

G 73

**DETERMINAZIONE DELLA PORTATA
DEI CANALI E DEI FIUMI**



DISSERTAZIONE E TESI

PRESENTATE

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DELLA R. SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GL' INGEGNERI IN TORINO

DA

EUGENIO SOLDATI

DA TORINO

PER OTTENERE IL DIPLOMA DI INGEGNERE LAUREATO

1868

TORINO

TIPOGRAFIA C. FAVALE E COMP.

AI MIEI GENITORI

AT THE OFFICE OF THE

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA

DEI CANALI E DEI FIUMI

Una delle operazioni più importanti dell'idraulica pratica, uno dei problemi che più di frequente si presentano all'ingegnere, è la determinazione della portata dei fiumi e dei canali. Essa ci fa conoscere l'entità di un agente naturale di produzione che noi possediamo in gran copia; essa è operazione indispensabile in molti casi, è guida sicura per risparmiare disinganni. Così allorchè si tratta di scavare un canale, di stabilire una condotta, di elevare fontane, è necessario conoscere se si può fare assegnamento sulla massa d'acqua propria ad alimentarle. Quando si deve impiantare una officina con motori idraulici o macchine per elevare l'acqua, è indispensabile valutare la quantità di lavoro motore che può somministrare il corso o la porzione del corso d'acqua, di cui si può disporre, e questa valutazione suppone quella della sua dispensa.

Ma queste valutazioni si riferiscono unicamente allo stato del canale o fiume nel momento in cui si fecero, a meno che questo stato non sia permanente, il che succede di rado. Le variazioni più o meno considerevoli dei corsi d'acqua, esigono in generale misure eseguite a differenti epoche dell'anno, fra le quali è indispensabile comprendere quella delle magre e quella delle piene.

Diffatti l'uso delle acque deve sovente farsi in ogni epoca dell'anno, anzi viene talvolta tanto più necessario quanto meno abbondante è l'elemento impiegato. A voler pertanto evitare il pericolo di sobbarcarsi a gravi spese, quali sono quelle che impone la derivazione di un canale, senza certezza di profitto, è necessario conoscere se anche nelle minime portate il fiume somministrerà sempre tant'acqua, quant'è quella necessaria alle opere che si progettano. È pure utile conoscere le portate massime, onde poter suggerire i mezzi per premunirsi dai danni delle acque. I più gravi danni succedono quasi sempre nelle grosse piene o come conseguenza delle medesime. Quindi importanza di conoscere un limite di portata cui il fiume non sia mai per oltrepassare.

Ma quello che soprattutto importa conoscere è la portata media, poichè essa è quella che ha luogo in via ordinaria, la massima e la minima essendo eccezioni. Ora vi sono moltissimi casi in cui si vuole impiegare l'acqua nelle condizioni ordinarie del fiume, contentandosi gli utenti di andarne privi nelle epoche di straordinaria cresciuta o di straordinaria depressione.

I.

Mezzi con cui si può procedere alla misura delle portate.

Il mezzo più volgare ma più sicuro, anzi l'unico metodo perfettamente esatto per determinare la portata di un corso d'acqua, consiste nel raccogliere l'acqua che esso conduce in una vasca di conosciuta capacità, dividendo poi il volume della vasca per il numero di minuti che l'acqua impiegò a riempirla. Paratoie od una semplice tavola mobile contro due montanti, bastano per aprire ed intercettare in un dato istante l'introduzione nel recipiente, dell'acqua a cui si procura nello stesso tempo un altro mezzo di scaricarsi.

La capacità della vasca deve essere ampia il più che sia possibile per potervi fare effluire il canale durante un gran numero

di secondi, e diminuire così le cause d'errore possibili nell'operazione. L'unica precauzione a prendersi sarebbe d'impedire le filtrazioni.

Ma se questo metodo offre un grande interesse per la teoria, perchè dando in modo infallibile la dispensa per secondo, fa egualmente conoscere colla stessa esattezza la velocità media, e quindi porge mezzo di studiarne i rapporti colla velocità alla superficie od in un punto qualunque; perchè serve nelle esperienze sulle portate delle luci, e quindi per la determinazione dei coefficienti di contrazione; evidentemente non è tale che possa applicarsi ai casi ordinarii della pratica. Perciò non intrattenendomi più a lungo a parlare di esso, dirò che, chi sia vago di classificazioni parmi possa dividere i mezzi per determinare la portata di un canale o fiume in tre, e sono:

1° Stima della portata, misurandone i fattori, la sezione cioè e la velocità;

2° Ricerca della portata, costringendola a passare tutta per una luce di cui siano conosciute *a priori*, o potranno misurarsi dappoi le dimensioni; poi deducendola dai principii di foronomia;

3° Calcolo della portata di un corso d'acqua, misurandone gli elementi, poi applicandovi le equazioni del moto uniforme o permanente, secondo i casi.

Quanto al 1° mezzo, osserverò che la misura della sezione di un canale o fiume non presenta punto difficoltà; e che la velocità che si tratta di avere, è la velocità media, quella velocità cioè che, supposta posseduta da tutti i fili fluidi, si avrebbe la stessa portata, che si ha realmente.

Per misurare la velocità di un corso d'acqua si sono inventati parecchi strumenti, che vengono detti tachimetri, e si possono dividere in galleggianti e tachimetri fissi. Fra i galleggianti, i più usati sono il galleggiante semplice che dà la velocità al filone, e l'asta ritrometrica che somministra la velocità media di una falda fluida. Dei tachimetri fissi, i più usati sono due: il reometro, ed il tubo di Pitot; e valgono a dare la velocità di un filo fluido qualunque.

Questi mezzi sarebbero ottimi, se si avesse un buon istrumento idrometrico; ma quelli sinora inventati lasciano tutti qualche de-

siderio; di più il metodo del galleggiante semplice ha la sola esattezza delle formole che danno la velocità media in funzione della velocità al filone.

L'applicazione delle equazioni del moto uniforme o permanente alla determinazione delle portate, è un metodo unicamente approssimato, ed in cui inoltre è assai difficile procurarsi esattamente la pendenza.

Più esatta si ottiene la portata, almeno pei canali minori, col 2° mezzo, che io dirò dei *regolatori*, e che è il più usato.

Io tratterò la determinazione della portata coi seguenti metodi:

- 1° Col metodo del galleggiante semplice;
- 2° Col mezzo dell'asta ritrometrica;
- 3° Coi tachimetri fissi;
- 4° Col metodo dei regolatori;
- 5° Applicando le equazioni del moto uniforme.

Non farò parola dell'applicazione allo stesso scopo delle equazioni del moto solo permanente e non uniforme, perchè presentano più complicazione delle altre, e d'altronde non è mai difficile trovare lungo il canale o fiume, di cui si deve misurare la portata, un tratto di esso che sia o facilmente si possa ridurre tale, da poter con sufficiente approssimazione considerare il moto che vi ha luogo, come uniforme.

II.

Determinazione della portata col metodo del galleggiante semplice.

Con questo metodo si misura direttamente la velocità della corrente al filone; da questa, col mezzo delle formole, si passa alla velocità media, moltiplicando la quale per la sezione del canale o fiume, se ne ha la portata.

Il galleggiante semplice non è altro che un corpo avente un peso specifico un po' minore che quello dell'acqua, il quale si

abbandona alla libera spinta della corrente. Servono a questo scopo piccole palle di sovero o di legno, in cui si infigge un bastevol numero di chiodi, o palle cave di metallo munite di un foro chiuso da capocchia, che si zavorrano con pallini di piombo, per modo che messe nell'acqua riescano tutte sommerse, e non sporga dall'acqua che la sola capocchia, la quale può facilmente scorgersi dalla riva sulla superficie dell'acqua.

Il galleggiante deve sommergersi pressochè tutto nell'acqua, perchè, ove ne sporgesse notabilmente, la parte eminente verrebbe influenzata dalla resistenza dell'aria, che se piccola in aria tranquilla, potrebbe diventar considerevole quando venisse a spirar vento. In tal caso questa azione si eserciterebbe anche in modo pregiudizievole sulla superficie dell'acqua stessa; di modo che bisogna sempre procurare di premunirsene, scegliendo giornate calme per procedere alla misura delle portate con questo metodo.

Gettato il galleggiante nel filone, in breve ne acquisterà la velocità e si muoverà di conserva con esso; imperocchè, mentre ha velocità minore, sarà accelerato dal fluido che lo investe, e che cessa allora soltanto di urtarlo quando siensi fatte eguali le due velocità. Basterà dunque osservare la velocità, di cui è dotato il galleggiante, per avere la velocità della corrente lungo la linea percorsa dal galleggiante medesimo.

I galleggianti dopo lieve corso si riducono nel filone del fiume, ed ivi solo concepiscono la velocità della corrente; imperocchè immerso un corpo in una corrente, fuori del filone, le particelle d'acqua che lo investono non hanno tutte eguale velocità, correndo le più vicine al filone più velocemente delle altre.

La spinta sarà quindi eccentrica e il galleggiante concepirà due moti, l'uno progressivo e l'altro rotatorio intorno al suo centro di gravità, avanzandosi nel fluido la parte più vicina al filone e ritraendosi indietro la parte opposta. Ma nel voltarsi così è facile vedere che esso urterà obliquamente il fluido anteriore, la cui resistenza dovrà perciò respingerlo continuamente verso il filone, nè cesserà fino a che non ve lo abbia condotto intieramente.

Sarà dunque mestieri di porre direttamente da principio il galleggiante nel filone, dove concepirà ben presto la velocità della corrente nel filone medesimo.

Soldati.

Per usare del galleggiante, si rende uniforme per una lunghezza di almeno un centinaio di metri il letto del corso d'acqua di cui si vuole misurare la portata, sia limitandosi ad incassarlo regolarmente fra le sue sponde naturali, se esse a ciò si prestano, sia costruendo con tavoloni un canale artificiale a pareti laterali verticali.

Si usano queste precauzioni nello scopo :

1° Di avere una sezione a contorni rettilinei che si possa sempre valutare esattamente con operazioni di geometria elementare.

2° Di fare in modo che la larghezza e la altezza di questa sezione si mantengano costanti per un certo tratto, di modo che nessuna variazione di velocità possa provenire dalla loro inegualianza.

Misurata lungo la sponda una lunghezza di almeno 60 metri si tenderanno ai due capi, attraverso all'alveo e perpendicolarmente al filone due funicelle fissandole alle sponde. Ciò fatto si farà gettare il galleggiante nel filone alcuni metri a monte della prima funicella, perchè arrivandovi abbia già acquistato la velocità reale del fluido ; e con un orologio a secondi si noterà il tempo in cui passa al disotto della stessa; poi si andrà lungo la riva seguendo coll'occhio il galleggiante per vedere se esso si mantiene nel filone, o se mai per avventura soffrisse alcuna deviazione dalla sua direzione normale. Giunto il galleggiante alla seconda funicella si noterà nuovamente il tempo segnato dall'orologio, e divisa la distanza delle due funicelle per la differenza dei tempi, ridotta in secondi, si avrà la velocità richiesta.

Si ripeterà la prova parecchie volte per verificare il risultato, e si prenderà una media fra le diverse velocità così ottenute le quali devono di poco differire l'una dall'altra.

Se mai nel suo corso il galleggiante uscisse dal filone, allora quella esperienza dovrà rigettarsi.

Avuta così la velocità al filone, si tratta di dedurne la velocità media del canale onde moltiplicandola per la sezione ottenere la portata che è il nostro scopo.

A quest'oggetto si proposero molte formole. Eccone alcune :

Diciamo v la velocità media , V la velocità al filone. Prony

dalle esperienze di Dubuat fatte su piccoli canali a pareti e fondo levigati, conchiuse la formola :

$$v = V \frac{V + 2,372}{V + 3,153}$$

Secondo il prof. Turazza si avvicinerrebbe più al vero la formola :

$$v = V \frac{V + 0,059}{V + 0,150}$$

Bazin propone quest'altra :

$$v = V - 14 \sqrt{Ri}$$

Altre relazioni più semplici furono proposte da altri autori; così secondo Dubuat la velocità media sarebbe la semisomma fra la massima e la minima.

Secondo il già citato prof. Turazza sarebbe d'accordo coi risultati di esperienze eseguite su grossi fiumi la seguente formola :

$$v = 0,924 V$$

Il sig. Bresse propone di prendere per velocità media gli $\frac{8}{10}$ della velocità al filone.

Il Nadault de Buffon suggerisce di passare dalla velocità al filone alla velocità media, moltiplicando la prima per 0,80 se si tratta di piccoli canali, per 0,81 o 0,82 se di corsi d'acqua maggiori.

III.

Determinazione della portata col metodo dell'asta ritrometrica.

Quando si tratta di misurare la portata di un corso d'acqua molto potente, bisogna usare metodi che non richieggano la costruzione di alcun edificio. Raggiungono questo scopo il metodo di cui ho parlato or ora, il metodo che forma oggetto di questo capitolo, ed il metodo di cui darò alcuni cenni nel capitolo seguente.

Ma adoperando il metodo dei galleggianti semplici, siccome essi danno la velocità al filone che è la massima, per passare da questa alla media che è la necessaria ad aversi, bisogna usare certe formole, sulla cui esattezza è lecito elevare qualche dubbio; quindi incerto pure è il risultato di quel metodo.

I tachimetri fissi poi sono di uso non tanto facile, sono strumenti assai costosi, necessitano esperienze preventive per determinarne i coefficienti, ed inoltre richieggono operazioni assai lunghe e delicate.

Quindi è che spesso si ricorre al metodo di cui intendo ora parlare. Consiste esso nello scegliere sul corso del fiume di cui si vuol misurare la portata, una porzione rettilinea e regolare quanto possibile; e ad osservare direttamente su parecchie falde longitudinali distanti l'una dall'altra quanto si giudica conveniente, le velocità reali dell'acqua, col mezzo di aste ritrometriche disposte in modo da poter raggiungere bene questo scopo. Si incomincia a determinare la lunghezza della parte del fiume su cui si vuole operare; poi si tende sulla sezione a monte un cordone che deve trovarsi a 0^m, 20 o 0^m, 30 al disopra del pelo dell'acqua; e sulla sezione a valle un altro cordone simile che deve essere quasi in contatto coll'acqua.

Ciò fatto si segna in modo visibile sul cordone a monte, il numero di divisioni che si giudica conveniente stabilire, per farne il punto di partenza delle linee longitudinali, su ciascuna delle quali ci proponiamo di osservare direttamente la velocità del-

l'acqua, col mezzo dei galleggianti costrutti nel modo che indicherò.

Non si può stabilire regola rigorosa sul modo di operare questa divisione; essa deve essere lasciata al criterio dell'operatore. Dall'una parte più divisioni si faranno, maggiore sarà la probabilità di esattezza; d'altra parte facendone un numero troppo grande, si complicherebbe inutilmente l'operazione ed il calcolo che ne segue. In ciascuna circostanza particolare dalla semplice ispezione del fiume, si giudica della distanza che è conveniente dare alle linee d'osservazione.

Nell'esperienza fatta con molta cura a Roma nel 1821 per la misura della portata del Tevere, che ha in questo sito una larghezza di 79 metri, si stabilirono 12 linee di osservazione corrispondenti a 13 intervalli, ciò che dà circa 6 metri per la distanza media di queste linee, tanto fra esse che dalle linee delle rive che debbono pur esse contare nell'operazione.

Stabilite le divisioni sulla corda a monte, a partire dai punti ove esse cadono si abbassano con un semplice scandaglio, delle ordinate verticali che si misurano dalla superficie dell'acqua fino al fondo del letto, e si ha così un profilo trasversale del fiume, ossia la sua sezione, divisa in trapezii che hanno per lati paralleli e comuni due a due, le dette ordinate verticali, mentre che le loro altezze geometriche non sono altro che le distanze determinate orizzontalmente sul cordone.

Attesa la divergenza che può essere occasionata nei fili fluidi, sia da una certa differenza di larghezza nelle due sezioni del fiume, sia da qualche irregolarità nel suo letto, non si può dire esattamente *a priori* quali saranno, sul cordone inferiore, i punti d'arrivo dei galleggianti partiti dai punti di divisione stabiliti sul cordone a monte. Ma generalmente essi si allontanano poco nel loro cammino, da piani paralleli alla riva più vicina, e si può d'altronde riconoscere, assai prossimamente, colla semplice osservazione della superficie dell'acqua, la via che ciascuno di essi deve percorrere. Questa osservazione è necessaria per facilitare la ricognizione preventiva, che si deve fare percorrendo con una barca il cammino presunto di ciascun galleggiante, per riconoscere se le profondità osservate a piombo dei punti corrispondenti

delle sezioni estreme, si mantengono nelle sezioni intermedie del fiume, vale a dire in tutto il tragitto che deve percorrere il galleggiante, fra questi due punti. Si notano le diminuzioni di profondità che si potrebbe aver riconosciuto in questa o quella linea; e non è che dopo aver osservato questa precauzione, che si stabiliscono le lunghezze rispettive dei galleggianti da impiegarsi su ciascuna linea. Per fare ciò si dà alla parte che deve trovarsi immersa, una lunghezza alquanto minore della minima profondità osservata sulla linea da percorrersi. Infatti si capisce facilmente che ogni ostacolo, proveniente anche solo dal semplice contatto tra il fondo del letto ed i galleggianti, il cui moto si prende per misura delle velocità parziali dell'acqua, avendo per effetto necessario di ritardare il loro movimento di progressione, cagionerebbe errori nel calcolo della velocità media, e quindi in quello della portata.

La costruzione delle aste ritrometriche è affatto semplice. Si può usare a quest'oggetto ogni corpo specificamente più leggero dell'acqua, purchè sia equilibrato in modo da muoversi con essa, pescando insieme e negli strati superficiali e nei più bassi; poichè egli è soltanto quando sia verificata quest'ultima condizione, che senza ricorrere ad alcun altro calcolo o correzione, si può riguardare la velocità dell'asta ritrometrica come la velocità effettiva della falda longitudinale del fiume, nella quale si opera il suo tragitto.

Nell'esperienza sul Tevere si fecero queste aste ritrometriche con piccoli fasci di asticine di salice o di pioppo, aventi da 0^m,03 a 0^m,04 di diametro, e la cui lunghezza variabile si regolava in relazione colle profondità osservate nel fiume. L'estremità inferiore era inserita in cilindri di latta nei quali si introducevano piccoli dischi di piombo, in numero sufficiente per dare a questa stiva un peso proporzionato alla lunghezza dei fasci, in modo da farli pescare fino alla profondità voluta, vale a dire fino ad alcuni centimetri soltanto al disopra dei punti meno bassi della sezione longitudinale in cui devono liberamente muoversi. Questa specie di armatura era fissa al fascio di asticine per mezzo di un gambo, formato dalla torsione di quattro fili di ferro, che, passando al centro delle asticine, veniva a salire di alcuni centimetri al di

sopra dell'estremità superiore del fascio, dividendovisi a mo' di piccola àncora a quattro rami di cui si vedrà fra poco la destinazione.

Nelle diverse esperienze fatte sul Po presso Ferrara, si adottò per le aste ritrometriche una costruzione alquanto differente da quella ora accennata. Esse erano formate d'un semplice bastone di faggio verniciato perchè non assorbisse acqua; il cilindro di latta racchiudente la zavorra, che consisteva in pallini di piombo, vi si adattava col mezzo di piccole caviglie. Le lunghezze di questi galleggianti variarono fra 2^m,70 e 6^m,25; la distanza fra la loro estremità inferiore ed il fondo del letto era mediamente 0^m,40.

Si capirà ora facilmente il meccanismo di questa operazione, che non presenta alcuna difficoltà. Tre persone almeno sono necessarie per eseguirla. La prima, posta in una barca a cinque o sei metri a monte del cordone superiore, è incaricata di collocare con precauzione i galleggianti, in modo che essi passino liberamente sotto i segnali di divisione di questo primo cordone, teso, come ho già osservato, ad altezza sufficiente per non impedire questo passaggio. Senza dubbio si potrebbe risparmiare questa precauzione, facendo partire i galleggianti dal cordone stesso. Ma, come ho già detto nell'altro capitolo, è assai meglio che questi galleggianti siano messi nell'acqua ad una certa distanza a monte del punto in cui comincia l'osservazione, perchè abbiano definitivamente preso in questo sito la loro posizione costante come pure il loro movimento progressivo ed uniforme. Anzi si collocano nell'acqua con molta attenzione, avendo cura di non immergerli che poco a poco, e di metterli in una posizione leggermente inclinata verso valle, perchè è quella che assumono costantemente. Tutto ciò si fa nello scopo di evitare le oscillazioni del galleggiante, che sole basterebbero per nuocere alla esattezza di questa delicata operazione.

La seconda persona, collocata anch'essa in una barca, un po' al disotto della sezione a valle, ha per ufficio di raccogliere le aste ritrometriche che vengono successivamente a fermarsi aggrappandosi al cordone inferiore, che si ebbe cura di tendere a quest'oggetto, quasi in contatto con l'acqua. Questo osservatore nota esattamente le distanze rispettive dei punti d'arrivo dei galleg-

gianti su questo cordone, distanze che non potevano essere fissate *a priori*, e misura nello stesso tempo, a piombo di questi medesimi punti, le profondità del letto; ciò che dà il secondo profilo trasversale, o la sezione a valle, del tronco di fiume sottomesso all'esperienza.

Il terzo operatore, collocato sulla riva, osserva, coll'aiuto d'un orologio a secondi, il tempo impiegato da ciascun galleggiante per percorrere il cammino compreso fra i due cordoni. Una sola persona basta per ciò, avendo essa sempre il tempo di collocarsi successivamente davanti all'uno ed all'altro cordone, prima dell'arrivo dei galleggianti. Siccome i tragitti percorsi non sono mai molto obliqui all'asse del fiume, non si ha riguardo alle piccole differenze di lunghezza che potrebbero provenire da questa obliquità, e si considera la distanza fra le due sezioni come costante per tutti i galleggianti.

Un calcolo semplicissimo conduce al risultato di queste operazioni. Infatti, poichè le aste ritrometriche camminano da una sezione all'altra, pescando ad un tempo negli strati superficiali e negli inferiori dell'acqua, e prendendo liberamente una certa inclinazione alla verticale, ne risulta che la velocità d'ognuna di esse deve essere riguardata come eguale alla velocità media dell'acqua nel piano verticale corrispondente; vale a dire come esprime la velocità reale della falda longitudinale nella quale nuota.

La media aritmetica fra le velocità di due aste ritrometriche consecutive esprime dunque anche la velocità media o effettiva del volume liquido compreso fra i piani verticali percorsi da questi due galleggianti. Questi volumi sono generalmente tronchi di piramide compresi fra basi verticali e parallele, che sono trapezii per tutte le divisioni nell'interno del fiume e triangoli per quelle che terminano su ciascuna riva.

In quest'ultimo caso la velocità media deve calcolarsi come negli altri, cioè come la ridotta fra le due velocità laterali, di cui l'una, quella che ha luogo lungo la riva, è sempre debolissima, spesso nulla, e talvolta anche negativa sotto l'influenza dei rigurgiti. Ma egli è vero che non si sceglierebbe per sottometterlo alla esperienza di cui si tratta, un tronco di fiume che presentasse quest'ultima circostanza, che sarebbe svantaggiosissima. Si deve

anzi ricercare di preferenza i tratti bene incassati, affinchè la velocità vicino alle sponde sia sempre apprezzabile.

Dopo d'aver preso la profondità media dell'acqua su due linee vicine, poi la ridotta fra queste due medie, se si moltiplica questa ridotta per la media delle distanze trasversali fra le stesse due linee, distanze che si trovano segnate sui cordoni a monte ed a valle, si avrà così successivamente le sezioni medie dei volumi liquidi nei quali si è decomposto il corpo del fiume; e moltiplicando queste sezioni per le velocità corrispondenti indicate dalle aste ritrometriche, ne risulterà la dispensa per minuto secondo, corrispondente a ciascuno di questi volumi parziali. La somma di questi volumi d'acqua sarà la portata totale ossia il numero di metri cubi dispensati dal fiume ad ogni minuto secondo.

Questo metodo è abbastanza preciso quando si tratta di un grande fiume, è di una pratica sempre facile, non esige alcuna applicazione dell'analisi, non richiede che un po' di cura e l'applicazione delle più elementari regole di calcolo; esso ha però una leggiera imperfezione, che è inevitabile e che tende a dare un risultato un po' maggiore del vero nella valutazione della portata. Infatti la necessità di mantenere la stiva delle aste ritrometriche a una certa distanza al disopra dei punti saglienti nella sezione longitudinale del suolo secondo i piani che esse percorrono, obbliga a trascurare l'apprezzamento della velocità della falda liquida più vicina al letto. Ora essendo questa velocità di fondo la più debole di tutte, la velocità media calcolata senza tenerne conto si trova per questa ragione alquanto maggiore della vera.

Ma in ciascun caso particolare si può facilmente apprezzare, secondo le circostanze locali, quale influenza ciò può avere sul risultato, e farvi al bisogno una leggiera correzione a questo riguardo.

IV

Determinazione della portata col metodo dei tachimetri fissi.

Oltre al galleggiante semplice ed all'asta ritrometrica si inventarono e si usarono moltissimi altri strumenti per misurare la velocità delle acque correnti.

Alcuni scrittori descrivono il pendolo idrometrico che, stabilito su di una corrente, ne deve dare la velocità in ragione dell'inclinazione più o meno grande che prende il filo a cui è sospesa la piccola palla che riceve l'urto dell'acqua.

Nelle esperienze fatte sul Mississippi fu moltissimo usato dagli ingegneri Americani un galleggiante composto di due sfere di diversa densità unite fra loro da un filo.

Dubuat si servì nelle sue esperienze del volante ad alette, piccola ruota leggerissima con otto palmette, girante su perni di ferro e pescante leggermente nell'acqua.

Altri proposero la fiasca idrometrica, consistente in due vasi contigui che ricevono l'acqua per un'apertura eguale, ma rivolta quella dell'uno di fianco, quella dell'altro verso la corrente. Dalla quantità d'acqua entrata si deduce la misura della velocità della corrente.

Altri infine suggerì l'uso di una lastra che urtata normalmente dalla corrente, per ubbidire a questa spinta deve vincere certe resistenze, dall'intensità delle quali si deduce la pressione contro la lastra e quindi la velocità della corrente.

Ma questi strumenti al presente son poco impiegati.

Si usano invece moltissimo il tubo di Pitot ed il reometro, entrambi i quali valgono a darci la velocità di un filo fluido qualunque.

Tubo di Pitot. — Quale fu proposto dal suo inventore consiste questo strumento in un semplice tubo ricurvo aperto alle due estremità, con un ramo orizzontale ed un altro verticale entro cui scorre un galleggiante sormontato da un'asta. Questa colla

elevazione della sua estremità superiore mostra quella dell'acqua nell'interno del tubo.

Il tubo di Pitot si fa portare da un'asta, lungo la quale si fa scorrere in guisa da fermarne il ramo orizzontale alla profondità a cui si trova quel filo fluido, di cui si vuol misurare la velocità.

Per usare di questo strumento, lo si dispone in guisa che il ramo orizzontale, prima sia imboccato direttamente dall'acqua sovrapiungente; quindi abbia direzione perfettamente contraria. Serve ad ottenere questo scopo una vela solidariamente unita all'asta che porta lo strumento; e a giudicare se si sia ottenuto, l'osservazione dell'altezza del livello dell'acqua nel tubo, che deve essere massima nel primo caso, minima nel secondo.

Dalla diversità di elevazione dell'acqua nel tubo si ricava la velocità dei fili fluidi scorrenti nel sito ove cade il ramo orizzontale. Il coefficiente per cui si ha da moltiplicare la differenza di livello onde avere l'altezza dovuta alla velocità si deve determinare con esperienze preventive.

Per un tubo di Pitot per cui il ramo orizzontale era lungo 0^m, 35 ed aveva per diametro 0^m, 04, Dubuat trovò mediamente per quel coefficiente il valore 1, 15.

Il difetto forse più grave di questo strumento, sta nelle oscillazioni a cui va soggetta l'acqua nell'interno del tubo. Secondo che riferisce il Prof. Turazza, allo scopo di attenuare queste oscillazioni, usava Tadini chiudere la bocca con una piastrina, nel centro della quale apriva un piccolo foro; altri invece terminano il ramo orizzontale in un tronco di cono la cui apertura al vertice è di soli 2 millimetri quando è di 4 centimetri il diametro del tubo.

Perchè poi sia minore l'influenza esercitata dagli errori di osservazione sul risultato finale, Dubuat propone di rendere lo strumento più sensibile, col dare al ramo orizzontale la forma di un imbuto avente un piccolo foro al centro della base premuta. Il coefficiente da usarsi in questo caso sarebbe secondo Dubuat 1,50.

Il tubo di Pitot fu profondamente modificato da Darcy, che invece di un solo, impiegava due tubi vicini l'uno all'altro e muniti di chiavette da potersi chiudere contemporaneamente. Si faceva poi la lettura contemporanea dei due livelli su appo-

sita scala. È bene osservare che la velocità data da questo strumento non è già la velocità media di un filo fluido, ma sì la sua velocità in quell'istante in cui si chiusero le chiavette.

Reometro. — È formato il reometro da un albero che gira sopra due perni fissi e porta un volante, consistente in due o quattro piccole ali o palmette rettangolari, inclinate alla direzione dell'albero per modo, che l'acqua urtandole le fa girare tutte per lo stesso verso. Girando esse, girerà pure l'albero e dal numero dei giri che esso dà in un dato tempo, si ricava la velocità dell'acqua nello strato che investe il volante.

Per numerare i giri dell'albero si ha un sistema di ruote dentate faciente, ovvero non, a volontà dell'operatore, incastro con una vite perpetua disposta sull'albero stesso.

Per passare poi dal numero dei giri del volante alla velocità dell'acqua, si hanno formole nelle quali entrano coefficienti che debbono essere determinati coll'esperienza.

Per usare il reometro od il tubo di Pitot nella misura della portata di un fiume, si potrebbe misurare direttamente una sezione del fiume, trovare con uno di questi strumenti la velocità di molti fili fluidi, prenderne la media aritmetica e moltiplicarla per la sezione.

Ma è assai meglio impiegare il metodo delle portate parziali. Si divide la sezione trasversale del fiume in elementi col mezzo di orizzontali e di verticali. Questi elementi saranno secondo la rispettiva posizione rettangoli, trapezi o triangoli; si misuri la velocità nei vertici di ciascuno di questi poligoni, e la media aritmetica fra esse si ritenga come la velocità media dell'elemento considerato. Si moltiplichi l'area di ciascun elemento per la corrispondente velocità media. Si avranno così tante portate parziali la cui somma darà la portata totale (1).

(1) Nelle pratiche esercitazioni che ogni anno il Prof. Richelmy offre ai suoi allievi a complemento delle lezioni d'idraulica, si usa appunto questo ultimo metodo delle portate elementari per determinare la portata del Po, misurando le velocità col reometro. E per confrontare il risultato così ottenuto con quello che si otterrebbe usando altri metodi, si prendono anche le misure e si fanno le esperienze necessarie per poter calcolare la stessa portata colle equazioni del moto uniforme e col metodo dei galleggianti semplici.

V.

Determinazione della portata col metodo dei regolatori.

La stima della portata di un corso d'acqua ottenuta moltiplicandone la sezione per la velocità misurata col mezzo dei tachimetri, non è così esatta da non richiedere una certa tolleranza; la quale se può facilmente essere accordata in alcuni casi, specialmente quando trattasi di portate assai grandi, potrebbe riputarsi soverchia in altri, nei quali la poca quantità dell'acqua richiede particolare esattezza nel misurarla.

In questi casi è mestieri ricorrere ai così detti regolatori di cui ecco il fondamento e l'uso.

Se si chiude con una diga il corso di una corrente, e nella diga stessa si aprano alcune luci di scarico, l'acqua arrestata nel suo moto, si andrà man mano elevando a monte della diga, con che andrà pure man mano aumentando il carico delle luci aperte in quella diga, e con ciò la loro portata, sino a che l'acqua si sarà elevata a monte della diga di tanto, che dalle luci fluirà precisamente tant'acqua quanta ne porta il canale, e basterà applicare le formole dell'efflusso per avere la richiesta portata della corrente. Per tal modo la questione è ridotta ad un problema di foronomia.

Perchè con questo metodo che è facile e spedito assai, e perciò di uso frequentissimo, si possa ottenere sufficiente esattezza, bisogna disporre le cose così, che si riesca ad uno di quei casi di efflusso che sono maggiormente accertati. Ora per tutti questi casi è necessario anzitutto che l'acqua a monte della luce si possa avere in conto di acqua stagnante, e a questa condizione converrà avere particolare riguardo in primo luogo. Poi sarà pure necessario che la contrazione della vena sia, o completa sopra tutto il contorno, o tale che realizzi circostanze analoghe a quelle che si verificarono in esperienze anteriori. Finalmente bisognerà che l'efflusso avvenga liberamente nell'aria o a bocca interamente rigurgitata; se si vorrà accompagnare l'acqua fluente con un ca-

nale, sarà mestieri che anche il canale sia nelle condizioni di esperienze già eseguite; ma sarà sempre meglio usare o di libero efflusso o di bocca interamente rigurgitata.

Se le accennate condizioni non sono soddisfatte, la stima della portata riesce incerta, e ciò tanto più quanto più si allontana dalle condizioni stesse.

Se le sponde del canale dentro cui scorre l'acqua sono piuttosto elevate, si cercherà la più ampia sezione possibile del canale, ed in quella sezione si costruirà la diga, aprendo nella stessa una luce quanto più piccola è possibile, e così discosta dalle sponde e dal fondo che la contrazione riesca perfetta. Se non si può ottenere che l'acqua effluisca con libera caduta, si restringerà la sezione del canale a valle così da produrre un rigurgito dell'acqua tanto che la luce riesca interamente sommersa. Così disposte le cose si attenderà che l'acqua a monte finisca di elevarsi, e quando sia ridotta in istato permanente si misurerà diligentemente il battente, e valutando coi metodi conosciuti la portata della luce, si avrà in essa la portata cercata del corso d'acqua, con tutta quella maggior esattezza che permette la pratica.

Imperciocchè oltre essere la contrazione completa, sarà pure assai piccola l'area della luce in paragone della sezione del canale, quindi assai grande riuscirà l'alzamento dell'acqua sul suo pelo naturale, e stendendosi perciò il rigurgito per lungo tratto a monte, l'acqua sopravvegnente perderà quasi tutto il suo moto, dilatandosi in una sezione di considerevole ampiezza, motivo per cui l'acqua a monte della diga potrà aversi in conto di acqua stagnante.

Metodo dei moduli. — Col metodo prima indicato si costringe l'acqua a passare per una luce fissa, lasciando che varii convenientemente il battente; nel metodo di cui intendo ora parlare si fa in modo che l'acqua acquisti un'altezza preventivamente determinata, facendo invece variare la luce d'efflusso in modo che si mantenga costante quel battente. Questo metodo consiste nell'impiego di un modulo di una esattezza ben constatata; ciò che offre il grande vantaggio di far conoscere la quantità d'acqua cercata, senza ricorrere nè a formole nè a calcoli. Osserverò di passaggio, che il modulo ha per scopo di prelevare da un volume

d'acqua più o meno considerevole una quantità esattamente determinata, sia per le dimensioni reali della vasca regolatrice, che per le parti accessorie dell'edifizio. Mentre che nel caso attuale si tratta di far passare la totalità del volume d'acqua sconosciuto che si vuol misurare, per una luce che si modifica gradatamente fino a che si trovi nelle condizioni volute, di modo che per la sola ispezione delle sue dimensioni definitive si conosca la dispensa cercata.

È bene ogniqualvolta si può, conservare le dimensioni normali dell'edifizio, per avere tutte le garanzie d'esattezza che si ha diritto di esigere, quando si ricorre a questo metodo che, sebbene non richieda che una costruzione temporaria, non lascia però di essere costoso.

Per eseguire l'operazione della misura con questo metodo, si avrà cura di adottare da principio una bocca capace di una portata alquanto più grande, che non si presuma essere quella della corrente a misurarsi; poi con una o due lastre mobili fra due guide orizzontali, si restringe progressivamente l'orifizio fino a che la sua dispensa rappresenti esattamente quella della corrente; ciò che si riconosce dal mantenersi il livello costante all'altezza voluta al disopra dell'orlo superiore della luce.

In ogni modulo ben regolato si deve conoscere esattamente il volume dispensato, non solamente dalla bocca regolatrice, ma ancora dalle sue divisioni e dai suoi multipli. Se ciò è, si avrà la misura della portata del corso d'acqua per la sola ispezione della larghezza definitiva assegnata alla bocca.

Metodo della lastra perforata. — Gli scrittori francesi di idraulica, indicano un metodo per misurare la portata di un canale, simile assai al precedente, ma applicabile solo ai piccoli corsi d'acqua.

Consiste nel fare anche qui (attraverso il canale) una diga a cui si adatta un apparecchio detto dai francesi *jaugé*, che non è altro che un foglio di latta in cui sono praticati fori circolari aventi i loro centri su una linea orizzontale e diametro 1 pollice.

L'acqua così arrestata si accumula a monte della diga ed il suo livello si innalza. Si aspetta che venga ad affiorare un tratto segnato ad 1 linea al disopra di tutti i fori; si lascia in se-

guito effluire l'acqua per un numero sufficiente di questi fori, perchè tutta vi passi e non lasciandone aperti che quanti sono necessari perchè il livello si mantenga ad 1 linea al disopra della tangente a tutti i circoli. Il numero di fori aperti dà la misura della portata della corrente in pollici di fontaniere.

I fori debbono essere a distanza l'uno dall'altro di 20 millimetri almeno; l'acqua deve essere ricevuta in un serbatoio di grande ampiezza per diminuire le fluttuazioni che hanno luogo alla superficie dell'acqua, fluttuazioni che per la poca altezza di acqua sovraincombente ai centri degli orifizi, rendono talvolta irregolare l'efflusso. Ad ovviare a quest'ultimo difetto Prony propose di fare circa tre volte maggiore il battente. Secondo Dupuit questo modo di misurare le portate non è più applicabile per canali di portata maggiore di 20 pollici.

Metodo degli stramazzi. — Quando le dimensioni dell'alveo, la difficoltà della spesa, e principalmente la poca elevazione delle sponde non permettessero l'applicazione dei metodi precedenti, allora potrebbe tornare più facile l'uso di uno stramazzo, ed in tal caso converrà scegliere un tronco che sia il più regolare possibile, e stabilito il luogo in cui collocare la diga, ridurre per alcuni metri a monte di essa le sponde ad essere parallele e verticali, fino sotto alla cresta della diga stessa, la quale cresta si farà orizzontale e a spigolo acuto col sovrapporre alla diga un telaio di legno. Si cercherà poi di avere a fare con uno dei casi delle esperienze già eseguite maggiormente avverati, e si osserveranno queste due precauzioni:

1° Di evitare che l'innalzamento del livello a monte non produca un rigurgito troppo considerevole capace di far perdere per infiltrazione una parte dell'acqua;

2° In ogni caso l'altezza dello stramazzo deve essere abbastanza considerevole, perchè l'acqua a monte formi sensibilmente un serbatoio a livello costante, e non conservi velocità sensibile nelle vicinanze dello stramazzo.

Misura per mezzo degli orifizi esistenti. — Può talora non essere necessario costruire le opere indispensabili per applicare i metodi precedenti, e ciò accade quando l'intero volume d'acqua da misurarsi, attraversa luci stabilite, sia per officine sia per un

sistema di irrigazione; si deve allora esaminare se questi orifizi e le disposizioni che li accompagnano a monte ed a valle, realizzino circostanze di forme e di proporzioni, analoghe a quelle che furono adottate in esperienze anteriori proprie a fornire i coefficienti di correzione, che conviene applicare alle formole teoriche d'efflusso.

Per giudicare se l'analogia è sufficiente, e scegliere questi fattori numerici, bisogna conoscere le circostanze che influiscono sul loro valore. Una delle principali è la contrazione totale od incompleta della vena fluida. Sui valori dei coefficienti di contrazione influisce pure assai l'altezza del battente, vale a dire, del livello nel serbatoio al disopra del centro degli orifizi o della soglia degli stramazzi; influisce pure il rapporto delle dimensioni degli orifizi rettangolari, ed il diametro dei fori circolari. Bisogna pure tener conto dell'influenza dell'inclinazione delle luci e della loro obliquità per rapporto alla corrente che li alimenta.

Infine qualunque sia l'orifizio, vi ha una distinzione essenziale a stabilirsi fra il caso in cui è praticato in una delle pareti d'un gran serbatoio, e quello in cui è alimentato da un canale nel quale l'acqua possiede una forza viva indipendente dal carico d'acqua sull'orifizio, forza viva il cui effetto si combina con quello del battente per aumentare la dispensa.

In riassunto il metodo di misura in questione esige grandi precauzioni per non essere indotti in errore; chi lo applica, deve esaminare e discutere tutte le circostanze dell'efflusso; infine per la grande varietà degli orifizi, che si trovano stabiliti sui corsi d'acqua, e delle circostanze anormali che spesso li accompagnano, questo metodo non offre che una debole risorsa. Ma è il più comodo di tutti, quando è applicabile con sufficiente esattezza.

VI.

Determinazione della portata colle equazioni del moto uniforme.

Partendo dall'assioma che nell'uniformità del moto si devono fare equilibrio tutte le forze impresse ad una massa acqua corrente in un canale fra due sezioni trasversali qualunque, e sup-

ponendo la forza d'attrito proporzionale alla superficie bagnata ed a due termini, l'uno contenente la prima, l'altro la seconda potenza della velocità, Prony stabilì le seguenti formole per il moto uniforme dei canali:

$$Q = \Omega v$$

$$R i = \alpha v + \beta v^2$$

dove rappresentano:

Q la portata del canale;

Ω la sua sezione trasversale;

v la velocità media in questa sezione;

$R = \frac{\Omega}{\chi}$ il raggio medio;

i la pendenza superficiale;

α e β due coefficienti, che Prony, calcolandoli sulle esperienze di Dubuat, trovò essere:

$$\alpha = 0,00004445$$

$$\beta = 0,00030931$$

Eytelwein unendo alle esperienze di Dubuat, quelle degli ingegneri tedeschi Woltmann, Funck e Brünings, cambiò i coefficienti nell'equazione di Prony, sostituendovi questi:

$$\alpha = 0,00002426$$

$$\beta = 0,00036554$$

Darcy e Bazin credettero potersi la resistenza d'attrito esprimere con un solo termine proporzionale al quadrato della velocità, e che dipende dalla forma della sezione, contenendo il raggio medio, e diedero perciò la formola:

$$R i = \alpha \left(1 + \frac{\beta}{R} \right) v^2$$

Inoltre osservando che la forza resistente, essendo dovuta agli ostacoli che l'acqua incontra nel fondo e nelle pareti del canale entro cui scorre, deve variare col variare delle pareti stesse, distinsero i canali in quattro categorie. Eccole:

1° Canali a pareti perfettamente lisce (cemento idraulico liscio, pozzolane, tavole piallate).

2° Canali a pareti unite (muratura, pietra da taglio, tavole).

3° Canali a pareti poco unite ma resistenti (muro a secco, terreni duri, puddinghe).

4° Canali a pareti in terra.

A queste quattro diverse categorie di canali corrispondono i seguenti diversi valori dei coefficienti α e β .

1 ^a categoria	$\alpha = 0,00015$	$\beta = 0,03$
2 ^a »	$= 0,00019$	$= 0,07$
3 ^a »	$= 0,00024$	$= 0,25$
4 ^a »	$= 0,00028$	$= 1,25$

Tanto nell'equazione di Prony quanto in quella di Bazin che servono a legare fra loro i diversi elementi d'un corso d'acqua, entrano due coefficienti; costanti nell'equazione di Prony, variabili colla natura dell'alveo in quella di Bazin.

Il Professore Turazza invece nel suo trattato di idrometria dà una formola che contiene un solo coefficiente; ed ecco il modo con cui egli ricava questa formola:

Le forze dalle quali dipende il movimento dell'acqua per entro gli alvei si riducono a due; la prima è la gravità ed è questa la forza movente: l'altra trae origine dalle resistenze che l'acqua incontra per via, e dai movimenti discordanti che gli ostacoli ingenerano nella massa liquida, questa è forza resistente.

Per quanto spetta all'influenza della gravità si osservi che l'acqua come qualunque corpo pesante, sollecitata unicamente dall'azione della gravità può solo trovar ragione del suo movimento nella pendenza della sua superficie suprema. Dicendo quindi i la pendenza superficiale e g la gravità, la forza acceleratrice dovuta alla gravità, sarà espressa da:

$$g i.$$

Quanto poi alle cause che ritardano il moto dell'acqua, si osservi che la perdita riducendosi in ultima analisi ad una perdita di forza viva, dovrebbe assai ragionevolmente essere proporzionale al quadrato della velocità media dell'acqua nella sezione dove si considera aver luogo la perdita stessa. Inoltre tal perdita essendo occasionata dagli ostacoli che l'acqua incontra nel fondo ed alle sponde, dovrebbe essa resistenza crescere col numero di questi ostacoli cioè al crescere del perimetro bagnato, ma dovendo poi dividersi su tutta l'acqua che passa per la stessa sezione, dovrà scemare col crescere della sezione medesima. Quindi indicando con χ il perimetro bagnato, con Ω la sezione, con v la velocità media, con a un coefficiente numerico, il professore Turazza esprime il complesso delle forze ritardatrici con:

$$a \frac{\chi}{\Omega} v^2.$$

Dalle cose dette risulta adunque che la forza acceleratrice dalla quale dipende il movimento delle acque scorrenti per entro agli alvei naturali od artefatti, si può esprimere con:

$$g i - a \frac{\chi}{\Omega} v^2.$$

E siccome nel moto uniforme la forza acceleratrice è nulla, così secondo il citato autore, l'equazione caratteristica di questo movimento sarà:

$$g i - a \frac{\chi}{\Omega} v^2 = 0$$

a cui naturalmente bisogna aggiungere l'altra:

$$Q = \Omega v.$$

Il coefficiente poi non si deve ritenere costante, ma si variabile colla velocità. Secondo l'autore, dal confronto coi fatti risulta doversi prendere

$\alpha = 0,00079.g$	per velocità comprese fra	$0^m,15$	e	$0^m,20$
$= 0,000451.g$	»	$0^m,25$	e	$0^m,50$
$= 0,000436.g$	»	$0^m,50$	e	$1^m,00$
$= 0,000386.g$	»	$1^m,00$	e	$1^m,50$
$= 0,000384.g$	»	$1^m,50$	e	$2^m,00$
$= 0,000382.g$		superiori a $2^m,00$.		

Saint - Venant propose la formola $Ri = 0,0004 v^{\frac{21}{11}}$ che è calcolabile coi logaritmi.

Le equazioni ora accennate ci possono porgere un mezzo con cui misurare la portata d'un corso d'acqua, e ciò misurandone la sezione, il perimetro bagnato e la pendenza superficiale; egli è però necessario avvertire che una tale stima, fondandosi sopra equazioni che non debbonsi avere in conto che di approssimate, oltre risentirsi dei falli che si possono commettere nel prendere le opportune misure, sarà influenzata ancora dall'errore delle equazioni generali, non potendosi mai accertare fino a qual punto esse possano essere applicabili al caso particolare che si considera. Qualora però le circostanze sieno tali da accostarsi molto a quelle inchieste nelle fatte ipotesi, anche la stima non si allontanerà molto dal vero, e potrà usarsi di questo metodo con sufficiente fiducia.

Non è mai molto difficile trovare un tronco del canale o fiume di cui si vuol determinare la portata, il quale sia abbastanza esteso e regolare da potersi riputare essere nello stesso uniforme il moto, con fiducia di non venir contraddetti dal fatto. Scelto un tale tronco, con accurata livellazione si misurerà la pendenza superficiale, e si misureranno nel tronco stesso tre sezioni, l'una al principio, l'altra al termine, ed una terza verso il mezzo, e si misureranno i tre contorni bagnati. Presi di queste sezioni e di questi perimetri bagnati i valori medii, si sostituiranno col valore della pendenza nelle equazioni del moto uniforme, e se ne avrà così la cercata portata.

Quello che più è difficile misurare colla necessaria esattezza si è la pendenza superficiale. Bisogna fare questa operazione quando l'atmosfera è calma, ripeterla più volte con un buon strumento per prendere la media; se la livellazione abbraccia una grande lunghezza, si avrà qualche probabilità di esattezza.

Secondo Boileau, il solo caso in cui l'equazione di Prony sia applicabile con qualche sicurezza, si è quello delle velocità inferiori a $0^m,90$, ed in questo caso i coefficienti di Prony danno maggior approssimazione degli altri.

EUGENIO SOLDATI.

TESI LIBERE



MECCANICA APPLICATA ED IDRAULICA



Teoria dei principali stromenti idrometrici.



COSTRUZIONI CIVILI, STRADALI ED IDRAULICHE



Resistenza delle murature allo strappamento, allo schiacciamento, allo scorrimento ed al rovesciamento.

MACCHINE A VAPORE E FERROVIE



Teoria delle macchine a vapore saturo che si espande secondo un'adiabatica.

GEOMETRIA PRATICA



Planimetro polare di Amsler.
