

L'INGEGNERIA CIVILE

R

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.

IDRAULICA PRATICA

DI UNA CONDOTTA D'ACQUA IN LUNGO TUBO DI PICCOLISSIMO DIAMETRO

Notizie ed Esperimenti
dell'Ing. G. SACHERI

L'idraulica, che è forse la più antica fra le scienze le quali ispirano e guidano l'arte dell'Ingegnere, è nondimeno quella che dal punto di vista della teoria lascia più d'ogni altra a desiderare. I primi tentativi di Daniele Bernouilli, di D'Alembert, e di Borda nell'applicare al movimento dei liquidi il principio della conservazione delle forze vive, sia in base alla ipotesi del parallelismo delle falde, sia in base a quella dei filetti fluidi indipendenti, furono seguiti da pregevoli lavori sperimentali di Couplet, di Bossut e di Du Buat, diretti a stimare l'influenza delle resistenze passive; e quei risultati sperimentali, pazientemente coordinati da Prony, condussero alla ben nota formula binomia del moto uniforme, sotto la quale gl'Ingegneri pratici hanno fino ad ora vissuto. Il Navier nelle sue belle lezioni alla Scuola di Ponti e Strade, il Poncelet, Belanger, Coriolis ed alcuni altri, dimostrando come il principio delle forze vive potesse applicarsi alla soluzione della maggior parte dei problemi relativi al movimento dei liquidi, coronarono, si può dire, l'opera alla quale potevano condurre quelle ipotesi, le quali, bisogna pur confessarlo, hanno reso sempre alla pratica utili ed importanti servizi.

Tuttavia le tendenze attuali della scienza sono per l'abbandono delle ipotesi delle falde e dei filetti, volendovisi sostituire lo studio più diretto delle azioni molecolari. Il lavoro esercitato sulle particelle fluide dalle forze le quali determinano, o sotto la cui influenza si verifica, il movimento, è l'obbiettivo principale di queste nuove ricerche, la cui origine risale ai lavori analitici del Cauchy, alle lezioni del Lamé e di quanti si sono in seguito occupati delle teorie generali dell'elasticità. Il Saint-Venant ed il Boussinesq sono quelli che meglio riuscirono in questi ultimi anni a spingere più oltre l'applicazione dei nuovi metodi sul pratico terreno delle questioni d'idraulica. Il bellissimo lavoro del signor Boussinesq, pubblicatosi nel 1877 sotto il titolo *Essai sur la théorie des eaux courantes*, è lo studio il più concreto tra quelli finora pubblicati in questa assai delicata materia, e meriterebbe, a parer nostro, di essere preso in attenta considerazione anche dai pratici.

Il lavoro analitico del signor Boussinesq raggiunse, se non altro, lo scopo di giustificare teoricamente per tutti i casi la formola empirica monomia dell'equazione del moto uniforme, la quale pertanto suppone l'attrito proporzionale al quadrato della velocità, e di dare sotto forme abbastanza semplici le leggi della distribuzione delle velocità. Senonchè quelle formole esigono, precisamente come quelle

empiriche del Darcy e del Bazin, una serie di risultati sperimentali appropriati ad ogni singolo caso. Spetta essenzialmente agli Ingegneri di assecondare gli sforzi dei teorici con tutti i mezzi che non di rado si trovano in loro mani, solo che vogliano o sappiano approfittarne, ed apportare così un buon corredo di osservazioni sperimentali, sempre indispensabili al progresso ulteriore di consimili questioni. Ond'è che noi vorremmo che gl'Ingegneri pratici seguissero più da vicino il movimento scientifico, e non si limitassero nell'esercizio della professione al troppo facile studio dei così detti Manuali, ma, apprezzando in tutto il loro valore la utilità di questi ultimi, volgessero la loro mente a migliorarli, portando il loro contributo di pratiche osservazioni a quelle scienze che nei prontuarii vedono concretata in brevi ed utili regole pratiche la sintesi concorde di studi teorici e sperimentali di parecchie generazioni.

Nei diversi casi che la pratica ci presenta, conviene soprattutto scegliere quelli più semplici, nei quali la teoria trova meno difficile la via ad essere svolta, e che pertanto possono dare aiuto efficace o qualche sprazzo di luce per ulteriori ipotesi, o più generali ricerche.

Tutti sappiamo, ad esempio, come in idraulica risultino facilitate le soluzioni teoriche supponendo i liquidi di una mobilità assoluta, ciò che esclude l'idea dell'attrito interno, e supponendo pure le pareti dei recipienti perfettamente lisce, con che vengono trascurati gli effetti sovente vorticosi dovuti alle scabrosità delle pareti. Ed è pure noto che tali ipotesi conducono in alcuni casi a formole pratiche abbastanza soddisfacenti, come sono quelle della portata degli efflussi da orifici direttamente sottoposti ad un'altezza di carico. Ma non è men vero che risultati ben diversi si incontrano quando prendasi a considerare il movimento dell'acqua nei lunghi tubi, o nei canali scoperti, per i quali la presenza delle pareti dà luogo a resistenze passive che non tardano a far sentire il loro pregiudizievole effetto a tutta la massa fluida, ritardandone il movimento.

Queste così dette resistenze passive od attriti vogliono pure essere definite, se debbonsi poter assoggettare a calcolo. E gli idraulici, incominciando dal caso più semplice di un liquido che prenda a scorrere su di una superficie solida e bene unita, definirono questa forza di resistenza, come proporzionale alla superficie di contatto, alla densità del liquido, al quadrato della velocità, ed indipendente dalla pressione. In altre parole, la resistenza d'attrito sarebbe in idraulica concretata e misurata da una colonna liquida che ha per base la superficie di contatto e per altezza l'altezza dovuta alla velocità della corrente. Queste stesse definizioni dimostrano quanto largo, importantissimo campo rimanga pur sempre alle indagini sperimentali, dalle quali esse prendono origine; essendochè, come fu lecito dubitare che l'attrito fra solidi e solidi dovesse essere indipendente dalla velocità non meno che dalla estensione della superficie di contatto, così pure si può discutere se l'attrito d'un liquido incompressibile contro di una superficie solida che si ritiene proporzionale alla su-

perficie, e variabile col variare della velocità, esser debba indipendente affatto dalla pressione, tuttochè le esperienze di Darcy sul moto uniforme dell'acqua nei tubi conducano alla conferma di questa legge nei limiti più estesi di pressione, ed il Collignon osservi che l'indipendenza dell'attrito dalla pressione sia una conseguenza della quasi incompressibilità dei liquidi.

Più ancora della verifica delle anzidette leggi può tornare utile alla pratica la determinazione dei coefficienti nei singoli casi che agli Ingegneri si presentano per essere sperimentati, in quelli particolarmente nei quali, avvertendosi la ipotesi della direzione sensibilmente rettilinea e parallela dei filetti fluidi, tuttochè tengasi conto dell'attrito sulle pareti, abbiassi fondato motivo di credere eliminate la maggior parte di quelle cause ritardatrici anormali le quali non sono ancora definite abbastanza esattamente per poter essere a dovere considerate.

Uno di questi casi, ed a mio credere abbastanza interessante, mi si presentò in questi ultimi anni; e, se debbo dire il vero, il desiderio di approfittarne per qualche utile ricerca sperimentale ha non poco contribuito a farlo nascere. Trattasi di una condotta con tubo circolare di piombo del diametro interno di soli cent. 2,5, lunga oltre un chilometro, con uniforme pendenza ed alimentata da serbatoio a livello costante, con altezza premente di metri 9 circa, di cui la qui annessa figura fa vedere l'andamento planimetrico.

La grande siccità manifestatasi nell'estate del 1877 nelle vallate del Tanaro, del Belbo e della Bormida, se aveva recato danno non lieve all'agricoltura, aveva pure posto in seria apprensione i proprietari ed i Comuni, perchè ove si fosse prolungata, sarebbe loro mancato perfino l'acqua indispensabile alla vita domestica d'uomini ed animali. Nè erano rari in quell'autunno gli esempi di intiere borgate costrette a provvedersi l'acqua quotidiana da considerevoli distanze o a pagarne il faticoso trasporto in casa loro ad un tanto il secchio.

L'abitato del Comune di Canelli, posto a ridosso di un colle, a pieno mezzogiorno, sulla sinistra del torrente Belbo, consta essenzialmente di due sezioni. L'una inferiore, a pochi metri d'altezza sull'alveo del torrente, è dotata, oltre a diversi pozzi di proprietà privata, di due pozzi pubblici d'acqua viva, ambidue muniti a spese del Comune di pompa idraulica. Ma la sezione superiore, denominata Villanuova, arrampicantesi su per lo scosceso colle con tortuose contrade di oltre al 20 per cento di salita, e terminante a più di 100 metri di altezza in un modesto castello di origine feudale, scarseggia d'acqua in modo assoluto, essendo quasi nulle le fonti d'acqua viva, e non avendosi che poche ed insufficienti cisterne private raccogliatrici dell'acqua piovana. A venti metri circa più sotto del citato castello avvi un piazzale assai ristretto, di forma irregolare, sostenuto per una parte da altissimo muro, e denominato di S. Leonardo, dal nome della Chiesa parrocchiale che ivi prospetta. Su quel piazzale una cisterna di non grande capacità è la sola destinata ad uso pubblico di tutta Villanuova.

Nell'estate dell'anno 1877 e nell'autunno, quando appunto buona parte di famiglie canellesi eransi là recate a villeggiare, furono viste esaurirsi le cisterne private e la cisterna pubblica, e gli abitanti costretti a mandare ad attinger acqua ad un chilometro e più di distanza, al così detto *Pozzo lungo*, di dove era portata a casa sulle spalle per poco comodi sentieri di collina.

Il *Pozzo lungo*, del quale parliamo, trovasi al Nord della sezione di Villanuova nel thalweg di due colline assai più alte, soprastanti alla regione denominata Roncaglia. Quel pozzo, anch'esso di proprietà comunale, non aveva che un metro di diametro ed un'altezza d'acqua di 6 a 7 metri,

ossia conteneva litri 5300 al più. Tuttavia la sorgente si verificava abbastanza importante e sufficiente ai bisogni, inquantochè il livello dell'acqua, abbassandosi notevolmente di giorno per la estrazione continua, ritornava durante poche ore della notte al primitivo segno, e talora lo sorpassava. Quel pozzo era scoperto, munito di parapetto, e l'estrazione dell'acqua aveva luogo per mezzo di una altalena fatta rozamente con travi di legno.

L'idea da molti anni coltivata, di portare quell'acqua sul piazzale di S. Leonardo mediante un tubo di condotta, fu trovata solamente opportuna dopo la grande siccità di quell'autunno; ed in seguito ad una livellazione con cui ne fu meglio riconosciuta la possibilità e la convenienza, lo scrivente riceveva dall'Amministrazione comunale l'incarico di allestire un progetto completo per essere sottoposto all'approvazione dell'Autorità superiore, e nel più breve tempo possibile mandato ad esecuzione.

L'andamento del terreno tra il *Pozzo lungo* e l'abitato di Canelli non consigliava di seguire altra via che quella della uniforme pendenza tracciata e percorsa sul terreno nel fare il rilievo. La linea da percorrersi dal tubo fu segnata sul terreno con due criterii d'altronde affatto elementari, cioè di abbassarsi subito dal principio quanto fosse necessario per tenere ogni punto della condotta il più possibile sotto alla linea dei battenti, e di assecondare nello stesso tempo il terreno per tenere la profondità dello scavo al minimo voluto, pur di proteggere il tubo dalle azioni del gelo. Inoltre, dal punto di vista tecnico al quale miravo, io mi ritenni felice di aver potuto distendere il tubo dal piazzale di S. Leonardo fin quasi al pozzo d'origine, cioè per ben 1000 metri, con una sola uniforme pendenza del 7 per mille. Il solo punto che presentasse difficoltà era il passaggio attraverso la strada pubblica denominata *strada profonda* o *strada dei morti*. Inquantochè questa strada ha per un lato un'altissima ripa, quasi a picco, e conveniva studiare al modo di superare convenientemente la difficoltà senza ricorrere al ripiego, nel caso nostro di un piccolo tubo di piombo, abbastanza riprovevole d'un sotto passaggio a sifone.

Approfittando della circostanza che la strada stessa scende rapidissima da Sud verso Nord colla pendenza del 17,5 per cento, e che parallelamente quasi alla strada scende pure il ciglio della ripa superiore, preferii di fiancheggiare a ritroso della strada la ripa stessa, finchè dal ciglio della medesima si fosse giunti al piano della carreggiata. Il punto di passaggio della *strada profonda* divenne così un punto obbligato anche altimetricamente per la linea di progetto, e fu di fatto il primo punto che ho avuto cura di stabilire prima di procedere ad altre operazioni di rilievo.

Il rapido pendio col quale scendono le coste su cui si è dovuto svolgere la linea della condotta, bastando un leggero spostamento della linea per dar luogo a differenze considerevoli nelle altezze, obbligò in più luoghi a qualche sinuosità nel senso planimetrico, che vennero superate con convenienti curve, di raggio sempre superiore a 12 metri; epperò fu possibile condurre tutta la linea in iscavo, con quote rosse oscillanti fra i ristretti limiti di 0^m,50 e 2^m,00. Solo nei primi 50 metri, a partire dal pozzo di presa, si hanno maggiori profondità di scavo, essendosi immesso il tubo nel pozzo alla profondità di m. 6,50 sotto il suolo, e scesi rapidamente per tre metri d'altezza colla pendenza del 9,5 per cento fino a raggiungere la livelletta del 7 per mille, con amplissima curva di raccordamento.

Per le piccole dimensioni del *Pozzo lungo* era evidente la necessità di avere in quella località un serbatoio più grande per immagazzinare maggior copia d'acqua nell'epoca in cui le sorgive si fanno più abbondanti, ed essenzial-

mente per avere al disotto del punto in cui il tubo partiva dal pozzo un volume d'acqua sufficiente ai bisogni locali, essendovi nel raggio di qualche centinaio di metri cascinali dai quali si accorre ad attingere acqua per gli usi domestici.

A questa circostanza aggiungasi il fatto che per la configurazione dei luoghi, non si può a meno d'indurre la provenienza della sorgente dall'alta valle del Tanaro, ossia da più di 20 chilometri di distanza. Nè riesce difficile riscontrare per sì lungo tragitto altre sorgenti egualmente feconde le quali attestano la comune origine. Era pure probabile che non tutta l'acqua sotterranea di quella località si raccogliesse in quel pozzo di antichissima data, ma che si avessero attorno ad esso altre sorgive da allacciare e raccogliere. La stessa presenza di uno stagno d'acqua alquanto più in basso, presso la stradiciuola che conduce al Pozzo, e che non si è mai asciugato anche nei più forti calori, dà a vedere l'esistenza di altre sorgive. Ma e per la natura stessa dei terreni, e per la distanza dalla quale le sorgive provengono sarebbe stato errore il credere alla esistenza di vere lame d'acqua, mentre si tratta solo di tenui ed ultimi filamenti sotterranei. Si è quindi progettato, anche in vista della spesa, che volevasi tenere nei più modesti limiti, un nuovo pozzo a non grande distanza da quello antico, ma di maggiori dimensioni, affinchè funzionasse da serbatoio, e di unirlo al primo con una galleria di comunicazione, la quale potesse all'uopo servire come di galleria di allacciamento.

Dal nuovo pozzo alla cisterna di piazza S. Leonardo fu progettato un tubo di piombo del diametro interno di appena 25 mm., nello scopo essenzialmente di non esagerare nella spesa. D'altronde quel diametro si ravvisò più che sufficiente al bisogno non avendosi al Pozzo lungo disponibile un gran corpo d'acqua, e non trattandosi che di alimentare una sola fontanella pubblica, presso la quale ravvisavasi anzi conveniente d'applicare al tubo un diaframma moderatore della portata, perchè l'erogazione non avesse in ogni caso a superare la potenzialità delle sorgive.

Sebbene questa condotta non fosse straordinariamente lunga, tuttavia e per la natura del tubo, e per la piccolezza del diametro, non che per il genere di coltivazione a vite di gran parte dei terreni attraversati, si ravvisò conveniente di potere verificare per tratti relativamente brevi la condotta, e di poterla perciò dividere in parecchi tronchi, facendo che il tubo attraversasse alcuni pozzetti di ricognizione. Questi pozzetti, in numero di 5, vennero stabiliti di accordo coi proprietari dei terreni attraversati in luoghi di facile accesso, e specialmente in vista di protezione dai malevoli. Furono costruiti di muratura, con sezione quadrata di 60 cent. di lato internamente, e con pietra di ricoprimento; ed in essi si pose un breve tratto di diramazione all'insù della condotta terminato da rubinetto della stessa sezione del tubo; le pareti interne furono intonacate di cemento. Fu sempre in animo dello scrivente che tali pozzetti avessero un anno o l'altro a prestarsi utilmente per accurate ricerche piezometriche, le quali nel caso speciale di questa condotta non mancheranno, a parer nostro, di qualche importanza.

L'estremità inferiore del lungo tubo di condotta fu immersa nell'antica cisterna di S. Leonardo, collo scopo di mantenerla ben provvista d'acqua. Alcuni metri prima fu applicato al tubo un rubinetto a chiave di comando perchè l'immissione dell'acqua nella cisterna potesse aver luogo solo quando lo si ravvisasse opportuno. Poco a monte di quel rubinetto una breve diramazione dello stesso diametro si stabilì che facesse capo ad una fontanella di ghisa a libero deflusso, servita da rubinetto automatico, e destinata ad uso pubblico, addossata al parapetto di una vasca murale, dal

cui centro si è fatto sorgere un getto verticale per i giorni di festa.

La spesa preventivata in L. 6315 oltre alle indennità per l'attraversamento dei terreni, si mantenne nei limiti preventivati. I lavori affidati ad impresa, vennero lodevolmente eseguiti. Era stato prescritto che la distesa nel tubo del cavo preparato dovesse farsi tutta di seguito, e che il tubo dovesse così rimanere scoperto per tutta la lunghezza della condotta finchè non si fosse sottoposto a pressione; colla quale precauzione si sarebbe quindi prontamente verificata qualsiasi perdita tanto per impreveduto difetto in qualche parte del tubo, che nelle saldature. E questa prescrizione fu pure di giovamento per altra circostanza non meno preveduta, cioè per l'immissione dell'acqua nella condotta, affinchè si effettuasse convenevolmente la scarica dell'aria. Tale operazione si effettuò senza incidenti.

Avendo tuttavia notato il tempo impiegato dall'acqua ad arrivare al 5° pozzetto dall'istante in cui aprivasi la chiave a rubinetto nel 4° pozzetto, trovai che l'acqua aveva impiegato 340" a percorrere nel tubo colla pendenza del 7 per mille la lunghezza di 237 metri, mentre dal 5° pozzetto per giungere alla cisterna, ossia per la lunghezza di m. 170 colla stessa pendenza, l'acqua impiegò 530".

Riempito il tubo, si fece un primo esperimento della portata. E da osservarsi che il tubo era di piombo, affatto nuovo, tirato alla trafilata e perfettamente lucido; il suo diametro interno in tutte le misure praticate su diversi rotoli fu sempre trovato di 25 mm. La lunghezza totale del tubo era di metri 1042,15.

L'altezza premente, ossia la profondità della sezione estrema inferiore sotto il livello dell'acqua nel pozzo alimentatore era durante l'esperimento di m. 8,90.

La portata fu trovata più volte di litri 0,35 al 1", e quindi ne risulta la velocità media

$$u = m. 0,713.$$

Qualora si fosse calcolata la portata colla nota formola pratica:

$$Q = 20 \sqrt{\frac{h D^5}{L}}$$

essendo $h = 8,90$ l'altezza premente, $D = 0^m,025$ il diametro, ed $L = 1042,15$ la lunghezza della condotta, sarebbero trovato $Q =$ litri 0,18 al 1". Gran parte di tale discrepanza vuol essere evidentemente attribuita alla superficie interna del tubo affatto nuova e perfettamente liscia. Anche il modo stesso con cui questi tubi si fabbricano, per cui ne risultano alla superficie nel senso delle generatrici appena visibili rigature, può essere considerato come favorevole alla regolarità del movimento per filetti fluidi paralleli ben più che non avvenga in tubi di getto, la cui superficie, per quanto liscia e nuova, non può a meno che presentarsi di struttura granulata.

Potrebbe invero osservare che una leggiera differenza nel diametro della condotta esercita spesse volte notevole influenza; ma nel caso nostro non sarebbe ammissibile la osservazione, perchè, dato anche che il tubo avesse avuto il diametro di 26 mm. a vece di 25, la portata calcolata risulterebbe appena di un decimo più grande, ossia non arriverebbe tuttavia a litri 0,20. E d'altra parte una simile differenza nel diametro non è cosa ammissibile, dappoichè in un tratto in cui il tubo erasi fiaccato in seguito a caduta di un grosso masso di pietra, si riscontrò, segnando il tubo, che la sezione più ovalizzata aveva un solo millimetro in più nel senso del diametro maggiore, ed un millimetro circa di meno nel senso normale.

In seguito a tale differenza nella portata del tubo a bocca piena, mi venne il desiderio di fare altro esperimento con una velocità media nel tubo considerevolmente ridotta. E per quanto i limiti di tempo e di mezzi in un esperimento sotto forma di collaudo non fossero grandi, il giorno dopo feci applicare all'estremità della condotta un sottile diaframma di lamina di bronzo con foro nel centro di mm. 5.

Nelle 24 ore fraposte dal primo esperimento il livello dell'acqua essendo di alcun poco salito nel Pozzo lungo, l'altezza premente risultò di metri 9,43 a vece di m. 8,90. La portata si trovò di litri 0,098 al 1" e la velocità media pertanto uguale a:

metri 0,1996.

Applicando a questo caso la nota formola della portata:

$$Q = 20 \sqrt{\frac{h D^5}{L \left[1 + 33 \frac{D}{L} \left(\frac{D}{d} \right)^4 \right]}}$$

facendo $h = 9,43$; $D = 0,025$; $L = 1042,15$; $d = 0,005$, risulterebbe invece una portata di:

litri 0,154 al 1",

epperò, quando la velocità è molto piccola, le resistenze avrebbero, nel caso considerato, più efficacia nella riduzione della portata di quanto generalmente si suppone.

In tanta discrepanza di risultati sarebbe quasi inutile calcolare della totale altezza di carico le diverse parti consumate nelle diverse resistenze. Così, per l'ingresso dell'acqua dal pozzo nel tubo, non avrebbsi anche nel primo caso della velocità $u = 0,713$ che una perdita di carico

$$0,50 \frac{u^2}{2g} = 0,0125.$$

Per le tredici risvolte si potrebbe calcolare per ognuna la perdita di carico coll'espressione data dal Boussinesq nel suo *Essai sur la théorie des eaux courantes*, la quale va d'accordo con quella che il Saint-Venant aveva dato nel 1862 in base ai risultati delle esperienze di Du Buat, ossia coll'espressione:

$$0,005 \frac{u^2}{\rho} \sqrt{\frac{D}{\rho}}$$

essendo u e D la velocità media e il diametro, e ρ il raggio della curva, ma stante la grandezza del raggio delle curve ed il piccolo diametro del tubo, non si arriva complessivamente ad una perdita di carico superiore a due decimi di millimetro.

Certo non trascurabile praticamente è la parte di carico impiegata ad imprimere all'acqua la velocità attraverso la luce di efflusso di diametro d , risultante dalla espressione:

$$\frac{u^2}{2g} \left(\frac{D}{d} \right)^4$$

ed avendosi rispettivamente nei due casi

$$\begin{aligned} d &= D & 0,005 \\ u &= 0,713 & 0,1996 \end{aligned}$$

questa parte di carico risulta di:

$$\text{m. } 0,0257 \quad 1,269$$

In conclusione, se cercasi per differenza, dell'altezza totale di carico la parte che rimane dovuta all'attrito, questa, per uno stesso tubo di piombo del diametro di 25

millimetri, e della lunghezza di 1042 metri e per le rispettive velocità medie di

m. 0,713 e m. 0,1996 al 1",

risulterebbe di

m. 8,861 e m. 8,160.

Volli pure servirmi del getto verticale nell'intento di avere qualche altro dato sperimentale sulle resistenze nel tubo per velocità assai più piccole. Potevo disporre di due orifizi, l'uno del diametro di 6 mm. e l'altro del diametro di mm. 1,75 posti sotto l'altezza premente di m. 7,48 e riscontrai un getto verticale di metri 0,25 nel 1° caso e di m. 2,80 nel 2° caso. Osservando che quest'ultima altezza vuole essere portata a m. 2,88 ove vogliasi colla nota formola di D'Aubuisson tener conto della resistenza dell'aria; l'altezza di carico consumata dalle resistenze del tubo risulterebbe di m. 7,23 nel 1° caso in cui avrebbsi avuto nel tubo la velocità media di m. 0,127 al 1" e di m. 4,60 nel 2° in cui la velocità media nel tubo era ridotta a m. 0,037.

E così riassumendo: alle velocità medie nel tubo di:

m. 0,713 0,1996 0,127 0,037

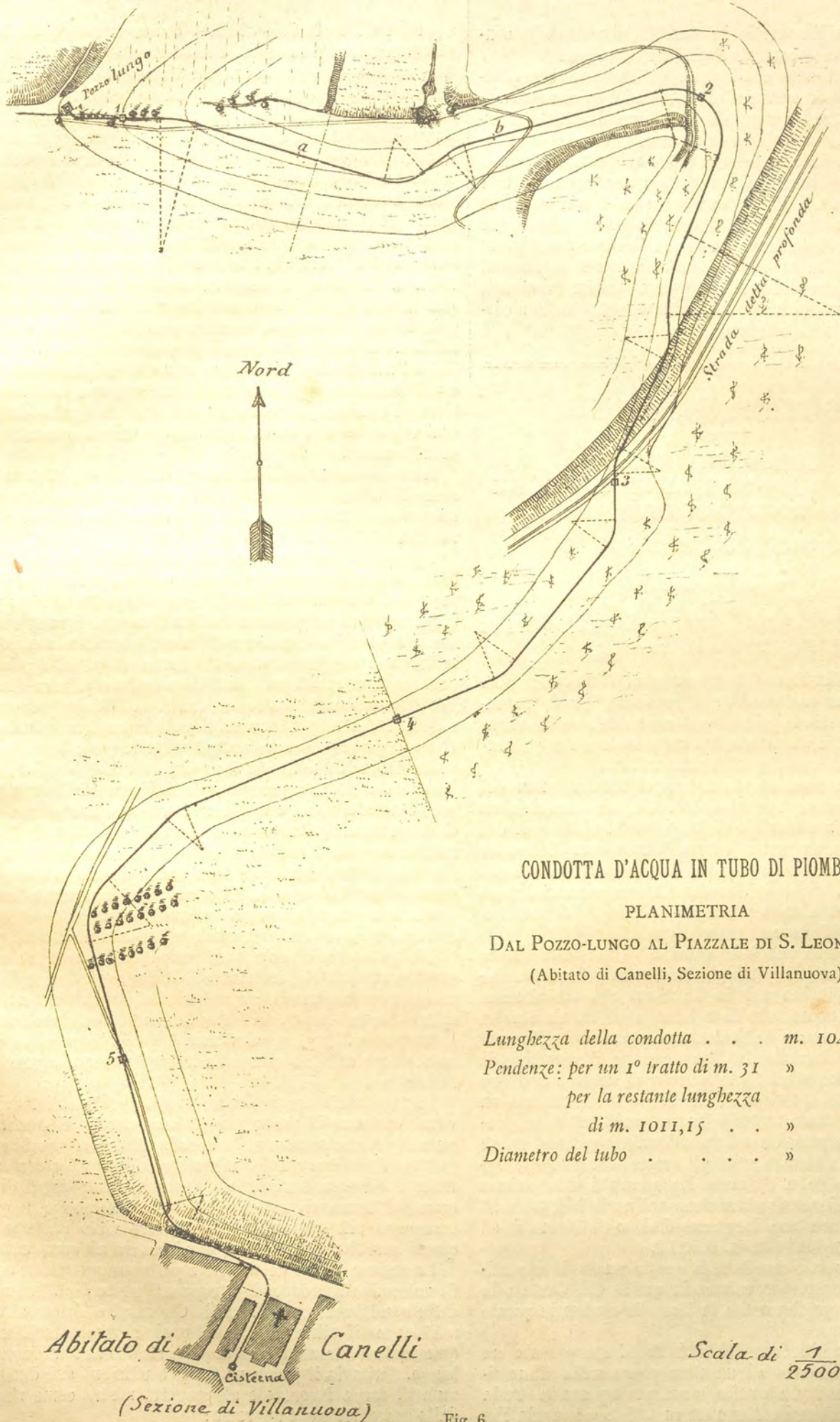
corrisponderebbe in questi esperimenti per le resistenze incontrate dall'acqua nel tubo la perdita di pressione:

m. 8,86 8,16 7,23 4,60.

Non mi fermerò a discutere questi risultati, perchè non fecero che accrescere in me il desiderio di procedere a rigorose esperienze, ricorrendo al controllo delle osservazioni piezometriche, quali si potranno coll'accennata disposizione dei pozzetti di ricognizione facilmente istituire. E invero questi risultati, abbenchè di solo grossolana approssimazione, quali debbonsi naturalmente ritenere per la natura dei mezzi adoperati, e la scarsità del tempo impiegato, pure appaleserebbero un andamento notevolmente diverso da quello che per tubi meno lunghi o di maggior diametro generalmente si verifica. Vedesi manifesto un aumento considerevole nella resistenza a misura che la velocità diviene molto piccola; e che io credo dovuta alla presenza dell'aria, la quale è a supporre si estrichi bolla a bolla dall'acqua per rimanere aderente al tubo, e accumularsi probabilmente nelle risvolte, tuttochè non ve ne siano in senso verticale, ed abbenchè la linea del tubo considerata si trovi totalmente sotto la linea delle altezze di carico, e di pendenza rigorosamente uniforme.

Io ho verificato questa circostanza particolarmente fra i pozzetti 1 e 2; facendo scoprire in due punti a e b il tubo e praticandovi un forellino di appena 1 mm. nella parte superiore verificai sempre per due o tre secondi delle scariche d'aria o meglio degli sputi d'acqua irregolarissimi e alcuna volta rumorosi, dopochè il getto liquido non tardava a prendere il suo uniforme andamento. Ed è per ciò che per procedere ad esperienze accurate sarebbe indispensabile nei punti in cui si trovano i pozzetti di ricognizione predisporre convenientemente le cose in modo da poter fare accurate osservazioni piezometriche, non essendo improbabile pure che in un tubo di così piccolo diametro e di considerevole lunghezza, e di pendenza rigorosamente uniforme, le risvolte in senso planimetrico, tuttochè di assai grande raggio, esercitino la loro influenza col determinare la sinuosità dei filetti fluidi in moto.

E queste esperienze vorrebbero essere fatte di primavera quando nel Pozzo lungo l'acqua salendo a considerevole altezza, si potrà avere un'altezza di carico anche di 11 a 12 metri, con che sarà più facile ridurre a cosa trascurabile gli effetti dell'aria, una volta che operata l'immissione del-



CONDOTTA D'ACQUA IN TUBO DI PIOMBO.

PLANIMETRIA

DAL POZZO-LUNGO AL PIAZZALE DI S. LEONARDO
(Abitato di Canelli, Sezione di Villanuova).

Lunghezza della condotta . . .	m.	1042,15
Pendenze: per un 1° tratto di m. 31	»	0,095
per la restante lunghezza		
di m. 1011,15 . . .	»	0,007
Diametro del tubo	»	0,025

Abitato di Canelli
Cisterna
(Sezione di Villanuova)

Scala di $\frac{1}{2500}$

Fig. 6.

l'acqua nel tubo di pozzetto in pozzetto, si ponesse la condotta nelle sue vere condizioni di funzionamento.

Non dimentichiamo che l'idraulica è scienza essenzialmente sperimentale, e che nel caso nostro del movimento dell'acqua nei tubi, se le pregevoli ricerche analitiche del Bousinesq giustificavano la formola monomia che suppone l'attrito proporzionale al quadrato della velocità, nel campo sperimentale vi è ancora molto da fare per trarre da tale conseguenza una utilità pratica; essendochè non basta in molti casi riguardare solo l'attrito sulla parete senza alcun riguardo all'attrito interno; ma essenzialmente non è lecito passare così facilmente dalla legge dell'attrito esterno al caso più complesso del moto dell'acqua nei tubi o canali, commutando la velocità assoluta nella velocità media e correggendo soltanto i coefficienti.

COSTRUZIONI FERROVIARIE

STRADA FERRATA
DA CLERMONT-FERRAND A TULLE
CON DIRAMAZIONE PER VENDES (FRANCIA)

per l'Ing. G. CRUGNOLA

Veggasi la Tavola X

*Viadotto sulla Rhue a tre archi al picchetto 251 + 21 m.
(Chil. 36,772 della diramazione).*

Il viadotto sulla Rhue è l'ultima opera d'arte eccezionale della diramazione per Vendes; oltrepassato questo manufatto la linea continua, per circa dodici chilometri, attraverso praterie, con un andamento regolare e senza presentare altra opera d'arte di qualche importanza.

La Rhue è un fiume che ha le sue origini nel cuore del Cantal, sul così detto Col de Cabre, a 15 chilometri circa da Murat e ad un'altitudine di 1685 metri al disopra del livello del mare, in mezzo ad un terreno completamente vulcanico, che abbandona però subito per continuare il suo corso nei terreni cristallini, i quali l'accompagnano fino al punto dove si getta nella Dordogna, a circa 2800 metri a valle della località dove si trova il viadotto.

Nel suo percorso, che è di quasi 50 chilometri, riceve moltissimi influenti; i più importanti sono il Santoire, che ha un percorso più lungo della Rhue, ma che all'influenza perde il proprio nome, e la Tarentaine, a soli tre chilometri e 400 metri a monte dell'attraversamento della linea, e dove per vero solamente la Rhue assume il carattere di fiume, mentre fino a quel punto non può considerarsi che come un torrente. Quivi continua molto incassata con un andamento non tanto tortuoso, ma a grandi risvolte, pronunciatissime, e presenta ad un chilometro circa a monte del viadotto, una cascata assai pittoresca, che può rivaleggiare con quelle della Svizzera. La quantità d'acqua che trasporta è considerevole; la sezione ordinaria è di 35 a 40 metri quadrati, con una larghezza d'alveo di 50 metri, ed una pendenza del fondo di m. 0,0047.

La strada ferrata abbandona in questo punto il dipartimento della Corrèze per entrare in quello del Cantal; la Rhue determina precisamente la linea di confine in questo tratto.

In quanto all'ubicazione del viadotto, si era pensato un momento di avvicinarlo ad un altro ponte sulla Rhue situato a 1700 metri più a valle, e sul quale passa la strada nazionale N. 122 che da Clermont va a Tolosa; strada che

a partire dalla stazione di Bort corre per lungo tratto parallelamente alla ferrovia. Considerando però che per guadagnare quella località era mestieri abbassarsi di molto per rialzarsi in seguito, e che il fiume per essere incassato su tutto il tratto a monte poteva attraversarsi in qualunque punto senza temere di esporre la linea a straripamenti od inondazioni di sorta, si preferì di abbandonare la strada nazionale a due chilometri circa dalla stazione di Bort, e piegando a sinistra, mantenersi sull'altipiano di Cheyssac, per poi raggiungere di nuovo la strada nazionale al di là della stazione di Saignes. In questo modo si veniva a mettere per circa 700 metri la linea parallelamente al corso della Rhue in direzione sud, mantenendosi sulla sponda destra e rimontandola fino dove essa, piegando bruscamente ad angolo retto, si rivolge a levante; quivi si lanciò il viadotto sulla medesima, attraversandola normalmente.

La linea vi arriva in rettilineo e con livelletta orizzontale, e sul viadotto stesso, a 3 metri dall'origine, comincia ad elevarsi con una pendenza di m. 0,024; all'uscita del viadotto descrive una curva con centro a destra e con raggio di 250 metri.

Le sponde sono solidissime; quella a destra si eleva dolcemente allontanandosi alquanto, mentre la sinistra offre un pendio abbastanza ripido, sul quale affiorano rocce granitiche.

I progetti che precedettero quello della tavola X studiato da me, furono sei: non è necessario di discuterli e di mostrare che l'ultimo, quello eseguito, offre tutti i vantaggi possibili sugli altri; basterà dire che i primi cinque avevano un arco centrale di 30 metri e quattro archi di 12 metri; una lunghezza variabile fra m. 90 e 94,60; la superficie vista era di m. 1343,87 pel primo e poco diversa per gli altri quattro; il costo era di L. 151,416 pel quarto e di L. 135,990 pel secondo, i quali formavano gli estremi. Il sesto progetto presentava già tutte le modalità di quello della tavola X che fu poi eseguito.

Ad onta di tanta varietà nello studio del viadotto, si vede però che tutti i progetti si ispiravano ad uno stesso concetto, quello cioè di abbracciare con un arco solo tutto l'alveo del fiume; essi differivano poi nel modo come raggiungere l'altezza della piattaforma ferroviaria. Questo concetto era giustissimo: l'alveo non offriva una larghezza straordinaria; presentavasi regolare sopra un lunghissimo percorso, e non richiedeva lavori onde impedire alla corrente di divagare.

D'altra parte, il pensare ad una pila nel mezzo dell'alveo sarebbe stata follia, inquantochè il deviare la corrente durante la costruzione non era possibile, e vista l'altezza considerevole dell'acqua, le fondazioni sarebbero riuscite difficoltose assai. La pila poi si sarebbe trovata esposta a scalmamenti, poichè la corrente ha in quel punto una pendenza fortissima.

In quanto alle arcate laterali, sulla sponda sinistra si doveva procurare il passaggio di una strada di 3 metri e quindi era necessario; sulla sponda destra si avrebbe potuto fare a meno, ma per non essere obbligati a contenere tutto il rilevato dentro appositi muri ed impedirgli di entrare nel fiume, si preferì di costruire due arcate, le quali tornavano più economiche dell'interro visto l'altezza che questi avrebbe dovuto avere in vicinanza all'arco centrale.

La sezione libera del viadotto pel passaggio delle acque fu determinata prendendo a norma il ponte di S. Tommaso della strada nazionale N. 122 da Clermont a Tolosa, situato a 1700 metri più a valle, e sul quale si fecero moltissime osservazioni durante il periodo degli studi, che fu abbastanza lungo. Tuttavia il paragone fra le condizioni dei due manufatti, torna favorevole al progetto nostro, come risulta dallo specchio qui appresso:

Designazione dei manufatti	Arco centrale		Arco laterale in ogni spalla	Osservazioni
	Luce	Sacchetta		
	metri	metri		
Ponte di S. Tommaso	29.23	12.04	0	Spalle piene
Viadotto della strada ferrata	30.00	13.50	1 di 12 m. di diametro	Id. traforate

Siccome all'arco centrale non si assegnava che una luce di 30 metri, mentre l'alveo del fiume presentava una larghezza di circa 50 m., così il restringimento prodotto dalle

pile doveva necessariamente dar luogo ad un rigurgito che conveniva calcolare per vedere dentro quali limiti il regime delle acque poteva venir modificato in tempo di piena. Questo calcolo era tanto più necessario inquantochè a soli 200 metri più a monte del ponte esisteva ed esiste tutt'ora sul fiume un'andatoia in filo di ferro, sospesa a due torrette, che serviva pel passaggio degli operai che dalla sponda sinistra si recavano ad una filatura esistente sulla sponda destra in vicinanza alla cascata di cui si è parlato più sopra.

A tale effetto si raccolsero tutti gli elementi conosciuti relativamente al regime della Rhue, e si poterono avere facilmente presso l'Ufficio dei Ponti e Strade del Dipartimento; per maggior chiarezza li riassumiamo nello specchio seguente:

Indicazione dei punti osservati	Altitudine a monte		Altezza della piena		Caduta superficiale a valle	Osservazioni
	delle acque ordinarie	della massima piena	a monte	a valle		
	metri	metri	metri	metri	metri	
Andatoia della filatura	424.36	430.36	6.00	5.90	0.10	La pendenza superficiale delle acque fra la filatura e S. Tommaso è di m. 0.0047. Questa pendenza è quasi regolare.
Punto dove venne ubicato il viadotto	423.34	429.24	5.90	»	»	
Ponte S. Tommaso	414.56	421.36	6.80	6.40	0.40	

L'aumento d'altezza per effetto del rigurgito, fu calcolato colla nota formola:

$$y = \frac{Q^2}{2g h^2} \left(\frac{1}{\mu^2 l^2} - \frac{1}{L^2} \right)$$

dove le lettere significano:

Q la portata del corso d'acqua in metri cubi al 1",

h la profondità dell'acqua,

L la larghezza del letto del fiume,

l la larghezza ristretta

μ il coefficiente di contrazione.

Avuto riguardo all'ampiezza dell'arco ed alla regolarità colla quale vi si intromettono i fili d'acqua, si fece $\mu=0,90$. Alle altre lettere si assegnarono i valori seguenti:

Pel ponte S. Tommaso	Pel punto dove si è progettato il viadotto
$y' = 0^m,40$	$y = \text{incognita}$
$h' = 6,40$	$h = 5^m,90$
$l' = 27,00$	$l = 30,00$
$L' = 44,00$	$L = 50,00$

per conseguenza il valore di y si calcolerà dalla formola:

$$y = y' \left(\frac{h'}{h} \right)^2 \left[\frac{\frac{7}{\mu^2 l'^2} - \frac{1}{L'^2}}{\frac{1}{\mu^2 l^2} - \frac{1}{L^2}} \right] = 0^m,40$$

così la sopraelevazione del livello delle acque dall'a valle all'a monte del viadotto per effetto del rigurgito è di m. 0,40 ossia precisamente la stessa che al ponte S. Tommaso; le acque si eleveranno quindi dalla quota 429,24 alla quota 429,64.

Per vedere l'effetto prodotto dal rigurgito sul pelo di acqua fra il viadotto e l'andatoia della filatura, consideriamo il manufatto della ferrovia come una trasversa che

produca un rigurgito di m. 0,40, e vediamo fin dove si estende l'ampiezza del medesimo, o meglio quale sarà la sua altezza a 200 metri di distanza dal viadotto, ossia sotto l'andatoia. Calcolando colle note formole dell'idraulica, si avrà:

$$\frac{i(s - s_2)}{H} = x - x_2 - (1 - a^3) [\psi(x) - \psi(x_2)] \quad (1)$$

In essa le lettere significano:

$i = 0,0047$ pendenza alla superficie delle acque;

$s - s_2 = 200$ m. la distanza fra le due sezioni considerate;

$H = 5,90$ la profondità dell'acqua nel regime normale;

$h = 5,90 + 0,40 = 6,30$ la profondità nella sezione dopo il rigurgito.

Si hanno pure le formole:

$$a^3 = \frac{i}{b g} = \frac{0,0047}{0,0004 \times 9,81} = 1,223;$$

$$x = \frac{h}{H} = 1,0684;$$

$$\frac{1}{x} = 0,936.$$

E dalla tavola IV di Bresse (pag. 472):

$$\psi(x) = 0,7973.$$

Sostituendo i valori suddetti nell'equazione (1) si trova: $x_2 + 0,223 \psi(x_2) = 1,0684 - 0,0159 + 0,1778 = 1,231$ da cui si deduce, servendosi della tavola di Bresse sopra menzionata:

$$x_2 = \frac{h_2}{H} = 1,04,$$

e finalmente la profondità dell'acqua nella sezione s_2 :

$$h_2 = 1,04 \times 5,90 = 6,15$$

l'altezza del regime normale essendo di 5,90

il rigurgito sotto l'andatoia per effetto della costruzione del viadotto della strada ferrata sarà di M. 0,25,

e siccome lo spazio libero fra la superficie delle acque e le traverse inferiori dell'andatoia che si trovano più basse, fu nella massima piena del 1866 compreso fra m. 0,29 e m. 0,60, così si può concludere che il viadotto della strada ferrata non sarà di nessun pericolo per l'andatoia della filatura; sarebbe stato però preferibile che la medesima si trovasse ad un'altezza alquanto più elevata.

Tuttavia per attenuare nei limiti del possibile il rigurgito inevitabile prodotto dal manufatto della strada ferrata, si è modificato il progetto in questo senso, che invece di fare l'arco a tutta monta con un diametro di 30 metri, si è costruito con tre archi di cerchio, assegnando a quelli che partono dall'imposta un raggio di m. 12,47 fino all'altezza approssimativa di m. 7,40, ossia per un angolo di $46^{\circ} 24'$.

Egli è poi evidente che siccome le massime piene si elevano fino quasi all'altezza delle imposte dei due archi laterali, questi concorreranno allo smaltimento delle acque di piena. In tal modo si può essere sicuri che l'altezza del rigurgito sotto il viadotto e sotto l'andatoia non oltrepasserà in nessun caso le altezze calcolate di m. 0,40 e di m. 0,25 corrispondenti alla piena del 1866 che è la più elevata di cui si abbia memoria.

Allorchè io assunsi la direzione di questi lavori, prima d'intraprendere la costruzione del viadotto esaminai se non convenisse di sostituire al manufatto in muratura uno in ferro. In base ai calcoli sommari sembrava molto più economico, ma dopo di avere redatto un progetto regolare mi convinsi che la costruzione in pietra era preferibile. Infatti il viadotto in ferro più economico avrebbe dovuto avere una travata sola per evitare le pile che sarebbero riuscite molto alte. La luce della medesima fu assunta in metri 73; calcolando il ferro a 500 lire la tonnellata (prezzo corrente in quell'epoca), tutto in opera, la sola travata pel doppio binario veniva a costare L. 159,870; somma già superiore a quella preventivata pel viadotto che era di L. 135,000 circa; per conseguenza quest'idea fu subito abbandonata.

Il viadotto eseguito si compone quindi di tre archi, come si vede dalle fig. 2 e 3 della tavola X; l'arco centrale con una corda di m. 30 ed una saetta di m. 13,50; i laterali, da una parte e dall'altra del medesimo, con m. 12 di corda e in pieno centro. Altimetricamente si disse già che sui primi 3 metri il viadotto è orizzontale, indi in ascesa con una pendenza di m. 0,024.

Il parapetto è di ferro e ghisa e fu eseguito secondo lo stesso tipo della fig. 115 (pag. 185, anno 1884 di questo periodico). I ritzi sono di ghisa, mentre i correnti e l'appoggiatoio sono di ferro; i ritzi vennero assicurati nelle copertine del cordone col piombo. La larghezza fra il vivo dei parapetti è di 8 m.; essendosi costruito il manufatto pel doppio binario. La lunghezza totale del viadotto è di m. 73,00.

L'arcata centrale si compone, come già si è detto, di tre archi, uno di m. 16,125 di raggio abbracciante un'ampiezza angolare di $97^{\circ} 12'$; gli altri due, laterali al medesimo, abbracciano ciascuno un'ampiezza di $46^{\circ} 24'$ ed hanno un raggio di m. 12,50. Lo spessore dell'arco centrale alla chiave è di m. 1,20; e va aumentando fino all'incontro dei timpani, dove ha uno spessore di m. 1,80, e si confonde coi medesimi; il raggio dell'estradosso risulta così di m. 19,50. Gli altri due archi sono a pieno centro; il loro spessore in chiave è di m. 0,65 e va pure aumentando fino a confondersi coi timpani. Il raggio dell'estradosso è di m. 7,90.

Lo spessore delle pile alle imposte è di m. 4,00; gli archi laterali s'impostano ad un'altezza molto più elevata al di sopra delle imposte dell'arco centrale, quello sulla sponda destra a m. 7,45, e l'altro a m. 8,65. Questa differenza fra le altitudini dei due archi di riva proviene dalla acclività della livelletta in cui si trova il viadotto.

I timpani non si sono fatti pieni, ma allo scopo di alleggerire la costruzione, vi si è praticato in ciascuno, un arco nel senso parallelo all'asse del viadotto, vale a dire colla sua corda perpendicolare a quella degli archi del viadotto. La lunghezza di questi archi in chiave è risultata di m. 3,55 per la pila dal lato Eygurande, e di m. 4,55 per l'altro, la corda non è che di m. 3,80. Per effetto di questa disposizione lo spessore delle pile all'altezza delle imposte degli archi di sponda viene ad essere di m. 2,15, tanto da una parte quanto dall'altra.

La stessa grossezza si è assegnata alle spalle, le quali hanno una scarpata di $\frac{1}{20}$ all'esterno e di $\frac{1}{10}$ all'interno, per conseguenza lo spessore alla base, ossia all'altezza della risega, viene ad essere di m. 3,01 per quella dal lato Eygurande, e di m. 2,67 per quella dal lato Vendes. Siccome poi le spalle hanno una lunghezza di 4,00 rispettivamente di m. 7,00, così si sono prolungate voltandole con archi di raggio vario e con una corda uguale a m. 3,80, ed una lunghezza di m. 2,07 rispettivamente 5,10; come si vede anche nella fig. 3 e nella sezione trasversale rappresentata dalla fig. 4 della tavola X.

Per giustificare le dimensioni adottate, disegnai per ogni arco la curva delle pressioni, che per brevità non si è qui riprodotta. Dalla medesima risulta che:

1° Le curve delle pressioni si mantengono nell'interno dell'arco;

2° Le pressioni che risultano per ciascun giunto, in vicinanza dello spigolo più prossimo alla curva, riferite all'unità di superficie, sono inferiori a chilog. 10,50 nelle spalle e a 17 chilog. nell'arco centrale quando è sopraccaricato parzialmente; mentre pel carico totale diminuisce fino a chil. 14,00. Pressioni inferiori a quella limite che si poteva fare sopportare al materiale (granito) col grado di sicurezza voluta.

I calcoli furono condotti in modo che nel caso di caduta parziale del manufatto, vuoi dell'arco centrale, vuoi dei laterali, le pile avessero a mantenersi. La stabilità delle spalle poi fu esaminata pel caso in cui il viadotto fosse sopraccaricato coi massimi carichi, e il rilevato adiacente si trovasse libero, così da esercitare la minor spinta possibile. Infine, per diminuire la pressione sulle fondazioni distribuendola sopra una superficie maggiore, si è assegnato alle pile e alle spalle una risega, anche nel senso parallelo all'asse del fiume.

La nota formola di Dupuit, che, come già si disse, esprime semplicemente il risultato dell'esame di un gran numero di ponti costruiti, dà per l'arco centrale

$$g = 0,20 \sqrt{30} = 1,10,$$

e per gli archi laterali

$$g = 0,20 \sqrt{12} = 0,69,$$

mentre gli spessori da noi adottati sono di m. 1,20 e di m. 0,65.

Volendosi poi verificare le dimensioni suddette colle formole che già abbiamo date a pag. 51, n. IV di questo stesso periodico, per l'arco centrale e per la sezione dove l'estradosso incontra il timpano, ossia per un'ampiezza angolare di $87^{\circ} 12'$ avremo

$$g_1 = \frac{g}{\cos. 87^{\circ} 12'} = \frac{1,20}{\cos. 43^{\circ} 36'} = 1^m, 657.$$

Lo spessore realmente adottato è di m. 1,80.

Per gli archi laterali, l'ampiezza angolare corrispondente al raggio dell'estradosso nel punto dove questo incontra l'arco della spalla, rispettivamente del timpano, è di $38^{\circ} 42'$,

ossia inferiore al limite di 60° dentro il quale la formola trova la sua applicazione; calcolando lo spessore che l'arco dovrà avere in quel punto troviamo

$$g_1 = \frac{0,65}{\cos. 38^\circ 42'} = 0,831,$$

mentre lo spessore adottato è di m. 1,80.

Per le spalle gli spessori ottenuti per mezzo della curva delle pressioni sono molto inferiori a quelli forniti dalla nota formola di Leveillé, la quale per gli archi a pieno centro è la seguente:

$$G = (0,60 + 0,162 l) \sqrt{\frac{a + 0,25 l}{H}} \times \frac{0,865 l}{0,25 l + g},$$

dove le lettere rappresentano rispettivamente:

g la grossezza cercata delle spalle;

$l = 12^m$ la corda dell'arco;

$a = 5^m,73 - 1^m,65 = 4^m,08$ l'altezza dei piedritti delle spalle per l'arco dal lato di Eygurande;

$g = 0^m,65$ lo spessore alla chiave;

H la distanza verticale fra le fondazioni e il piano stradale; quindi

$$H = 4,08 + 6,00 + 0,65 + 0,598 = 11^m,328.$$

Sostituendo nella formola di Leveillé i valori suddetti si avrà

$$G = 3^m,35,$$

mentre lo spessore adottato è di m. 2,15. Ad onta di questa discordanza non ho creduto di modificare in alcun modo gli spessori adottati poichè le condizioni di stabilità fornite dalla curva delle pressioni non lasciavano alcun dubbio sulla loro convenienza, e il risultato (4 anni di esercizio) ha pienamente confermate le nostre previsioni.

Nelle figure della tavola X si sono riunite tutte le disposizioni principali del viadotto; da esse e dalle molte dimensioni inscrittevi è facile il farsi un'idea dell'insieme del manufatto. Per vero, all'atto dell'approvazione per parte del Ministero dei lavori pubblici si era obiettato che l'altezza fra la superficie inferiore dell'andatoia a monte e il pelo di acqua rigurgitata, in tempo di piena era troppo piccola, e fu proposto di aumentare l'arco centrale fino ad avere una luce di 40 metri.

Il Consiglio Superiore dei ponti e strade però, considerando che questa nuova disposizione aumenterebbe assai la spesa totale del viadotto, e che d'altra parte nessun interesse pubblico trovavasi compromesso, essendo l'andatoia proprietà privata, e di esclusivo uso degli operai della filatura, conchiuse di non insistere su questo punto e di approvare il progetto della Compagnia come si trovava e come è rappresentato dalle figure della tavola X.

Nella fig. 1 si ha la pianta generale del manufatto, sulla quale sono pure indicate le scogliere al piede delle pile e i muri di rivestimento per proteggere il rilevato stradale fino sopra l'altezza delle massime piene. La fig. 2 rappresenta una metà del prospetto a valle del viadotto, e la fig. 3 una metà della sezione longitudinale, secondo l'asse del manufatto. Finalmente la fig. 4 rappresenta una sezione trasversale della spalla dal lato Vendes, secondo la linea AB.

I muri andatori hanno uno spessore di m. 1,00 al ciglio; il medesimo aumenta di 25 centimetri per ogni m. 1,20 di profondità; i timpani sono alleggeriti da vòlte speciali.

Nelle fig. 2 e 3 si scorgono pure i muri di rivestimento,

i quali si elevano l'uno fino alle imposte dell'arco di riva, e l'altro poco sotto; quest'ultimo sostiene una strada di tre metri che passa sotto il ponte.

La natura dei materiali impiegati è la seguente.

Le spalle e le pile si fondarono a secco sopra un massiccio di muratura, appoggiante direttamente sul terreno solido; la parte superiore del massiccio di muratura fu circondata da una cinta di grossa muratura di pietra da taglio grezza, colla quale si rivestì pure tutto il davanti delle pile e gli angoli dai lati del fiume.

Per le spalle, la muratura di pietra da taglio grezza fu terminata alla risega; per le pile invece a m. 0,40 al di sotto delle imposte del grand'arco; questo spessore fu poi occupato da uno strato di pietra da taglio formante zoccolo, come si scorge anche dalle fig. 2 e 3 della tavola X.

La muratura delle spalle fu eseguita in pietrame ordinario con calce idraulica, a paramenti nascosti ma con filari orizzontali e regolari. Le murature delle pile furono pure eseguite in pietrame ordinario nell'interno, ma rivestite tutto intorno di pietrame lavorato in conci alla martellina fino all'altezza dei cordoni o fasce che si vedono in corrispondenza delle imposte degli archi di sponda. Questi conci avevano una rientranza di m. 0,35 a 0,50; gli angoli si fecero in pietra da taglio collo stesso apparecchio delle armille degli archi, nel cui prolungamento venivano a trovarsi, cioè a dire con lunghezze alternate di m. 0,65 e 0,45. Le armille o archivolti tanto dell'arco centrale, quanto di quelli di sponda, furono eseguite in pietra da taglio coll'apparecchio suddetto di 0,65 per 0,45 nell'intradosso, e 0,65 uniforme su tutto lo sviluppo nelle fronti.

Il loro sviluppo, tenuto conto dell'aggetto che alla pietra da taglio si assegnò su quella dell'intradosso, fu per l'arco centrale di m. 47,35 all'estradosso, e di m. 43,90 all'intradosso; per gli archi di sponda m. 17,64 all'estradosso e 16,00 metri all'intradosso; per l'arco Eygurande è di m. 20,23 e rispettivamente m. 18,23 per quello dal lato di Vendes; per quest'ultimo, la pietra da taglio fu messa fino alle imposte, mentre per l'altro solo fino dove arrivavano le terre del rilevato.

Le superficie d'intradosso si sono eseguite in conci lavorati alla martellina in filari regolari con rientranze di m. 0,35 a m. 0,40 per gli archi laterali, e di m. 0,40 a m. 0,55 per l'arco centrale; inoltre, per meglio assicurare il collegamento della muratura delle superficie viste con quella dell'interno, si fece collocare per ogni metro superficiale di muratura una catena con rientranza di m. 0,70. Lo spessore delle vòlte venne completato con una muratura di pietrame ordinario, disposta a corsi in prolungamento dei filari dei conci.

Nella fig. 2 la muratura a mosaico sembra fare un contrasto poco aggradevole all'occhio con quella sottoposta a filari orizzontali; ma in realtà non è così, siccome tutta la pietra è della stessa natura, l'aspetto del manufatto è graziosissimo.

I timpani si fecero in muratura ordinaria coi paramenti in pietrame scalpellato e disposto a mosaico; le vòlte di alleggerimento nell'interno dei medesimi e delle spalle si fecero in conci alla martellina, con rientranza media di m. 0,35 e completate con muratura ordinaria in prolungamento dei filari dei conci stessi.

La cappa si estende da una vòlta di scarico all'altra, passando sugli archi di riva e sull'arco centrale, con uno spessore di m. 0,10; i muri andatori furono pure coperti di cappa nella parte superiore.

Lateralmente all'arco centrale, proprio sulle reni, si disposero due gocciolatoi di ghisa, uno da ciascuna parte, per dare scolo alle acque di infiltrazione.

Le fasce e il cordone superiore che servono di cornice sono in pietra da taglio.

I vuoti nell'interno dei timpani e fra i muri andatori delle spalle e delle pile e gli archi di scarico delle spalle, furono riempiti di ghiaia; solo in vicinanza ai gocciolatoi si eseguì una spugna a secco, come scorgesi anche dalla figura 3 della tavola X.

I muri di rivestimento formanti quarto di cono si eseguirono in muratura di pietrame scalpellato nei paramenti visti, e ordinario nell'interno, con uno spessore di m. 0,80 al ciglio e m. 1,20 al piede; appoggiano sopra un massiccio di ghiaia disposto per cordoli di piccolo spessore; alla base si fecero delle scogliere con blocchi di metri cubi 0,06.

Il materiale impiegato per tutto il viadotto, ad eccezione del cordone superiore, è una specie di granito durissimo, che venne cavato dall'Impresa, allargando la trincea che segue il manufatto e trovandosi a soli 200 metri di distanza dal medesimo. Questo granito presentava molta rassomiglianza col gneis e in certi punti anche col micascisto; vi si trovarono pure dei filoni di feldspato compatto. Avuto riguardo alla durezza della pietra, l'Impresa chiese di poterle sostituire il grés, ma siccome le pressioni a cui venivano sottoposte le diverse parti del manufatto erano considerevoli, non si credette opportuno di accogliere la domanda dell'Impresa, e solo le si permise di eseguire il cordone di coronamento in grés, come difatti essa fece prendendolo nella trincea che precede il viadotto sulla Dordogna, prima di arrivare alla stazione di Bort.

Per vero, in vicinanza al viadotto della Rhue si erano pure trovati alcuni strati di grés grossolano, quarzoso, il quale evidentemente era stato formato sopra luogo dai materiali disaggregati del granito sul quale riposa; ma, siccome il cemento che serviva di collegamento fra le parti minute non era siliceo ma calcareo, la pietra presentavasi molto fragile, e la proserissi completamente.

Il 23 luglio 1879 si incominciò la costruzione della tura che doveva servir di cintura allo scavo della pila sulla sponda sinistra ed alle fondazioni dei muri di rivestimento e delle gettate; si eseguì con pali in ferro del peso di 15 chil. per metro corrente, e palanche in legname di quercia. La tura doveva allontanare l'acqua corrente dal sito dello scavo. Essa fu terminata il 1° agosto. Si costruì in seguito un'andatoia sul fiume, pel servizio delle murature del viadotto; essa basava su stillate, distanti 11 metri da asse ad asse, ed aveva una larghezza di 3 metri. Il 10 agosto si diede principio allo scavo per le fondazioni della pila, lato Vendes.

Gli aggettamenti si fecero con due trombe: una Letestu, con diametro di m. 0,25, e l'altra rotatoria, mossa da una locomobile; lo scavo fu ultimato il 22 agosto, ma non si poté ricevere per dissensi insorti coll'Impresa, i quali furono solo accomodati il 17 ottobre; si poté allora incominciare le murature. A partire da questo giorno gli aggettamenti dovevano eseguirsi dall'Amministrazione, poichè il contratto prevedeva che durante lo scavo le spese di aggettamento fossero tutte a carico dell'Impresa; durante l'esecuzione delle murature a carico dell'Amministrazione; le spese poi d'impianto ed di noleggio delle macchine utilizzate per questo uso, venivano ripartite proporzionalmente fra l'Amministrazione e l'Impresa in proporzione dei giorni, come sopra.

La pila fu terminata fino al disopra dello zoccolo il 29 ottobre.

Nel frattempo si era incominciata la costruzione della tura per la pila N. 1, ossia per quella sulla sponda destra; lo scavo della fondazione poté principiarsi il 10 ottobre; gli aggettamenti si facevano dapprima con una sola locomobile, venuta a posta per non distrarre quella dell'altra

pila; più tardi furono riunite tutte due. La tromba aveva un diametro di m. 0,40.

Lo scavo fu ultimato il 20 ottobre, alle 4 pomeridiane, e ricevuto in quello stesso giorno. Vi si lavorava da quasi una settimana con una pioggia minuta, ma continua; il fiume andava sempre aumentando, e difatti nella notte dal 20 al 21 ottobre riempì di nuovo tutta la fondazione e portò via l'andatoia di servizio.

Appena che la piena diminuì e permise di lavorare, si ripresero gli scavi, i quali furono condotti con maggior celerità, poichè la ghiaia non era compressa e si poteva semplicemente paleggiare; il 1° novembre si poté dar principio alle murature, colle quali si arrivò a un metro al disopra dello zoccolo verso il 12 novembre, epoca in cui si dovettero cessare le murature per la rigidità della stagione.

Al fondo delle pile si è trovata ghiaia compattissima, la quale fece esitare un momento se dovevasi fondare o no; ma visto che il fiume in nessun punto vicino presentava tracce di corrosione, sebbene avesse una pendenza di 0,0047, e che non c'era pericolo di scalzamento; si arrestò lo scavo alla quota 419,282 per la pila N. 2 e a 419,500 per la pila N. 1, e si incominciarono le murature.

Passato l'inverno si diede subito mano alle murature della volta centrale e contemporaneamente alle fondazioni delle spalle, con un'attività meravigliosa, cosicchè il 10 aprile 1880 le centine per l'arco centrale si trovavano montate. Senonchè per errore dell'Impresa la quota delle imposte, invece di essere 423,23, come prevedeva il progetto, fu nella collocazione in opera delle centine ritenuta di 423,47: ne risultò che la chiave dell'arco all'intradosso veniva a trovarsi di m. 0,24 più elevata che non era previsto dal progetto. Questo errore era naturalmente incompatibile col profilo longitudinale della linea, e per rimediarsi non vi erano che due soluzioni: colla prima si veniva a modificare la curva d'intradosso, colla seconda si modificava il profilo della linea e quindi i movimenti di terra.

Colla prima soluzione la monta dell'arco centrale sarebbe stata ridotta da m. 13,50 a 13,26, aumentando lo abbassamento di circa 1/7. Ammettendo nelle murature le condizioni del progetto, le pressioni interne per centimetro quadrato aumentavano, per effetto di questo abbassamento, di chilogr. 0,80. Sotto ogni altro punto di vista questa soluzione si presentava senza inconvenienti, ed era quella desiderata dall'Impresa. Solamente era necessario di abbassare immediatamente le centine di m. 0,24 sulle loro scatole di sabbia; e la spesa che poteva ocasionare estimavasi a L. 400.

Colla seconda soluzione le centine non si sarebbero mosse; le murature si sarebbero continuate secondo l'intradosso indicato nel progetto; il profilo longitudinale verrebbe modificato sostituendo una pendenza di m. 0,017 a quella di m. 0,024 prevista. La livelletta orizzontale precedente il manufatto, avente una lunghezza di 424 metri, verrebbe ridotta di metri 28,82, e i tre archi rilevati di m. 0,44 il primo, di m. 0,27 il secondo e di m. 0,09 il terzo. Questa seconda soluzione era certamente la più semplice, ma avrebbe costato 1500 lire.

Dopo avere alquanto esitato, si adottò la prima soluzione, lasciando però all'Impresa ogni responsabilità relativa all'abbassamento di 0,24 delle centine, e gli accidenti di qualche importanza che potrebbero avverarsi nelle murature all'atto del disarmo.

Nei disegni della tavola X non si è fatta figurare la diminuzione della saetta in seguito all'errore di cui sopra, poichè non venne considerata nella liquidazione finale, lasciando ogni responsabilità e spesa all'Impresa.

Il viadotto fu ultimato il 16 giugno 1880; il disarmo

si fece in appresso. Per constatare l'abbassamento che poteva aver luogo dopo il disarmo, si sono livellati gli archi il 16 giugno stesso, e si è ripetuta quest'operazione il 21

giugno, dopo avvenuto il disarmo. Le differenze constatate sono piccolissime, come si può giudicare dallo specchio seguente, nel quale le abbiamo registrate:

Punti dove si sono fatte le osservazioni	Arco N. 1 di 12 metri di luce	Arco N. 2 centrale ribassato, di 80 m. di luce	Arco N. 3 di 12 metri di luce	OSSERVAZIONI
	metri	metri	metri	
Testata a monte	$a = 0.011$	$d = 0.086$	$g = 0.020$	
Asse del viadotto	$b = 0.010$	$e = 0.075$	$h = 0.026$	
Testata a valle	$c = 0.012$	$f = 0.058$	$i = 0.033$	
Totali	0.033	0.220	0.079	
Medie	0.011	0.073	0.026	

Le quantità principali di lavoro eseguito sono:

Scavo	Mc.	919,76
Muratura generale d'ogni natura, di cui:		
Calcestruzzo	Mc.	0,96
In pietrame a secco	»	28,34
Id. ordinario	»	2187,16
Id. scalpellato	»	100,28
Id. lavorato in conci alla martellina	»	378,00
In pietra da taglio	»	148,15
Id. grossolanamente lavorata	»	37,93
Grossi blocchi per scogliere	»	367,41
		» 3248,23
Il cubo di muratura generale si può dividere ancora nelle due categorie seguenti:		
Muratura di fondazione	Mc.	855,63
Id. in elevazione	»	2392,60
Per le centine del viadotto si pagarono	L.	11160,00
Per quelle degli archi di scarico	»	350,06
Ghisa per gocciolatoi	Chg.	128,00
Id. per parapetti	»	1039,04
Ferro id.	»	2551,62

La lunghezza totale del viadotto è di M. 73,00
 La superficie laterale della muratura in elevazione è di Mq. 352,12
 La superficie laterale dei vuoti del manufatto è di » 624,58
 La superficie totale laterale è di » 976,70
 Il rapporto dei pieni ai vuoti è di 0,564, ossia di 1 : 0,564

L'ammontare totale del viadotto, esclusi i muri di rivestimento dei quarti di cono, risultò di L. 140 351,92.

Il prezzo per metro lineare di manufatto risulta di

$$L. 1922,62 = \frac{140\ 351,92}{73,00}$$

Il prezzo per metro quadrato di superficie in elevazione di

$$L. 143,70 = \frac{140\ 351,92}{976,70}$$

Finalmente il prezzo per metro cubo di muratura di ogni natura

$$L. 43,21 = \frac{140\ 351,92}{3248,23}$$

COSTRUZIONI METALLICHE

I RISULTATI DELL'ESPERIENZA SUI PONTI DI FERRO.

I ponti di ferro hanno acquistato oggidì un'importanza grandissima nei lavori d'ingegneria, in causa della facilità colla quale essi permettono di scavalcare fiumi e vallate larghissime, senza che sia necessario di ricorrere alla costruzione di molti sostegni intermedi, i quali, fatta astrazione della grave spesa che richiedono, non sempre si possono eseguire, vuoi per le condizioni della località, vuoi per le difficoltà tecniche che vi si connettono, vuoi anche per lo scopo stesso cui sovente il ponte deve soddisfare. Tuttavia nei casi dove queste tre circostanze non sono prevalenti, e dove la pietra abbonda sul luogo, tutti gl'ingegneri esitano nella scelta fra un ponte in ferro ed un ponte in muratura, e finiscono quasi sempre per decidersi in favore di quest'ultimo, come quello la cui durata è certamente più lunga.

A noi sembra però che la questione non dovrebbe risolversi in favore dei ponti in fabbrica per questa sola conside-

razione, ma che anche un ponte costruito con materiali dalla cui natura la durata del medesimo venga ad essere ristretta dentro limiti molto più brevi, possa tornare conveniente, quando cioè l'economia ottenuta nella sua costruzione, per rispetto a quello in muratura fosse tale che, capitalizzata, compensasse ad usura le spese necessarie per la ricostruzione del manufatto in quell'epoca in cui l'antico avrà bisogno di essere rinnovato. Questo modo di vedere non è punto nuovo, e certamente tutti gl'ingegneri che si trovarono nel caso di progettare un ponte e di fare una scelta fra la pietra e il ferro, dovettero pensarvi seriamente.

Siccome però le costruzioni in ferro non risalgono ad un'epoca molto lontana, così i dati che l'esperienza può fornire sul conto loro sono pochi ed hanno un valore limitato. Aggiungasi che di tutti i ponti in ferro rovinati non si conoscono sempre le condizioni o le circostanze in cui la catastrofe ebbe luogo; di molti se ne indovinarono o si credette di indovinarne le cause; di altri si fecero supposizioni più o meno ipotetiche e talvolta molto lontane dalla verità; finalmente buona parte dei primi ponti, o per lo stato in cui si trovava allora la statica e la conoscenza sulla resistenza dei materiali, o per altre ragioni inutili a cercarsi, non fu sempre costruita secondo regole razionali.

Tutte le circostanze menzionate hanno impensierito le Società ferroviarie d'ogni nazione, ma specialmente tedesche, le quali si sforzarono di raccogliere il maggior numero di risultati pratici ed sperimentali che potessero gettare luce nell'astrusa questione. L'*Organ für di Fortschritte des Eisenbahnwesens* pubblicò l'anno scorso le risposte, che diverse Società ferroviarie tedesche fecero a varie domande che loro erano state dirette dal Comitato centrale dell'Associazione di tutte le Società suddette, e sebbene dalle medesime non si possa ancora tirare delle conclusioni definitive, ciò nullameno hanno una importanza grandissima e meritano di essere conosciute.

La prima domanda era questa: Quali sono i risultati che l'esperienza fornisce sulla durata dei ponti in ferro?

Dall'insieme delle risposte pervenute dalle diverse Società risulta, che l'esistenza dei ponti in ferro sulle strade ferrate tedesche è di data troppo recente per poterne tirare conclusioni definitive che permettano di stabilire con sufficiente esattezza i limiti di questa durata. Tuttavia è d'uopo osservare che generalmente la sostituzione d'un nuovo ponte ad uno esistente, od il cambiamento parziale di una o più parti del medesimo, non furono mai cagionate da difetti manifestatisi nella costruzione o nella natura del materiale impiegato, ma bensì dalle cambiate condizioni in cui si trovava il manufatto, il quale era stato costruito per locomotive di un certo peso, cui pel maggiore sviluppo del movimento ferroviario o per altre ragioni, si erano dovute sostituire locomotive molto più pesanti.

La seconda domanda si riferiva alle spese di mantenimento; e dalle risposte avute si può concludere che esse variano fra 0,2 e 0,3 per cento del capitale di costruzione, compreso il rinnovamento della verniciatura. Facendo astrazione di questa ultima, le spese di mantenimento si riducono ai minimi termini; però non tutti i sistemi di costruzione si trovano in condizioni così favorevoli; quelli così detti sistema Pauli, vale a dire colla tavola superiore ed inferiore secondo un arco parabolico, la prima premuta, tesa l'altra, richiedono una spesa maggiore. Anche i ponti a sistema Schiffkorn richiedono un mantenimento più costoso che non gli altri (1).

Terza domanda: Come si comporta il ferro fuso e l'acciaio nelle costruzioni in ferro, specialmente nei ponti?

Dal complesso dei fatti risultanti dalle risposte fornite dalle varie Società, pare che i due materiali suddetti non si debbano preferire al ferro, il primo perchè più caro: uno dei ponti esaminati, costruito in ferro fuso, venne a costare 7,6 per cento di più che se fosse stato eseguito in ferro colle stesse dimensioni; per ambedue poi l'azione degli urti torna dannosa, inquantochè provoca delle rotture improvvise, senza una precedente deformazione apparente, specialmente se la temperatura è quasi vicina a zero; quindi tornerebbero più pericolosi nei paesi freddi.

Noi crediamo però che una tale conclusione sia ancora prematura, almeno per quanto si riferisce all'acciaio, essendo troppo piccolo il numero delle costruzioni sul continente dove si sia fatto uso dei materiali suddetti; tanto più è prematura inquantochè altrove, specialmente in America, si hanno invece moltissimi risultati, tutti favorevoli all'impiego dell'acciaio nelle costruzioni metalliche. Quando poi trattasi di ponti grandiosi, con luci straordinarie, è una necessità il dover ricorrere all'acciaio, perchè il ferro non presenterebbe una resistenza sufficiente.

Colla quarta domanda si chiedeva: se nel calcolo dei ponti in ferro per le strade ferrate economiche si tiene conto della minore velocità colla quale circolano i convogli, diminuendo il grado di sicurezza, e quindi aumentando il limite a cui si fa lavorare il materiale impiegato, ed in che modo.

Dalle risposte avute risulta, che la maggioranza delle Società ferroviarie non tiene conto di questa minore velocità, e quindi delle economie che si possono fare nella costruzione dei ponti, ma che i medesimi vengono calcolati esattamente come quelli per le strade ferrate di primo ordine. Tuttavia in quei casi in cui si può prevedere con sicurezza che in certe linee non si verificherà mai un aumento nel traffico, e quindi non si troverà mai nella necessità di aumentare la resistenza dei ponti esistenti

sulle medesime, sembra giusto che si debba calcolarli in modo da avere una qualche economia nelle spese di costruzione. A questa conclusione arrivò pure la Commissione italiana incaricata di studiare le modalità e le economie che si potevano raggiungere sulle nuove linee da costruirsi. La Società tedesca incaricata di riferire, conchiude che, ammessa la perfetta conoscenza del peso per ogni sala di locomotiva che circoli sul ponte da costruirsi, si possa senza inconvenienti, nei casi in cui la velocità di circolazione è ridotta, far lavorare il ferro fino a 900 e 950 chilogrammi per centimetro quadrato; queste cifre vanno però considerate come un massimo oltre il quale non si dovrà andare in nessun caso.

Quinta domanda: Quali sono i risultati dell'esperienza relativamente alla coloritura nei ponti, e quali colori o vernici sono più particolarmente in uso? Dopo quanto tempo devono rinnovarsi? Quali vernici hanno fatto miglior prova, in rapporto al loro costo?

Le vernici più particolarmente in uso sono quelle ad olio; furono però proposti e applicati qua e là molti altri colori e composizioni.

La durata delle coloriture dipende in sommo grado dalle condizioni climateriche della località, dalla natura dei materiali impiegati e dall'accuratezza con cui il lavoro viene eseguito. Secondo la maggiore o minore concorrenza simultanea delle tre cause suddette, la durata delle vernici ad olio varia fra tre e dieci o dodici anni; la durata media è di cinque a sei anni. Per le altre coloriture o composizioni non si hanno ancora dati sufficienti per concludere. Nelle condizioni presenti le vernici ad olio sono quelle che, in rapporto al costo, hanno dato i migliori risultati.

Colla sesta domanda si desiderava di conoscere in qual modo il ferro dovrebbe trattarsi per isfuggire agli effetti della ruggine, specialmente per quelle parti che devono trovarsi esposte all'umidità della terra e subire per di più azioni meccaniche.

Le risposte pervenute concordano tutte nel fatto che fino ad oggi non si è pur anche trovato un mezzo sicuro, atto a prevenire il ferro dalla ruggine; i mezzi impiegati sono molti, ma i più efficaci consistono nel sottoporre il ferro preventivamente ad una lavatura meccanica e chimica, indi nell'overniciarlo con vernice bollente ad olio di lino e con colore ad olio. Per quei pezzi poi che si trovano esposti all'umidità della terra, si ricorre al bitume d'asfalto.

Settima domanda: Quali esperimenti si sono fatti sui ponti ed incavallature in ferro coll'istrumento di Fränkel, destinato a constatare le dilatazioni, e quali sono i risultati ottenuti? Hanno tali risultati un'importanza pratica, e in qual modo si possono utilizzare?

I risultati ottenuti coll'istrumento di Fränkel concordano più o meno coi dati forniti dalla teoria; però gli esperimenti eseguiti sono in numero troppo piccolo perchè si possa rispondere categoricamente alle questioni fatte. Siccome l'istrumento di Fränkel permette di determinare gli sforzi nei singoli pezzi componenti il ponte, così si consiglia di continuare tali esperimenti su vasta scala.

La Direzione delle Ferrovie di Berlino ha poi osservato che dal paragone dei risultati ottenuti dal calcolo, con quelli forniti dalle osservazioni sui ponti a travi continue, poté riconoscere che diversi difetti provenivano dai punti d'appoggio estremi dal modo con cui le travi erano fissate, cosicchè dopo di aver tolte queste cause, i risultati suddetti mostrarono una concordanza relativa sorprendente.

Egli è evidente che sebbene le risposte ottenute dalle diverse Società ferroviarie non siano tutte categoriche, tuttavia hanno un'importanza grande per quelli che si occupano di costruzioni in ferro, e noi vorremmo che anche in Italia si facessero delle osservazioni analoghe, e se ne rendessero noti i risultati che si avranno, i quali, oltre alla loro importanza assoluta, ne avrebbero una relativa, permettendo cioè di stabilire dei confronti coi risultati ottenuti dalle Società ferroviarie di altre nazioni.

Teramo, il 25 luglio 1885.

GAETANO CRUGNOLA.

(1) Questo sistema non fu usato che per alcuni ponti in Austria; altrove non trovò imitatori.

NOTIZIE

Risultato del Concorso indetto dall'Accademia dei Lincei al premio reale di lire 10 mila per la matematica. — È noto come S. M. il Re, con due nobili lettere dirette al compianto Quintino Sella, Presidente della Reale Accademia dei Lincei, l'una del febbraio 1878 e l'altra del gennaio 1884, istituì premi annui da lire 10 mila ciascuno, e come tra questi uno fosse destinato ai lavori di *matematica* che sarebbero stati presentati all'Accademia al 31 dicembre 1884.

Undici furono i concorrenti al premio reale di matematica, ma otto fra essi furono tosto esclusi dalla Commissione perchè di pochissimo o privi di valore.

La Commissione composta degli Accademici G. Battaglini, E. Betti, e U. Dini, esaminati con molta cura nel suo rapporto gli altri tre lavori dei professori Ascoli, Siacci, e Veronese, e postine in evidenza i vari pregi, concluse nondimeno negativamente in merito al premio. Crediamo ad ogni modo utilissimo riprodurre le considerazioni svolte in proposito dalla dotta Commissione, anche perchè ne ridonda molta lode ai chiarissimi autori delle Memorie presentate.

« Il lavoro del sig. Ascoli: *Sulla curva limite di una varietà data di curve*, è senza dubbio molto pregevole, specialmente se si ha riguardo alla precisione con la quale espone le cose trattate, che sono relative ad una parte dell'analisi delicatissima e difficile, come quella attinente ai principi della teoria delle funzioni, nei quali è necessario il maggior rigore. L'autore nella prima parte del suo lavoro fa uno studio sui rami delle curve di classe assegnabile o meno, come egli dice; studio che in fondo può dirsi quello di funzioni per le quali esistano le derivate, con certe proprietà generali, sino a quelle di un determinato ordine finito, o fino a quelle di ordine qualsivoglia. Nella seconda parte, considerando una varietà illimitata di linee dotate di alcune proprietà generali, l'autore con varie considerazioni, e successivi passaggi al limite, ne deduce l'esistenza di certe curve, che chiama « curve limiti della varietà data » e studia le proprietà generali di queste curve limiti.

« Da tutto il lavoro apparisce largamente il molto acume dell'autore, la sua precisione nel trattare di cose tanto delicate e difficili; e s'intravede anche come i risultati ottenuti potranno in avvenire acquistare una particolare importanza, quando vengano applicati a trattare, in modo semplice e rigoroso, almeno le parti principali della teoria delle funzioni di due variabili. L'autore accenna a questa possibilità nella introduzione al suo lavoro; e soltanto quando ciò sia fatto, potrà dirsi che gli studi dell'autore segmino un importante progresso nella scienza, quali si richiederebbero per poterli dichiarare meritevoli del premio reale.

« Il sig. prof. Siacci nella prima sua Memoria intitolata: *Teorema fondamentale nella teoria delle equazioni canoniche del moto*, dà un teorema di analisi, per mezzo del quale egli dimostra con metodo uniforme tutto ciò che Hamilton e Jacobi hanno trovato, riguardo alla teoria delle equazioni differenziali della Dinamica, cioè riduzione alla forma canonica, trasformazioni di equazioni canoniche, teorema della funzione caratteristica, ed equazioni del moto perturbato. Il lavoro è certamente molto pregevole, in quanto riduce a unità il metodo col quale si possono trattare queste teorie. Non si può dire però che la Memoria segni un progresso verso la integrazione delle equazioni della Dinamica, che è lo scopo finale della teoria; sicchè mentre si reputa questo lavoro del Siacci degno di encomio, esso non è però tale da poterli aggiudicare il premio reale.

« A differenza della suddetta Memoria, che mirava essenzialmente a stabilire simboli analitici per rappresentare le leggi più generali del moto, il prof. Siacci nella sua seconda Memoria intitolata: *Nuovo metodo per risolvere i problemi del tiro*, si è proposto di accomodare le formole analitiche, combinate con l'esperienza, per risolvere il problema del tiro delle armi da fuoco. Una tale questione è di grande importanza ai tempi nostri, sia per gli effetti che i perfezionamenti arrecati alle bocche da fuoco permettono di ottenere, e che richiedono una conoscenza per quanto possibile esatta delle circostanze del moto del proiettile nei vari punti della traiettoria da esso percorsa, sia per regolare la costruzione stessa di quelle bocche da fuoco, in modo da ottenere, per effetto dell'esplosione della polvere, velocità iniziali determinate dei proiettili che non eccedano però certi limiti, in relazione alla resistenza dell'arma stessa da fuoco. Questi argomenti, che costituiscono l'oggetto della balistica interna ed esterna, sono stati trattati con singolare maestria dal conte Paolo di St. Robert. Il lavoro del Siacci riguarda solamente la balistica esterna. Il problema della balistica nel vuoto è assai semplice, ma non è così quando si deve tener conto della resistenza dell'aria. Intorno a questa resistenza si sono fatte varie ipotesi, fra le quali una venne per un tempo assai generalmente accolta, come la più conforme al vero, quella cioè della resistenza proporzionale al quadrato della velocità. In tale ipotesi si giunse ad equazioni non integrabili direttamente, e di applicazione lunga e difficile. Esperienze più recenti diedero per risultato che la resistenza dell'aria non è pro-

porzionale al quadrato della velocità del proiettile, ma segue al contrario una legge assai più complicata, che non si è riuscito finora a formulare in modo preciso; anzi da alcune di quelle esperienze sembrerebbe risultare che la legge di resistenza non è rappresentabile da una funzione continua. Alle difficoltà provenienti dalla incertezza della legge di resistenza dell'aria si aggiungono quelle derivanti dalle formole che si presentano sotto forme non integrabili, e che è duopo trasformare a seconda della velocità, e rendere integrabili in certi limiti, per ottenere risultati numerici approssimativi. Un tale tentativo venne, fra gli altri, fatto dal generale Mayevski, ma pare che il suo metodo sia giudicato troppo complicato, e di uso poco pratico, benchè per agevolarlo egli abbia stabilito tavole numeriche proprie a risparmiare alquanto i calcoli. Tale essendo lo stato della questione, il prof. Siacci intraprese il lavoro che ora si esamina e la di cui importanza non sfuggirà a chi riflette alle circostanze che si presentano all'artiglierie nei diversi problemi che egli in pratica deve risolvere. Per sciogliere praticamente, e nel modo più rapido, questi problemi, il Siacci si appigliò all'esperienza di Blashfort e di Mayevski sulla resistenza dell'aria, e raccordò tra loro i vari tratti delle curve rappresentanti quelle esperienze, in modo da mantenere fra essi una continuità grafica. Per i singoli tratti compresi fra date velocità, il Siacci aggiusta le formole in modo da renderle integrabili, con sufficiente approssimazione; queste formole però hanno un carattere analitico generale, per cui basta cambiare in esse il valore di quantità, che sono bensì variabili, ma che si possono considerare come costanti fra dati limiti di velocità. È duopo eziandio di tener conto della natura e della forma dei proiettili; le esperienze dimostrano che la resistenza opposta loro dall'aria è proporzionale al quadrato del diametro del proietto, supposto di sezione trasversale circolare; ma per tener conto della forma e del peso del proietto, il Siacci attribuisce ad esso un coefficiente che egli chiama « coefficiente balistico ».

« Tenendo conto di queste considerazioni il Siacci potè stabilire tavole numeriche, che somministrano con la massima rapidità i termini delle equazioni, o formole, dalle quali si deducono vari elementi della traiettoria in relazione con i dati del problema il quale si pone in questi termini: Date tre delle sei quantità seguenti, determinare le tre altre, cioè: 1° il coefficiente balistico; 2° la velocità iniziale; 3° l'angolo di proiezione; 4° la velocità residua in un determinato punto della traiettoria; 5° l'angolo di caduta, ossia l'angolo coll'orizzonte della tangente in quel punto; 6° la gettata, ossia l'ascissa corrispondente al detto punto; inoltre 7° quando saranno conosciute tre delle quantità suddette, si potrà determinare il tempo di percorso del proiettile dalla bocca dell'arma al punto considerato.

« Tali sono i problemi che il Siacci si propose di sciogliere col suo metodo; questo, come egli stesso dice « non ha pretesione di presentarsi con gravi difficoltà analitiche superate, o con un grande risultato » analitico conseguito: il merito principale di esso consiste nell'aver » resa la balistica accessibile alle ordinarie applicazioni dell'artiglieria, » mentre prima d'ora ogni questione di tiro era trattata per la via empirica di esperienze costose, lunghe e difficili, e spesso inconcludenti, » e ciò malgrado i numerosi e dottissimi metodi analitici presentati da » geometri eminenti ».

« Che il Siacci abbia raggiunto il suo intento, lo si dovrebbe affermare, a giudicarlo dalla universale accoglienza che presso tutte le principali potenze militari venne fatta al suo lavoro. Le sue formole, le sue tavole vennero esaminate e confrontate con i risultati di esperienze ulteriori, e si trovò che esse davano risultati esatti nei limiti delle approssimazioni che si possono ottenere in quelle esperienze. — Il Siacci ha unito al suo scritto quattordici stampati in varie lingue (francese, inglese, tedesca, olandese, russa, spagnuola, italiana) che tutti si occupano lungamente del suo metodo. Esso forma la base del corso di balistica presso parecchie scuole d'artiglieria, fra le quali specialmente è notevole quella degli Stati Uniti d'America, dove il tenente Mitcham tradusse in misure inglesi le tavole del Siacci, le quali ormai sono adoperate nei paesi ove è in uso la lingua inglese. In ultimo si deve notare che lo stabilimento Krupp adottò il metodo Siacci, il che costituisce uno dei più significativi omaggi che gli si possa rendere.

« Malgrado l'importanza pratica di questo metodo del Siacci per risolvere i problemi della balistica esterna, esso, per sè solo, non può ritenersi di tale valore scientifico da renderlo meritevole del premio reale per la matematica; il lavoro non presenta risultati che si possano considerare come costituenti un progresso in qualche ramo delle scienze matematiche; nè il metodo del Siacci è fondato sopra ricerche ed esperienze sue originali intorno alla resistenza che l'aria oppone al movimento dei proiettili; esso si limita soltanto a preparare le formole del movimento del proietto in modo da renderle facilmente calcolabili e traducibili in tavole numeriche. Sarebbe desiderabile che il prof. Siacci riordinasse i suoi scritti sull'argomento e presentasse un'esposizione completa della balistica esterna fondata sul suo metodo, in modo da farne la base di un insegnamento didattico regolare; e l'importanza di un tale lavoro sarebbe certamente maggiore se lo studio della balistica esterna fosse preceduto da quello della balistica interna.

« Il lavoro del prof. Veronese intitolato: *La geometria ad n dimensioni in sè, e quale metodo di ricerca e di dimostrazione*, è di-

tribuito in tre parti; la prima, che è la parte fondamentale, ha per titolo: *Le relazioni proiettive degli spazi di differenti dimensioni, mediante il principio di proiezione e sezione*; questa parte del lavoro è nel suo insieme la traduzione della Memoria pubblicata dallo stesso autore, e con lo stesso titolo, nel vol. XIX dei *Math. Annalen* (1882), con l'aggiunta delle dimostrazioni dei teoremi più notevoli, dei quali si trova il solo enunciato nell'originale tedesco, e con maggiore sviluppo delle teorie più importanti, come la teoria delle curve, e quella delle superficie rappresentabili in un piano. La seconda parte del lavoro del Veronese ha per titolo: *La geometria descrittiva a quattro dimensioni*. Finalmente la terza parte, pubblicata in francese, è una Memoria avente per titolo: *Interprétations géométriques de la théorie des substitutions de n lettres particulièrement, pour $n = 3, 4, 5, 6$, en relation avec les groupes de l'Hexagramme mystique*, fu già inviata al concorso aperto dall'Accademia reale del Belgio, negli anni 1879 e 1881, intorno alla generalizzazione delle proprietà dell'esagrammo mistico; questa Memoria è quindi estranea al presente concorso; l'autore l'ha però inviata, poichè trovandosi in essa una speciale e molto importante applicazione di qualche teoria svolta nella suddetta prima parte del suo lavoro, essa gioverà per mostrare la fecondità del suo metodo di ricerca nelle questioni geometriche.

« Il concetto degli spazi a più dimensioni non è nuovo; il Grassman nelle sue due opere sull'*Ausdehnungslehre* (1844, 1862) diede la generazione delle varietà a n dimensioni (*Männigfaltigkeiten n^{ter} Stufe*) mediante il movimento di un elemento. Il Cauchy si occupò degli spazi a più dimensioni, che disse « luoghi analitici ». Il Cayley pubblicò una Nota sulla Geometria analitica ad n dimensioni nel vol. IV del giornale di Cambridge e Dublino, e fece molto uso di tali concetti nella sua importante Memoria, *Intorno alle curve assoggettate a date condizioni*, inserita nelle Transazioni filosofiche della Società reale di Londra. Il Riemann però è quegli che ha principalmente richiamato l'attenzione dei matematici sugli spazi a più dimensioni nella sua profonda Memoria: *Ueber die Hypothesen die der Geometrie zu Grunde liegen*, che ha poi dato origine a molti importanti lavori di illustri scienziati. Posteriormente si sono occupati di questi spazi a più dimensioni, sotto diversi punti di vista, Clifford, Jordan, Darboux, Helmholtz, Klein, Lie, Nöther, Bäcklund, Lipschitz, Beltrami, Betti, D'Ovidio, ed altri più recentemente ancora, come Segre, Lung, Aschieri, F. Meyer, Schubert.

« I lavori sulla Geometria ad n dimensioni, anteriori a quelli del Veronese, si riferiscono in gran parte alla teoria della curvatura degli spazi, e sono esposti con metodo del tutto analitico; fa eccezione la breve Memoria del prof. Stringham, inserita nell'*American Journal of Mathematics*, intitolata: *Regular Figures in n dimensional Space*, nella quale vengono trattati i corpi regolari dello spazio ad n dimensioni con metodo sintetico. Al contrario ciò che distingue i lavori del Veronese sulla Geometria a più dimensioni è il loro carattere prettamente geometrico; lo spazio o varietà ad n dimensioni che voglia dirsi, è stato considerato generalmente come l'insieme o complesso di elementi, ciascuno dei quali resta determinato attribuendo valori particolari ad n variabili indipendenti, e la loro *esteriorità* scambievolmente risulta dalla *diversità* dei valori attribuiti a quelle variabili; gli spazi di un numero di dimensioni minore di n , contenuti in quello ad n dimensioni, sono costituiti dai complessi di elementi che si ottengono ponendo tra le variabili, che determinano ciascuno di essi una o più relazioni o limitazioni, e quando queste relazioni sono espresse da equazioni lineari tra le variabili si hanno gli spazi fondamentali, o elementari, di diverso numero di dimensioni, contenuti nello spazio totale ad n dimensioni. Il Veronese al contrario di questo procedimento analitico per definire: lo spazio ad n dimensioni, gli spazi di minor numero di dimensioni, ed in particolare gli spazi elementari contenuti in esso, segue un metodo tutto geometrico per generare tutti i suddetti spazi: partendo dal concetto del segmento rettilineo, analogo a quello che si ha nella ordinaria Geometria a tre dimensioni, egli perviene a generare gli spazi elementari generalizzando il procedimento col quale nella Geometria ordinaria si genera il piano, e lo spazio stesso a tre dimensioni; vale a dire, come il piano viene generato congiungendo tutti i punti di una retta con un punto fuori di essa, e lo spazio a tre dimensioni congiungendo tutti i punti di un piano con un punto fuori di esso, così secondo il Veronese si può intendere generato in generale uno spazio ad m dimensioni congiungendo tutti i punti di uno spazio ad $m - 1$ dimensioni con un punto fuori di esso. Generato in tal modo uno spazio ad un numero qualunque n di dimensioni, e gli spazi ad un numero minore di dimensioni che si considerano contenuti in esso, e di cui sono allo stesso tempo gli spazi elementari, egli procede alla generazione degli spazi qualunque contenuti nello spazio ad n dimensioni (e che egli distingue con i nomi di curve, e di superficie a 2, 3, . . . $n - 1$ dimensioni) mediante la combinazione degli spazi elementari, ponendo dipendenze tra i loro elementi (spazi inferiori), che si fanno corrispondere tra loro con data legge: estendendo in sostanza allo spazio ad n dimensioni quel metodo di generazione organica delle forme geometriche, per mezzo delle forme elementari, che iniziato per lo spazio a tre dimensioni da Steiner nella sua capitale opera, *Sulla dipendenza scambievolmente delle figure*, ha contribuito potentemente al grande sviluppo della Geometria pura nei nostri tempi. Con la suddetta costruzione geometrica degli

spazi a più dimensioni si portano le ricerche analitiche su quegli spazi in un campo puramente geometrico. Il metodo di ricerca adoperato continuamente dal Veronese nel suo lavoro si fonda sulle operazioni del *proiettare* e del *segare* di cui si fa uso nella Geometria ordinaria; l'efficacia di questo metodo è non solamente notevolissima per generalizzare, ed estendere agli spazi di un numero qualunque di dimensioni le ricerche della Geometria ordinaria, ma ancora viceversa per dedurre con relativa facilità le proprietà proiettive delle configurazioni, delle curve e delle superficie del nostro spazio da quelle delle più semplici configurazioni, curve e superficie dello spazio ad un maggior numero di dimensioni. Secondo la mente dell'autore, « tutte le configurazioni di un dato » numero di punti, di rette e di piani; le curve di dato ordine e genere, » e di dati moduli; le superficie rappresentabili in un piano mediante » sistemi di curve dell'ordine n , e le superficie trasformabili le une nelle » altre, di uno spazio ad m dimensioni, e perciò anche dello spazio or- » dinario, si possono dedurre mediante opportune proiezioni e sezioni da » una sola configurazione, curva e superficie *normale* dello spazio ad n » dimensioni ($n > m$), le quali sono del tutto generali, e si lasciano » trattare molto più facilmente degli enti corrispondenti dello spazio ad » m , o a 3 dimensioni ». E questo il concetto fondamentale, e che domina in tutto il lavoro del Veronese.

« Naturalmente l'autore non ha potuto applicare il suo metodo di ricerca a generalizzare ed a svolgere completamente le varie teorie più importanti della Geometria moderna, ma da ciascuna di esse ha preso argomento per le sue ricerche. Così nel cap. I del suo lavoro manoscritto egli ha trattato delle configurazioni di un numero finito di spazi lineari ed in particolare delle figure omologiche complete, dalle quali mediante le operazioni del proiettare e segare ha dedotto alcune delle più notevoli delle configurazioni conosciute, relative alla Geometria ordinaria. Nel cap. II ha trattato delle forme fondamentali, della loro classificazione e della loro dipendenza proiettiva o reciproca. Nel cap. III ha discusso la superficie di 2° grado ad $n - 1$ dimensioni, mostrandone la generazione per mezzo di due forme reciproche di n^{ma} specie, determinando gli spazi lineari contenuti in essa, e trattando delle figure polari rispetto ad una tale superficie; ha parlato dell'ortogonalità degli spazi ed in generale degli angoli da essi determinati. Il cap. IV è dedicato allo studio delle curve in generale; l'autore ha trattato dei numeri caratteristici delle curve in uno spazio qualunque, trovando le relazioni indipendenti che esistono fra essi, estendendo cioè a tali curve le note formole di Plücker e di Cayley intorno ai numeri caratteristici delle curve piane o gobbe nello spazio ordinario; egli è giunto a dimostrare che tutte le soluzioni intere e positive delle equazioni di Plücker per una curva razionale, non solo nel piano, ma in uno spazio lineare qualunque, sono numeri caratteristici di curve esistenti: l'autore ha trattato delle curve razionali, delle curve ellittiche, e delle curve di genere qualunque. Nel cap. V ha parlato delle forme geometriche generate mediante forme fondamentali collineari, ed ha studiato la curva razionale più semplice, che mediante la suddetta generazione si presenta in uno spazio ad n dimensioni, e che per mezzo del proiettare e del segare dà origine a tutte le specie di curve razionali negli spazi inferiori; finalmente ha trattato in generale delle superficie a due dimensioni in uno spazio qualunque, che sono rappresentabili in un piano, e di alcune tra esse speciali e notevoli, le quali danno per proiezione nel nostro spazio nuove e interessanti superficie; la superficie rigata di 3° ordine, e la superficie romana di Steiner si deducono semplicemente, per proiezione, dalle superficie *normali* corrispondenti negli spazi superiori.

« Come si è accennato sopra, nella Memoria del Veronese inviata al concorso aperto dall'Accademia delle scienze del Belgio, egli fece un'importantissima applicazione delle sue ricerche intorno agli spazi a più dimensioni, trattando delle diverse interpretazioni geometriche che possono darsi della teoria delle sostituzioni di più elementi, e delle proprietà geometriche che risultano dalla considerazione dei gruppi di sostituzioni: applicando queste considerazioni alle sostituzioni di 6 elementi, il Veronese pervenne in quella memoria a dare la più naturale generalizzazione delle proprietà dell'esagrammo mistico. In un altro lavoro recente del Veronese, pubblicato negli Atti della nostra Accademia, *Sulla superficie omaloide normale a due dimensioni e del 4° ordine, nello spazio a 5 dimensioni*, egli ha fatto vedere come la teoria della trasformazione birazionale di due piani si può dedurre dallo studio della suddetta superficie, mediante due modi di proiettarla sui due piani.

« Nell'opuscolo sulla Geometria descrittiva a quattro dimensioni il Veronese ha esteso allo spazio a quattro dimensioni i modi di rappresentazione, con proiezione centrale, ortogonale o assonometrica, della Geometria descrittiva ordinaria, risolvendo alcuni dei problemi elementari di rappresentazione sui punti, le rette, i piani e gli spazi a tre dimensioni contenuti nello spazio a quattro dimensioni.

« Questi studi del Veronese sugli spazi a più dimensioni hanno incontrato il favore di distinti geometri stranieri; in particolare il Klein nel suo corso di lezioni sulla teoria delle funzioni (1881) sviluppò alcuni dei risultati ottenuti dal Veronese, specialmente quelli sulle curve di genere qualunque; l'illustre geometra ritiene che il metodo di ricerca del Veronese segni una delle direzioni, secondo le quali andrà a svilup-

parsi la Geometria proiettiva. Il Fiedler poi tenne nel Politecnico di Zurigo un corso di lezioni sulla Geometria descrittiva a quattro dimensioni del Veronese; egli fa presentire che, come dalla considerazione della proiezione centrale nello spazio ordinario egli è giunto a stabilire una corrispondenza tra i punti dello spazio ed i cerchi nel piano, che ha dato origine alla teoria esposta nella sua « Ciclografia », così dalla considerazione della proiezione centrale nello spazio a quattro dimensioni si potrà dedurre un'analoga teoria relativa alle sfere nello spazio ordinario.

« Dalle cose dette risulta come gli studi del Veronese sugli spazi a più dimensioni meritano tutta la considerazione dei geometri; poichè essi aprono un campo estesissimo di ricerche, ed il metodo tutto geometrico da lui adoperato nel trattarle è della più grande efficacia: non vi è proprietà o teoria della Geometria proiettiva ordinaria che non possa essere generalizzata ed estesa agli spazi a più dimensioni, con maggiore ricchezza di risultati, e viceversa che non possa essere dedotta da proprietà e teorie analoghe relative a questi spazi, spesso in modo più semplice che non trattandola direttamente per lo spazio ordinario. Questi lavori del Veronese gli avrebbero fatto meritare il premio reale nel presente concorso, se ai risultati da lui già ottenuti intorno a diversi argomenti di geometria, egli ne avesse aggiunti altri con i quali fosse giunto, mercè l'efficacia del suo metodo di ricerca, a completare alcune teorie geometriche per lo spazio ordinario, vincendo le difficoltà che presentano, ad esempio la teoria generale delle configurazioni nel piano e nello spazio, la teoria delle singolarità superiori delle curve e delle superficie, le condizioni di rappresentabilità di una superficie su di un'altra, ecc., allora egli avrebbe fatto dare un passo notevole e desiderato nella scienza geometrica ».

In base alle suesposte considerazioni, la Commissione non avendo creduto di potersi pronunciare per il conferimento del premio reale ad alcuno dei concorrenti, propose che, a norma del Regolamento, il concorso per la matematica venisse prorogato a due anni.

(Dai Rendiconti della R. Accademia dei Lincei).

Concorso internazionale di meccanismi elevatori dell'acqua e di motori a vento in Lecce. — Nell'intento di diffondere i meccanismi e gli apparecchi meglio adatti all'estrazione delle acque per irrigare i terreni e per abbeverare gli animali e di propagare l'uso dei motori a vento applicati a questi meccanismi, venne ordinato dalla Direzione Generale dell'Agricoltura un Concorso internazionale il quale si apre col dì 15 settembre 1885 e si chiuderà non più tardi del 25 ottobre. — Possono partecipare al concorso gli inventori, i costruttori ed i semplici depositari nazionali ed esteri. — I depositari di meccanismi costruiti in Italia, come all'estero, sono considerati quali rappresentanti dei costruttori, e a questi, in caso di merito, verranno assegnati i premi. — I meccanismi e gli apparecchi ammessi al concorso si dividono nelle seguenti classi:

1^a. — Apparecchi perforatori dei pozzi tubolari, muniti delle rispettive pompe.

2^a. — Trivelle e utensili di esplorazione per la ricerca d'acque sotterranee; ed apparecchi completi di perforazione di pozzi modenese, o artesiani.

3^a. — Motori a vento applicati ai meccanismi idrofori.

4^a. — Bindoli, rosarii, norie, coclee, ruote a timpano, ruote a cassette, arieti idraulici, pulsometri e trombe d'ogni maniera.

5^a. — Disegni di irrigazione, dei quali si riconosca la possibilità di esecuzione e l'utilità economica nelle provincie di Lecce, Bari e Foggia.

I premi assegnati dal Ministero di agricoltura consistono in diplomi e medaglie, non meno che nell'acquisto per parte del Ministero degli apparecchi e meccanismi che saranno riconosciuti migliori. — I meccanismi, gli apparecchi ed i motori presentati al concorso debbono assoggettarsi a tutte le prove, in quelle zone della provincia, che stabilirà una Commissione giudicatrice eletta dal Ministero. — Le spese di trasporto di meccanismi, degli apparecchi e dei motori fino a Lecce, come quelle di ritorno sono a carico degli espositori, e le spese diverse per le prove dei meccanismi e dei motori sono sostenute dal Ministero di agricoltura.

Presidente della Società degli Ingegneri civili, Vice-Presidente della *Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, membro del Consiglio Superiore per l'istruzione tecnica, membro del Consiglio del Conservatorio d'arti e mestieri, Presidente della Commissione dei pesi e misure, Segretario della Sezione francese della Commissione del metro, Vice-Presidente della Società degli Elettrocisti, membro, e Presidente dopo la morte di Le Verrier, della Commissione per la unificazione dell'ora, il Tresca trovavasi ovunque presente, e prendeva ovunque parte attiva ai lavori, preparato a tutte le questioni, e sempre pronto a parlare così in pubblico come in seno alle Commissioni. Volontoso di lavorare, ei cominciava sempre coll'accollarsi la parte più gravosa, ovunque l'interesse della scienza od il pubblico bene fossero in causa.

Due giorni prima di morire, egli assisteva ancora pieno di vita e di nobili entusiasmi alla riunione settimanale della Società degli Ingegneri civili.

Era nato a Dunkerque. Ammesso nel 1833 alla Scuola politecnica dopo aver riportato il 1° premio per la fisica nella Classe di Matematiche speciali, e nominato allievo ingegnere della Scuola di Ponti e Strade nel 1836, si dimise nel 1841 e prese ad esercitare la sua professione di Ingegnere civile.

L'Esposizione di Londra del 1850, che fu la prima esposizione universale, offrì al Tresca una buona occasione per distinguersi, essendo stato incaricato dell'ordinamento dei prodotti della Sezione francese.

La sua non comune attività, e le estese sue cognizioni gli acquistarono molte simpatie, e nel 1852 entrò nel Conservatorio di Arti e Mestieri, al quale egli consacrò la più gran parte della vita, ed al quale il suo nome rimarrà legato insieme a quelli di Carlo Dupin, e del generale Morin. Nel 1854 successe a quest'ultimo nella Cattedra di Meccanica, ed essendo pure in quell'anno nominato Ispettore per il personale della Scuola di Arti e Mestieri, dava prova di coraggio ispezionando la Scuola di Aix mentre il cholera inferiva più che mai nella Provenza, e le vie deserte non erano percorse che da qualche funebre corteo.

L'*Ecole centrale* e l'Istituto Agronomico, seguendo l'esempio del Conservatorio, gli affidarono pure la loro Cattedra di Meccanica. Le sue particolari inclinazioni lo portarono di preferenza nella via sperimentale, ed i processi verbali delle sue esperienze trovarono in gran numero il loro posto negli Annali del Conservatorio, che furono, si può dire, una sua creazione, non meno che nel Bollettino della Società di Incoraggiamento, dove oltrepassano il centinaio.

Notiamo tra i principali una sua nota sulla storia e l'avvenire dei motori a gas, le sue esperienze sulla macchina ad aria calda di Belou, sulla ruota idraulica Sagebien, sull'accumulatore dell'Armstrong, sul regolatore Farcot, sulla resistenza comparativa di diverse specie di cinghie, sulla flessione e torsione spinte al di là dei limiti dell'elasticità.

Ma il lavoro senza dubbio di maggiore importanza e che occupò il Tresca negli ultimi venti anni di sua vita è quello riguardante lo scolo dei corpi solidi, con cui dimostrò una volta di più la mirabile unità delle leggi fisiche.

Notando che la deformazione dei metalli sottoposti al punzone comprende tre distinti periodi, quello della *elasticità perfetta*, studiata da Navier, Cauchy, ecc., ecc.; poi quello delle *deformazioni* che in parte rimangono *permanenti*; e per ultimo quello della *plasticità*, al quale appartengono le operazioni del laminatoio, della fucinazione, della trafilatura, ecc., il Tresca prese a considerare particolarmente quest'ultimo periodo, da lui anche denominato di *fluidità*, e vi intravvide il principio teorico nuovo dell'eguaglianza dei due coefficienti di deformazione plastica, la normale e la tangenziale. E lo verificò col mezzo di esperienze comparative numerose e svariatissime, a quel modo istesso che il Saint-Venant ne dimostrava teoricamente alla Accademia delle Scienze la perfetta razionalità, e successivamente il Lévy ne traeva profitto esprimendo analiticamente le relazioni che ne derivano tra le forze esterne esercitate e le forze interne dovute a deformazioni estese a tre dimensioni, trattando soprattutto il caso più interessante, perchè ad esso si riferiscono le esperienze di Tresca, che è il caso *semipolare*, nel quale cioè ha luogo la simmetria delle deformazioni attorno ad un asse fisso. Così le equazioni differenziali di plastico-dinamica avrebbero potuto dar la mano a quelle del moto dell'acqua e della velocità delle molecole, nei tubi, se le belle ed ingegnose ricerche del Boussinesq non avessero in

NECROLOGIA

Enrico Edoardo Tresca

N. IL 12 OTTOBRE 1814; — † IL 21 GIUGNO 1885.

A quanti di noi ricordano d'aver veduto il Tresca prender parte attiva nel Giurì per la Sezione internazionale di elettricità della nostra Esposizione Nazionale dell'anno passato, non parrà vero che una morte subitanea, quasi senza sofferenze, sia venuta a troncargli così presto una esistenza di tanta energia.

Membro della Accademia delle Scienze di Parigi, e più volte eletto

questi ultimi anni risolto per gli stessi liquidi il problema per via del tutto analitica.

Ma ritorniamo a Tresca. Nessuno ignora gli eminenti servigi da lui resi nella Commissione del metro, avendo egli studiato a fondo la complessa questione e proposto egli stesso la forma, che sotto lo stesso peso raggiunge la massima resistenza, e che fu poi definitivamente adottata dalla Commissione internazionale per il metro-campione da distribuirsi a tutte le nazioni.

Malgrado della sua età, il Tresca amava impossessarsi di tutte le novità, e così lo vediamo occuparsi in particolar modo dei nuovi e complessi problemi dell'elettricità. Diede subito prova di codesto suo ardente desiderio in occasione della Esposizione di elettricità del 1880, dove, sebbene impreparato, prese parte agli esperimenti ed ai lavori del giuri, e con tale bravura che in Francia non s'intraprendevano esperienze di luce elettrica o di trasporto di energia coll'elettricità senza che il Tresca fosse chiamato a prendervi parte.

Lasciò tre figli, due dei quali seguivano con diligenza il padre nei suoi lavori, e il terzo, uscito con distinzione dalla Scuola politecnica, è oggi Ingegnere-capo nel Corpo di ponti e strade.

Non dobbiamo tacere che il Tresca portò sempre grande affezione all'Italia ed agli scienziati italiani. Pochi giorni prima di morire erasi procurato con insistenti lettere molti elementi per tessere, dinnanzi a non sappiamo quale adunanza, l'elogio del nostro compianto professore Rossetti.

G. SACHERI.

BIBLIOGRAFIA

Di una funicolare aerea tra via Roma ed il corso Vittorio Emanuele (in Napoli). Progetto di Stanislao Sorrentino, ingegnere dei tramways napoletani, e Adolfo Avena, ingegnere assistente nella Scuola per gli Ingegneri in Napoli e presso il Genio Civile. — Op. in-8° di pag. 37 con 3 tavole. — Napoli, 1885.

Gli autori egregi di questo progetto si sono imposti il lodevole proposito di congiungere con breve mezzo e senza costosi abbattimenti di case la parte piana e bassa della città di Napoli con quella che si distende e svolge sulla collina in semicerchio così vasto da abbracciare i due più lontani ed opposti estremi della città; e a tale scopo idearono una funicolare aerea tra via Roma e il corso Vittorio Emanuele. Noi crediamo di fare cosa grata ai nostri lettori pubblicando un cenno descrittivo di tale progetto.

La funicolare dovrebbe impiantarsi sopra un viadotto metallico, lungo metri 342,50 ed a otto campate disuguali, che si appoggierebbe sopra nove pile, delle quali otto metalliche ed una in muratura.

Essa partirebbe dall'intersezione vico lungo Gelso con la via S. Sepolcro, e sviluppandosi in rettilineo per questa via, andrebbe a raggiungere il corso Vittorio Emanuele nel sito detto Grotta degli Spagari.

Al crocivio suddetto verrebbe impiantata la prima pila, alta m. 25,25. La travata metallica sarebbe inclinata all'orizzonte di 5° 10', e quindi con una pendenza del 9 0/10.

Le pile successive verrebbero collocate alla intersezione della via San Sepolcro con quella Teatro Nuovo, vico lungo San Matteo, vico lungo Monte Calvario, vico Canale, strada Concordia, vico lungo Concordia, Croce di Santa Lucia al Monte.

L'ultima pila, che è quella in muratura, sarebbe collocata a ridosso del muro di sostegno al corso Vittorio Emanuele.

Ognuna delle pile metalliche è costituita da quattro colonne in ferro, impiantate ai quattro spigoli del crocivio con fondazione comune, costituita da un sistema di archi e pilastri del tutto indipendente dalle fondazioni dei vicini edifici.

Queste quattro colonne Phoenix convergono in alto con controventamento orizzontale e traliccio a maglia nelle faccie inclinate. Ciascuna di queste colonne è costituita da quattro ferri a quadrante, il cui raggio esterno è di 130 mm., l'interno è variabile in modo da far oscillare lo spessore di 8 mm., che è in cima, fino a 15 mm. alla base. Le suolette sporgono di 80 mm.

Nell'interno di ciascuna colonna, e per tutta la sua altezza, si incrociano due anime, le quali, passando fra due coppie di suolette, la-

sciano due sporgenze, sulle quali vanno ad inchiodarsi le sbarre di traliccio di due faccie della pila.

Le sbarre di traliccio sono costituite da ferri ad U di $\frac{110 - 40}{9}$

inclinate a 45°, e sono le stesse per tutte e quattro le faccie, essendo la base della pila pressochè un quadrato. Ad evitare la scomposizione della pila vi è un controventamento orizzontale, costituito da quattro tiranti che uniscono successivamente le colonne tra loro. Sono ferri ad U di $\frac{203 - 50}{9}$, oltre due diagonali costituite da ferri ad U di $\frac{175 - 62}{12}$. Le sbarre di traliccio si arrestano a 4 o 5 metri al disopra della base, per lasciare libero in tutti i sensi il passaggio ai pedoni, alle vetture ed ai carri ordinari.

Le colonnine scendono al disotto del piano stradale; ognuna di esse si collega ad un piastrone di ghisa mercè quattro ganasce di ghisa, imbullonate tra loro al piastrone ed alla colonnina. Il piastrone di ghisa porta una chiave di ancoraggio che scende per 5 o 6 metri e va ad avvitarsi ad un'altra piastra di ghisa, fermata da una piastra con quattro nervature. Queste quattro chiavi di ancoraggio per ciascuna pila sono internate nella muratura di fondazione, costituita, come si è detto, da archi e pilastri.

Al disotto del lastricato della via, le colonne di ciascuna pila sono successivamente unite tra loro da quattro tiranti orizzontali costituiti da travi composte.

All'estremo superiore di ognuna di queste pile poggia un architrave in ghisa, che sostiene i cuscinetti sui quali si adagia il ponte.

Le travi maestre sono di tipo misto a croce di Sant'Andrea, con maglia molto larga. La distanza fra asse ed asse delle travi maestre è di metri 2,50, l'altezza delle medesime è di metri 3,70.

Sui travicelli trasversali corrono due coppie di cantonali, di cui ciascuna racchiude un longone per l'armatura delle rotaie Vignolle.

La vettura, capace di 30 persone, rimarrebbe incassata nella travata tubolare, scorrendo sulle guide poggiate sui travicelli trasversali e su due guide a pattino verticale attaccate alle travi maestre. In tal modo la vettura non potrà mai pericolare.

La trazione sul piano inclinato è fatta da una macchina a vapore fissa, che verrebbe installata nel recinto, che è nella piazza della chiesa San Sepolcro.

Questa macchina farebbe muovere un rullo, intorno al quale si avvolgerebbe una fune metallica, che attraversando trasversalmente il corso, al disotto del piano stradale, per una carrucola di rimando andrebbe ad attaccarsi alla carrozza.

Affinchè sia possibile guadagnare nel più breve tempo l'altezza del ponte, si progetta un ascensore idraulico, senza fune nè contropeso, del tipo Heurtebise.

Esso si impianterebbe nella casa a sinistra posta fra l'intersezione del vico lungo Gelso e la via San Sepolcro.

La vettura diventa automaticamente gabbia di ascensore, evitando così un incomodo trasbordo nei viaggiatori.

Uno speciale servizio telefonico farebbe comunicare la stazione inferiore colla superiore, affinchè il servizio di arrivo e di partenza fosse adempiuto colla più scrupolosa esattezza. L'illuminazione si otterrebbe mediante lampade elettriche.

In conclusione, in 4 minuti primi e con L. 0,15 (1ª classe), e L. 0,10 (2ª classe) si pensa di andare dal centro di Toledo al corso Vittorio Emanuele.

Da queste indicazioni sommarie risulta evidente la semplicità massima e l'utilità incontestabile del progetto degli ingegneri Avena e Sorrentino.

Un tale progetto darebbe una soluzione pratica e sommamente economica del problema di comunicazione rapida fra il corso Vittorio Emanuele ed il centro più popoloso ed animato di Napoli. Esso è stato lodato dal chiarissimo ingegnere Paolo Boubée.

E laddove fosse adottato, come ci auguriamo, riuscirebbe forse per noi la migliore possibile applicazione delle ferrovie aeree; essendo il punto a cui si riferisce, il più adatto forse fra tutti i punti simili che esistano in Italia.

F. B.