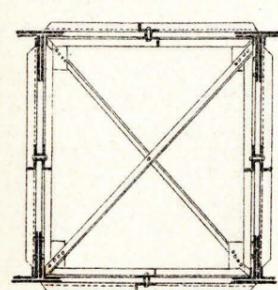


Fig. 4. — Sezione trasversale dei pezzi tesi.

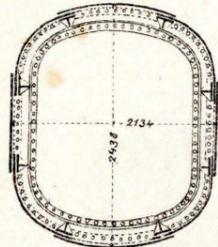


Fig. 5. — Sezione trasversale delle diagonali compresse.

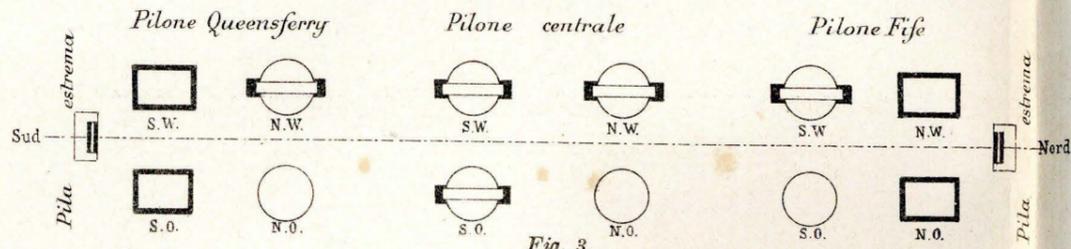


Fig. 3.

Sezione trasversale.

Prospetto longitudinale.

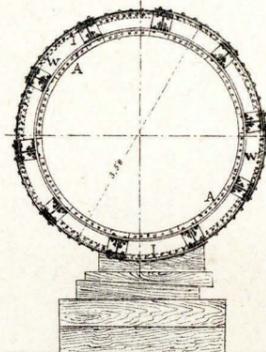


Fig. 6. — Colonna.

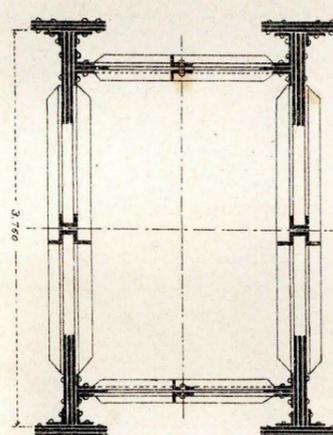


Fig. 7. — Sezione trasversale della tavola superiore dei mensoloni.

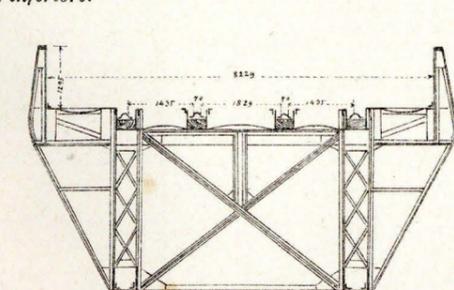


Fig. 8. — Sezione trasversale della travata reggente i binari.

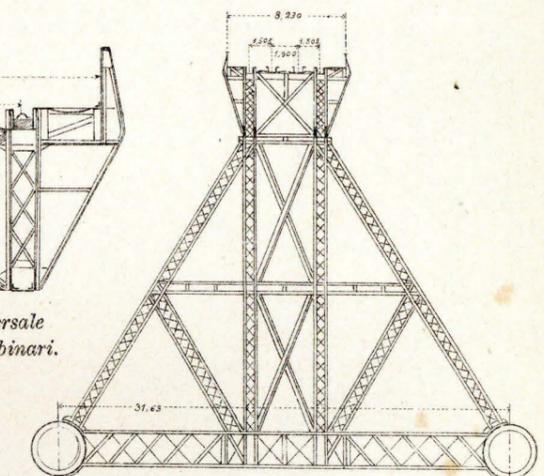


Fig. 9. — Sezione trasversale in corrispondenza del primo nodo di un mensolone.

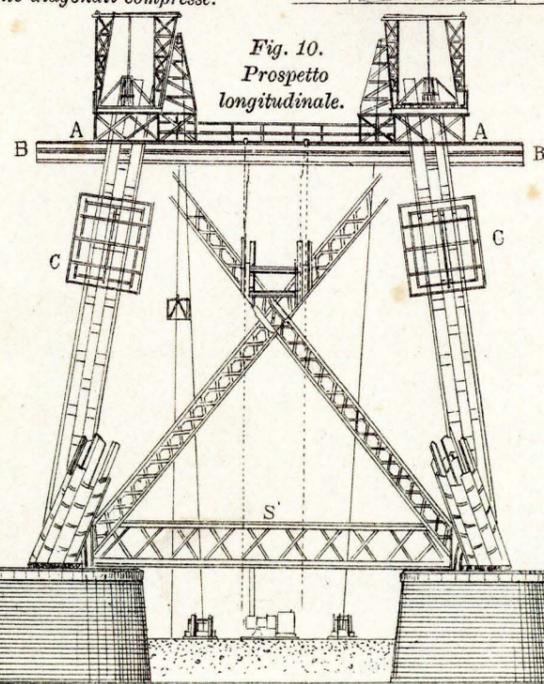


Fig. 10. Prospetto longitudinale.

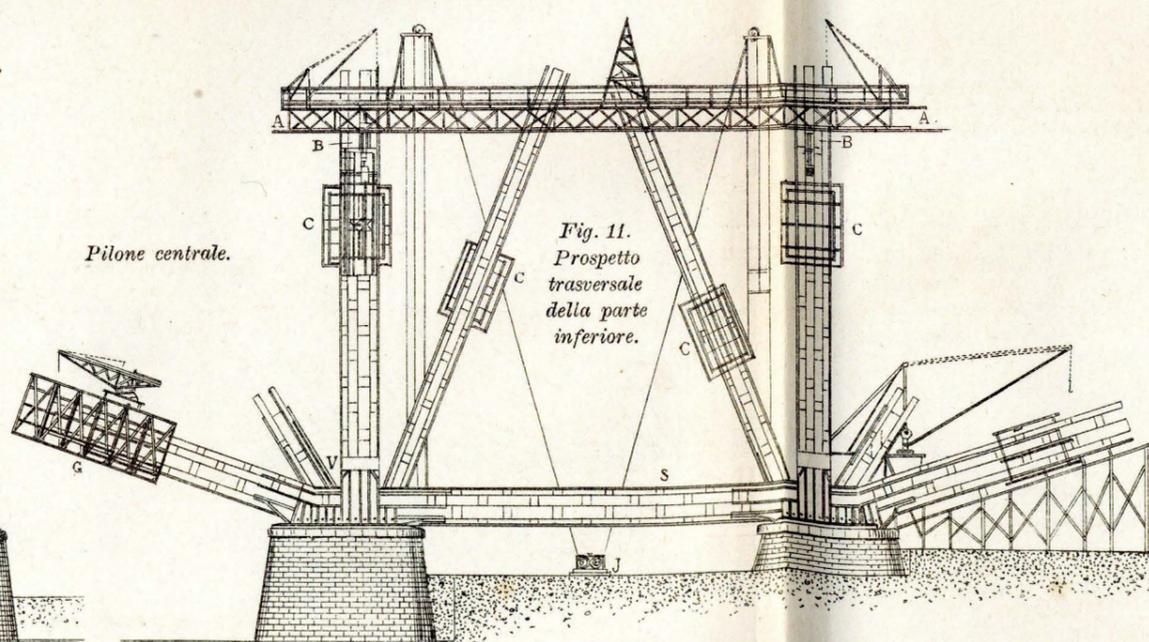


Fig. 11. Prospetto trasversale della parte inferiore.

Pilone centrale.

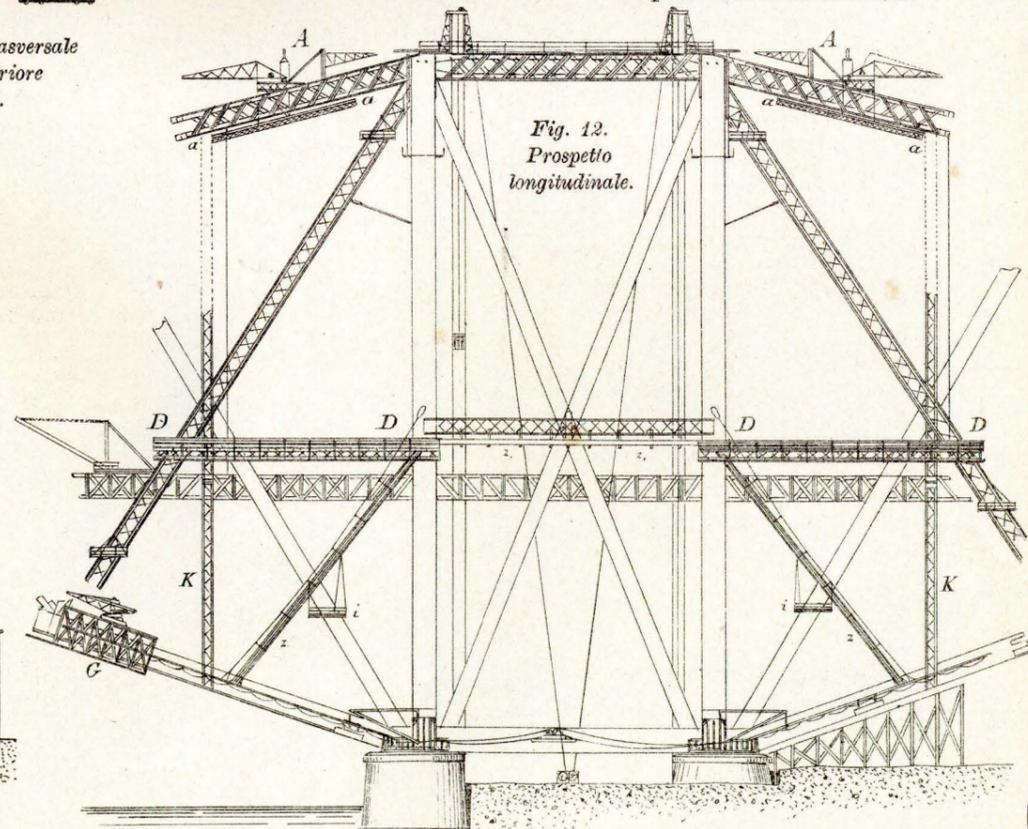


Fig. 12. Prospetto longitudinale.

