

L'INGEGNERIA CIVILE

ED INDUSTRIALE

PERIODICO TECNICO

*Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori ed Editori.
È riservata la proprietà letteraria ed artistica delle relazioni, memorie e disegni pubblicati in questo Periodico.*

IDRAULICA PRATICA

IL CONTATORE D'ACQUA « VENTURI »
PER LA MISURA DI GRANDI PORTATE
IN CONDOTTE PER TUBI DI QUALUNQUE DIAMETRO
e sotto qualsiasi pressione

La misura della portata di un corso d'acqua ha sempre presentato in pratica delle grandi difficoltà, anche quando trattavasi più semplicemente di canali scoperti, pei quali riesce possibile introdurre nei diversi punti di una sezione trasversale un qualche tachimetro (tubo di Pitot, reometri e simili) o si dispone di sufficiente caduta per ricevere il corso d'acqua in un bacino e farlo attraversare una luce a battente o versare a stramazzo. Anche lasciando da parte la spesa e l'ingombro delle opere occorrenti, sono note tutte le difficoltà e le incertezze di tali misurazioni, e gli sforzi continui e le ricerche sperimentali per arrivare a risultati attendibili.

Oggidi poi che il progresso industriale ha condotto all'impiego di alte cadute, create artificialmente per mezzo di condotte per tubi, non è certamente meno sentito il bisogno, nè sono minori le difficoltà per arrivare in questi casi a misurare la portata di una condotta, quasi sempre di considerevole volume e nel medesimo tempo sotto considerevole pressione, tanto più poi se occorre di dover procedere ad una misurazione per così dire continua, ossia di avere registrate in modo continuo e sotto la forma di un diagramma, le variazioni orarie della portata di una condotta di distribuzione d'acqua potabile.

In questi casi è grandemente da raccomandarsi l'impiego del contatore d'acqua « Venturi » che nato in America, e portato in Inghilterra, ha incontrato subito buona accoglienza e le migliori simpatie fra gli idraulici di tutte le Nazioni più progredite, ed ha tosto ricevuto e continua a ricevere molteplici e svariate applicazioni.

Ne è inventore l'ing. idraulico sig. Clemens Herschel, della Società Americana degli Ingegneri Civili, che d'accordo colla « The Builders' Iron Foundry » di Providence (Stati Uniti d'America), si è munito di regolare brevetto presso tutti gli Stati. Ne è concessionario e costruttore esclusivo il sig. George Kent di Londra (199, 200 e 201 High Holborn).

Le numerose esperienze fatte a Holyoke, a Macopin, a

Brooklyn, negli impianti di pompe di Belmont, Chestnut Hill, Roxborough, Franckford, ecc., dimostrano oramai che l'uso di un tale misuratore, oltre ai vantaggi inerenti alla sua natura (principalmente quello di una grande semplicità e l'essere senza organi mobili) dà un'approssimazione sufficiente nella valutazione della portata, per la quale se furono riscontrate differenze dal vero queste risultarono sempre inferiori al 5 per cento.

Dei risultati di tali esperienze si può avere notizia sia da una nota presentata dal Dottor Kent nel 1897 alla « British Association of Waterworks Engineers » di Londra, sia da una relazione del « Franklin Institute » dello Stato di Pensilvania di cui è fatto cenno nel *Politecnico* di Milano, del 1899. Il prof. Udalrico Masoni della Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Napoli, osservando che tali esperienze erano state eseguite su grossi tubi, cioè di diametro non inferiore ai 15 centimetri, mentre era presumibile, siccome vedremo, che per diametri piuttosto piccoli l'errore avesse da superare il 5 per cento, sperimentò su d'un tubo Venturi di più piccole dimensioni, da lui fatto appositamente costruire per il Gabinetto d'idraulica della Scuola degli Ingegneri di Napoli, e come risulta da una nota pubblicata negli *Atti del R. Istituto d'Incoraggiamento di Napoli* (Serie V, vol. V, 1903), si può ritenere che anche per condotte di diametro molto più piccolo di quelli cui si riferiscono le esperienze fatte in America ed in Inghilterra, può adoperarsi il tubo Venturi per la misura della portata, andandosi incontro ad errori sempre inferiori al 10 per cento.

*

Il misuratore al quale si è voluto dare il nome di contatore Venturi, consiste semplicemente in due tratti di tubi, (fig. 115), il primo conico convergente, ed il secondo conico divergente, i quali vengono ad inframmettersi l'uno di seguito all'altro sulla condotta di cui vuolsi misurare la portata. Ne risulta così uno strozzamento alquanto rapido della sezione, la quale va poi lentamente restituendosi alla sezione normale.

Se pertanto immaginiamo praticato un forellino ed applicato un tubetto verticale nelle due sezioni normali V e D e nella sezione strozzata T, finchè l'acqua nella condotta è allo stato di riposo (fig. 115), noi vedremo l'acqua elevarsi nelle tre colonne alla medesima altezza del livello dell'acqua nel serbatoio di carico, o punto d'origine della condotta. Ma se coll'aprirsi più o meno di una valvola o rubinetto all'estremità inferiore della condotta, si determina un efflusso e

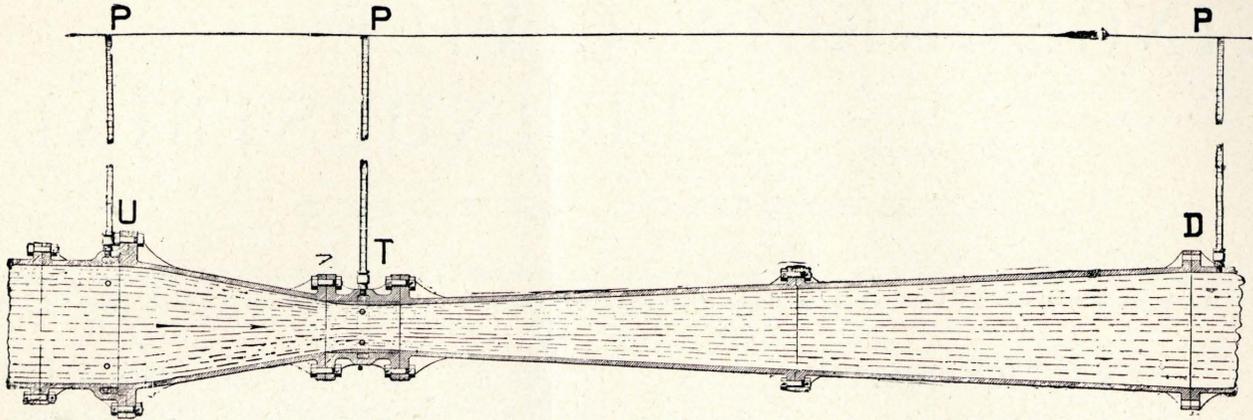


Fig. 115. — Schema del contatore Venturi, essendo l'acqua in riposo.

quindi è messa in moto l'acqua per tutta la lunghezza della condotta, in ogni sezione del tubo si verifica alla periferia una diminuzione di pressione prodotta dall'aspirazione dell'acqua in movimento; la quale aspirazione è stata per la prima volta dimostrata nel 1796 dall'idraulico Venturi e da lui definita col titolo di comunicazione laterale del moto. Questa diminuzione di pressione viene tosto rilevata ed anzi misurata nelle rispettive sezioni da un abbassamento del livello dell'acqua nel tubetto verticale, il quale suolsi perciò chiamare piezometro, come suolsi dire colonna piezometrica l'altezza a cui l'acqua si riduce nel tubetto quando essa scorre con una data velocità nella condotta.

Quanto più la velocità dell'acqua nella condotta è grande, e tanto più si abbassa la colonna piezometrica. Ed è noto il *teorema di Bernoulli* (il quale poi fu dimostrato essere una semplice conseguenza del *principio delle forze vive*) secondo cui *il dislivello fra le sommità di due colonne piezometriche è uguale alla differenza delle altezze dovute alla velocità ai piedi di quella colonna, accresciuta della perdita di carico fra le due sezioni considerate, che è dovuta alle resistenze passive, d'attrito, ecc., incontrate nel movimento fra le due sezioni.*

Come è semplice il principio sul quale il tubo Venturi si fonda, non è men semplice la teoria che ne spiega e ne regola il modo di servirsene per arrivare a determinazioni della portata colla maggiore approssimazione possibile.

Abbiasi dunque (fig 116) un tubo Venturi nel quale vedonsi indicate colle lettere U, D e T rispettivamente le sezioni normali a monte ed a valle e la sezione ristretta là dove si uniscono i due tubi conici di raccordo. Colla condotta in moto, la velocità nella sezione ridotta T, essendo per ragione di continuità necessariamente maggiore che nella sezione normale U, la colonna piezometrica in T risulterà alquanto più bassa di quella in U; e la colonna piezometrica in D non sarà che di poco inferiore a quella in U, dovendo la differenza segnare la perdita di carico per le resistenze passive opposte al movimento da U in D.

Così, per esempio, la velocità dell'acqua nella condotta essendo di m. 0,60 al secondo, e la sezione ristretta la nona parte di quella normale, il dislivello piezometrico fra U e T sarebbe di piedi inglesi 5,16 (ossia di m. 1,57) e la perdita

di carico fra U e D di piedi 0,79 (m. 0,24). Con una velocità di m. 0,91 al secondo il dislivello nel tubo Venturi salirebbe a m. 3,87 e la perdita di carico a m. 0,58.

Consideriamo il breve tratto tronco-conico U T, e trascuriamo per ora ogni perdita di carico, dicendo V e V_1 le velocità medie nelle due sezioni U e T, ed H il dislivello piezometrico nelle sezioni stesse, avremo per il teorema di Bernoulli:

$$H = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

essendo g , come al solito, la forza acceleratrice di gravità. E indicando con ω ed ω_1 le aree delle sezioni in U ed in T, avremo per il principio della continuità:

$$\omega V = \omega_1 V_1. \quad (2)$$

Indicando con s il rapporto di ω_1 ad ω , che è una costante dell'apparecchio, e sostituendo nella (1) il valore di V ricavato dalla (2) si ottiene:

$$H = \frac{V_1^2}{2g} (1 - s^2),$$

da cui:

$$V_1 = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1-s^2}}.$$

E se indichiamo con Q la portata, avremo per ultimo:

$$Q = \omega_1 V_1 = \frac{1}{\sqrt{1-s^2}} \omega_2 \sqrt{2gH}. \quad (3)$$

Il coefficiente numerico $\frac{1}{\sqrt{1-s^2}}$ non differisce che

di poco dall'unità, e vi si accosta tanto più quanto è più piccola la sezione in T per rispetto a quella in U.

Nelle prime esperienze eseguite dall'Herschel in Holyoke, su due condotte, l'una del diametro di m. 0,305 e l'altra del diametro di m. 2,74 il rapporto s era di $\frac{1}{9}$; ed in questo caso si ha:

$$\frac{1}{\sqrt{1-s^2}} = 0,994.$$

*

Si sono per altro trascurate nel calcolo sovra riferito tutte

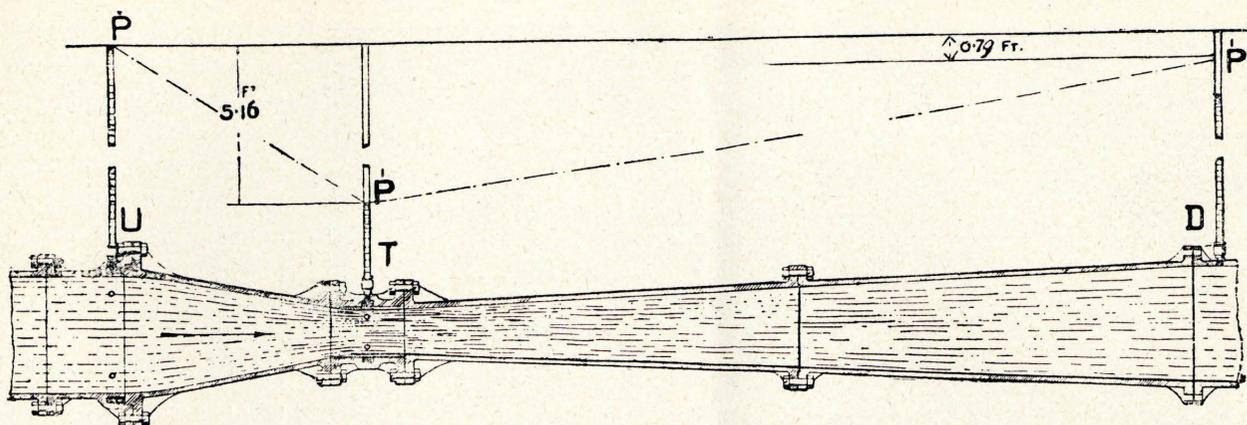


Fig. 116. — Schema del contatore Venturi, essendo l'acqua in moto.

le resistenze passive. La resistenza d'attrito dell'acqua contro le pareti del tubo è realmente trascurabile stante la breve lunghezza del tubo conico convergente. Non così potrebbe trascurarsi la resistenza dovuta al cambiamento di sezione, da ω ad ω_1 ; bisogna dunque moltiplicare il coefficiente $\frac{1}{\sqrt{1-s^2}}$ per un coefficiente di contrazione c .

Ora questo coefficiente di contrazione, come è noto, è indipendente dalle altezze di carico, ma dipende dall'angolo di convergenza (angolo al vertice del cono) e stando alle esperienze di Castel, l'angolo più acconcio a secondare la contrazione della vena è quello di 13 gradi circa, avendo egli ottenuto con un angolo di $13^\circ 24'$, $c = 0,946$ (*).

Possiamo adunque ritenere in questo caso la portata della condotta rigorosamente determinata dalla espressione:

$$Q = 0,951 \omega_2 \sqrt{2gH} \quad (3)$$

essendo 0,951 il prodotto dei due coefficienti sovra specificati e per qualsiasi tubo Venturi può ritenersi giustificata l'espressione:

$$Q = K \sqrt{H} \quad (4)$$

essendo:

$$K = \frac{c \omega_2}{\sqrt{1-s^2}}$$

un coefficiente numerico da determinarsi sperimentalmente per ogni apparecchio, una volta per sempre, la quale operazione costituisce ciò che diciamo la taratura dello strumento.

*

Le ricerche sperimentali hanno dimostrato la concordanza dei risultati con quelli della teoria.

Le prime esperienze eseguite da Herschel su di una condotta di m. 2,74 di diametro e con velocità nella sezione ristretta comprese fra m. 1,22 e m. 10,08, e su di un'altra condotta di soli m. 0,305 di diametro e con velocità nella sezione ristretta comprese fra m. 2,75 e 15,24 condussero

(*) Devesi osservare che nel caso concreto il coefficiente c sarà un pochino diverso poichè nelle esperienze di Castel la vena fluida sboccava dall'estremità del tubo conico liberamente nell'atmosfera.

tutte ad un coefficiente della espressione (3) compreso fra 0,95 e l'unità. In queste esperienze il rapporto s della sezione ristretta a quella normale era di $1/9$.

Nelle molte altre esperienze fatte a Filadelfia dall'Ufficio idraulico, nel Massachussets, a Brooklyn, a Lawrence, a Londra, ecc., è risultato che quel medesimo coefficiente non era mai inferiore a 0,95. Questo ad ogni modo è risultato da esperienze eseguite su tubi di grande diametro, non mai inferiore a 15 centimetri.

Il prof. Masoni della Scuola degli ingegneri di Napoli che sperimentò su piccola condotta di cent. 6,1 di diametro con un tubo Venturi nel quale la sezione ristretta era di $1/8$, e con velocità attraverso la sezione ristretta comprese fra m. 1,048 e m. 7,242, trovò che l'espressione (3) doveva moltiplicarsi per un coefficiente che è risultato in media di 0,940, e giustamente ne conchiude che anche per condotte di diametro molto più piccolo di quelli cui si riferiscono le esperienze fatte in America e in Inghilterra, può bene adoperarsi il tubo Venturi per la misura della portata.

Occorre infine appena di accennare alla configurazione data al tubo conico divergente che vien fatto assai più lungo del precedente nello scopo di diminuire la perdita di carico che deriverebbe da un allargamento troppo brusco della sezione.

Nelle due sezioni nelle quali si inseriscono i tubi piezometrici l'apparecchio è circondato da una specie di vano anulare il quale comunica coll'interno della condotta per mezzo di piccoli fori, per cui la pressione nel vano anulare è quella stessa esistente alla periferia nell'interno della condotta.

Per trasmettere il dislivello piezometrico all'apparecchio registratore si adoperano dei piccoli tubi preferibilmente di rame. I piccoli fori, le camerette anulari ed i tubetti di comunicazione possono, occorrendo, venire facilmente puliti senza interrompere il servizio della condotta.

L'apparecchio registratore può venire installato o presso il tubo, od in qualsiasi camera a distanza dall'apparecchio che non superi tuttavia i 300 m. Occorrendo avere le segnalazioni a distanze più grandi, esse possono venire trasmesse a qualsiasi distanza per mezzo di un apparecchio elettrico.

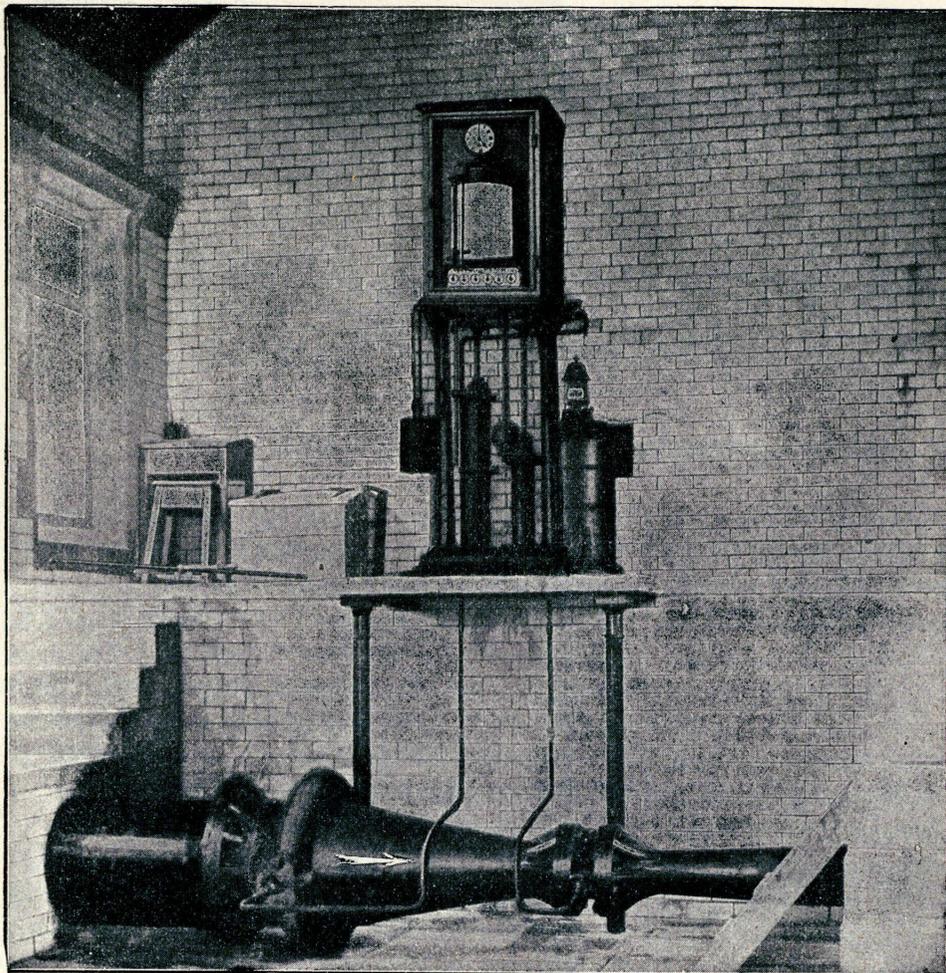


Fig. 117. — Contatore Venturi unito all'apparecchio registratore.

Dalla fig. 117, si può avere un'idea dell'apparecchio registratore applicato sul luogo stesso ove trovasi il tubo Venturi. La fotografia rappresenta l'apparecchio applicato ad una condotta d'acqua a pressione naturale, del diametro di m. 0,50, all'uscita da uno dei serbatoi di Piethorn, appartenente al servizio idraulico dell'acquedotto municipale di Oldham in Inghilterra. Vi si vede tutto intero il tubo conico convergente, e solo una parte del tubo conico divergente che viene in prosecuzione del primo; e vi si vedono i due tubetti destinati a rilevare la differenza di pressione, o prevalenza H . In quest'apparecchio la sezione più ristretta è $1/20$ della sezione normale della condotta; abbiamo cioè $c = 0,05$; e ciò perchè prevedevasi di avere a misurare portate molto piccole, ed anche la portata massima non era molto rilevante, non potendo arrivare a 10 galloni (45 litri) per secondo. La velocità nella condotta essendo piccola, non era il caso di preoccuparsi della perdita di carico per resistenze passive che in questo caso non era in media che di 25 centimetri in colonna d'acqua.

Il rapporto c della sezione ristretta a quella normale, che come dicemmo è adottato di $1 : 9$ per la maggior parte dei casi, varia effettivamente da $1 : 4,5$ ad $1 : 20$ dipendentemente dalle condizioni speciali, cioè dalla distanza fra la massima e la minima portata che devesi misurare.

L'apparecchio misuratore porta in alto un cilindro girevole con lento movimento d'orologeria sul quale viene segnata da punta descrivente una curva continua, le cui ordinate sono proporzionali alla quantità d'acqua in galloni od in metri cubi all'ora che passa nella condotta. Sotto di questo cilindro vedesi una serie di piccoli quadranti costituenti il *contatore* propriamente detto, sui quali si legge il numero totale di galloni o metri cubi d'acqua dispensati dalla condotta in qualsiasi istante, e l'istante è indicato da un quadrante di orologio che vedesi al disopra del cilindro registratore del diagramma orario.

Per tradurre in diagrammi ed in cifre la portata della condotta, che sappiamo essere proporzionale alla radice quadrata del dislivello H delle due colonne piezometriche, i due tubetti piezometrici fanno capo ad un tubo in forma di U, ripieno di mercurio, nel

quale due galleggianti, con base di vulcanite, salgono e scendono colla colonna di mercurio. Ciascuno dei galleggianti porta una leggerissima dentiera, la quale imbrocca con un rocchetto, e così le variazioni della colonna di mercurio vengono trasmesse da un galleggiante al telaio che sorregge la penna descrivente il diagramma e dall'altro galleggiante all'apparecchio di orologeria integratore e da questo ai rotismi dell'unità, decine, centinaia, ecc., del meccanismo contatore.

Ciascuna delle due colonne a mercurio vengono a dare pertanto indicazioni fra loro indipendenti; ed il confronto fra le letture ottenute sui quadranti del contatore, ed il risultato del calcolo dell'area del diagramma, offre pure un mezzo di controllo dell'esattezza meccanica dello strumento.

Ad ogni modo è sempre di grande utilità per l'ingegnere direttore di un servizio idraulico, che le misurazioni del volume d'acqua, oltre che essere date numericamente, sieno anche registrate su di un diagramma, perchè non solo importa di conoscere il consumo totale d'acqua, ma altresì la quantità presa o consumata in ciascun istante ed in qualsiasi ora. Epperò il contatore Venturi è utilmente adoperato per accertare e misurare le perdite che possono verificarsi in una rete di distribuzione.

L'applicazione del contatore Venturi alla condotta di uscita dell'acqua dai letti di filtrazione, permette di cono-



Fig. 118. — Contatore Venturi applicato al servizio dell'acqua potabile di Londra.

scere il grado col quale la filtrazione avviene ad ogni istante, e di formarsi un concetto della resistenza offerta dal mezzo filtrante nella continuità del tempo. Così è che si viene a conoscere la condizione esatta dei filtri, e quando questi cessano di essere sicuri e conseguentemente quand'essi richiedono di essere puliti. Una filtrazione insufficiente è causata spesso da mancanza di cura ed attenzione da parte del personale adibito ai letti di filtrazione più che da difetti imputabili al sistema. Col diagramma della vera quantità d'acqua filtrata nei diversi tempi si ha ad ogni modo la prova evidente del modo di funzionamento, indipendente da rapporti redatti dal personale di servizio i quali possono essere affetti da errori di osservazione personali.

Il contatore Venturi è pure uno strumento di innegabile valore quando venisse adibito al controllo del lavoro delle pompe di sollevamento addette a qualche impianto idraulico. Coi diagrammi del contatore Venturi si rende evidente qualunque diminuzione nel rendimento, si controlla l'azione dei fuochisti e scopresi qualsiasi disattenzione nel servizio stesso.

Il contatore Venturi rappresentato dalla fig. 118, è uno dei molti che trovansi applicati alla condotta primaria del servizio dell'acqua potabile di Londra, e più precisamente

in Oxford Street; la condotta ha il diametro di m. 0,762, ed il contatore serve di congiunzione tra le reti di distribuzione della « Grand Junction » e quella della « New River Water Company. » Questi contatori sono costruiti in modo da poter misurare la portata della condotta in qualunque direzione cammini la corrente.

Fra le applicazioni più grandiose fatte del contatore Venturi merita di essere menzionata quella fatta dalla East Jersey Water Company di New-Jersey negli Stati Uniti di America. Questa Società distribuisce acqua all'ingrosso ad un certo numero di Società private e di Aziende Municipali, le quali a loro volta ne curano la distribuzione. Il volume totale dell'acqua ricevuta nella propria condotta è misurato da due contatori Venturi, applicati a tubi di m. 1,220 di diametro; l'acqua stessa è venduta alle Società ed Aziende Municipali sotto misura accertata da 11 contatori Venturi su condotte di diverso diametro, da m. 0,305 a a m. 1,220. Dopo un servizio della durata di 17 mesi, con un consumo medio di 181 600 mc. al giorno, la differenza della registrazione dei due contatori riceventi, da quella totale

degli undici contatori distributori, sarebbe risultata solamente del mezzo per cento.

Nel servizio dell'acqua potabile per la città di Londra esiste un quadro sul quale veggonsi elettricamente trasmesse le indicazioni di 15 diversi contatori Venturi, collocati in diversi punti dell'impianto idraulico. Le misurazioni dell'acqua incominciano dal punto in cui essa è presa dal Tamigi, a Penton Hook per essere immersa nei serbatoi di Staines. L'acqua è misurata nel suo passaggio dal condotto di presa alle pompe e viene quindi lanciata nel serbatoio, capace di ben 15 milioni di metri cubi, passando attraverso a due contatori Venturi inseriti in due tubazioni di m. 2,400 di diametro caduno.

Quando l'acqua passa dal serbatoio per le condotte che la portano ai bacini di distribuzione, essa viene misurata attraverso a due contatori Venturi di m. 1,220 di diametro. E finalmente esistono tre sale di misurazione, una per ciascuna delle Società alle quali l'acqua viene somministrata. In tal modo si ha un perfetto controllo fra il volume d'acqua ricevuto giornalmente, quello immagazzinato e fornito poi alle Società; e tale controllo ha luogo costantemente, ed i risultati, come già si disse, sono trasmessi elettricamente ad un punto centrale, alla sala delle pompe.

La benemerita Società dell'Acqua potabile di Torino, avendo divisato l'impianto di un contatore Venturi su di una condotta del diametro di m. 1,06 per la misura dell'acqua uscente dal nuovo serbatoio di Baraccone (Collegno) della capacità di 7800 mc., l'egregio Direttore della Società, ing. Carlo Francesetti, richiamava gentilmente su di tale apparecchio la nostra attenzione, e noi in attesa che il contatore sia messo in funzione e nella speranza che il medesimo possa dar luogo ad esperimenti e ad osservazioni di non poco interesse per i cultori dell'idraulica pratica, abbiamo cominciato colle su riferite notizie a mettere i lettori al corrente di un tal contatore che merita, anche in Italia, maggior diffusione. E invero dal lato teorico, siccome s'è visto non lascia nulla a desiderare, e dal lato pratico nulla si potrebbe immaginare di più semplice, mentre la sua adattabilità non ha limiti nè per riguardo al diametro della condotta, nè alla pressione od al volume d'acqua da misurare. Non vi sono meccanismi od organi in movimento i quali siano a contatto dell'acqua e non richiede, si può dire, alcuna manutenzione.

La perdita di carico a cui dà luogo il suo inserimento nella condotta è così minima da doversi ritenere trascurabile nel maggior numero dei casi. L'apparecchio non può essere danneggiato nè da colpi di ariete, nè da qualsiasi anche brusca variazione di velocità e di portata. Le sue indicazioni sono esatte in qualsiasi caso, tanto per condotte a pressione naturale, quanto per acqua sollevata per mezzo di pompe, delle quali anzi l'apparecchio serve a controllare il perfetto funzionamento.

Gli organi tutti dell'apparecchio indicatore e registratore non sono mai a contatto dell'acqua, ma possono sempre collocarsi in luogo elevato, all'asciutto, a comodità di chi deve osservarli, ed a qualsiasi distanza, entro un limite di 300 metri, dal tubo, mentre le registrazioni possono aversi automaticamente anche per otto giorni di seguito, se così si desidera, e possono anche essere trasmesse elettricamente a qualunque distanza dal contatore.

G. SACHERI.

MECCANICA APPLICATA

PROBLEMI TECNICI

RELATIVI

ALL'EQUILIBRIO DEI FILI FLESSIBILI

Il problema dell'equilibrio di un filo flessibile, eventualmente sopraccaricato e soggetto alla gravità, trova nella pratica dell'ingegnere parecchie importanti applicazioni nel calcolo e nella posa in opera:

- a) delle linee aeree per corrente elettrica,
- b) dei cavi portanti dei ponti sospesi e trasporti funicolari,
- c) delle funi metalliche per trasmissione di lavoro meccanico a distanza.

I quesiti che occorre risolvere progettando questi organi consistono nell'assegnarne le dimensioni e prevederne la di-

sposizione e la freccia all'atto del montaggio, di modo che, in seguito all'azione dei sopraccarichi previsti fissi o mobili ed alle variazioni possibili di temperatura, nulla vi sia a temere per la loro stabilità e per il loro funzionamento.

La nota presente ha lo scopo di esporre alcuni mezzi pratici di risoluzione, sia analitici, sia grafici, che per la loro semplicità ed approssimazione, e in taluni casi perchè capaci di tener conto di elementi che d'ordinario si trascurano, possono meritare preferenza rispetto ad altri comunemente esposti nei trattati.

Si intende che a fondamento di quelli come di questi stanno i noti principii della meccanica generale, e cioè:

Un filo fissato in due punti, perfettamente flessibile e soggetto a variazioni di lunghezza trascurabili, si dispone secondo la curva funicolare dei carichi che regge.

La tensione interna T in esso è diretta in ogni punto secondo la tangente al suo asse geometrico ed ammette proiezione orizzontale H costante, che dicesi *tensione orizzontale*.

Se il carico è uniformemente distribuito lungo il filo (peso proprio di un filo cilindrico omogeneo) la sua figura di equilibrio è un arco di catenaria. A questa nei casi pratici in cui la freccia e la differenza di livello dei punti di attacco sono piccole rispetto alla portata orizzontale l (non superiori ad $1/10 l$) si sostituisce la parabola di equazione (Cfr. fig. 119)

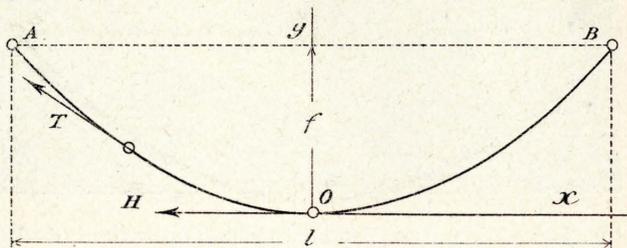


Fig. 119.

$$y = \frac{g}{2H} x^2. \quad (1)$$

Essa è con tutto rigore la figura di equilibrio di un filo flessibile soggetto ad un carico ripartito uniformemente sull'orizzontale x di intensità costante g .

Inversamente nel problema della parabola si ammette per approssimazione la proprietà, esattamente soddisfatta in quello della catenaria, che la differenza di tensione fra due punti del filo è uguale al peso ripartito su di un tratto del filo stesso lungo quanto la loro differenza di livello. Sicchè, dato il riferimento indicato nella fig. 119, si scrive:

$$T = H + g y \quad (2)$$

Filo sospeso in due punti a uguale livello.

1. *Effetto del cambiamento di temperatura.* — Sia l la portata, f la freccia della parabola di equilibrio. Dalla (1) si deduce

$$H = \frac{g l^2}{8 f}; \quad (3)$$

e, ricorrendo alla nota formola, che dà per approssimazione

la lunghezza dell'arco di parabola contato dal vertice al punto di coordinate x, y , quando il rapporto y/x è una piccola frazione dell'unità (*) risulta pure:

$$s = l + \frac{8}{3} \frac{f^2}{l}. \quad (4)$$

Da queste due relazioni si ricava facilmente la piccola variazione della freccia f dovuta ad un cambiamento di t centigradi nella temperatura, tenendo conto dell'elasticità del filo, di cui indicheremo con E il modulo ed F la sezione.

In vero la sua lunghezza s , detta α la dilatazione lineare termica, aumenterà di

$$\alpha t s + 2 \int_0^{l/2} \frac{\Delta T}{E F} ds, \quad (5)$$

se ΔT è l'incremento di tensione dovuto al cambiamento della freccia, che, stando alla (2), si dovrebbe esprimere con

$$\Delta H + g \Delta y. \quad (6)$$

Trattandosi però nella (5) di termini contenenti i fattori piccolissimi α ed $\frac{1}{E}$, si può all'elemento ds dell'arco sostituire la sua proiezione orizzontale dx , e alla tensione T per conseguenza la H , trascurando il 2° termine della (6) (***) rispetto al 1°, sicchè la (5) diventa

$$\alpha t l + l \frac{\Delta H}{E F} = \Delta s. \quad (7)$$

Si ricavino ora dalla (3) e dalla (4) le variazioni

$$\Delta H = - \frac{g l^2}{8 f^2} \Delta f. \quad (8)$$

$$\Delta s = \frac{16}{3} \frac{f}{l} \Delta f. \quad (9)$$

Sostituendole nella (7) risulta

$$\Delta f = \frac{\alpha t l}{\frac{16}{3} \frac{f}{l} + \frac{1}{8} \frac{g l^3}{E F f^2}} \quad (10)$$

che risolve il problema.

Per esprimere tuttavia la variazione Δf della freccia per mezzo di grandezze che nei problemi pratici sono d'ordinario scelte *a priori*, si ponga

$$\frac{f}{l} = n \quad \frac{H_{max}}{F} = k, \quad (11)$$

dove H_{max} è la tensione orizzontale corrispondente al massimo carico q che può insistere sul filo. Si deduce allora

$$(*) \quad s = l \left[1 + \frac{2}{3} \frac{y^2}{x^2} \right].$$

(**) Tenendone conto, pur ammessa la sostituzione di dx a ds , esso darebbe luogo al termine $-\frac{1}{3} \frac{g l}{E F}$ da aggiungersi al denominatore della (10). Ora il rapporto di questo termine al 2° di quelli che esso denominatore contiene è $8/3 (f/l)^2$, che è lecito trascurare rispetto all'unità.

$$\Delta f = \frac{\alpha t l}{\frac{16}{3} n + \frac{g}{q} \frac{k}{n E}}. \quad (I)$$

La (10) e la (I) dimostrano che, nelle vicinanze di un dato valore della freccia, le sue variazioni riferite alla portata si possono ritenere proporzionali ai cambiamenti di temperatura, e sono tanto più sensibili, a parità di caratteri fisici del filo, quanto minore è il rapporto della freccia alla portata.

Queste leggi furono già enunciate in alcuni studi intesi specialmente al calcolo delle linee elettriche aeree (*), nei quali furono dedotte in seguito al tracciamento di alcuni grafici rappresentanti il modo di variare degli elementi caratteristici della parabola funicolare in funzione della temperatura.

Ma le formole qui ricavate presentano il vantaggio d'una applicazione molto semplice al calcolo numerico dei molteplici problemi che si possono presentare. Così: la ricerca della freccia colla quale devesi montare un filo, acciocchè, in seguito al presumibile abbassamento di temperatura, la tensione unitaria non superi il carico di sicurezza, si farà:

1° valutando la freccia f corrispondente a questo valore limite della tensione, posto nella (3) in luogo di H il prodotto della sezione del filo per il carico di sicurezza;

2° desumendo colla (10) o colla (I), ove si faccia $g = q$, l'incremento Δf corrispondente alla differenza fra la temperatura di posa e la minima presupposta, e sommandolo colla freccia prima calcolata.

È questo d'altronde il noto problema, già risolto fra gli altri dal Bach, scegliendo come incognita immediata la freccia all'atto della posa. Se non che l'equazione risolvete riesce in tal caso di 3° grado, e il calcolo numerico occorrente è quindi più laborioso di quello richiesto dalle formole qui dedotte.

2. Effetto combinato del sopraccarico e del cambiamento di temperatura. — Con altrettanta facilità, e ricorrendo agli stessi artifici, si risolve questo caso più generale.

Detta p l'intensità del sopraccarico uniformemente ripartito e $q = g + p$ il carico totale, immaginiamo ripetute per esso la (2) e la (3)

$$T = H + (g + p) y \quad H_{max} = F k = \frac{g + p}{8 f} l^2, \quad (12)$$

Consideriamo cioè come 1ª ipotesi la condizione di massimo caricamento, a cui corrisponde la tensione orizzontale H_{max} , che colla solita approssimazione ammettiamo uguale al massimo cimento del filo, per pareggiarla ad $F k$.

Supponiamo ora che venga rimosso il sopraccarico p , e si verifichi al tempo stesso l'aumento Δf nella freccia; la tensione orizzontale passerà dal valore (12) a quest'altro

$$\frac{g l^2}{8 (f + \Delta f)}.$$

(*) *L'Elettricista*, Luglio 1906. — Monografia dell'ingegnere REVESSI sull'argomento.

Quindi, tenendo conto della piccolezza di Δf rispetto ad f , risulta colla solita approssimazione

$$H - H_{max} = \Delta H = - \frac{p l^2}{8 f} - \frac{g l^2}{8 f^2} \Delta f. \quad (13)$$

Dalla prima delle (12), trascurando come nel caso precedente e per le stesse ragioni il termine che procede dalla variazione delle ordinate y della figura d'equilibrio del filo, si deduce:

$$\Delta T = \Delta H - p y.$$

Quindi l'allungamento del filo, conseguenza dell'effetto combinato dell'aumento di t centigradi e della rimozione del sopraccarico, ritenuta anche qui lecita la sostituzione di dx a ds , si esprime così:

$$\Delta s = \alpha t l + \frac{l \Delta H}{E F} - \frac{p f l}{3 E F}. \quad (14)$$

Servendosi ora della (9) che sussiste tuttavia e della (13) per esprimervi Δs e ΔH in funzione di Δf si deduce

$$\Delta f = \frac{\alpha t l - \frac{p l^3}{8 E F f} - \frac{p f l}{3 E F}}{\frac{16}{3} \frac{f}{l} + \frac{g l^3}{8 E F f^2}}. \quad (15)$$

L'ultimo termine al numeratore, considerato rispetto a quello che lo precede, è dell'ordine di grandezza di $\frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2$ rispetto all'unità; quindi, come si osservò in una nota precedente, è lecito trascurarlo.

Utilizzando i simboli definiti dalle (11), e ponendo in evidenza i rapporti fra il sopraccarico p o il peso proprio g e il carico totale q , risulta quindi:

$$\Delta f = \frac{\alpha t - \frac{p}{q} \frac{k}{E}}{\frac{16}{3} n + \frac{g}{q} \frac{k}{n E}} l. \quad (II)$$

Il procedimento di risoluzione, come nel caso semplice trattato dianzi, consiste nel calcolare colla (12) la freccia f corrispondente al massimo cimento del materiale, e nel sommarla poi col valore di Δf dedotto colla (15) o colla (II) in base al massimo abbassamento t di temperatura rispetto alla temperatura di posa.

Esempio. — Un filo in rame di 10 mm. di diametro si deve sospendere a due sostegni a livello distanti m. 100. Si prevede un abbassamento di temperatura di 20° e si ammette un carico di sicurezza di 7 Kg./mm.². Occorre calcolare la freccia di montaggio, conoscendo:

il peso proprio $g = 0,00071$ Kg./mm.

il sopraccarico corrispondente al peso della neve o alla componente della pressione del vento nel piano di equilibrio del filo $p = 0,00054$ Kg./mm.;

il modulo di elasticità $E = 13\,000$ Kg./mm.²;

la dilatazione termica lineare $\alpha = 0,000017$.

Si deduce subito $H_{max} = k F = 550$ Kg., e quindi la (12) dà $f = m. 2,84$, a cui corrisponde $n = 0,0284$.

Dalla (II) si ottiene allora

$$\Delta f = \frac{0,00034 - 0,00023}{0,1515 + 0,0108} 100^m. = 68 \text{ mm.}$$

La posa in opera si dovrebbe dunque eseguire con una freccia di m. $2,84 + 0,07 = 2,91$.

Se l'abbassamento di temperatura avesse luogo senza il sopraccarico la variazione della freccia sarebbe assai più sensibile. Dalla (II) infatti, postovi $n = 0,0291$ e $p = 0$ corrispondente alla condizione di posa, si deduce $\Delta f = 205$ mm. e quindi $f = m. 2,705$, a cui corrisponde una tensione unitaria del filo di 4,17 Kg./mm.²

Anche più grave sarebbe l'influenza di un cambiamento di temperatura sulla freccia se il filo fosse stato calcolato, facendo astrazione dal sopraccarico, soltanto per il peso proprio (problema del §1). Allora risulterebbe $f = m. 1,615$, e, sempre per la variazione di 20 centigradi, $\Delta f = 287$ mm. Onde la freccia di posa $f + \Delta f = m. 1,902$.

3. Risoluzione dello stesso problema nel caso di appoggi spostabili. — Le gomene di un ponte sospeso sono trattenute alle estremità con disposizioni che o equivalgono o effettivamente traducono in atto quella rappresentata nella fig. 120. Cioè al perno A di un apparecchio di dilatazione scorrevole sulla colonna di appoggio fanno capo da un lato i tratti ripiegati a catenaria, dall'altro le funi di ormeggio A D ancorate in D ad un punto fisso.

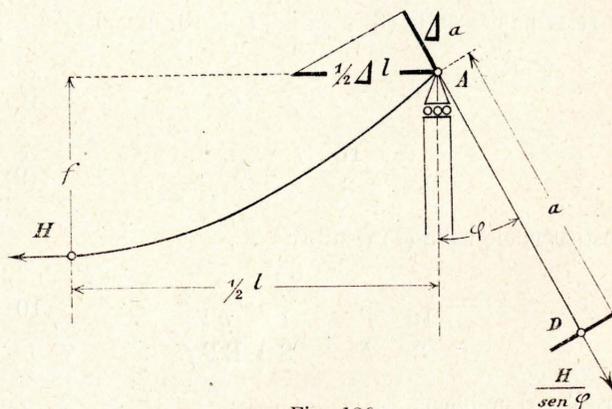


Fig. 120.

In questo caso quindi la portata l non è più costante, come si suppose per il passato; ma, in seguito alle deformazioni termiche ed elastiche Δa delle funi di ormeggio, inclinate dell'angolo φ sulla verticale, detta portata subisce delle variazioni, che, attesa la loro piccolezza, si possono valutare colla seguente espressione;

$$\Delta l = - 2 \frac{\Delta a}{\text{sen } \varphi} = - 2 \frac{\alpha t a}{\text{sen } \varphi} - 2 \frac{a \cdot \Delta H}{E F' \text{sen}^2 \varphi}, \quad (16)$$

dove F' è la sezione del cavo A D corrispondente alla sezione F della gomina di sospensione.

Ciò premesso si osservi quanto segue:

L'influenza diretta delle variazioni praticamente piccolissime di l sulla tensione orizzontale H è trascurabile.

Infatti dalla (12), supposte tutte le altre quantità co-

stanti, si deduce: $\frac{\Delta H}{H} = 2 \frac{\Delta l}{l}$. Ora il 2° di questi rapporti è praticamente dell'ordine di grandezza di $\frac{1}{1000}$; quindi l'influenza del 1° nei limiti di approssimazione fissati si può trascurare.

È dunque applicabile senz'altro la (13) anche al caso presente.

Dalla (4), essendo l variabile, si ricava, trascurando il termine in $\left(\frac{f}{l}\right)^2$,

$$\Delta s = \Delta l + \frac{16}{3} \frac{f}{l} \Delta f, \quad (17)$$

la quale sostituisce la (9).

La (14) sta tuttavia poichè il tronco s di fune, di cui essa analizza la variazione di lunghezza, rimane invariato malgrado lo spostamento degli attacchi.

Combinando quindi al solito la (14), nella quale, secondo fu detto, si può trascurare l'ultimo termine, colla (13) e colla (17), in cui a Δl si è sostituito il valore dato dalla (16), si ottiene l'espressione di Δf . Introdotti poi nei singoli suoi termini i simboli (11), e supposte le sezioni F ed F' proporzionate alle tensioni H ed $\frac{H}{\sin \phi}$ cui sono soggette, ne risulta la formola semplificata:

$$\Delta f = \frac{\alpha t - \frac{p}{q} \frac{k}{E}}{\frac{16}{3} n \frac{l \sin \phi}{2a + l \sin \phi} + \frac{g}{q} \frac{k}{n E}} l \quad (III)$$

Esempio. — La fig. 120 corrisponde alla posizione di equilibrio delle gomene di un ponte sospeso, soggette soltanto al peso proprio del manufatto, quando si intenda

$$l = m. 60 \quad f = m. 5 \quad a = m. 20 \quad \phi = 60^\circ.$$

Si domanda con qual freccia vanno messe in opera le gomene prima di appendervi l'impalcatura, se la temperatura alla quale si opera è di 10 centigradi inferiore alla media.

Dati del problema sono i seguenti:

peso proprio di ciascuna fune $g = 0,006 \text{ Kg/mm.}$

peso dell'impalcatura e dei mezzi di sospensione riferito a ciascuna fune $p = 0,070 \text{ Kg/mm.}$

tensione unitaria della fune reggente la sola impalcatura $k = 10 \text{ Kg/mm.}^2$

Si assume inoltre $\alpha = 0,00012$, e, supposta la fune nuova, $E = 0,35 \cdot 21500 = 7500 \text{ Kg/mm.}^2$ (*).

Risulta allora dalla (III):

$$\Delta f = - \frac{0,00012 + 0,00123}{0,2513 + 0,0013} 60^m = - 320 \text{ mm.}$$

sicchè le gomene si dovrebbero mettere in opera con una freccia di soli m. 4,680.

(*) Questo numero corrisponde alle formazioni normali dei cavi, non a quelle speciali, usate talvolta per i ponti sospesi, nelle quali i fili, invece che intrecciati, sono semplicemente accostati in fasci. In tali strutture il modulo di elasticità della fune è naturalmente uguale a quello del filo.

Si calcoli ora l'ulteriore abbassamento dovuto ad un sovraccarico uniformemente ripartito uguale al peso proprio. Nella (III) si dovrà porre:

$$g = p = 0,076 \quad k = 20.$$

Ad n poi andrebbe sostituito il valore ignoto corrispondente alla condizione di carico totale $g + p = 0,152 \text{ Kg/mm.}$ ma trattandosi in questo secondo problema di variazioni assai piccole di f , è lecito adottare ancora il rapporto $\frac{1}{12}$ corrispondente alla freccia di m. 5,00 calcolata per il solo peso proprio del ponte.

Finalmente tenendo conto che la rigidità longitudinale della fune, dopo sopportati i primi sforzi dev'essere assai cresciuta, si potrà assumere come modulo di elasticità il valore teorico dedotto da quello dei fili di cui consta, in base all'inclinazione media (18°) di avvolgimento dei fili stessi e dei trefoli.

$$E = 0,74 \cdot 21500 = 15900 \text{ Kg/mm.}^2$$

Risulta allora:

$$\Delta f = - \frac{0,000628}{0,2513 + 0,0075} 60^m = - 145 \text{ mm.}$$

cioè la freccia sotto il massimo carico salirebbe a m. 5,145.

4. Scelta delle condizioni di calcolo d'una trasmissione con funi metalliche. — Con criteri pratici si fissano i diametri delle puleggie e del filo in conveniente rapporto, nonchè la velocità della fune. Il calcolo si fa in seguito, come è noto, tenendo conto al tempo stesso delle due condizioni fondamentali del problema:

1° sopporti la fune sotto il massimo sforzo di tensione un cemento unitario k uguale alla parte di resistenza del filo metallico non assorbita dalla flessione;

2° sia evitato il pericolo di slittamento; al quale scopo occorre che fra le tensioni corrispondenti ai punti di contatto della fune con una qualunque delle puleggie non passi un rapporto superiore ad un noto valore limite Z' .

Ora è chiaro che alla temperatura minima sarà appunto la 1° di queste condizioni quella che si può temere violata, e alla temperatura massima invece la 2°. In nessun caso si dovrà dunque, calcolando la fune, spingersi fino ad entrambi i limiti delle condizioni sopra espresse; ma si potrà, p. es., supponendo di porsi nelle condizioni di temperatura minima, utilizzare tutta la resistenza della fune e adottare invece nei calcoli un valore Z alquanto minore di Z' .

Per tracciare la via da seguirsi allo scopo di accertare che i dati scelti sono opportuni, sostituiamo al solito alle tensioni variabili nei due rami conduttore e condotto della fune le corrispondenti tensioni orizzontali H_1 ed H_0 .

Allora nell'ipotesi predetta le condizioni fondamentali del problema si esprimeranno come segue:

$$H_1 = k F \quad H_1 = Z H_0 \quad (18)$$

dove $Z < Z'$.

Sussiste poi sempre la relazione fondamentale, in cui si riassume l'effetto utile della trasmissione

$$H_1 - H_0 = P, \quad (19)$$

detta P la forza applicata tangenzialmente a ciascuna puleggia.

Per un aumento di t centigradi i due tratti di fune conduttore e condotto, che supponiamo per approssimazione soggetti in tutti i loro punti alle tensioni H_1 ed H_0 rispettivamente e lunghi entrambi $l + \pi R$, subiranno gli allungamenti Δs_1 e Δs_0 , effetto combinato della dilatazione termica, dello strisciamento di un breve tratto di fune δ dal ramo conduttore al condotto (*) e della conseguente variazione di tensione. Sarà quindi:

$$\left. \begin{aligned} \Delta s_1 &= \alpha t(l + \pi R) - \delta + \frac{\Delta H_1}{EF} (l + \pi R) \\ \Delta s_0 &= \alpha t(l + \pi R) + \delta + \frac{\Delta H_0}{EF} (l + \pi R) \end{aligned} \right\} (20)$$

Ricorriamo ora alle (8) e (9) che si possono applicare nel presente problema sia al ramo conduttore, sia al ramo condotto, specificandone i simboli, e combiniamole insieme. Ne risulta:

$$\Delta s = -\frac{128}{3} \left(\frac{f}{l}\right)^3 \frac{\Delta H}{g} = -\frac{128}{3} n^3 \frac{\Delta H}{g},$$

applicabile a entrambi i rami della fune pur di sostituire ad n i valori rispettivi.

Valendosene per trasformare le (20) essa permette di esprimere in funzione di quantità tutte note, salvo δ , gli incrementi delle tensioni orizzontali

$$\left. \begin{aligned} \Delta H_1 &= -\frac{\alpha t(l + \pi R) - \delta}{EF} + \frac{128}{3} \frac{n_1^3}{g} \\ \Delta H_0 &= -\frac{\alpha t(l + \pi R) + \delta}{EF} + \frac{128}{3} \frac{n_0^3}{g} \end{aligned} \right\} (21)$$

Ora dev'essere $\Delta H_1 = \Delta H_0 = \Delta$, acciocchè la differenza fra le due tensioni, che operano nei due rami del cingolo, anche dopo subiti questi incrementi, sia sempre uguale a P, come lo era prima (19). Si deduce quindi:

$$\delta = \frac{n_0^3 - n_1^3}{n_0^3 + n_1^3 + \frac{3}{64} g \frac{l + \pi R}{EF}} \alpha t(l + \pi R). (22)$$

Sostituendo questo valore nella (21), risulta:

$$\Delta = \frac{-\alpha t}{\frac{1}{EF} + \frac{64}{3} \frac{n_0^3 + n_1^3}{g(l + \pi R)}} (23)$$

Si può allora immediatamente verificare se il pericolo di slittamento è evitato, assicurandosi che:

$$\frac{H_1 + \Delta}{H_0 + \Delta} \leq Z' (24)$$

(*) Questo strisciamento è conseguenza del fatto che all'aumento della freccia, dovuto all'aumento di temperatura, corrisponderebbero per H_1 ed H_0 due nuovi valori che non soddisfano più la (19); e precisamente la loro differenza sarebbe minore di P. Di qui la necessità che una porzione δ di fune (che supponiamo per questo brevissimo tratto di lunghezza invariabile) si sposti dal ramo conduttore al condotto per aumentare la tensione del 1° e diminuire quella del 2° di quanto occorre.

È chiaro che, assumendo la (24) sotto la forma di uguaglianza fra i suoi due membri come equazione di condizione, e immaginandovi sostituiti i valori (23) di Δ , nonché quelli di H_1 , di H_0 , di n , e di n_1 in funzione di P e di Z, si dedurrebbe immediatamente una relazione capace di indicare *a priori* con qual valore di $Z < Z'$ si debbano eseguire i calcoli della trasmissione per evitare alla temperatura massima lo slittamento.

Ma l'espressione che ne risulta è troppo complessa per il calcolo numerico. Si suggerisce quindi il metodo dei tentativi.

Esempio. — Due puleggie di m. 2,50 di diametro cogli assi a livello distanti m. 80 rotano colla velocità di 120 giri al minuto, trasmettendo 50 cavalli.

Come cemento *a tensione* della sezione metallica della fune trasmittente si ammette il carico di 6,67 Kg/mm.² (la 3ª parte del carico di sicurezza). Come rapporto limite al di sopra del quale è a temersi lo slittamento $Z' = 2$.

Supposta un'oscillazione di 40 centigradi nella temperatura si domanda per qual valore del rapporto $Z < Z'$ devesi calcolare la fune per non violare in nessun caso le due condizioni di buon funzionamento.

Si assumerà $\alpha = 0,000012$, $E = 15900$.

I dati del problema forniscono subito la forza applicata tangenzialmente alle puleggie

$$P = 239 \text{ Kg.}$$

Si prenda $Z = 1,8$; ne risulta:

$$H_1 = 538 \text{ Kg.} \quad H_0 = 299 \text{ Kg.}$$

$$F = \frac{538}{6,67} = 81 \text{ mm} \quad ^2g = 0,00081 \text{ Kg/mm.}$$

Ricorrendo alla (3) con questi elementi si deduce:

$$f_1 = 1205 \text{ mm.} \quad f_0 = 2170 \text{ mm.}$$

$$n_1 = 0,015 \quad n_0 = 0,027.$$

E in conseguenza, dalla (23)

$$\Delta = -60 \text{ Kg.}$$

Quindi $\frac{H_1 + \Delta}{H_0 + \Delta} = \frac{478}{239} = 2$, che è precisamente il valor limite supposto per il rapporto Z, sicchè la scelta fatta per esso è accettabile.

5. Condizione della fune a riposo. — Dalle (21), facendo uso della (8) scritta successivamente per entrambi i rami conduttore e condotto della fune, si ricavano le espressioni di Δf_1 e Δf_0 , corrispondenti esse pure all'effetto combinato del cambiamento di temperatura, dello strisciamento δ della fune sulle puleggie e della conseguente variazione di tensione.

Precisamente si ha:

$$\Delta f_1 = \frac{A - \delta}{D_1} \quad \Delta f_0 = \frac{A + \delta}{D_0}, (25)$$

ponendo per brevità:

$$\left. \begin{aligned} A &= \alpha t (l + \pi R) \\ D_1 &= \frac{16}{3} n_1 + \frac{k}{n_1 E} \frac{l + \pi R}{l} \\ D_0 &= \frac{16}{3} n_0 + \frac{k}{n_0 E} \frac{H_0}{H_1} \frac{l + \pi R}{l} \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

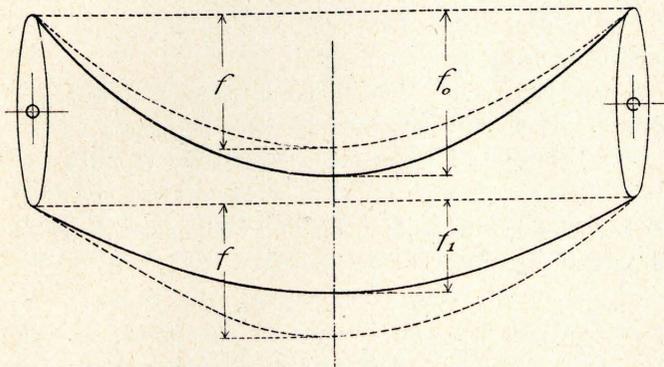


Fig. 121.

Suppongasi ora che il cambiamento di regime statico, espresso nel modo più generale da tali relazioni, corrisponda al trapasso dalle condizioni d'esercizio per le quali la fune fu calcolata, a quelle di riposo, in cui i due rami risultano ugualmente tesi ed ugualmente inflessi.

L'equazione di condizione per determinare la δ incognita

è allora: $f_1 + \Delta f_1 = f_0 + \Delta f_0 = f;$

e per mezzo di essa:

$$\delta = - \frac{(f_0 - f_1) D_0 D_1 - A (D_0 - D_1)}{D_0 + D_1}$$

e quindi:

$$f = \frac{2 A + f_0 D_0 + f_1 D_1}{D_0 + D_1} \quad (27)$$

Esempio. — Quale sarà la freccia di montaggio comune ai due rami della fune calcolata nel paragrafo precedente, se la temperatura di posa supera di 20 centigradi la minima?

Dalle (26), coi dati numerici del precedente problema, e per $t = + 20$, si deduce

$$A = 20 \quad D_0 = 0,153 \quad D_1 = 0,109;$$

e quindi, dalla (27), la freccia di montaggio comune ai due rami $f = 1920$ mm.

Lo strisciamento della fune sulle puleggie misurerebbe complessivamente 58 mm., e, durante l'arresto dell'esercizio, avrebbe luogo, come è naturale, dal ramo condotto al conduttore.

Se poi la temperatura corrispondente alle condizioni di esercizio presupposte nei calcoli di f_1 e di f_0 non differisse da quella a cui viene effettuato il montaggio, o nella quale si considera la fune a riposo, la (27) si semplificherebbe per l'annullarsi del termine A.

Nell'esempio trattato sarebbe allora $f = 1770$ mm.; alquanto maggiore della media di f_1 e di f_0 pari soltanto a 1687 mm.

La formola del Reuleaux per il calcolo della freccia della

funne in riposo, che non considera la possibilità di una variazione di temperatura, darebbe in questo caso

$$f = \sqrt{\frac{f_0^2 + f_1^2}{2}} = 1755 \text{ mm.}$$

ed è quindi molto approssimata.

Filo sospeso in due punti a livello diverso.

6. Proprietà fondamentali della parabola di equilibrio.

— Sia c , come la fig. 122 indica, l'altezza del punto di sospensione A su quello B; ε la distanza positiva verso B del vertice V della parabola dalla verticale m media fra i punti di sospensione; u l'altezza di B sul vertice V.

Dall'equazione (1), valida sempre purchè gli assi di riferimento siano al solito la tangente e la normale in V alla parabola, si deduce, specificandola per i punti estremi B ed A

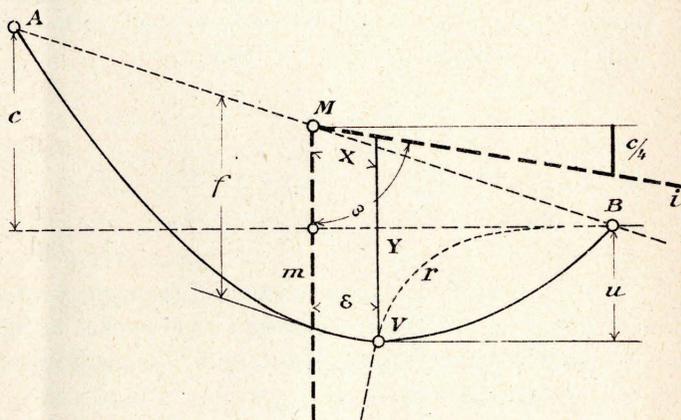


Fig. 122.

$$u = \frac{g}{2H} \left(\frac{l}{2} - \varepsilon \right)^2 \quad u + c = \frac{g}{2H} \left(\frac{l}{2} + \varepsilon \right)^2, \quad (28)$$

e per differenza fra esse

$$c = \frac{g l \varepsilon}{H}. \quad (29)$$

Se si utilizza questa espressione per eliminare nella 1ª delle (28) la tensione orizzontale H, si deduce:

$$u = \frac{c l}{8 \varepsilon} \left(1 - \frac{2 \varepsilon}{l} \right)^2. \quad (30)$$

Da essa, considerando u ed ε come coordinate del punto V rispetto all'orizzontale per B ed alla verticale m , scelte come assi di riferimento, risulta la seguente proprietà:

Il luogo dei vertici V delle parabole funicolari, passanti per due punti dati A e B non a livello, è un ramo dell'iperbole r avente per centro il punto M medio della corda AB e per asintoti la verticale media m e la retta i inclinata nel senso della corda stessa con pendenza metà.

In vero, posto nella (30)

$$\varepsilon = X \text{ sen } \omega \quad u = Y - \frac{c}{2} + X \text{ cos } \omega,$$

(dove ω è l'angolo acuto formato dagli assi m ed i , ed

ha quindi per tangente trigonometrica $\frac{2l}{c}$) risulta la equazione dell'iperbole riferita agli asintoti:

$$X Y \operatorname{sen} \omega = \frac{c l}{8}.$$

È dunque facile costruire in ogni caso la curva lungo la quale è costretto a spostarsi il vertice della parabola funicolare quando, per effetto di variazioni di temperatura e di carico, o per strisciamento dell'organo flessibile sugli appoggi, si altera la sua lunghezza fra i punti di sospensione.

Rimane a vedere come si possono valutare queste alterazioni di lunghezza, dal punto di vista geometrico, nell'ipotesi di un piccolo dislivello c fra i punti estremi.

Si ricorra perciò alla freccia f misurata verticalmente a partire dalla corda $A B$. Per essa sussiste tal quale la (3), come si deduce effettuando una trasformazione di omologia affine del segmento parabolico obliquo in quello retto equivalente. Combinandola colla (29) risulta:

$$\varepsilon = \frac{l c}{8 f}; \quad (31)$$

mentre per altra parte dalla figura stessa si ha:

$$u = f - \frac{c}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon}{l}\right) = f - \frac{c}{2} \left(1 - \frac{c}{8 f}\right). \quad (32)$$

Col sussidio di queste due espressioni la lunghezza dell'arco di parabola funicolare calcolata come somma dei due tronchi $V A$ e $V B$, ricorrendo alla formola approssimata della nota a pag. 167, si riduce a:

$$s = l + \frac{c^2}{2 l} + \frac{8 f^3}{3 l^2};$$

dalla quale risulta, come nel caso del filo sospeso in due punti a livello:

$$\Delta s = \frac{16}{3} \frac{f}{l} \Delta f. \quad (9')$$

7. Estensione delle risoluzioni date nella prima parte al caso degli appoggi a livello diverso. — La validità testè dimostrata della formola (9) nel caso dei punti di sospensione a livelli diversi prova che le espressioni dedotte nei N^i dall'1 al 5 per risolvere i vari problemi discussi sono applicabili in generale, purchè:

1° Nei limiti dell'approssimazione desiderata sia lecito valutare le variazioni termiche ed elastiche di lunghezza nel filo, sostituendo all'elemento di arco la sua proiezione orizzontale;

2° Come freccia della curva funicolare si intenda in ogni caso la massima distanza dei punti di essa curva misurata verticalmente dalla corda.

Ora la 1^a delle due condizioni enunciate è più facilmente violata nel caso di appoggi a livelli diversi, sommandosi in tal caso l'inclinazione della corda con quella dell'arco funicolare rispetto ad essa. In questo fatto soltanto consiste la minore approssimazione che si raggiunge trattando i problemi delle catenarie inclinate colle formole ricavate nei N^i precedenti. Esse tuttavia sono applicabili alla maggior parte

dei casi pratici; e d'altronde la complicazione a cui si andrebbe incontro, pretendendo un'approssimazione maggiore, è eccessiva per le abitudini del calcolo numerico applicato all'ingegneria.

Determinati i valori delle frecce colle ricerche sopra indicate, la risoluzione del problema nel caso di catenarie inclinate richiede il calcolo delle coordinate del vertice, che si fa immediatamente colle (31) e (32).

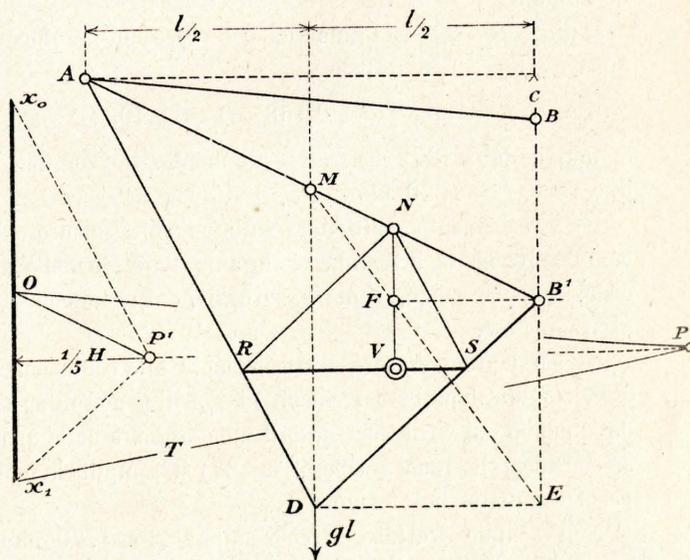
Spesso può tornar utile in queste ricerche un tracciato grafico, quando ad esempio sia fissata la tensione T ad una delle estremità della curva funicolare: per esempio all'estremità più bassa: il qual caso si presenta nello studio d'una trasmissione sentitamente inclinata per eliminarvi con tutta certezza il pericolo dello strisciamento.

Segnati in A e B (fig. 123), gli estremi del tratto di fune nella loro vera posizione relativa in data scala, segnata in $x_0 x_1$ la misura del carico $g l$ che si suppone uniformemente ripartito sull'orizzontale, si sa che il polo P , a cui corrisponde come poligono funicolare del carico la figura d'equilibrio della fune, trovasi sulla parallela ad $A B$ per il punto medio O di $x_0 x_1$.

Centro x_1 e raggio T si determina quindi P . Allo scopo poi di ottenere nel tracciato grafico maggior chiarezza si alteri la scala delle ordinate in un conveniente rapporto, prendendole, per es., come nella figura, cinque volte più grandi. Mantenuta la posizione di A , il punto B si sposterà verticalmente in B' e il polo P orizzontalmente in P' , che dista dalla retta delle forze $x x$ la quinta parte di P , e si trova al tempo stesso sulla parallela per O ad $A B'$.

Le parallele per A e B' ai raggi che da P' proiettano gli estremi della retta delle forze sono le tangenti estreme alla curva e si incontrano sulla verticale media, staccandovi a partire da $A B'$ un segmento $M D = 2 f$.

Se quindi si proietta orizzontalmente D in E sulla verticale per B' , poi si congiunge E con M e la si taglia in F coll'orizzontale per B' , la verticale $N F$ per F contiene in virtù



- Fig. 123.

della (31) il vertice V della parabola. Le parallele $N R$ ed

N S a B' D ed A D determinano finalmente la R S, tangente orizzontale in V.

8. *Calcolo della fune portante d'un trasporto aereo.* — Fissate in base al profilo del terreno attraversato ed alle esigenze del servizio le distanze degli appoggi della fune portante, quelle a cui si succedono i carrelli, nonchè il peso totale P di ciascuno di essi col carico utile previsto, si tratta di calcolare il contrappeso da sistemare all'estremità più bassa del trasporto per mantenervi la necessaria tensione.

Condizione determinatrice del problema è la massima freccia consentita dall'altezza degli appoggi, o suggerita in relazione alla portata dalla pratica di impianti congeneri. Raramente il rapporto della freccia alla portata supera $1/10$.

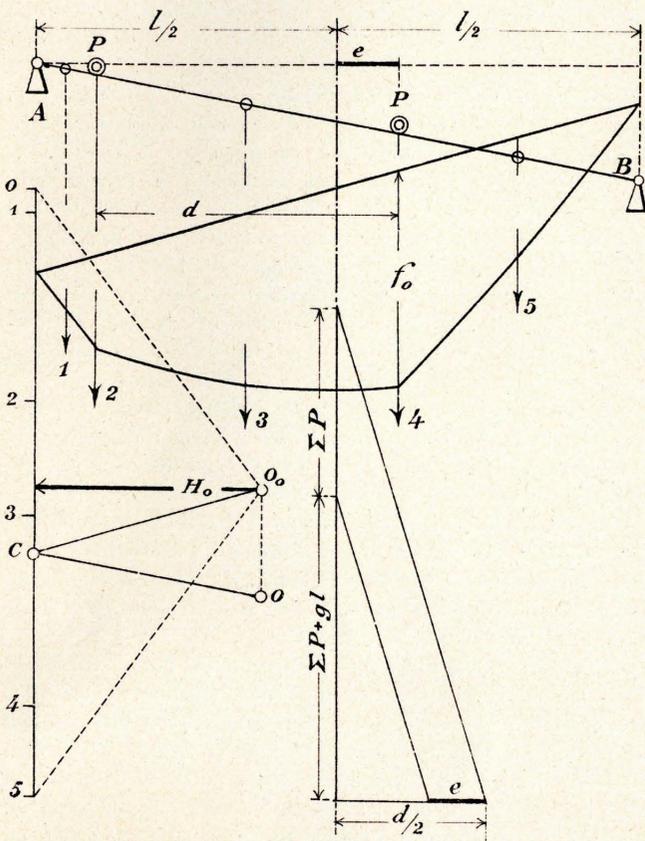


Fig. 124.

Preso in esame allora la campata maggiore AB, o in generale quella nella quale detto rapporto deve mantenersi al di sotto del più basso limite, si disponga (fig. 124) il massimo numero di carichi viaggianti nella posizione a cui corrisponderebbe il massimo momento flettente in una trave appoggiata agli estremi, di ugual portata.

Nella fig. 124 in basso è data la nota costruzione della distanza e fra il carico sotto il quale si verifica il momento massimo e la verticale di mezzo, tenuto conto del peso proprio della fune gl, supposto uniformemente ripartito.

Per questa posizione si tracci con una distanza polare arbitraria H_0 un poligono funicolare dei carichi concentrati e ripartiti, e se ne misuri l'ordinata massima f_0 nella scala del disegno. Essa è la freccia corrispondente ad una tensione orizzontale nella fune pari ad H_0 .

In vero il poligono funicolare costruito colla stessa distanza polare, connettente gli stessi carichi e coi lati estremi passanti per i punti di appoggio A, B, rappresenterebbe la figura di equilibrio della fune ed avrebbe le medesime ordinate di quello tracciato, essendogli omologicamente affine con rapporto uguale all'unità.

E' inutile quindi segnarlo. Basta determinarne il polo O, che si trova tirando $O_0 C$ parallela alla retta di chiusa del poligono di tentativo e CO parallela ad AB.

Si osservi ora che, spostandosi O sulla CO, il nuovo poligono si deformerebbe senza cessare d'essere una configurazione possibile di equilibrio della fune gravata dai carrelli nella posizione scelta. Solo varierebbe simultaneamente la tensione orizzontale in ragione inversa delle ordinate del poligono funicolare.

Quindi il valore di detta tensione corrispondente alla freccia voluta f si deduce subito da f_0 e da H_0 colla formola

$$H = H_0 \frac{f_0}{f} \quad (33)$$

Nota la tensione orizzontale H, si possono tracciare sul disegno le tensioni estreme per il tratto di fune considerato.

Per dedurre poi le tensioni ai capi della linea, alle quali si commisura da un lato la resistenza della fune, dall'altro il contrappeso tenditore, si può in prima approssimazione ammettere che su ciascun appoggio la fune scorra senza attrito. Allora per una data condizione di equilibrio due rami contigui ad un qualsiasi appoggio vi sopportano la medesima tensione; quindi la variazione che questa presenta su tutta la lunghezza della linea dipende esclusivamente dagli incrementi e dalle diminuzioni che subisce nelle successive campate, ed è uguale alla loro somma algebrica.

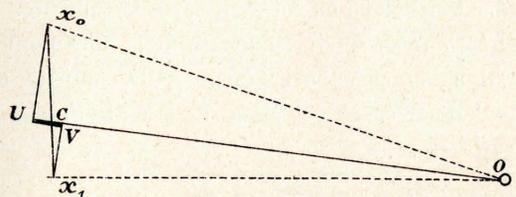


Fig. 125.

Per valutarla in una campata qualsiasi si consideri (fig. 125) il poligono di forze ad essa relativo, in cui $x_0 x_1$ rappresenta il carico totale, O il polo di proiezione, corrispondente alla configurazione effettiva della fune, ed OC il raggio parallelo alla retta che ne congiunge i punti d'appoggio. Data la piccolezza del segmento $x_0 x_1$ rispetto ai raggi proiettanti estremi $Ox_0 Ox_1$, che misurano le tensioni ai capi, la loro differenza si può ritenere uguale al segmento UV che sul raggio OC staccano le perpendicolari abbassate da x_0 e x_1 sul raggio stesso. Dette perpendicolari possono sostituire in fatti, nei brevi tratti pei quali vengono utilizzate, gli archi di cerchio di centro O.

Ne segue la regola: la differenza fra le tensioni della fune alle estremità di ciascuna campata si può misurare

colla proiezione, fatta sulla congiungente i punti d'appoggio, del carico totale che su di essa insiste.

Calcolate quindi nel modo sopra indicato le tensioni estreme nella campata fondamentale, riuscirà facilissimo, applicando più volte la regola enunciata, risalire per le campate che precedono e discendere per quelle che seguono fino ai capi della linea, quando siano stati distribuiti lungo essa i carichi in continuazione di quelli già considerati.

Gli incrementi dedotti si dovranno naturalmente considerare come poste da aggiungersi alla tensione della campata fondamentale, quando corrispondano a campate in salita, per chi le percorra partendo da quella.

Si sottrarranno invece quando corrispondano a campate in discesa.

L'effetto dell'attrito sugli appoggi, sia in quanto può produrre aumento nella tensione della fune portante, sia in quanto può diminuirla provocando una maggior freccia nella campata fondamentale, si può valutare prossimamente nel seguente modo :

Su ogni appoggio, se i rami che vi fanno capo formano un angolo α , le tensioni che vi regnano, invece di avere lo stesso valore T , come la trattazione precedente suppone, possono differire al più di

$$2 \mu T \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2},$$

essendo μ il coefficiente di attrito radente fra la fune e l'appoggio.

Quindi, nella condizione più sfavorevole (strisciamento della fune su tutti gli appoggi verso l'alto) la tensione massima al capo superiore della linea potrà subire un incremento uguale a

$$2 \mu \sum T \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}, \quad (34)$$

intendendosi la somma estesa a tutte le campate.

Nel caso opposto (strisciamento della fune sugli appoggi verso il basso) potrà aver luogo nelle campate un incremento della freccia f calcolata, uguale al più a

$$-\frac{f}{H} \Delta H = \frac{f}{H} \cdot 2 \mu \sum T \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}, \quad (35)$$

dove però la somma è limitata al tratto di linea discendente dalla campata considerata fino al capo inferiore, cui è applicato il contrappeso.

Si intende poi che questo incremento non potrà essere raggiunto, se l'allungamento della fune prodotto dall'aumento di temperatura non è abbastanza grande per consentirlo.

E ciò pel fatto che questo speciale regime statico non può assolutamente aver luogo col rimontare della fune verso l'alto, poichè l'attrito in tal caso opererebbe, come si disse, nel senso di aumentare le tensioni.

Il calcolo delle (34) e (35), che permettono di formarsi un'idea dell'importanza dei fenomeni secondari in un progetto di questa specie, si può fare in modo sommario sostituendo a T e, volendo, anche ad α i loro valori medi, facili a determinarsi con sufficiente approssimazione nei casi pratici.

M. PANETTI.

NOTIZIE

Le nuove imposte di bronzo della Porta maggiore del Duomo di Milano. — L'8 settembre ebbe luogo con solenne cerimonia religiosa l'inaugurazione delle nuove imposte di bronzo della porta maggiore del Duomo di Milano, le quali riscossero l'ammirazione ed il plauso unanime sia del pubblico, sia degli artisti. Creatore di quest'opera meravigliosa è Ludovico Pogliaghi, di Milano, professore di decorazione all'Accademia di Brera, che in quest'opera trasfuse tutta l'anima sua di pittore, di scultore e di architetto.

Sia del lavoro artistico del Pogliaghi, sia dell'opera della fusione, che per la mole delle imposte e per la loro ornamentazione è stata impresa di non comune importanza dei fratelli Barigozzi, è necessario che rimanga traccia sulle colonne dell'*Ingegneria Civile*; e non è meno interessante conoscere le fasi per le quali la gestazione dell'opera è passata, le trasformazioni che essa ha dovuto subire, e le difficoltà che al Pogliaghi si sono presentate, e che egli ha saputo egregiamente superare.

Fin dal 1847 il conte Giacomo Mellerio, nativo di Domodossola, legava « alla Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano la somma di austriache lire centomila, per intraprendere la costruzione delle imposte della porta maggiore, da fondersi in bronzo, istoriate coi fasti della B. V. Maria, prevalendosi possibilmente della opera degli artisti milanesi già versati in questo ramo di lavoro ».

Negli anni che seguirono la morte del conte Mellerio, nessuno poteva aver mente alle imposte di bronzo. Ben altri pensieri preoccupavano i cittadini, i pensieri supremi della patria. Nè il ritardo fu materialmente un danno, poichè le 100 mila *scanziche* del Mellerio diventarono lire italiane e si raddoppiarono.

D'altronde gli amministratori della Fabbrica avevano sempre in mente di rifare la facciata, come i lettori sanno, e aspettarono ad invitare gli artisti nella prova per le imposte di bronzo, che fosse stato scelto il progetto della nuova facciata.

Allorchè nel concorso mondiale per il rinnovamento della facciata del Duomo riusciva vincitore il progetto dell'Architetto Giuseppe Brentano, di compianta memoria, l'Amministrazione del Duomo bandì subito il concorso per le imposte della porta maggiore, quale aveva ideata il Brentano.

Secondo quel progetto la porta centrale era larga e bassa, bipartita nel mezzo da un pilastro di marmo. Vincitore del concorso essendo stato il professore Ludovico Pogliaghi, con lui si strinse il contratto, ed il Pogliaghi diede principio all'opera. Ma poco di poi determinavasi un rivolgimento nella pubblica opinione, al quale la morte inaspettata del Brentano non fu del tutto estranea. Quando si fu per atterrare l'antica facciata, i milanesi tocchi da tenerezza di ricordi sorsero a gridare che era profanazione distruggere un'opera che era stata ammirata e sia pure discussa da tanto tempo, e la Fabbrica nel 1902 deliberò di sospendere il rinnovamento della facciata e di conservare le attuali porte del Pellegrini.

Ed allora il Pogliaghi che aveva già modellato le imposte della porta maggiore secondo le misure del progetto Brentano, dovette studiare di adattare all'attuale porta assai più alta della bifora ideata dal Brentano.

Il problema non era facile, ma il Pogliaghi si attenne ad una soluzione la più naturale. Egli portò di un metro più addentro nel vivo dell'apertura le imposte, decorando i fianchi delle spalle ed il soffitto con una fascia di marmo, scolpita nello stile e con motivi del Pellegrini; aggiunse sopra le imposte una parte fissa dell'altezza di m. 3,50 pur essa di bronzo come le imposte mobili e diede maggior larghezza alle due imposte unendole con un grosso cordone che in basso allargasi sopra lo zoccolo a guisa di radice d'una pianta e superiormente si ramifica in lobi e fogliami.

Se le imposte di stile archiacuto fossero state collocate sulla medesima linea degli stipiti della porta pellegrinesca, ne sarebbe derivata una stonatura artistica troppo pronunciata; fatte

rientrare di un metro, esse diventano una splendida introduzione al tempio gotico. Con queste imposte si è messo per così dire un suggello di bronzo alla parte inferiore della facciata del Duomo; sottraendola ad ogni futuro tentativo di rinnovazione.

Ogni imposta è come divisa in 15 scomparti o riquadri, tre in larghezza e cinque in altezza, su ciascuno dei quali, e sotto una decorazione archiacuta che dà una speciale eleganza a ciascuno dei bassorilievi, svolgesi uno dei fasti della Vergine Maria, che come abbiamo detto, era il tema obbligato del testatore.

Il Pogliaghi pensò di formare due gruppi di questi fasti, i lieti ed i tragici; nell'imposta di destra le gioie, e in quella di sinistra i dolori di Maria; nel primo ogni singolo bassorilievo simboleggia la pace e la letizia (la nascita di Maria, l'Annunziazione, il Presepio, ecc.); nel secondo la mestizia ed il dolore (la flagellazione di Gesù, il martirio, la crocifissione, la deposizione, ecc.); nei due grandi quadrolbi centrali sono rappresentate la crocifissione e la risurrezione.

Dire di ogni singolo quadro dei due battenti e del loro indiscutibile valore artistico non sarebbe nello scopo di questo periodico. Aggiungeremo solo che la parte superiore che rimane fissa, e nella quale il Pogliaghi con effetti prospettici meravigliosi ha esaltato la glorificazione di Maria, la coronazione della Vergine per mano di Gesù, è per ora di gesso dipinto a finto bronzo. Ma il Pogliaghi darà subito mano alla fondita in bronzo, sì che per la ventura primavera anche la parte fissa della porta istoriata sarà messa a posto.

A noi basta di far rilevare la superba fusione dei due battenti, la quale è stata impresa di non comune importanza, data la mole delle imposte e la loro ornamentazione, ma degna della fonderia dei fratelli Barigozzi, a cui si devono già diversi monumenti, quello compreso di Re Vittorio Emanuele II in Milano.

Occorsero per la fusione delle due imposte circa 20 mila chilogrammi di metallo. Il sistema di fusione adoperato è quello che si chiama *a cera persa*.

Le due imposte costano ciascuna di un'ossatura in bronzo, specie di casellario, di m. 7,15 di altezza, e di m. 2,82 di larghezza ciascuna. Lo zoccolo ed i porta perni sono pure di un sol getto colle imposte. I quindici quadri istoriati della vita di Maria e le tre mezze figure nei quadrolbi che servono di coronamento allo zoccolo per ciascuna imposta, si assicurarono con otto viti nel proprio casellario, in modo da formare un sol corpo con esso.

È questa l'unica porta di grandi proporzioni che sia tutta in bronzo; in generale le altre sono di legno coperte di piastre di bronzo; l'ultima del Duomo di Firenze è in ferro, ornata da una parte dei bassorilievi di bronzo e ricoperta a tergo di lastre di rame.

Per il bronzo fu adottata, dopo parecchi studi e non poche esperienze, una lega speciale che dà speranza conservi anche sotto il nostro clima il bel colore dorato. La lega è la seguente:

Rame	90,50
Stagno	8,50
Piombo	0,50
Zinco ed impurità	0,50
	<hr/> 100,00

Se si pensa che ogni singolo battente pesa all'incirca 100 quintali, riuscirà facile persuadersi delle difficoltà che si son dovute risolvere per ottenere che si aprissero dolceissimamente. In realtà l'apertura di quelle imposte ha luogo meccanicamente in virtù di uno speciale impianto idraulico stabilito nel sottosuolo, che fu ideato dall'ing. Giovanni Morosini di Milano ed eseguito nell'officina del di lui figlio ing. Francesco.

Per occultare la vista dei vani laterali a porta aperta, furono aggiunte due lastre di bronzo di un sol pezzo ciascuna, alte quanto le imposte, e della larghezza di 65 centimetri, le quali coprono il vano, ed essendo ornate con gusto squisito, formano un contorno ai portali in armonia coll'architrave, il quale attraversa tutta la porta, cesellato minutamente come un oggetto d'oreficeria,

e serve come di base al grandioso quadro soprastante della incoronazione di Maria. Quest'architrave, che è di un sol getto, del peso di quasi 11 quintali, misura m. 6,40 in lunghezza e m. 0,40 × 0,32 in sezione. Anche la soglia a livello del pavimento è costituita da un sol pezzo di bronzo, piallato ed inciso, del peso di 475 chilogrammi.

Per proteggere le nuove imposte dalla soverchia ammirazione dei vandali, un cancello di bronzo sale dal sottosuolo davanti ad esse; durante il giorno basso così da non impedire la vista delle sculture; durante la notte alto quanto un uomo.

A. F.

BIBLIOGRAFIA

I.

Il Cemento armato ed il Cemento semiarmato.

— Ricerche teoriche e loro pratiche applicazioni. Studio dell'ing. Cesare Pesenti. — 1 Vol. in-8° grande, di pagine 269 con 144 figure geometriche nel testo, 60 fototipie, 5 diagrammi per il calcolo grafico e 19 tabelle numeriche. — Bergamo, Istituto italiano di Arti Grafiche, 1906.

Simpatico ed elegante nella forma, questo studio dell'ingegnere Cesare Pesenti, Direttore tecnico della Società italiana dei Cementi e delle Calci idrauliche avente la sede in Bergamo e le fabbriche in Alzano Maggiore, ci si presenta attraentissimo per la semplicità con cui sono per ordine trattati i più importanti problemi che si presentano nella pratica ai costruttori di opere in cemento armato, ai quali il libro è precipuamente destinato. Esso è evidentemente il frutto di un diligente e coscienzioso lavoro di sintesi eseguito colla scorta degli studi teorici e pratici più importanti delle migliori intelligenze fra cui va segnalato in prima linea fra gli italiani il nome del chiarissimo prof. Guidi, e quello di Canevazzi e di Vacchelli, ed all'estero quello di Christophe, Lefort, Wayss, Ritter, Emperger, Bauschinger, Considères, De-Tedesco, Lavergne, Durand Claye, De-Marzas, Neumann, Planat e di molti altri.

Due sono gli intendimenti che guidarono l'ingegnere Pesenti in questa sua pubblicazione, l'uno di volgarizzare, per così dire, con calcoli grafici e spediti, le lunghe operazioni analitiche inerenti alla teoria del cemento armato, sì da renderle accessibili a tutti, e riassumerne i risultati in acconce tabelle, nuove in questa materia, le quali coll'evitare le difficoltà delle formole, rendono oltremodo semplice il lavoro malagevole dei computi; mettendo così « l'ultimo dei capomastri, come dice l'A. nella prefazione, in grado di mettere in pratica questo sistema colla medesima dimestichezza con cui adopera quelli che ora gli sono più famigliari »; — l'altro di render noto un suo sistema speciale, che egli ebbe già occasione di sperimentare su vasta scala e a cui diede il nome di *Cemento semiarmato* inquantochè in esso il ferro, che nelle ordinarie strutture cementizie è ancora impiegato in quantità notevole, viene ridotto al *minimum*. Mentre nei sistemi ordinariamente in voga si hanno solette piane e pur esse di cemento armato e collegate alle travi armate, nel sistema dell'ing. Pesenti la soletta è sostituita da volta di cemento, priva di armature metalliche e le travi propriamente dette hanno armature che si avvicinano al sistema del doppio T, le quali hanno inoltre il vantaggio di poter sostenere da sole le impalcature per le gettate. Nella fig. 126 riproduciamo i tipi principali del sistema, da adottarsi a seconda dell'ampiezza dei vani da coprire. Quanto alla distanza fra una trave armata e l'altra, suolsi per la necessaria economia ritenere come minima quella di m. 2,00 da asse ad asse di due travi consecutive, e come massima quella di m. 4. L'ing. Pesenti è partigiano del concetto che un arco monolitico di béton quando abbia un'imposta resistente ed inamovibile presenti molto maggiore sicurezza di

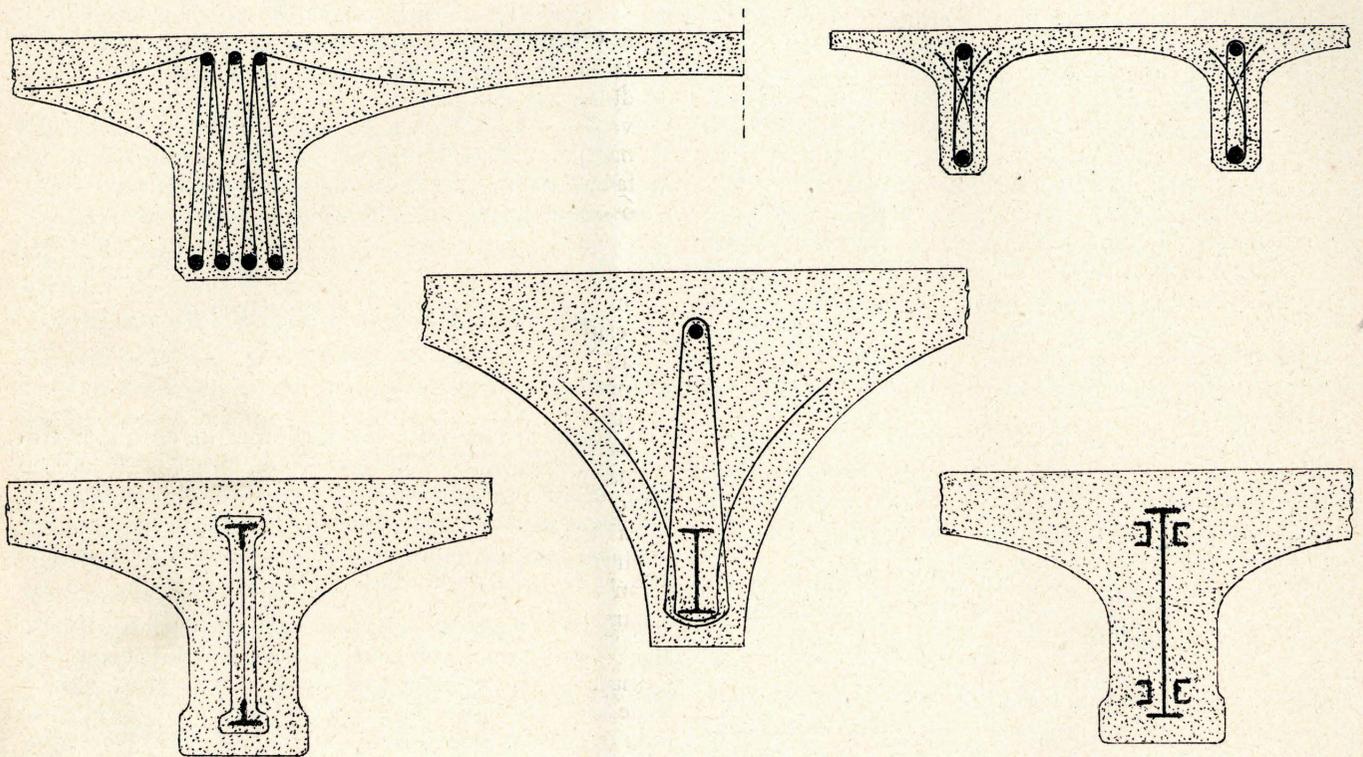


Fig. 126. — Strutture in cemento semiarmato, sistema dell'Ing. C. Pesenti.

una lastra piana, per quanto armata in ferro, mentre l'arco medesimo è più economico e di più facile costruzione che non lo sia la soletta piana. Oltre ad una maggiore resistenza, a parità di portata e di spessore, la costruzione a voltina risponde anche meglio al precetto dell'igiene che non ammette spigoli vivi, ed angoli diedri dove trovano rifugio insetti e microbi, ma vogliono dovunque superficie curve e arrotondate all'incontro di tutte le pareti d'ogni ambiente.

Non ci è possibile dire, così ad occhio, fino a qual grado lo scopo principale dell'ing. Pesenti, che è quello della maggiore economia nella costruzione, sia raggiunto; poichè tra le molte pregevoli tabelle numeriche dall'egregio Autore allestite e pubblicate non troviamo quella del costo a metro quadrato di superficie per le diverse portate e per i diversi sovraccarichi che possono generalmente occorrere, e ben inteso astrazione fatta dalle spese di trasporto dei materiali a piè d'opera. Comunque, poichè l'egregio Autore scrive egli stesso nella prefazione che *facile est inventis addere*, noi ci auguriamo di vedere con tale aggiunta completata la serie dei dati pratici e di calcolo di cui egli ha arricchito il libro, e nel segnalare all'attenzione dei lettori questa interessante pubblicazione e questo speciale sistema perchè ne facciano, ove credano, esperimento, ringraziamo da parte nostra l'ing. Pesenti del gentile omaggio del suo libro.

II.

GIUSEPPE MUSSO. — La prevenzione degli infortuni negli opifici industriali, miniere, cave, costruzioni.

— Manuale per gli industriali, imprenditori ed ispettori tecnici della prevenzione. — 1 vol. in-16° di pag. 214. — Torino, S. Lattes e C. editori — L. 3.

Il libro che il comm. G. Musso, presidente del Sindacato Subalpino di assicurazione degli infortuni ha scritto e che gli editori S. Lattes e C. hanno stampato con la ben nota ormai

eleganza di tipi e d'incisioni, non ha bisogno di raccomandazione, basta che sia fatto conoscere per rendersi necessario. È un manuale pratico, chiaro nella forma, ricco d'incisioni, il quale guida l'industriale attraverso le parti meno sicure de' suoi attrezzi ed ai pericoli del proprio lavoro.

Sia che tratti il legno od il metallo, le cave, le miniere, ecc., qualunque forma insomma di lavoro, l'industriale trova in questo manuale un non comune aiuto nel prevenire i suoi operai da tutti gli infortuni che per il lavoro, al giorno d'oggi così enormemente sviluppato, pur troppo si incontrano con tanta, troppa, facilità. Ed è dovere dell'industriale provvedere a che il numero delle disgrazie sul lavoro diminuisca e qualora per incuria non si prevenga è la legge che interviene implacabile e giusta.

Per questo il volume del comm. G. Musso si raccomanda di per sé e noi lo consigliamo a tutti gli industriali che hanno a cuore, non solo l'interesse proprio, ma peranco la salute dei loro operai, a questi, perchè della sua lettura ne trarranno giovamento non poco.

E. F.

III.

MANUALI HOEPLI. — Della oramai indefinita serie dei pregevoli Manuali Hoepli, la Direzione annunzia di avere ricevuto i seguenti:

Meccanica razionale, di ROBERTO MARCOLONGO, professore ordinario della R. Università di Messina. — Vol. I: Cinematica - Statica, di pag. 271, con 35 incisioni. — Vol. II: Dinamica - Principi di idromeccanica, di pag. 324, con 24 incisioni — Prezzo L. 3 per ogni volume.

L'Operaio elettrotecnico. Manuale pratico di G. MARCHEL. — 1 vol. di pag. 406, con 265 incisioni. — 2ª edizione — Prezzo L. 3.

Stampaggio a caldo e bolloneria, dell'Ing. GINO SCANFERLA, Capo-sezione alle Acciaierie di Terni. — 1 vol. di pag. 165, con 62 incisioni — Prezzo L. 2.