

0.
S
CAT. LARJ

R. MAGISTRATO ALLE ACQUE
UFFICIO IDROGRAFICO

Norme ed istruzioni
per il servizio di misura delle portate

(Edizione provvisoria)

Publicazione N. 38

VENEZIA
PREMIATE OFFICINE GRAFICHE DI CARLO FERRARI
1914.

R. MAGISTRATO ALLE ACQUE
UFFICIO IDROGRAFICO

Norme ed istruzioni
per il servizio di misura delle portate

(Edizione provvisoria)

—————
Pubblicazione N. 38
—————

VENEZIA
PREMIATE OFFICINE GRAFICHE DI CARLO FERRARI
1914.

INDICE

PREFAZIONE	pag. 5
CAP. I. — Introduzione	7
CAP. II. — Stazioni per la misura delle portate	16
1°) <i>Stazioni eventuali</i>	16
2°) <i>Stazioni permanenti</i>	17
CAP. III. — Misura delle portate mediante stramazzo	21
CAP. IV. — Misura delle portate mediante osservazioni di velocità	24
A) Strumenti per la misura della velocità della corrente	24
1°) <i>Molinelli - Generalità</i>	24
<i>Sistemi di sospensione dei molinelli</i>	25
<i>Principali tipi di molinelli</i>	30
<i>Formule e taratura dei molinelli</i>	33
2°) <i>Tubo di Pitot e sue modificazioni</i>	36
3°) <i>Reometri galleggianti</i>	37
B) Metodi generalmente usati per la misura della velocità della corrente e per il calcolo delle portate	38
1°) <i>Lavori preliminari</i>	38
2°) <i>Esecuzione delle misure di velocità</i>	39
3°) <i>Calcolo delle portate in base ai risultati delle misure di velocità</i>	41
<i>Metodi analitici</i>	41
<i>Metodo grafico</i>	43
C) Metodi accelerati per la misura e per il calcolo delle portate	44
D) Misure con galleggianti	47
CAP. V. — Misura delle portate mediante miscele chimiche	49

APPENDICE — Organizzazione del servizio di misura delle portate
presso l'Ufficio Idrografico pag. 51

ALLEGATO 1° — *Brogliaccio o giornale di campagna* " 53

" 2° — *Esempio di sviluppo del calcolo di una portata* " 55

INDICE DELLE FIGURE

FIG. 1. Cappio di piena (nel testo).

" 2. Effetto di un rigurgito occasionale sull'andamento di una scala di deflusso (nel testo).

" 3. Scala di deflusso (nel testo).

" 4. Diagramma integrale delle portate di un corso d'acqua (nel testo).

" 5. Stazione per la misura delle portate di Monzambano (fuori testo).

" 6. Stazione per la misura delle portate di Brusegana (fuori testo).

" 7. Stazione per la misura delle portate di Brusegana (carrello), (fuori testo).

" 8. Stazione per la misura delle portate di Belluno (fuori testo).

" 9. Stramazzo tipo (nel testo).

" 10. Supporti Epper per molinelli (nel testo).

" 11. Supporto ad arganello (nel testo).

" 12. Sistema Harlacher (fuori testo).

" 13. Supporto per più molinelli (fuori testo).

" 14. Supporto per la manovra del molinello a sospensione libera (fuori testo).

" 15. Immersione del molinello sospeso (nel testo).

" 16. Molinello con galleggiante (fuori testo).

" 17. Meccanismo per contatto in olio dei molinelli (nel testo).

" 18. Meccanismo per contatto a magnete dei molinelli (nel testo).

" 19. Indicatore di marcia all'indietro nei molinelli (nel testo).

" 20. Vasca sperimentale di Stra (fuori testo).

" 21. Tubo di Pitot-Darcy (nel testo).

" 22. Linee isotachie (nel testo).

" 23. Metodo grafico per il calcolo della portata (nel testo).

" 24. Metodo accelerato (nel testo).

" 25. II° metodo accelerato (nel testo).

" 26. Misura col reometro a galleggiante (nel testo).

" 27. Versamento della soluzione iniziale per il metodo chimico (nel testo).

" 28. Curva di taratura di un molinello (fuori testo).

TAVOLE

TAV. I. Calcolo grafico della portata a Segusino (fiume Piave) il 7 marzo 1914
Diagrammi della velocità lungo le verticali di misura.

" II. Calcolo grafico della portata — idem.
Diagramma della portata e profilo del fondo.

Queste norme e istruzioni hanno lo scopo di disciplinare il servizio di misura delle portate dei corsi d'acqua, affidato nel Compartimento del Magistrato alle Acque all'Ufficio Idrografico.

La presente pubblicazione considera perciò gli strumenti ed i metodi impiegati ed espone i criteri in base ai quali vennero adottati, insieme ad alcuni esempi pratici d'applicazione.

Data però la complessità dei problemi che il servizio di misura delle portate deve affrontare, si è ritenuto opportuno di non dare subito a queste norme e istruzioni un carattere definitivo, ma di sottoporle prima ad un periodo di prova per studiarne le eventuali modificazioni. È perciò che la presente edizione è soltanto un'edizione provvisoria.

Alla compilazione di queste norme ed istruzioni, in base alle direttive adottate e seguite dall'Ufficio, attese particolarmente l'Ing. Giulio De Marchi, capo della sezione d'idrografia fluviale.

Venezia, dicembre 1914

Il direttore dell'Ufficio Idrografico

GIOVANNI MAGRINI

V.° il Presidente del R. Magistrato alle Acque

RAIMONDO RAVÀ

CAP. I.

INTRODUZIONE.

La conoscenza della *portata* di un corso d'acqua, cioè del volume liquido che attraversa una data sezione in un secondo, ha un'importanza fondamentale per gli studi idrografici; in quanto permette di stabilire il rapporto tra la quantità d'acqua precipitata, conosciuta in base alle osservazioni pluviometriche e nivometriche, e quella defluita.

Per raggiungere tale scopo è però indispensabile che le misure di portata sieno eseguite razionalmente e sistematicamente. Esse costituiscono perciò uno dei compiti più importanti cui attendono gli Uffici Idrografici.

Data la difficoltà di esecuzione e le notevoli spese che esse comportano si cercò sempre dagli idraulici di sostituire alla misura diretta della portata una misura indiretta, tentando di stabilire la legge che lega alle portate altri fenomeni di più facile osservazione; primo fra questi la variazione del livello.

È perciò che gli idraulici si sforzarono sempre di ottenere una rappresentazione grafica od analitica della variazione della portata in funzione del livello dell'acqua letto ad un determinato idrometro; di ricavare cioè una scala di deflusso.

Per gran tempo si ammise dagli idraulici che ad ogni valore dell'altezza idrometrica corrispondesse in ogni caso un valore unico e ben determinato della portata, e quindi che per tutti i corsi di acqua fosse possibile stabilire una equazione caratteristica, in cui comparissero come sole variabili le altezze e le portate.

Si riteneva perciò sufficiente eseguire un numero limitato di

misure, in base alle quali si stabilivano a mezzo di calcoli più o meno complicati le equazioni analitiche delle scale di deflusso.

Ma questa ipotesi corrisponde molto raramente alla realtà: nella gran maggioranza dei casi la portata dipende, non solo dall'altezza idrometrica, ma da molti altri elementi, fra cui importantissima la pendenza superficiale. Ed è soltanto quando si tratti di canali, oppure di fiumi regolati, soggetti a variazioni molto lente e regolari, per modo che ad ogni altezza venga a corrispondere una pendenza determinata, oppure il moto si possa considerare in ogni istante come uniforme, che le scale di deflusso assumono un significato fisico.

Nel caso di un fiume in piena, per esempio, nella fase ascendente si verificano pendenze assai più forti della normale; nella fase discendente, pendenze più dolci: ad una stessa altezza dell'idrometro dovranno necessariamente corrispondere, nelle due fasi, due distinti valori per la portata. La differenza fra questi valori (fig. 1) sarà tanto più grande quanto maggiore è la variazione subita dalla pendenza, ossia dipenderà dal carattere della piena.

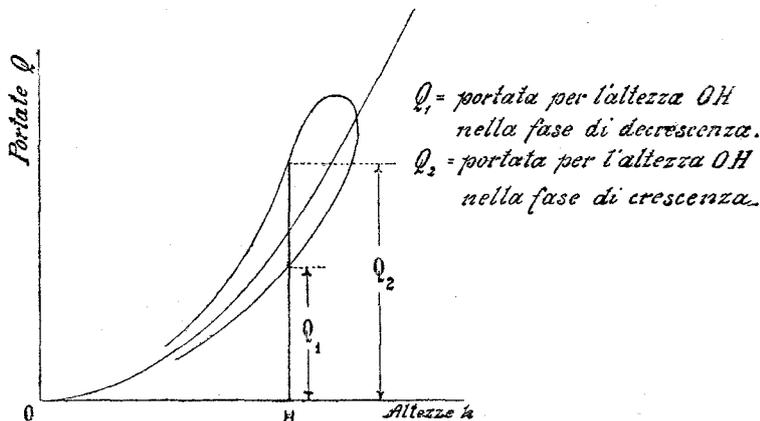


FIG. I.

Si immagini disegnata la curva che rappresenta le portate corrispondenti alle differenti altezze, nell'ipotesi che la pendenza superficiale sia sempre uguale alla pendenza media del fondo: nella fase ascendente la pendenza avrà valori costantemente maggiori della pendenza del fondo, e quindi a parità di altezza, si verificheranno portate più grandi di quelle date da *OI*. L'opposto accadrà

nella fase discendente: e i vari stati del fiume durante la piena saranno rappresentati da una speciale curva a forma di cappio. Per ogni piena poi si avrà uno speciale cappio.

Oltre alle graduali variazioni che corrispondono al passaggio di un'onda di piena, nella pendenza possono verificarsi irregolarità dovute a rigurgiti occasionali, sia positivi che negativi. Una piena del recipiente, un vento costante e contrario alla corrente, la marea, una ostruzione del letto sono altrettanti fenomeni che danno luogo ad una diminuzione di pendenza: alla quale segue un improvviso aumento, non appena la causa viene a cessare. Nella scala di deflusso

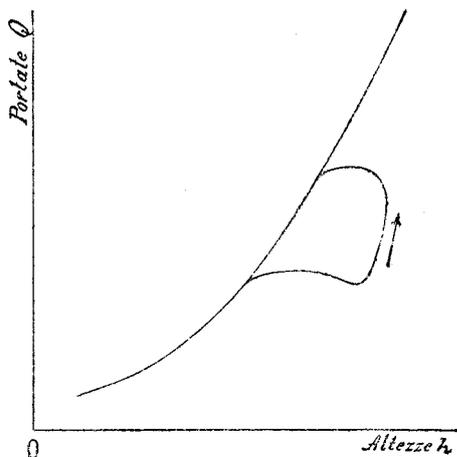


FIG. 2.

si nota allora un abbassamento improvviso (fig. 2) al manifestarsi del fenomeno che dà luogo al rigurgito; e quindi un tratto rapidamente ascendente, che rappresenta appunto lo smaltimento dell'acqua accumulata.

Ed altre forme ancora possono assumere le scale di deflusso quando si verificano altri fenomeni, come rotture di argini o disallineamenti.

Tuttavia fino a che si tratta di fiumi non soggetti a variazioni di letto, la zona del piano di rappresentazione

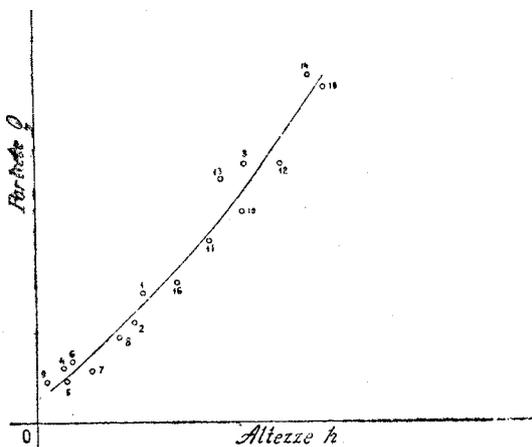


FIG. 3.

nella quale cadono i punti corrispondenti ai diversi stati, non è mai molto ampia: ad essa può ancora sostituirsi, senza grande errore la curva, da determinarsi o analiticamente col metodo dei

minimi quadrati, o graficamente (fig. 3) che meglio ne segua l'andamento. Naturalmente i valori delle portate che la curva fornisce per le singole altezze non saranno assolutamente precisi ma dovranno assumersi come approssimati in difetto o in eccesso, secondo lo stato del fiume.

Quando si ricorre alla rappresentazione analitica, i tipi più comuni di scale di deflusso sono la scala del Guglielmini:

$$Q = n (h + \alpha)^{3/2}$$

oppure l'altra più generale:

$$Q = \alpha (h + \beta)^{\gamma}$$

Spesso può essere conveniente di adottare la forma parabolica:

$$Q = a + bh + ch^2$$

dove n , α , β , a , b , c sono costanti da determinarsi, Q la portata e h l'altezza idrometrica.

Il sistema migliore però è sempre quello di disegnare senz'altro in opportuna scala, in base ai risultati delle misure, la scala di deflusso, senza preoccuparsi di ricercarne la rappresentazione analitica.

Quando le variazioni che la pendenza superficiale può subire sono piuttosto ampie, conviene tenerne conto direttamente, facendo comparire anche quest'altro elemento nella espressione grafica od analitica della scala di deflusso.

Durante l'esecuzione di ogni misura, deve essere accuratamente rilevato il valore della pendenza del filone: quindi sul piano di rappresentazione si disegna non più una curva unica, ma il fascio delle curve di ugual pendenza, ossia quelle curve che rappresentano i modi diversi con cui la portata varia coll'altezza, per diversi valori della pendenza, fra loro successivamente differenti di una quantità costante. Si ottiene così una specie di piano quotato che permette di individuare con una certa approssimazione la portata corrispondente ad ogni stato del corso d'acqua.

Analiticamente si arriva allo stesso risultato quando nella equazione delle scale di deflusso si faccia comparire anche la pendenza come variabile. P. es. per un canale derivato dal Reno a Rheinfelden diede soddisfacenti risultati una relazione del tipo:

$$Q = \alpha (h + \beta)^{3/2} J^{1/2}$$

essendo J la pendenza del pelo liquido.

*
* *

Il problema diventa assai più difficile, e qualche volta deve ritenersi pressochè insolubile, nel caso di corsi d'acqua a fondo mobile, come per la maggior parte dei torrenti e fiumi montani, e per molti anche fra i maggiori fiumi di pianura.

Non è allora possibile in alcun modo determinare, una relazione anche approssimata fra altezze e portate, che sussista per un periodo relativamente lungo di tempo: e si verifica invece assai facilmente che le portate, per effetto dell'innalzamento od abbassamento del fondo, corrispondente ad una stessa altezza idrometrica variano anche nel rapporto di 1 a 2.

In questi corsi d'acqua di solito si nota che al primo manifestarsi di una piena, per il rapido aumento che immediatamente si verifica nella velocità, il letto viene approfondito; e mentre l'idrometro non segna grandi variazioni, la portata cresce notevolmente. Lo scavo del letto continua finchè la velocità è in aumento, sicchè generalmente accade che la portata corrispondente a una determinata altezza idrometrica all'inizio della piena, riesce inferiore a quella che si verifica per la stessa altezza in fase di decrescenza. La differenza è tanto maggiore quanto più grande è stata la variazione del letto, e dipende dalla intensità e dalla durata della piena.

In tali condizioni è evidentemente impossibile applicare le considerazioni già esposte per i corsi d'acqua a fondo stabile, e nemmeno si può proporre un procedimento generale, per la determinazione delle curve di deflusso; converrà procedere, caso per caso, allo studio del modo con cui avvengono nella sezione che si considera, le variazioni del fondo, procurando di stabilire se esistano e quali siano, le leggi che le regolano.

Così p. es.: Tavernier avrebbe constatato che, in alcuni fiumi alpini, specialmente alimentati dalle nevi, e quindi soggetti a regolari piene primaverili e a magre invernali, il letto presenta periodicamente degli innalzamenti e degli abbassamenti, che corrispondono rispettivamente alle magre e alle piene.

Per ogni livello medio del fondo è così talvolta possibile disegnare una speciale scala di deflusso, che può venir adoperata soltanto per una determinata epoca dell'anno.

Il sistema non fornisce certo risultati molto esatti: quando si tratti di piccoli corsi d'acqua, conviene piuttosto procedere ad una

regolazione di un breve tratto, a monte e a valle dell'idrometro, o meglio ancora, stabilire attraverso il corso d'acqua uno stramazzo, fornito di idrometro registratore. Quest'ultimo sistema presenta indiscutibili vantaggi, sia per la sicurezza dei risultati, quanto per la comodità delle osservazioni, sopra qualunque altro. Gli stramazzi però devono essere accuratamente mantenuti affinchè non abbiano ad interrarsi, e quindi ne sia diminuita l'attendibilità dei risultati.

*
* *

La conoscenza delle scale di deflusso in corrispondenza a parecchi idrometri lungo un corso d'acqua presenta grandissimo interesse, in quanto permette di stabilire direttamente le portate che corrispondono ad ogni altezza letta all'idrometro. In altre parole, le scale di deflusso vengono a rappresentare una specie di graduazione degli idrometri direttamente in portate. Ora l'esecuzione di una misura di portata richiede sempre un tempo piuttosto lungo, che varia da qualche ora, fino a qualche giorno, per i grandi fiumi; l'impiego di personale numeroso ed addestrato, e di strumenti delicati e costosi. Le misure quindi possono aver luogo difficilmente con quella frequenza che sarebbe necessaria per determinare con sufficiente approssimazione il regime dei corsi d'acqua.

Invece, una volta conosciute le scale di deflusso in corrispondenza ai principali idrometri, in base ai risultati delle letture idrometriche giornaliere, e meglio ancora, alle segnalazioni di idrometri registratori, si seguono con relativa facilità le variazioni che la portata subisce giorno per giorno lungo l'intero corso del fiume. E soltanto sarà necessario verificare a intervalli di tempo abbastanza vicini, e per le singole sezioni, se la relazione fra altezze e portate si è mantenuta inalterata, riprendendo la serie delle misure sistematiche, non appena qualche piena straordinaria abbia mutato la forma del fondo, oppure il corso del fiume abbia subito, naturalmente o artificialmente, delle variazioni notevoli.

*
* *

Oltre che per lo studio del regime di un dato corso d'acqua le misure di portata hanno uno scopo pratico immediato in quanto servono per il cosiddetto catasto delle forze idrauliche disponibili e cioè a stabilire per ogni bacino il *quantum* di energia idraulica *normalmente* e *costantemente* disponibile nonchè la località ove questa energia può venire utilizzata nel miglior modo possibile.

Si intenderà naturalmente per portata massima e minima rispettivamente il massimo o il minimo dei valori osservati in un numero, per quanto è possibile grande di anni: per portata media o modulo la portata che dovrebbe avere il corso d'acqua perchè, mantenendosi il deflusso costante, la quantità d'acqua scolata alla fine di un tempo lunghissimo, risulti uguale a quella che è realmente scolata nel tempo stesso, durante l'alternarsi delle magre e delle piene. La conoscenza delle portate massime presenta speciale importanza nei riguardi delle sistemazioni fluviali e della difesa contro le piene: la conoscenza della portata minima interessa soprattutto i problemi di utilizzazione dell'energia idraulica e le derivazioni in genere.

Riguardo alla portata minima però importa notare che nelle applicazioni tecniche non interessa tanto conoscere il minimo assoluto quanto piuttosto il cosiddetto minimo industriale, ossia quel valore della portata minima che si verifica raramente e al disotto del quale la portata discende soltanto in casi eccezionali, e per periodi di tempo non grandi (non oltre 15 giorni). Questo valore deve dedursi da una serie di misure eseguite in parecchi periodi di magra.

Per la determinazione delle portate caratteristiche si parte, per i fiumi a scala di deflusso conosciuta, dai risultati delle osservazioni idrometriche. Per ogni anno di osservazioni, si disegna il diagramma delle altezze idrometriche, assumendo i tempi come ascisse, (comunemente nella scala di 1 mm. oppure 0.5 mm. per giorno) e le altezze come ordinate: e quindi mediante la scala di deflusso, da questo diagramma si passa a quello corrispondente delle portate.

Si ottiene così una serie di diagrammi rappresentanti l'andamento della portata nell'intero periodo d'osservazione: dal loro confronto si dedurranno senz'altro i valori delle portate minima o massima verificatesi nel periodo stesso.

Quanto alla portata media, essa sarà evidentemente rappresentata dall'altezza media di tutti i diagrammi disegnati: mentre l'altezza media del diagramma relativo ad un anno qualunque rappresenterà la portata media del corso d'acqua nell'anno stesso. Il metodo più rapido per determinarla consiste nel misurare con un planimetro l'area compresa fra il diagramma delle portate e l'asse delle ascisse, ossia l'area $O M N P Q A O$ della fig. 4. Assumendo per le ordinate le portate al secondo, e per ascisse i tempi contati in secondi (quindi 86400^s corrisponderanno ad 1 mm. o a 0.5 mm., nelle scale comunemente adottate), il valore di quest'area rappresenterà la portata integrale del corso d'acqua nell'anno, ossia la totale quantità d'acqua

defluita. La portata media si otterrà quindi, dividendo la portata integrale per il numero di secondi di un anno intero, ossia l'area $O M N P Q A O$ per $O A$.

Con questo procedimento si calcola la portata media per ogni anno nel quale siano state eseguite le osservazioni idrometriche: la media aritmetica di tutti i valori ottenuti fornirà quindi la portata media o *modulo* del fiume considerato. Perchè il risultato sia attendibile occorre che le osservazioni e i calcoli vengano estesi a un numero sufficientemente grande di anni.

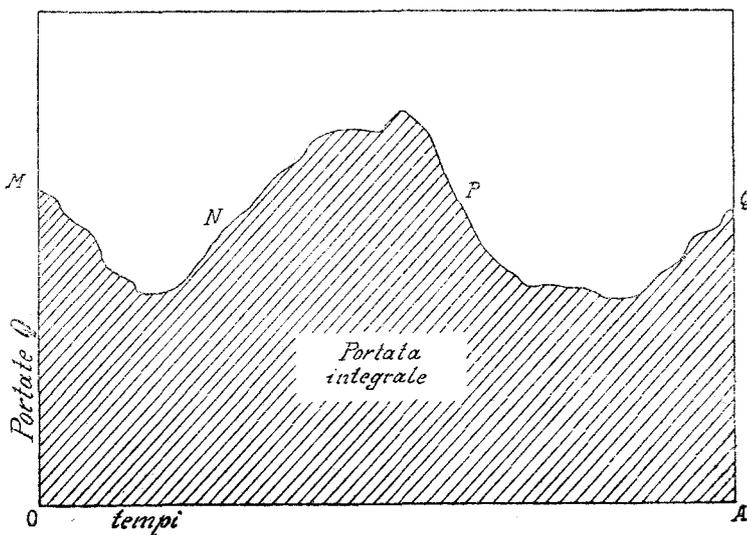


FIG. 4.

Nello stesso modo si calcoleranno le portate medie mensili, e semestrali, nonchè le portate massime e minime mensili.

*
**

Principali metodi per la misura delle portate. — I principali metodi usati per le misure di portata si fondano sull'impiego:

a) per piccoli corsi d'acqua e piccoli volumi, degli stramazzi, che danno immediatamente la portata;

b) per tutti i corsi d'acqua, di strumenti misuratori della velocità in punti determinati: la portata vien calcolata allora in base ai risultati di queste misure;

c) per le grandi portate, e specialmente per le piene, di stru-

menti misuratori della velocità superficiale, o di galleggianti che danno la velocità superficiale o media secondo che sono zavorrati oppure no.

Qualunque sia il metodo usato, occorre scegliere un tronco del corso d'acqua, nel quale il movimento dell'acqua abbia movimento regolare e sensibilmente uniforme, con pendenza e sezione costante, fondo regolare, e soprattutto in cui il letto sia il meno variabile possibile.

Un letto mobile porta grandi complicazioni, che bisogna evitare cercando anche a costo di spesa notevole, di assicurarne la fissità nel luogo dove si eseguisce la misura.

Eccezionalmente per piccoli torrenti agitati, si impiega il metodo delle soluzioni titolate, il quale consiste nel versare nel corso di acqua durante un tempo sufficiente e con perfetta uniformità, una vena liquida di una soluzione salina di titolo conosciuto, e nel raccogliere a valle, dopo avvenuta la mescolanza completa, dei campioni che si titolano nuovamente. Conosciuta la portata della vena liquida, si deduce quella del corso d'acqua.

Nelle misure su canali regolati si ricorre anche talvolta ad un altro metodo il quale consiste nell'immergere verticalmente nel canale un diaframma, che ne occupa interamente la sezione, e può muoversi su due apposite rotaie poste sulle rive: la velocità con cui si sposta questo diaframma rappresenta la velocità media dell'acqua nel canale.

Quest'ultimo metodo ha preso ora notevole diffusione per la misura delle portate nei canali di fuga delle turbine.

CAP. II

STAZIONI PER LA MISURA DELLE PORTATE.

Le stazioni per la misura delle portate possono essere o eventuali o permanenti. Nel primo caso tutte le operazioni d'impianto devono essere compiute di volta in volta e prima di ogni misura; tali operazioni portano però una notevole perdita di tempo. Per questo motivo quasi tutti gli Uffici Idrografici provvidero all'impianto di stazioni permanenti dove con impianti stabili, una volta per sempre, tutto viene predisposto per una sollecita esecuzione della misura. Fu soltanto così che si potè estendere il numero delle misure di portata dei corsi d'acqua in modo da poter arrivare realmente alla conoscenza del loro regime.

Per la scelta della località dove sistemare le stazioni di portata bisogna cercare punti dove il letto e le sponde sieno fisse o almeno possano essere rese tali. Riesce alle volte difficile ottenere ciò nei corsi d'acqua a fondo mobile. In questi casi nondimeno si può ancora operare con buoni risultati applicando i soliti metodi durante i periodi di fissità relativa che separano due perturbazioni successive ed eseguendovi una serie di misure a brevi intervalli.

1.º *Stazioni eventuali.* — Nelle stazioni eventuali le misure vengono eseguite quasi sempre esclusivamente mediante strumenti misuratori della velocità in quanto la misura mediante stramazzo esige generalmente un impianto permanente.

Fino a che la larghezza superficiale del corso d'acqua non supera i 20 ÷ 30 metri e le profondità non sono considerevoli, nella maggior parte dei casi basta una passerella costruita col materiale che d'ordinario si ha a disposizione (travi, scale e tavole). Per larghezze oltrepassanti i 10 ÷ 15 m. non potendosi fare a meno di uno o più sostegni è preferibile usare sottili pali di ferro, onde turbare il meno possibile il deflusso dell'acqua. Alcuni Uffici Idrografici possiedono a tale scopo dei ponticelli smontabili, i quali però hanno il difetto di essere troppo pesanti ed ingombranti.

Nei corsi d'acqua di maggior larghezza e profondità, le misure di portata devono eseguirsi, salvo rare eccezioni, mediante barche. Di regola se ne impiegano due, accoppiate in modo che rimanga tra esse uno spazio largo almeno 2 metri ove l'acqua possa passare liberamente, al disopra del quale si costruisce una specie di ponte che porta

l'apparato al quale è fissato il molinello. Le disposizioni necessarie per fissare le barche nei singoli punti d'osservazione esigono alle volte notevole lavoro, specialmente dove il corso d'acqua è largo più di 150 metri e la velocità della corrente è considerevole. Qualche difficoltà bisogna vincere spesso, anche nel tendere il cavo metallico che segna la sezione.

2.° *Stazioni permanenti.* — Si può dire che l'impianto delle stazioni permanenti per la misura delle portate, in punti scelti convenientemente, costituisca il mezzo più efficace per lo studio sistematico del regime dei corsi d'acqua e delle forze idrauliche disponibili. Per i piccoli corsi d'acqua e anche qualche volta per i medi, l'impiego degli stramazzi costituisce uno dei migliori sistemi di misura delle portate ed anche il più comodo quando, per ragioni speciali, la misura deve essere eseguita quotidianamente; infatti l'unica operazione che richiede è una semplice lettura all'idrometro dell'impianto. Nella costruzione degli stramazzi bisogna assolutamente curare che in tutte le loro parti corrispondano ai tipi di stramazzi con i quali Bazin eseguì le sue classiche esperienze. Devesi evitare ogni contrazione laterale della vena e la larghezza del canale d'adduzione deve essere quindi eguale a quella della soglia dello stramazzo; lo stramazzo deve essere inoltre libero, cioè il livello a valle deve trovarsi più in basso del lato superiore della soglia e l'aria deve poter circolare sotto la vena. Così pure deve essere impedito l'allargamento laterale della vena, ciò che si ottiene prolungando lateralmente le pareti del canale oltre la soglia, senza però che rimanga uno spazio d'aria rarefatta tra il diaframma e la vena. A tali condizioni possono essere impiegati i coefficienti determinati da Bazin. Quando l'altezza del diaframma e l'altezza dello stramazzo fossero maggiori di quelle adottate da Bazin nelle sue esperienze è consigliabile di misurare col molinello la portata corrispondente a diverse altezze dello stramazzo, per accertarsi della corrispondenza dei coefficienti.

Quando non è possibile o conveniente di costruire uno stramazzo bisogna provvedere alla sistemazione di un impianto tale che permetta con facilità e rapidità e soprattutto senza bisogno di lunghi preparativi, l'operazione di determinare la velocità, mediante il molinello, in diversi punti di una data sezione del corso d'acqua e a diverse profondità.

Il tipo di impianto da adottarsi deve essere studiato volta per

volta adattandolo alle condizioni del corso d'acqua nella sezione prescelta; i sistemi usati sono quindi moltissimi e gli ingegneri si sono sbizzarriti a progettarli.

Alle volte riesce possibile adoperare dei carrelli mobili scorrevoli su ponti; bisogna naturalmente adattare i ponti a tale scopo con costruzioni speciali. I carrelli devono essere amovibili, facilmente montabili e di costruzione tale da poter essere allungati o raccorciati in modo da mantenere la piattaforma sulla quale si trova l'osservatore e si appoggia l'asta del molinello, a distanza non maggiore di un metro e non minore dei 50 cm. dallo specchio d'acqua.

Sul ponte è possibile segnare permanentemente i metri, a partire da uno degli estremi ed allora le misure si possono eseguire con assoluta sicurezza sempre nelle stesse verticali. In vicinanza del ponte viene costruito un casotto per la custodia del carrello, degli strumenti, del carro matto per trasportarlo sul posto. Tutto insomma deve essere predisposto perchè un aiutante possa mettere la stazione in condizioni di funzionare in un giorno e la misura possa eseguirsi nel giorno successivo. Le tre figure 5, 6 e 7 rappresentano due stazioni permanenti per la misura delle portate impiantate una sul ponte di Monzambano sul Mincio e l'altra sul ponte ferroviario di Brusegana sul Bacchiglione (1).

Nella fig. 8 è rappresentata la stazione permanente per le misure di portata del Piave, con annessa stazione idrometrografica, di Belluno; essa è costruita in aderenza al ponte metallico comunale, particolarmente adatto a questo scopo tanto dal punto di vista idrografico, come da quello tecnico.

Il ponte è costituito da due travi principali, formanti una travata unica di 72 metri di luce, contraventate in piano verticale, di quattro in quattro metri, e, inferiormente, in piano orizzontale da croci di S. Andrea. L'impalcato superiore è costituito da zorè appoggiati alle travi trasversali, poste a distanze di due metri l'una dall'altra.

L'impianto comprende:

1) Un carrello in ferro per le misure di portata, mobile lungo l'asse del ponte su di un binario sospeso al ponte medesimo. È costituito da due parti indipendenti: una intelaiatura superiore mobile mediante quattro ruote lungo il binario e provvista di un meccanismo

(1) Le stazioni permanenti per la misura delle portate di Monzambano e di Brusegana sono descritte nella *Terza Pubblicazione annuale del Direttore dell'Ufficio Idrografico* (Pubbl. N. 36).

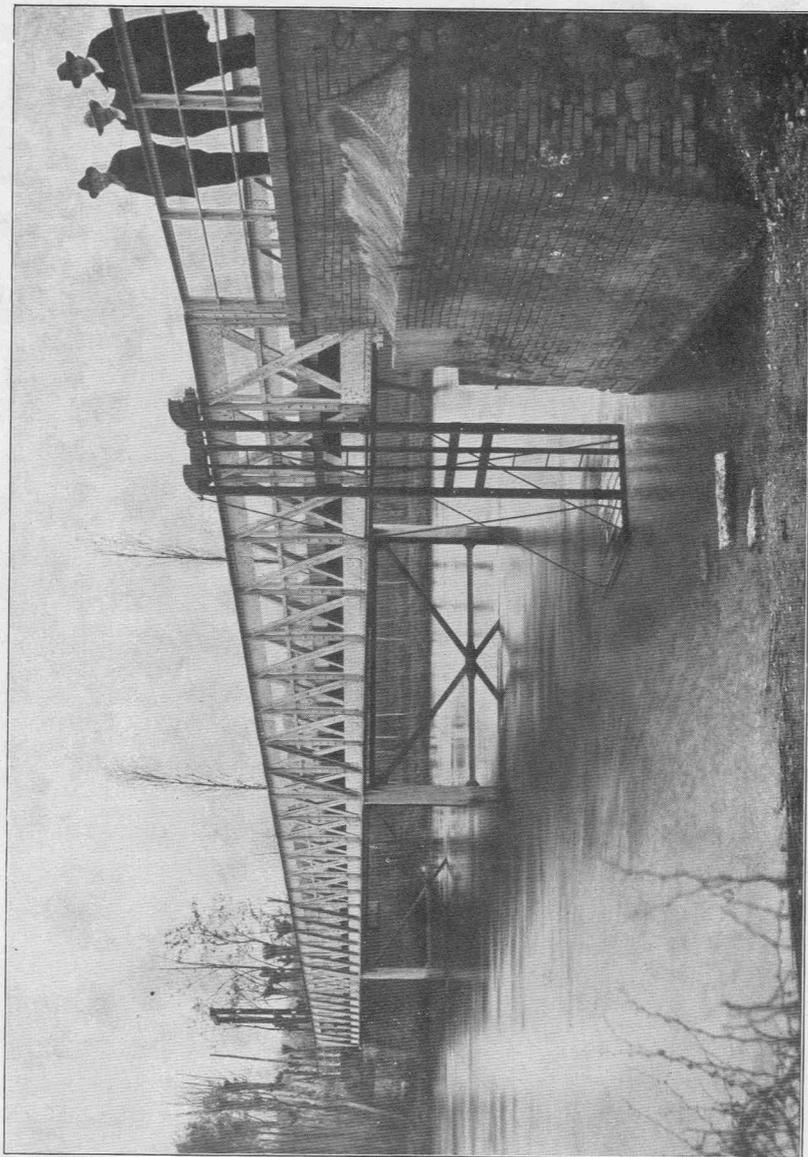


Fig. 5. — Stazione per la misura delle portate di Monzambano.

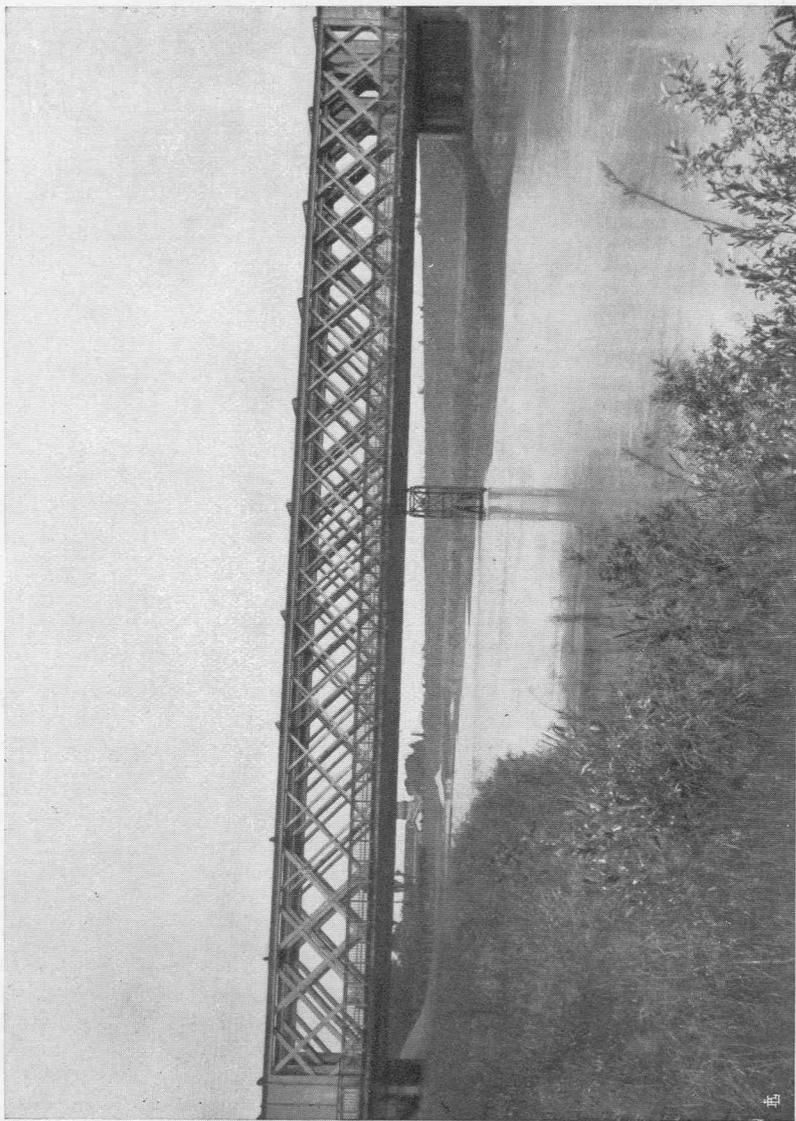


FIG. 6. — Stazione per la misura delle portate di Brusegana.

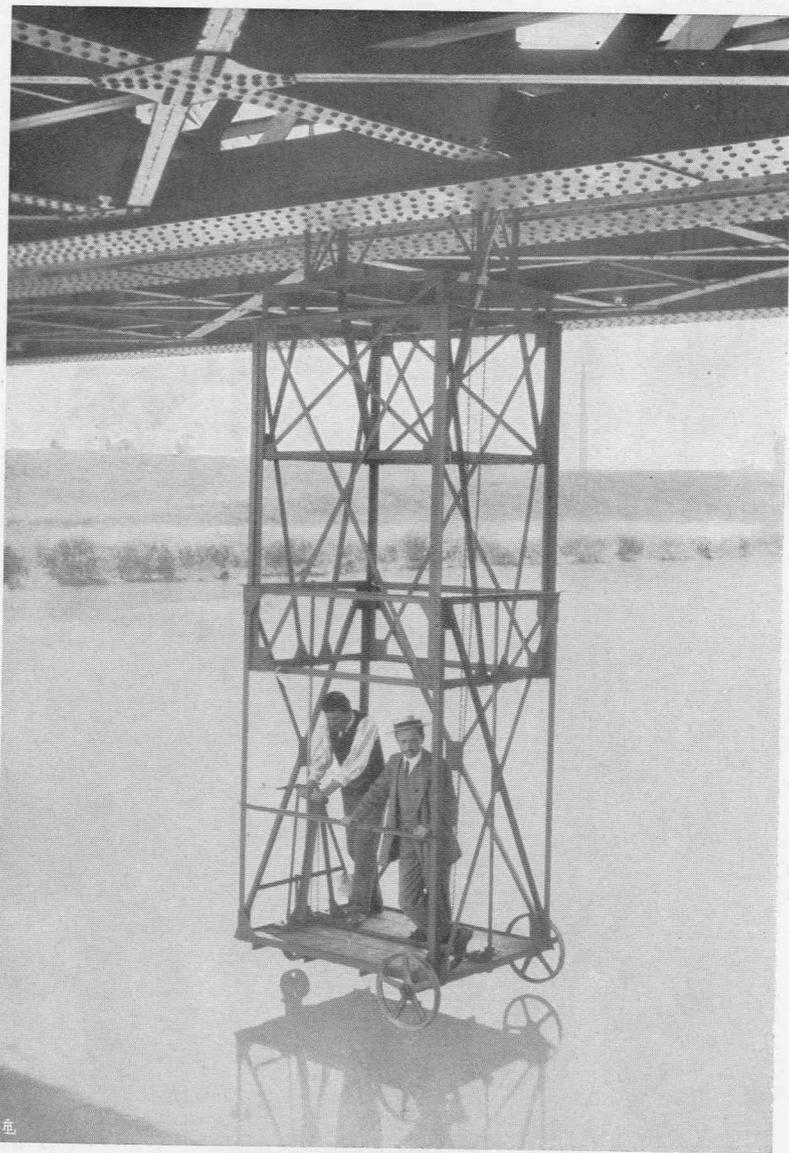


Fig. 7. — Stazione per la misura di portata di Brusegana (carrello)

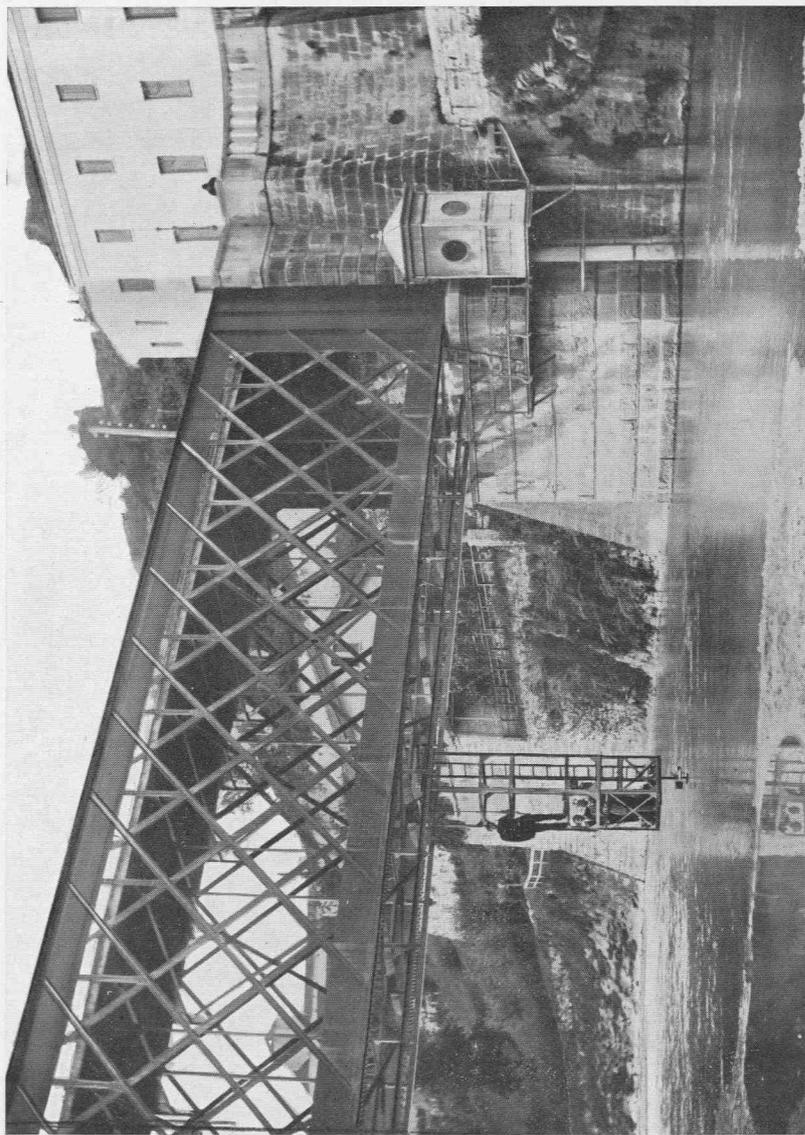


FIG. 8. — Stazione per la misura delle portate di Belluno.

di avanzamento, ed una parte tubolare, portante, alla estremità inferiore, poco sopra la superficie dell'acqua, un palchetto per gli sperimentatori, e sorretta dalla intelaiatura suddetta mediante perni sporgenti. La parte tubolare, a pianta rettangolare, è composta con quattro ritti, agli angoli, convenientemente legati da traverse e da croci di contraventamento. Essa può venire sollevata, mediante apposito paranco, attraverso la intelaiatura nello spazio compreso fra le travi principali del ponte, di fronte alla spalla destra, dove resta, nei periodi di inattività, riparata ed invisibile dall'esterno.

È inoltre raccorciabile in modo che al palchetto inferiore si possano darsi diverse altezze, a seconda dello stato idrometrico del fiume.

Il movimento del carrello lungo il binario è ottenuto mediante meccanismo ad ingranaggi e vite perpetua, azionabile dal palchetto.

2) Il binario di scorrimento del carrello, costituito da due rotaie di ferri a \square con interasse di m. 1.55, appese alle travi trasversali del ponte di quattro in quattro metri mediante speciali sospensioni sfalsate con le croci verticali di contraventamento. Le sospensioni sono costituite da coppie di tiranti, sostenuti dalle suddette travi mediante staffe ad esse accavallate, nei vuoti sotto i zorès.

Le singole coppie di tiranti sono collegate da traverse, le quali sorreggono una passerella metallica. Da questa passerella posta sopra il piano del contraventamento orizzontale del ponte, ed estesa a tutta la lunghezza di esso, varie persone possono comodamente assistere alla misura di portata.

3) Un ballatoio metallico per l'accesso al carrello, collocato in aderenza alla spalla destra del ponte, sotto la travata, e sorretto, mediante modiglioni, dalla spalla medesima e da colonnine di ferro. Dal piano stradale si scende a quello del ballatoio mediante apposite scale di ferro fissate al muraglione di sponda. Sul ballatoio è disposto un ampio casello metallico per l'idrometrografo, con tubo di lamiera di ferro per il galleggiante.

Il molinello viene sostenuto da due adatti supporti, di facile manovra, collegati alla intelaiatura del carrello.

*
* *

Raramente accade però che nelle località più convenienti dal punto di vista idrografico per l'impianto di una stazione permanente, esista un manufatto che si presti per l'impiego di carrelli del tipo descritto.

Si può ricorrere allora all' impianto di due coppie di piloni, due per ciascuna sponda, fra cui vengono tese due funi metalliche, sulle quali corre sospeso, in un modo qualunque, un carrello per il trasporto dello strumento e degli osservatori, suscettibile di innalzarsi ed abbassarsi per poter essere mantenuto sempre ad altezza costante dallo specchio d'acqua. Il carrello riceve da un cavo manovrato dalla riva i movimenti necessari nel senso normale alla direzione della corrente. Questo sistema è molto pratico per stazioni collocate sul fondo di gole a pareti verticali.

Però di solito in questi casi è più semplice e più facile sistemare la stazione con barche. L' Ufficio Idrografico ha studiato un tipo di barche leggerissime in lamiera di ferro, che vengono accoppiate e rigidamente collegate mediante un impalcato, destinato a portare gli osservatori. La distanza fra le due barche è di due metri: il loro pescaggio, a carico completo, non raggiunge i 15 cm. Due funi di trattenuta, tese attraverso al corso d'acqua in corrispondenza alla prua e alla poppa, servono ad ottenere il movimento nella sezione, che viene individuata stabilmente dai pilastri di sostegno delle funi stesse. Quando la larghezza del corso d'acqua supera i 100 metri, la sezione viene invece individuata mediante caposaldi fissati alle rive, ai quali ci si riferisce otticamente, per individuare la posizione delle barche.

CAP. III.

MISURA DELLE PORTATE MEDIANTE STRAMAZZO.

Lo stramazzo si deve costruire in un punto di facile accesso e dove il letto possa contenere, senza tracimare, l'acqua, fino al maggiore livello raggiungibile dal corso d'acqua.

Si sistemano gli idrometri come si vede nella figura 9. Il primo,

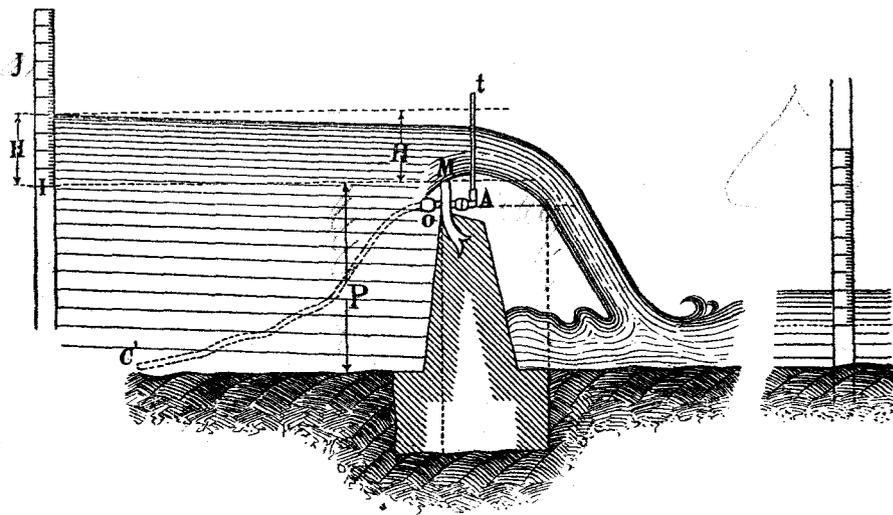


FIG. 9.

detto idrometro dello stramazzo, serve a dare il carico H sulla soglia, e il suo zero deve essere collocato esattamente al livello della soglia. Il secondo detto idrometro di stazione serve a dare l'altezza dell'acqua a valle ed è importante di poter ottenere che a una stessa altezza dell'idrometro a valle corrisponda sempre la stessa portata; allora si può mediante una lettura a tale idrometro avere senz'altro la portata.

Non sempre però è facile raggiungere tale condizione fortunata; occorrerebbe infatti che il letto nel tronco dove è costruito lo stramazzo mantenesse pendenza e sezione costante.

È utile avere la seguente avvertenza. Si fora nella parete metallica laterale della soglia e all'infuori della vena un orificio circolare di circa 25 mm. di diametro in cui si introduce un tubo al quale a monte viene fissato un tubo di gomma C' e a valle un rubinetto

A che porta verticalmente un tubo di vetro, simile a quello che dà il livello delle caldaie. Questo tubo di vetro, deve essere graduato in millimetri collo zero coincidente col livello della soglia. Tale tubo permette di leggere con grande esattezza il valore del carico H dello stramazzo.

Nei corsi d'acqua di montagna che portano sabbie, ciottoli una diga fissa che ne sbarrasse il letto sarebbe ben presto riempita, ciò che renderebbe nulla l'altezza della soglia sul fondo e quindi le formule inapplicabili. Si deve avere perciò l'avvertenza di aprire nel massiccio della diga delle aperture di fondo, che devono rimanere abitualmente aperte per dare passaggio al materiale di trasporto lasciando quindi il letto al suo livello normale. Tali aperture di fondo si chiudono evidentemente quando si eseguisce la misura; sarà però bene attendere alcune ore perchè si ristabilisca il regime normale.

Le formule che si adoperano per la misura delle portate mediante gli stramazzi sono quelle dedotte in base alle esperienze di Bazin. Egli intraprese le sue prime classiche ricerche sulle condizioni di deflusso negli stramazzi, coll'intento principale di trovare, per stramazzi di diverse altezze in pareti sottili e con pareti laterali verticali, le leggi secondo le quali varia nella formula

$$Q = m l H \sqrt{2 g H}$$

il coefficiente m col variare dell'altezza H .

È necessario quindi che le condizioni dell'impianto sieno tali da permettere l'uso dei coefficienti dedotti dal Bazin, uso che è molto facilitato da apposite tavole.

Perciò si taglierà il profilo dello stramazzo in una lamiera M di 5 a 7 mm. di spessore, ben impiantata in un piano verticale, normale alla direzione del corso d'acqua; la soglia dovrà essere assolutamente orizzontale. La lamiera sarà portata da una costruzione o di muratura o di cemento armato ben solida e la soglia disposta ad un livello tale che la vena stramazante non aderisca alle pareti e resti interamente libera dai vortici a valle; infine si deve avere l'avvertenza che non si abbia contrazione laterale e che la lunghezza l della soglia sia almeno quattro volte maggiore del carico da misurare $l > 4 H$.

In tali condizioni, il coefficiente m avrà per valore:

$$m = \mu \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{P + H} \right)^2 \right]$$

essendo P l'altezza della soglia sul fondo ed H al solito il carico dello stramazzo. Il coefficiente μ dipende a sua volta dal carico H, secondo la serie:

Per H $\overset{m}{0.05}$	$\overset{m}{0.10}$	$\overset{m}{0.20}$	$\overset{m}{0.30}$	$\overset{m}{0.40}$	$\overset{m}{0.50}$	$\overset{m}{0.60}$
μ 0.4481	0.4322	0.4215	0.4174	0.4144	0.4118	0.4092

e la portata avrà per espressione generale:

$$Q = \mu \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{P + H} \right)^2 \right] l H \sqrt{2gH}$$

Sovente non si hanno a disposizione i mezzi per collocare uno stramazzo in un corso d'acqua di cui si vuol misurare la portata, in modo che venga evitata completamente la contrazione laterale dei filetti d'acqua. Allora si può far uso per il calcolo delle portate delle formule del Frese (1).

Le formule sono:

$$Q = 3\mu l H \sqrt{2gH}$$

$$\mu = \mu_0 \left\{ 1 + \left[0.25 \left(\frac{l}{L} \right)^2 + \zeta' \right] \left(\frac{H}{P} \right)^2 \right\}$$

$$\mu_0 = 0.5755 + \frac{0.017}{H + 0.18} - \frac{0.075}{l + 1.20}$$

$$\zeta' = 0.025 + \frac{0.0375}{\left(\frac{H}{P} \right)^2 + 0.02}$$

dove

L = larghezza media dell'acqua a monte

l = larghezza dello stramazzo

H = altezza dello stramazzo

P = profondità media dell'acqua = altezza della soglia sul fondo + H

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*; 1890. Vol. 34, fasc. 49-52.

CAP. IV.

MISURA DELLE PORTATE MEDIANTE OSSERVAZIONI DI VELOCITÀ

A) Strumenti per la misura della velocità della corrente

Questi strumenti si dividono in due grandi categorie, secondo che permettono le misure della velocità in qualunque punto della sezione del corso d'acqua, oppure soltanto alla superficie. Appartengono alla prima categoria i molinelli e i tubi di Pitot: alla seconda tutti i vari tipi di reometri a galleggiante. Furono anche ideati altri tipi di strumenti, per la misura della velocità, come per es. l'idrodinamometro di Perrodil, fondato sulla pressione dinamica della corrente e la torsione di una molla fissa, ma non ebbero finora pratica applicazione.

1. *Molinelli - Generalità.*

I molinelli sono essenzialmente costituiti da un albero mobile, munito di palette a superficie elicoidale, che viene immerso orizzontalmente nel corso d'acqua, e di un dispositivo atto a segnalare il numero dei giri compiuti da quest'albero in tempo determinato. Dal numero dei giri compiuti si deduce poi la velocità della corrente, o meglio il valore medio delle velocità, verificatesi durante l'osservazione, nel punto considerato.

La registrazione del numero dei giri compiuti dalle alette può aver luogo, o per via meccanica o per via elettrica. Però la registrazione meccanica è stata ormai completamente abbandonata, e negli strumenti più perfezionati si ricorre sempre a quella elettrica, proposta per la prima volta da Harlacher, ed attuata dai costruttori Amsler-Laffon, di Sciaffusa.

Generalmente l'asse mobile del molinello porta una vite perpetua, che può imboccare in una ruota di 100 denti: su questa ruota è infisso un nottolino, che ad ogni giro, (e ad ogni 100 giri delle alette) viene a toccare una caviglia, scorrendovi sopra e quindi determina la chiusura di un circuito elettrico, nel quale è inserita una suoneria. Altre volte invece il circuito elettrico si chiude ad ogni giro e il numero dei giri viene registrato automaticamente, con un contatore elettrico, sopra una striscia di carta, sulla quale un cronografo registra contemporaneamente i secondi.

Nei primi molinelli a registrazione elettrica la chiusura del circuito si produceva direttamente in acqua: questo sistema dava però luogo a vari inconvenienti, specialmente quando si trattava di acque contenenti sali disciolti in quantità non trascurabile. Presentemente vengono di solito usati dispositivi speciali, che descriveremo più innanzi parlando dei molinelli Ott, i quali permettono di mantenere il contatto al perfetto riparo dall'azione dell'acqua.

L'asse girevole, sostenente le palette, è appoggiato sopra una coppia di supportini, costituiti secondo i casi da due cuscinetti di agata, oppure da speciali cuscinetti a sfere. Il primo tipo è preferibile, per misura in acqua torbida, con sabbie in sospensione: conviene invece il secondo, quando l'acqua trasporti erbe od altre sostanze filamentose.

*
* *

Sistemi di sospensione dei molinelli — La immersione del molinello nell'acqua può aver luogo o per mezzo di un'asta rigida o mediante un cavo flessibile. Il primo sistema è sempre da preferirsi, finchè la scelta è possibile, perchè permette di individuare, con maggior esattezza la posizione e l'orientazione dello strumento. Però in casi particolari, per es. quando si tratti di corsi d'acqua molto profondi e con corrente veloce, oppure di fiumi in piena, è giocoforza ricorrere alla sospensione libera, che esige manovre molto più facili.

Si hanno poi due sistemi di sospensione rigida, proposti e adottati rispettivamente dall'Ing. Epper, un tempo capo dell'Ufficio idrometrico svizzero e dal prof. Harlacher, direttore delle ricerche idrometriche sull'Elba e sul Danubio.

*
* *

Secondo il primo sistema, specialmente seguito in Svizzera e in Francia, il molinello è fissato alla estremità inferiore dell'asta che lo sostiene, ed asta e molinello vengono alzati ed abbassati insieme. Questo procedimento presenta il notevole vantaggio di non lasciar dubbio circa la profondità a cui si trova lo strumento anche quando è immerso in forti correnti. Per evitare l'inflessione dell'asta, questa viene fatta di forma ovoidale, e talvolta ne viene anche assicurata la estremità inferiore mediante un filo teso obliquamente contro corrente.

L'uso dell'asta sospesa richiede sempre uno speciale dispositivo, col quale essa viene portata e fissata alla voluta altezza: serve allo scopo il cosiddetto "supporto Epper".

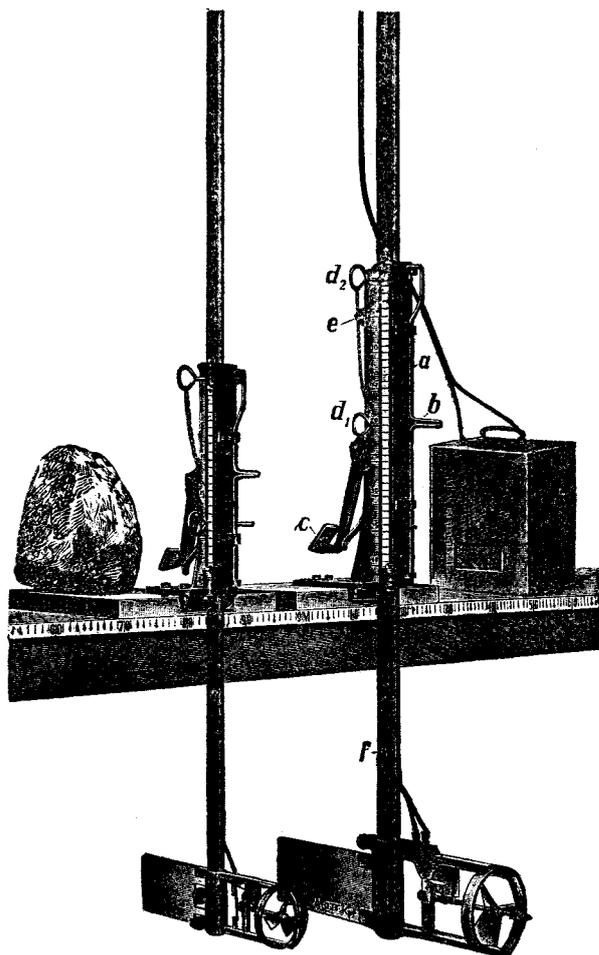


FIG. 10. — Supporti Epper per molinelli

Come appare dalla figura 10, questo è costituito da una specie di manicotto, di lunghezza variabile, e di cui la parte *a* mobile, può essere fissata mediante il gancio *b*. La pressione di una molla azionata dalla leva a gomito mantiene l'asta nella posizione voluta, mentre basta a liberarla una piccola pressione colla punta del piede sulla suola *c*.

L'asta è graduata in centimetri, e attraversata in corrispondenza alla graduazione da fori; a questi corrisponde su un fianco del manicotto, una fessura, che è ugualmente fornita di una divisione numerata. La divisione dell'asta serve a determinare la profondità alla quale si trova il molinello: la divisione del manicotto serve per spostarlo in modo rapido e sicuro, del tratto voluto.

Il supporto viene per l'uso solidamente avvitato al palchetto di manovra.

Quando si debbano eseguire misure in corsi d'acqua dotati di forte velocità, il supporto Epper, nella forma descritta, non presenta sufficiente garanzia di sicurezza: si ricorre allora al "supporto ad arganello", rappresentato nella figura 11 di struttura più robusta.

* * *

Secondo il sistema proposto da Harlacher, e seguito generalmente in Austria e in Germania, l'asta di sostegno (v. fig. 12) viene appoggiata al fondo del corso d'acqua, e il molinello vien fatto scorrere su di essa, fino all'altezza voluta. Ciò si ottiene per mezzo di un cavo che, passando sopra una puleggia collocata sull'estremità superiore dell'asta, viene ad avvolgersi attorno ad un tamburo, all'altezza dell'osservatore. Questo tamburo possiede un quadrante, sul quale da un indice vengono registrati i giri che esso compie, allo svolgersi del filo, e si può leggere coll'approssimazione di un centimetro, la profondità alla quale si trova il molinello.

Questo sistema è preferibile al precedente, per ciò che riguarda la sicurezza dello strumento, ma può dar luogo a qualche incertezza, perchè facilmente il cavo che sostiene il molinello viene trascinato dalla corrente. Esso si presta per l'applicazione del metodo per integrazione, bastando rendere regolare la discesa dello strumento lungo la verticale, mediante un opportuno regolatore.

* * *

Il nostro Ufficio Idrografico ha anche studiato e costruito uno speciale supporto destinato a permettere l'impiego contemporaneo di più molinelli. Una comune asta, di sezione ovoidale, e sostenente tutti

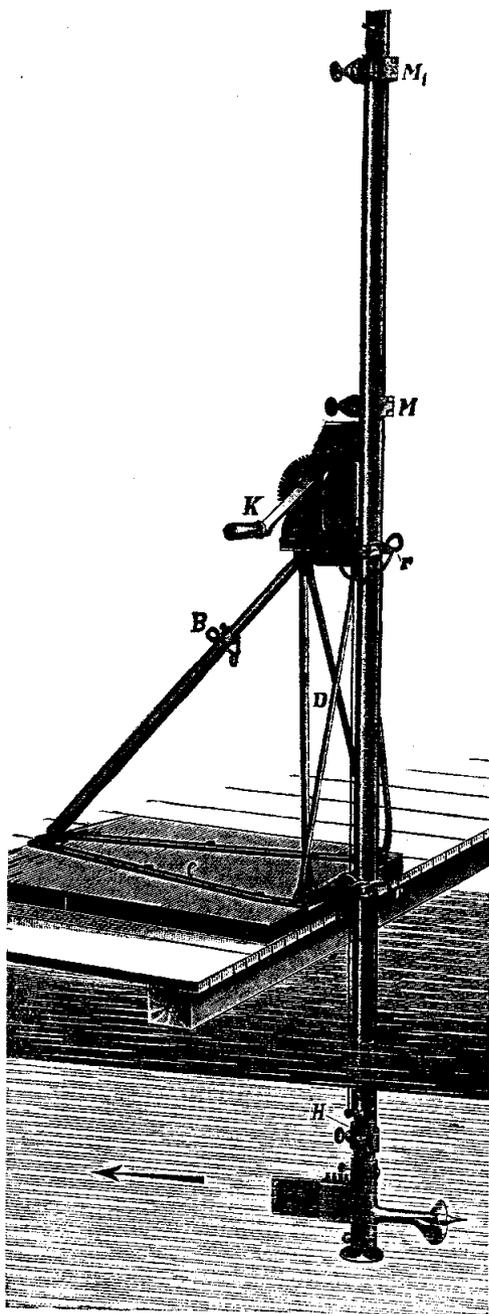


FIG. 11. — Supporto ad arganello

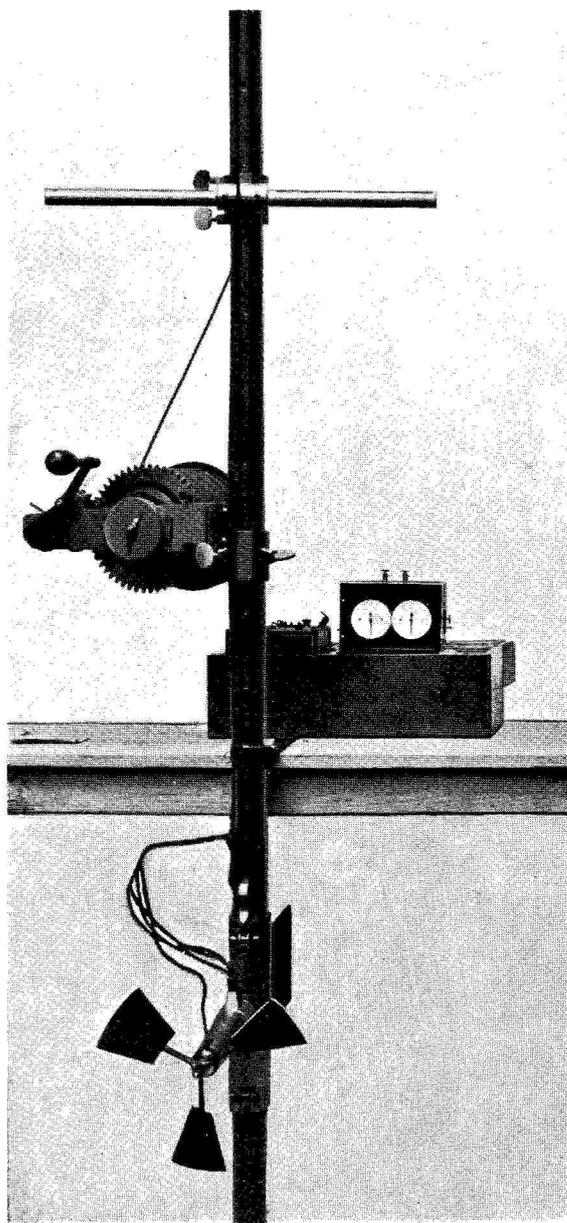


FIG. 12. — Sistema Harlacher.

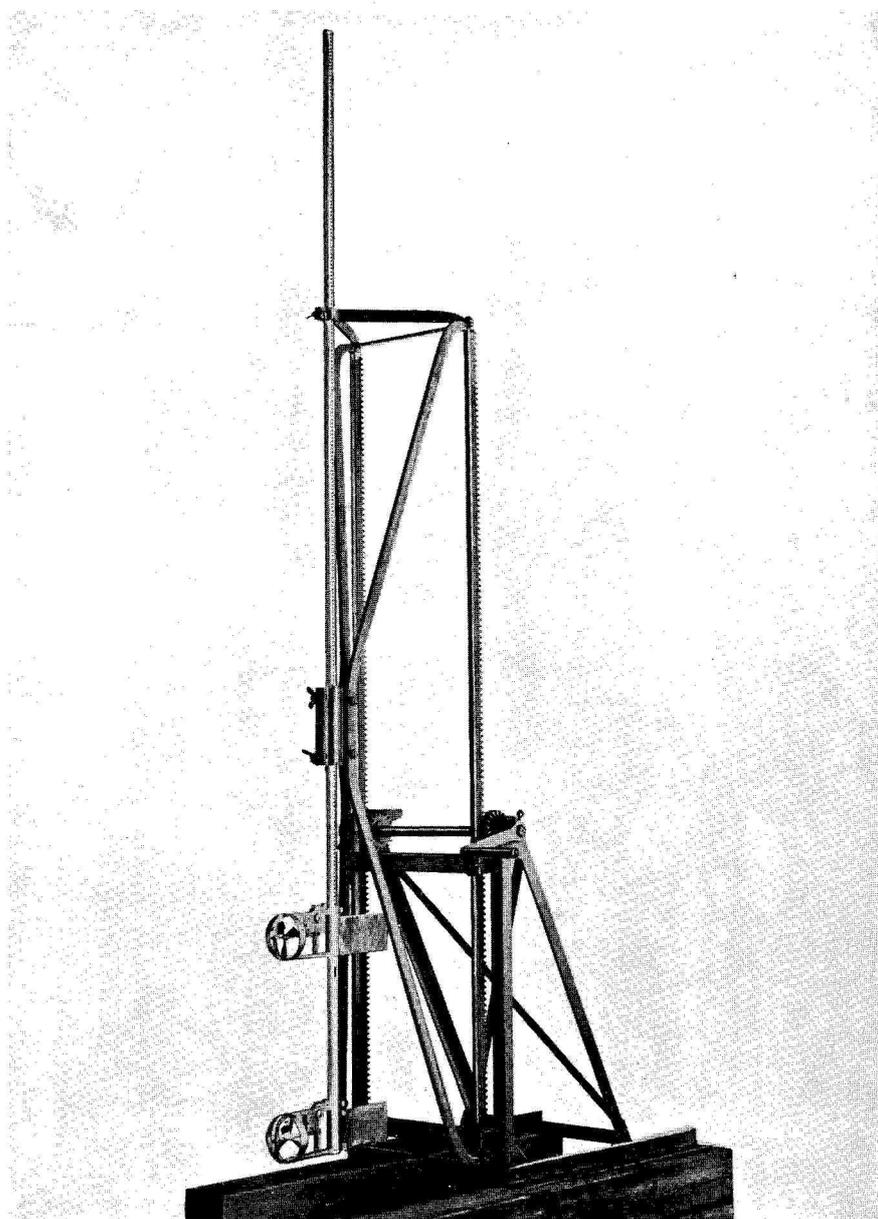


FIG. 13. — Supporto per più molinelli

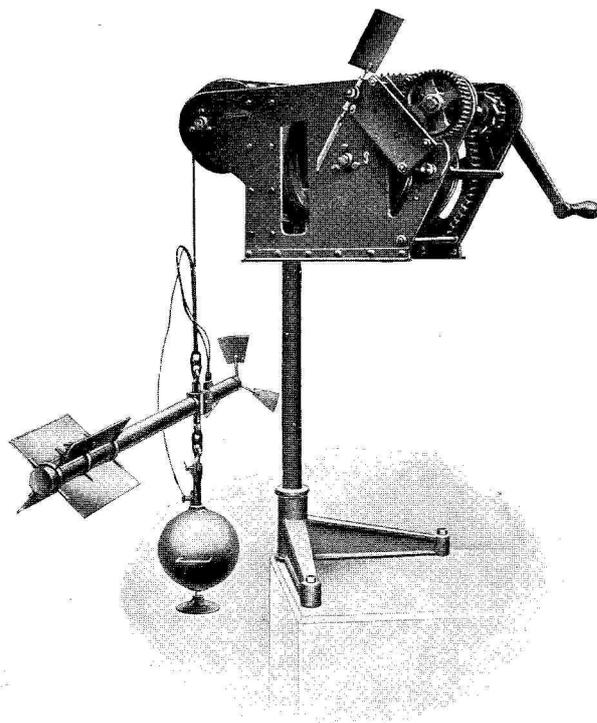


FIG. 14. — Supporto per la manovra del molinello a sospensione libera.

i molinelli che si richiedono per le misure sopra una verticale, viene fissata mediante due manicotti *c* e *c*, (fig. 13) ad una semplice intelaiatura, collegata ad un solido supporto, che deve esser fissato al palchetto di manovra. Per mezzo delle due cremagliere *g* e *g*, che ingranano in una coppia di ruote dentate, azionate dall'apposita manovella, l'intelaiatura può esser spostata verticalmente, portando il sistema dei molinelli all'altezza che si desidera. Con questo dispositivo il tempo richiesto dall'esecuzione delle misure in una intera verticale vien ridotto a quello che è necessario per una unica osservazione di velocità.

*
* *

Alla sospensione libera, come si disse, si ricorre raramente per misure complete e sistematiche; però nei fiumi molto profondi essa permette di semplificare notevolmente gli impianti e le manovre: e spesso viene preferita.

Il molinello, munito di un arganello (fig. 14) viene manovrato dall'operatore, che sta generalmente in una barca: un sistema analogo a quello descritto per le aste fisse al fondo, permette di conoscere la profondità alla quale si trova. Quando però si abbiano profondità e velocità notevoli, conviene introdurre nel valore così ottenuto per l'affondamento, delle opportune correzioni, allo scopo di togliere gli errori dovuti al fatto che il filo di sospensione non si dispone verticalmente.

I molinelli non possono venir usati indifferentemente a sospensione libera e a sospensione rigida, ma richiedono speciali adattamenti, e cioè devono esser muniti di un equilibratore, che ne assicuri la posizione orizzontale quando sono immersi, e di un contatto di fondo. La casa Ott ha anche studiato un sistema di sospensione, rappresentato nella fig. 15 in grazia del quale l'equilibratore, munito di timone, viene per primo a contatto dell'acqua,

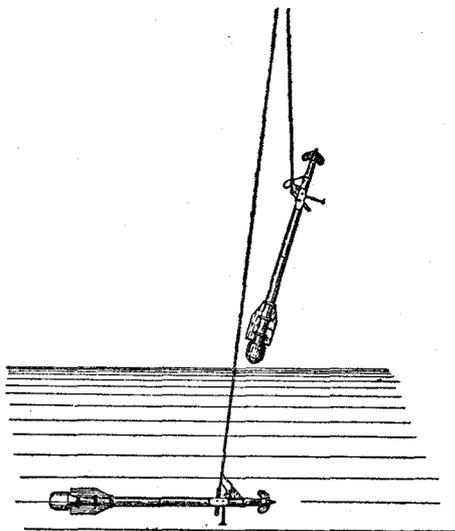


FIG. 15.

quando si vuole immergere lo strumento. Resta così evitato il pericolo che lo strumento stesso si disponga normalmente alla corrente.

La sospensione libera viene poi esclusivamente usata quando, per misure di piena, si tratti soltanto di osservare la velocità superficiale dell'acqua. Per tale scopo il molinello viene collegato ad un galleggiante di forma opportuna, che lo mantiene ad una certa profondità sotto il pelo liquido, ed impedisce che le alette siano portate per qualche istante fuor d'acqua (fig. 16).

Il cavo di trattenuta porta anche i conduttori per la segnalazione dei giri, e va ad avvolgersi su un apposito arganello, che vien disposto sopra un ponte.

Principali tipi di molinelli — Nella descrizione dei diversi tipi di molinelli, ci limiteremo a parlare dei soli molinelli Ott; sono questi esclusivamente adottati dall'Ufficio, e presentano rispetto a tutti gli altri notevole superiorità, per bontà di costruzione e per

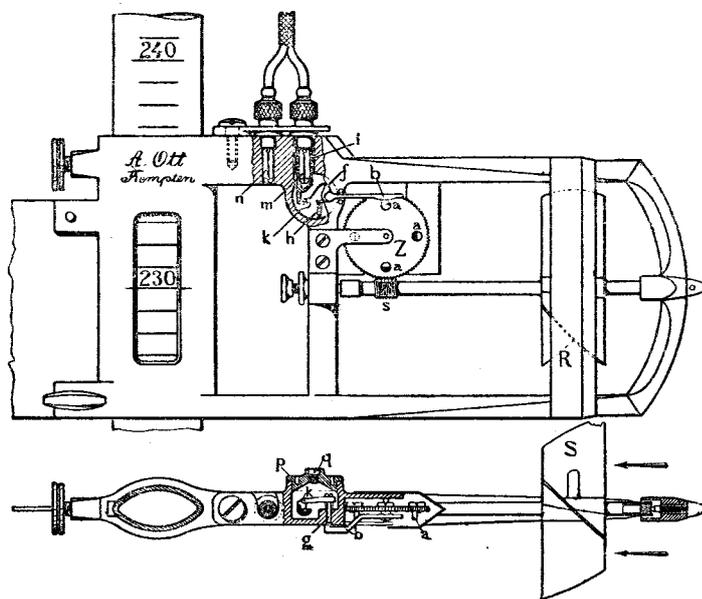


FIG. 17.

varie innovazioni introdotte, sia per iniziativa della Ditta stessa, sia per consiglio di ricercatori come Epper, Harlachner ed altri.

Ci limiteremo a parlare dei tipi che sono adoperati dall'Ufficio. Per le misure di portata sul Mincio a Monzambano viene usato

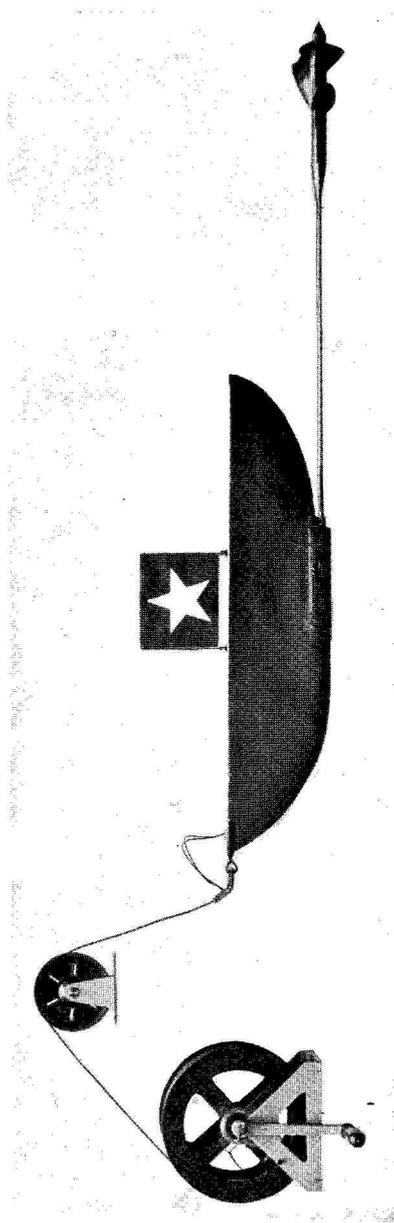


FIG. 16. — Molinello con galleggiante

il molinello del tipo segnato IXb sul catalogo Ott, e rappresentato nella fig. 17. Questo molinello è ad intervalli di contatti variabili, cioè può dare un segnale ogni 25, 50, 100 giri, e con contatto al riparo dell'acqua. Il movimento di rotazione delle palette è trasmesso da una vite perpetua alla ruota dentata Z, che porta 4 nottolini semi-cilindrici *a* posti a 90° gli uni dagli altri, e mobili attorno al loro asse. Secondo che la parte curva di questi nottolini è volta verso il centro o verso la periferia della ruota, essi passano senza toccare, oppure sollevano la piccola leva *b*. Si può così ottenere un contatto ad ogni giro, oppure ad ogni mezzo o quarto di giro, semplicemente girando i nottolini. La leva *b* comanda una seconda leva *f*, disposta internamente alla scatola di contatto propriamente detta, ermeticamente chiusa e ripiena di olio minerale. I movimenti della leva *f*, aprono e chiudono il circuito nel punto K, facendo comunicare il serrafili *i* isolato, con l'altro *n* non isolato dal resto dello strumento.

In questo molinello l'albero mobile, che sostiene le alette, ruota sopra cuscinetti di agata, costruiti in maniera che i granelli di sabbia scivolano sulla loro superficie, senza penetrare all'interno: l'elica poi è circondata da un cerchio protettore.

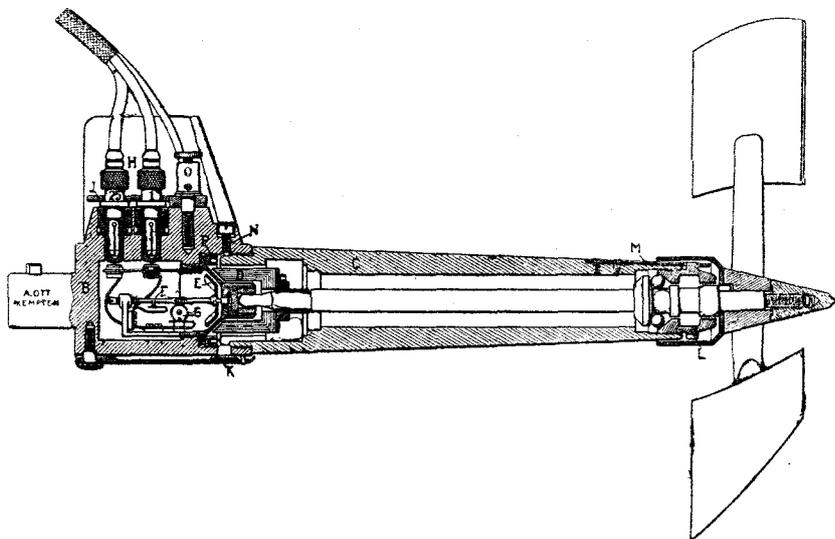


FIG. 18.

Per le misure a *Brusegana sul Bacchiglione* viene adoperato un altro tipo di molinello, nel quale i contatti, sempre a riparo dell'acqua, sono ottenuti col dispositivo ideato da Mensing e Ott. (fig.18).

Il meccanismo di contatto è disposto entro una scatola B ermeticamente chiusa e il movimento delle alette gli viene trasmesso non direttamente, ma per mezzo dell'azione magnetica esercitantesi fra una calamita a forma di campana collegata all'albero mobile e un'ancora disposta internamente alla scatola B. Resta così evitata ogni comunicazione fra la scatola, nella quale ha luogo il contatto, e l'esterno, ed anche ogni pericolo che il funzionamento venga interrotto per intrusione di sostanze esterne. Nella fig. 18, D è la campana calamitata, E l'ancora che segue la calamita nella rotazione: sull'asse di questa ancora è fissato un nottolino, che ad ogni giro tocca una molla e chiude il circuito elettrico. L'asse porta anche una vite perpetua la quale, per mezzo di un meccanismo analogo a quello già descritto per il molinello di Monzambano, permette di avere una segnalazione ogni 25 giri.

In questo molinello l'albero mobile è appoggiato, posteriormente, in vicinanza della scatola di contatto, entro un cuscinetto di agata, e anteriormente, sopra sfere di nichel indurito.

Nei due molinelli descritti sono rappresentati i due tipi caratteristici di meccanismo di contatto. Altre particolarità presentano gli altri tipi esistenti, che li rendono specialmente adatti per le diverse condizioni in cui devono essere adoperati.

Così, quando si tratti di misurare la portata di corsi d'acqua oltremodo agitati, o di canali di immissione delle turbine, nei quali facilmente si verificano anche velocità negative, importa che lo strumento indichi il senso del movimento. Servono allo scopo i molinelli provvisti dell'indicatore di marcia, rappresentato nella fig. 19

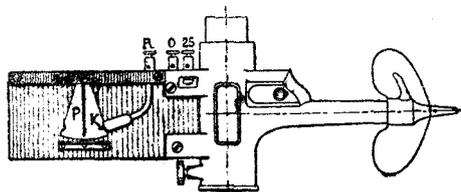


FIG. 19.

e costituito essenzialmente da un pendolino applicato al timone P, e che la controcorrente costringe ad appoggiarsi al contatto R.

Un vero indicatore di direzione fu anche costruito dalla ditta Ott, da applicarsi ai molinelli a sospensione libera, il quale permette di conoscere l'orientamento di un ago magnetico, posto nel timone equilibratore, rispetto all'asse del molinello.

Tipi speciali esistono poi per velocità molto grandi: così per le misure che l'Ufficio Idrografico eseguisce alla stazione di Belluno, ove in condizioni di morbida furono riscontrate velocità di 3

m. al secondo, viene impiegato un cosiddetto " Fahrtnesser „, o misuratore di marcia, nel quale si cercò di ottenere una grande robustezza di costruzione, e sono ridotti al minimo gli attriti. L'asse interamente immerso in olio, ruota su due supporti a sfere: con una speciale disposizione i serrafili sono mantenuti al sicuro dall'intrusione delle sabbie.

*
* *

Formule e taratura dei molinelli — Si chiamerà *formula del molinello* la relazione che lega il numero di giri fatti nell'unità di tempo (in un minuto secondo) colla velocità della corrente: è facile dimostrare che, finchè la velocità del molinello è sensibilmente costante, e costanti si ammettano le resistenze d'attrito, questa formula è del tipo:

$$v = \alpha n + \beta$$

dove v è la velocità dell'acqua, n è il numero di giri al 1"; α , β sono due costanti.

Non sempre però questa formula è sufficientemente esatta: il Baumgarten, meglio analizzando le resistenze d'attrito, propose l'altra:

$$v = \alpha n + \sqrt{\beta n^2 + \gamma}$$

L'esperienza però ha dimostrato che in queste due formule il secondo termine, per velocità rilevanti, diventa trascurabile rispetto al primo: sicchè si può allora ritenere più semplicemente:

$$v = \alpha n$$

Il complesso delle operazioni colle quali si determina sperimentalmente la formola del molinello, o meglio i valori delle costanti che in essa formola compaiono, si chiama *taratura del molinello*.

Per procedere alla taratura si fanno numerose esperienze, spostando lo strumento con varie velocità, note e costanti, in acqua stagnante, per uno spazio determinato e rettilineo, e misurando i corrispondenti numeri dei giri compiuti dalle alette.

Si richiede quindi un bacino abbastanza grande di acqua stagnante, e un dispositivo che permetta di imprimere al molinello una velocità perfettamente nota e, per quanto è praticamente possibile, costante. Generalmente lo strumento, immerso in acqua, viene fissato ad un carrello mobile sopra rotaie ancorate alle sponde di una vasca

apposita, e a questo carrello vengono impresse velocità diverse, mantenendo nei singoli casi il moto uniforme.

La forma e le dimensioni della vasca variano da luogo a luogo, secondo i criteri degli sperimentatori e secondo i mezzi economici posti a loro disposizione. Però è evidente che riuscirà tanto maggiore l'esattezza delle misure, quanto maggiori saranno la sezione liquida ed il tratto percorso dallo strumento nel suo movimento.

Ricavati con una serie di esperienze per diverse velocità v_1, v_2, \dots successivamente impresse allo strumento i corrispondenti numeri di giri n_1, n_2, \dots dati dal molinello nella unità di tempo, si passa alla determinazione della formola del molinello, di solito applicando il metodo dei minimi quadrati.

Se si assume p. es. per v l'espressione

$$v = \alpha n + \beta$$

dove α e β sono le costanti da determinarsi, fra le velocità ricavate dalla formola e quelle misurate, esisteranno in generale delle differenze, cioè si avrà

$$v_1 - (\alpha n_1 + \beta) = \delta_1$$

$$v_2 - (\alpha n_2 + \beta) = \delta_2$$

Applicando il metodo dei minimi quadrati, si devono ritenere come valori più probabili di α e β quelli che rendono minima la somma dei quadrati di $\delta_1, \delta_2, \dots$, cioè che soddisfanno la relazione:

$$\Sigma \delta^2 = \Sigma_1^m (v - (\alpha n + \beta))^2 = \text{minimo}$$

essendo m il numero delle esperienze compiute.

Questa relazione permette di stabilire per α e β le espressioni:

$$\alpha = \frac{m \Sigma_1^m (m v) - \Sigma_1^m v \Sigma_1^m n}{m \Sigma_1^m n^2 - (\Sigma_1^m n)^2}; \quad \beta = \frac{\Sigma_1^m v \Sigma_1^m n^2 - \Sigma_1^m v \Sigma_1^m n}{m \Sigma_1^m n^2 - (\Sigma_1^m n)^2}$$

nelle quali compaiono soltanto quantità direttamente ricavabili dalla esperienza.

Più complesse risulterebbero le espressioni di α, β e γ se fra v ed n vi si assumesse l'altra relazione:

$$v = \alpha n + \sqrt{\beta n^2 + \gamma}$$

Alla determinazione di α e β si può procedere anche per via

grafica in modo molto semplice, col vantaggio di scartare quelle misure, che evidentemente apparissero infirmate da gravi errori.

Scelti due assi coordinati, portando come ascisse le velocità, come ordinate il numero di giri, si segna la curva che segue sensibilmente l'andamento dei punti così ottenuti, o meglio, come è dimostrato dall'esperienza, le due curve, che di solito sono due rette, sulle quali giacciono tali punti. Le equazioni di queste curve non sono altro che le formule del molinello (v. fig. 28 nell'appendice).

Nell'esecuzione materiale delle operazioni di taratura bisogna sempre aver cura che lo strumento si trovi nelle stesse condizioni nelle quali verrà poi adoperato in pratica: cioè p. es. che sia applicato ad un'asta (o ad un filo) della stessa forma e dimensione e munito dello stesso timone. L'esperienza infatti ha dimostrato che la relazione fra la velocità e il numero di giri può nei diversi casi riuscire notevolmente diversa, perchè su di essa hanno anche influenza i rigurgiti che si producono per azione dell'asta e del reometro.

*
**

La taratura dei molinelli è uno dei compiti dell'*Istituto Idrotecnico*, sorto a Stra, allo scopo di riunire le forze del R. Magistrato alle Acque e della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri di Padova, per ciò che concerne lo studio sperimentale dei problemi idraulici. A questo Istituto sono consegnati gli impianti, che l'Ufficio Idrografico del Magistrato ha studiato in tutti i loro particolari e costruito a tale scopo.

La vasca sperimentale, lunga 200 metri, è costruita nell'asse del grande prato della Villa Nazionale (fig. 20). La sezione trasversale è inferiormente trapezia con base inferiore, al fondo della vasca di m. 3.70, e base superiore di m. 10.75 ed altezza media di m. 3.20.

La sezione si allarga poi superiormente in grazia a due banchine laterali, su cui l'acqua si eleva per circa 30 centimetri, raggiungendo così una larghezza complessiva in superficie di circa m. 14, e un'altezza d'acqua di m. 3.50.

Lungo tutta la vasca corre il binario del ponte mobile per le tarature dei molinelli; questo binario ha lo scartamento esatto di m. 15, e il piano di scorrimento è circa 15 cm. più alto del livello normale dell'acqua. Il ponte è studiato con particolare cura per avere un movimento di traslazione uniforme ed evitare le vibrazioni. Il movimento ha luogo a trazione elettrica, con corrente continua, fornita da una batteria di accumulatori: la corrente della batteria aziona

un motore direttamente accoppiato con una dinamo, e variando opportunamente la alimentazione del motore e l'eccitazione sia del motore che della dinamo, si ottengono tutte le tensioni fra 40 e 400 volts, di 5 in 5 volts. Con tal dispositivo al ponte mobile si possono fare assumere tutte le velocità di traslazione, di 3 in 3 cm., comprese fra 3 cm. a 3 m. al 1".

2. Tubo di Pitot e sue modificazioni.

Questo strumento nella sua forma più semplice consiste in un tubo verticale, inferiormente ripiegato ad angolo retto, ed aperto alle due estremità: nel ramo verticale un galleggiante munito di asta indica sopra una scala graduata fissa al tubo l'altezza cui giunge l'acqua.

Quando lo strumento viene immerso ad una certa profondità in un liquido in moto, col tratto inferiore orizzontale, e coll'apertura inferiore rivolta contro la direzione dei filetti, nel tratto verticale l'acqua sale al disopra del pelo liquido di una certa altezza h che è legata alla velocità V dei filetti alla profondità considerata dalla relazione:

$$h = m V^2$$

dove m è una costante; si ricava quindi:

$$V = m_1 \sqrt{h}$$

la costante m_1 dovrà determinarsi con una serie di esperienze, nel modo già descritto pei molinelli.

Con questo tubo la lettura, che dovrebbe farsi sul posto, durante l'immersione viene incomoda ed incerta, a causa delle oscillazioni dell'acqua, dei menischi capillari ecc.

Tale inconveniente viene eliminato (fig. 21) dalle seguenti modificazioni introdotte da Darcy: invece di un tubo solo, se ne adoperano due, A e A¹, assicurati ad una medesima tavoletta, i quali inferiormente si piegano ad angolo retto, venendo a terminare, il primo con un'apertura a normale al proprio asse, il secondo con un foro a' parallelo all'asse, e rivolto verso il basso: mediante una chavetta E, manovrabile dall'alto, si possono interrompere le comunicazioni dei tubi coll'acqua in moto. Superiormente i tubi A e A¹ comunicano fra loro per mezzo del tubetto orizzontale F, in cui è innestato un rubinetto G e un tubo di gomma, mediante il quale si può, con un'aspirazione, diminuire egualmente la pressione nel loro interno.

IMPIANTO DI STRA PER ESPERIENZE IDRAULICHE E LA TARATURA DEI MOLINELLI

Planimetria generale - Scala 1 a 2000

LEGGENDA.

- A — Uffici, laboratori, magazzini etc. della Sezione Fluviale e della Sezione Studi dell'Ufficio Idrografico - Aula dell'Istituto.
- B — Vasca per esperienze e la taratura dei molinelli.
- C — Pozzo artesiano.
- e — Tubazione di alimentazione della vasca.
- D — Pozzo delle saracinesche.
- E — Pozzetti di aerazione ed ispezione.
- F — Uffici dell'Istituto Idrotecnico - Centrale elettrica ed impianti per esperienze.
- G — Tettoie per esperienze.
- H — Chiavica di derivazione e scarico.
- I — Deposito del carrello per la taratura dei molinelli.
- L — Torrette per lo studio degli anemografi.

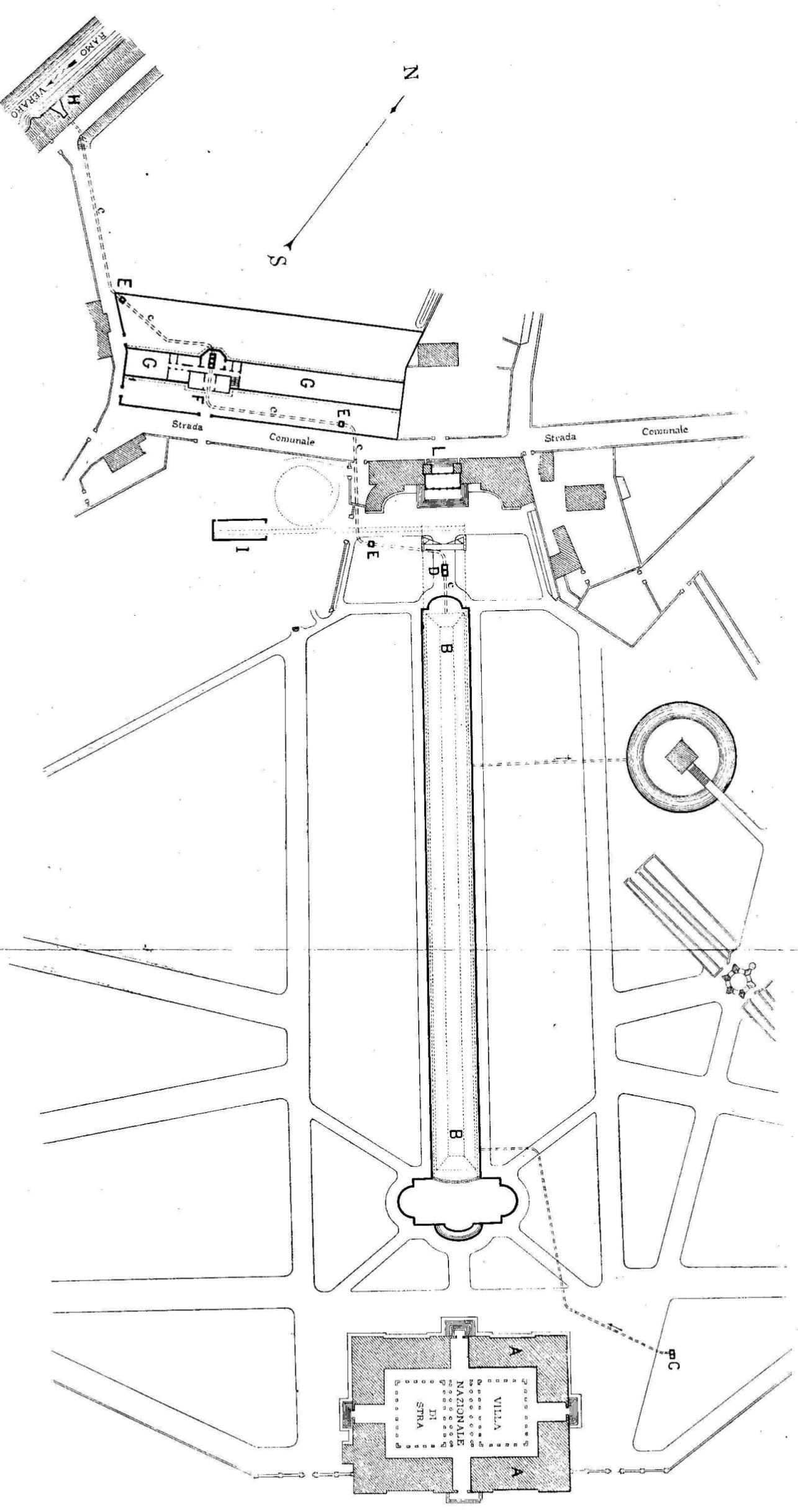


Fig. 20. — Vasca sperimentale di Stra

Immerso verticalmente lo strumento nel corso d'acqua alla profondità voluta, in modo che i due tubetti metallici siano rivolti contro corrente, si apre il rubinetto G, si aspira l'aria finchè l'acqua sale ad altezza conveniente, e quindi si chiude di nuovo G.

Quando il livello nei due tubi si dispone abbastanza costante, si chiude anche la chiavetta E, ed estratto lo strumento dall'acqua, si fanno le letture con due nonii.

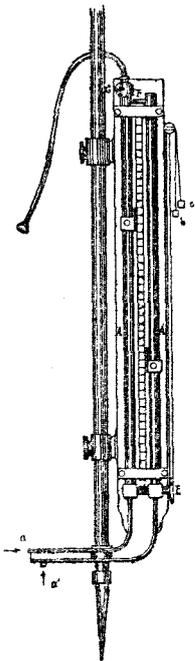


Fig. 21.

colari, di speciale interesse.

Però, anche così modificato, il tubo di Pitot presenta due gravi inconvenienti: non può venir impiegato per grandi profondità, e permette di determinare soltanto un valore istantaneo della velocità, cioè quel valore che la velocità presenta nell'istante in cui si chiude la chiavetta. Ora è noto che in ogni punto di una massa liquida in moto, la velocità subisce continuamente variazioni anche notevoli intorno ad un valore medio; sicchè l'applicazione del tubo di Pitot, per dare risultato attendibile, richiederebbe un gran numero di osservazioni ripetute per ogni punto.

Per queste ragioni l'uso di questo strumento è consigliabile soltanto quando si abbiano piccole altezze, nelle quali non si potrebbero adoperare altri apparecchi, e quando le velocità siano grandi e sensibilmente costanti.

Sui tubi di Pitot esiste una copiosa e recente bibliografia. Si eseguiranno quanto prima dall'Ufficio accurate ricerche per studiare l'utilizzazione di questo tipo di strumento, in alcuni casi parti-

3. *Reometri galleggianti.*

Questi reometri si dividono in due categorie: o sono costituiti semplicemente da molinelli collegati ad un galleggiante di forma opportuna, e allora la velocità si deduce dal numero di giri fatti, oppure sono dei veri e propri galleggianti, che seguono la corrente nel suo movimento, e allora la velocità si ottiene come rapporto fra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo. Tanto nell'uno che nell'altro caso, essi permettono soltanto di misurare la velocità alla superficie, o a piccola distanza dalla superficie del corso d'acqua:

da questa velocità si risale poi alla velocità media sulla verticale, oppure alla velocità media nella intera sezione con formule dedotte dalla teoria, o con altre puramente empiriche. Per misure sistematiche essi trovano presentemente applicazione soltanto in condizioni di piena, quando non è possibile adoperare gli altri tipi di reometri di cui si è già parlato.

I *molinelli a galleggiante* come già si è accennato non presentano particolarità costruttive che li differenzino notevolmente da tutti gli altri: essi vengono immersi generalmente in parecchi punti della sezione, in modo che si possa conoscere l'andamento della velocità superficiale del corso d'acqua.

Quanto ai *galleggianti propriamente detti*, nella loro forma più semplice si riducono ad un corpo, generalmente sferico, di ottone o di legno, cavo e più leggero dell'acqua, che si può convenientemente zavorrare in modo che rimanga quasi totalmente immerso, e non risenta la resistenza dell'aria o l'influenza del vento. Coi galleggianti si ricava la massima velocità superficiale, perchè essi si trasportano sempre nel filone anche quando non vi sono direttamente gettati.

Si hanno anche altre forme di reometri a galleggiante (galleggiante composto, asta ritrometrica) ma presentano poco interesse dal punto di vista pratico.

B) Metodi generalmente usati per la misura della velocità della corrente e per il calcolo delle portate

1. Lavori preliminari.

Parleremo soltanto di quelle operazioni che sono necessarie quando le misure vengono eseguite in una stazione permanente; e quindi risulta già perfettamente individuata la sezione del corso di acqua.

Su questa sezione si devono allora segnare le verticali di stazione, ossia le verticali sulle quali si determineranno poi le velocità, sempre scelte in modo che, cadendo l'una in corrispondenza al filone, le altre siano possibilmente disposte in modo simmetrico rispetto ad essa. Le due verticali esterne saranno, quanto più possibile, prossime alle sponde. La distanza fra le successive verticali si mantiene possibilmente costante; il valore dipende dalla larghezza del corso d'acqua e dalla maggior o minore regolarità del fondo, e

può variare da m. 0.50 per piccoli corsi d'acqua fino a 20-30 m. per fiumi molto larghi e profondi.

In prossimità della stazione dovrà trovarsi un idrometro, e meglio ancora un idrometrografo, che registri le variazioni subite dal livello liquido nell'intervallo fra due misure successive. Le segnalazioni dell'idrometro si noteranno sempre al principio, e alla fine della misura, e quando la misura stessa si prolunghi per un certo tempo, anche in istanti intermedi fra il principio e la fine.

Quando poi si tratti di corsi d'acqua, come il Mincio, a Peschiera, che escono da un lago, e quindi sono tuttora soggetti alle sesse, è assolutamente indispensabile un limnigrafo, che faccia conoscere le variazioni di livello avvenute durante la misura.

Altra operazione preliminare, che riesce sempre utile fare, è il collocamento di un certo numero di picchetti, immersi in parte nell'acqua, sulle due rive: questi picchetti, fra loro collegati altimetricamente mediante una livellazione, possono servire a rilevare le variazioni del pelo d'acqua durante la misura, ma soprattutto hanno lo scopo di far conoscere le pendenze superficiali in corrispondenza delle due sponde. Da queste pendenze si deduce poi quale sia approssimativamente il valore della pendenza del pelo liquido in corrispondenza al filone.

2. Esecuzione delle misure di velocità.

Per ogni verticale le velocità vengono misurate in un numero di punti sufficienti, perchè sia possibile tracciarne il diagramma senza incertezze. Quando si tratta di corsi d'acqua abbastanza regolari, la ripartizione dei punti di misura sopra una stessa verticale viene effettuata portando anzitutto il molinello a toccare il fondo, facendolo quindi risalire finchè il margine superiore della ruota coincide col pelo d'acqua; e interponendo poi, a distanze eguali, uno o più punti, secondo la profondità dell'acqua e l'approssimazione che si vuol raggiungere. È però buona norma che in prossimità del fondo le misure sieno più fitte perchè ivi sono maggiori le variazioni di velocità. Quanto alla durata di ogni misura, se si desiderano risultati molto esatti, è necessario soffermarsi per un certo tempo in uno stesso punto, perchè la velocità presenta, come già si disse, continue variazioni più o meno intense (fenomeno chiamato *pulsazione dell'acqua*): da molteplici esperienze risulta che questo tempo non dovrebbe essere inferiore ai 120 — 150 secondi.

Però quando si tratti solamente di misurare la portata di un corso d'acqua, e non si vogliono conoscere esattamente i valori della velocità nei singoli punti, si può ridurre notevolmente la durata dell'osservazione, senza che venga troppo diminuita l'esattezza del risultato finale, perchè interviene una certa compensazione fra gli errori delle diverse misure.

La effettiva misurazione della velocità può venir eseguita in diversi modi. L'Ufficio Idrografico ha finora seguito il sistema più semplice, di misurare mediante un cronoscopio (che segna $1/5$ di $1''$) il tempo che passa fra due successive segnalazioni del molinello, corrispondenti a 25, 50 e 100 giri compiuti dalle alette, secondo la velocità dell'acqua — naturalmente si ha sempre cura di riferirsi alla fine o al principio del tratto di tempo durante il quale la soneria si mantiene in azione.

Per la registrazione di tutti i risultati si usano appositi *libretti di campagna o brogliacci* che l'osservatore deve semplicemente riempire: si può vedere il tipo di questi brogliacci nella Appendice (allegato I°).

Riassumendo, nelle misure di velocità, per ogni verticale si devono eseguire successivamente le operazioni seguenti:

- misurare la distanza della verticale dalla riva;
- portare il molinello a toccare il fondo, osservando se la punta dell'asta sia infissa interamente, o semi, o non infissa;
- notare il numero di riferimento in profondità segnato sul quadrante dell'arganello oppure sull'asta (secondo che si adoperi un'asta fissa o sospesa);
- procedere alla misura del tempo impiegato a compiere i 25 o 50 o 100 giri secondo i casi;
- portare il molinello alla superficie, per modo che il suo margine superiore venga a sfiorare il pelo liquido;
- notare il numero corrispondente di riferimento in profondità e procedere alla misura della velocità in questo punto;
- calcolata la profondità dell'acqua, che è rappresentata dalla differenza fra i due numeri di riferimento corrispondenti al fondo e alla superficie, suddividere questa profondità in intervalli uguali, non superiori ad 1 metro, e procedere ad una misura di velocità per ognuno di questi intervalli.

Sarà inoltre necessario, quando si tratti di fiumi soggetti a rapide variazioni di livello, notare anche l'ora alla quale hanno luogo

le singole osservazioni perchè sia poi possibile collegare i risultati di queste colle periodiche letture all'idrometro o col diagramma del limnigrafo o dell'idrometrografo.

Le operazioni che la misura esige riescono notevolmente semplificate quando si usa il supporto per più molinelli, studiato e costruito dall'Ufficio Idrografico.

Le segnalazioni contemporanee di tutti i molinelli vengono allora registrate automaticamente sopra il nastro di un cronografo multiplo, sul quale un cronometro batte contemporaneamente i secondi. Il circuito elettrico viene automaticamente interrotto ogni 100 secondi. Per ogni verticale il tempo richiesto per la misura viene dunque con questo sistema ridotto a quello che è necessario per una sola osservazione di velocità.

3. *Calcolo delle portate in base ai risultati delle misure di velocità.*

Metodi analitici. — Come si è detto, la portata di un corso d'acqua è rappresentata dal volume liquido che attraversa una sezione normale nella unità di tempo, ossia del solido che si genera quando si portino a partire da ogni punto della sezione e normalmente ad essa dei segmenti uguali alla velocità che ivi si verifica. Le misure di velocità permettono di individuare con sufficiente esattezza questo solido, e i differenti metodi analitici di calcolo, che ora brevemente riassumeremo, sono fondati semplicemente sulle diverse ipotesi geometriche colle quali il solido stesso può venir completato, e quindi calcolato.

Così, col *metodo dei tronchi di cono*, si ritiene che il volume d'acqua, che passa attraverso la parte di sezione compresa fra due verticali contigue nell'unità di tempo, sia rappresentato dal solido racchiuso, dalla porzione di sezione considerata, dal fondo, dalla superficie del corso d'acqua, dai due diagrammi delle velocità lungo le verticali considerate e infine dalla superficie che verrebbe generata da una retta che si spostasse appoggiandosi ai due diagrammi stessi. Questo volume allora si calcola come quello di un tronco di cono avente per basi i due diagrammi delle velocità lungo le verticali: dette quindi Ω e Ω' le aree di due diagrammi contigui, distanti di y , la portata totale sarà espressa da :

$$Q = \frac{1}{3} \Sigma (\Omega + \Omega' + \sqrt{\Omega \Omega'}) y$$

Se lo stesso volume si ritiene uguale a quello di un cilindro avente per altezza la distanza y , e per base la media dei due diametri (*metodo dei cilindri*) si ha per Q l'espressione :

$$Q = \Sigma \left(\frac{Q + Q'}{2} \right) y$$

Col *metodo della rete* si ritiene invece che attraverso ognuna delle figure, triangolari e quadrangolari, nelle quali risulta scomposta la sezione dalle verticali e orizzontali di misura, passi nell'unità di tempo un volume liquido dato dal prodotto dell'area della figura stessa per la media delle velocità ai vertici.

Però il valore così ricavato per la velocità è generalmente approssimato in difetto.

Il solido che individua la portata può esser anche definito mediante le *linee isotachie* o *linee di ugual velocità* (v. fig. 22) che fa-

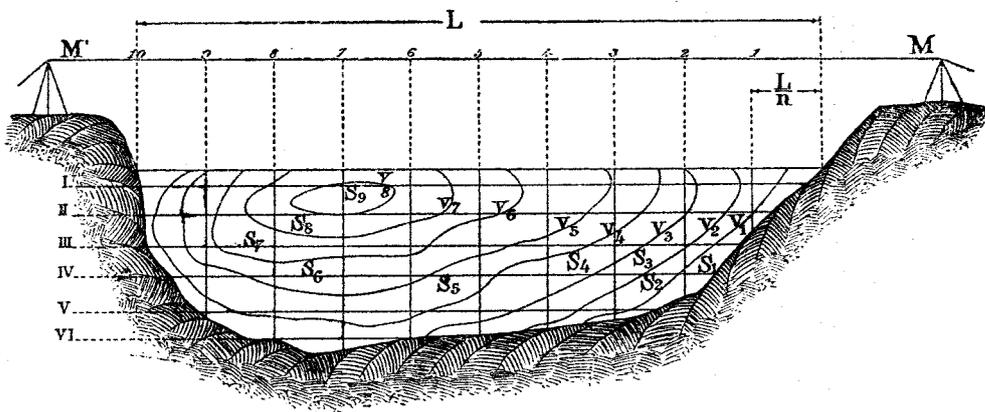


FIG. 22.

cilmente si ricavano congiungendo i punti delle singole verticali, cui compete uno stesso valore della velocità. La superficie che limita il solido di portata (che potrà dirsi *superficie delle velocità*) risulta evidentemente individuata dalle linee isotachie come una superficie topografica lo è dalle curve di livello. Il volume del solido stesso potrà esprimersi come dato dalla somma dei volumi di tanti tronchi di piramide, ognuno dei quali ha per base le figure limitate da due successive isotachie, e per altezza la differenza fra le velocità cor-

rispondenti. Dette pertanto, ω , ω_1 le aree limitate da due successive isotachie, δv la loro distanza; la portata risulta:

$$Q = \frac{1}{3} \Sigma (\omega + \omega_1 + \sqrt{\omega \omega_1}) \delta v$$

Più comunemente però si ammette che il volume passante attraverso la parte di sezione limitata da due successive isotachie nell'unità di tempo sia espresso dal prodotto dell'area così limitata per la media delle velocità corrispondenti alle due isotachie: si ottiene allora un valore approssimato per eccesso.

Metodo grafico. — Dei metodi fin qui esposti si fa raramente applicazione in pratica: di solito si ricorre al metodo grafico, che fu anche sempre seguito dall'Ufficio Idrografico del R. Magistrato, e che presenta su tutti gli altri indiscutibili vantaggi per semplicità ed anche per esattezza. Esso richiede le operazioni seguenti:

a) disegno dei diagrammi della velocità lungo le verticali di misura: per questi diagrammi si adotta la scala 1 a 10 (oppure quella di 1 a 20 per le ordinate (profondità), e 1 a 5 per le ascisse, quando si tratti di corsi d'acqua profondi, e dotati di velocità moderata) per modo che in ogni caso le aree risultino rappresentate nella scala 1 a 100;

b) determinazione delle aree racchiuse dai diagrammi stessi, per mezzo di planimetro o con formule;

c) disegno di un ultimo diagramma (*diagramma delle portate*) nel quale si assumono come ascisse le distanze delle successive verticali da una delle rive, come ordinate le aree corrispondenti (espresse in metri quadrati) prima determinate. Nel disegno si adotterà per le ascisse la scala 1 a 100 (o 1 a 10, secondo la larghezza della sezione.) Per le ordinate la scala di 1 cm. per 0.1 mq. e più raramente, per piccoli corsi d'acqua, anche scale più grandi, per esempio 1 cm. per 0.05 mq.;

d) determinazione dell'area racchiusa fra la curva disegnata e l'asse delle ascisse, che rappresenta il pelo liquido.

È facile dimostrare che quest'area risulta proporzionale, secondo un determinato rapporto, dipendente dalle scale adottate, alla portata Q del corso d'acqua. Se così p. es. sono state adottate le scale 1 a 100 per le ascisse, di 1 cm. per 0.5 mq. per le ordinate, ad ogni cm² della superficie del diagramma corrisponderanno $1,000 \times 0.5 = 0.5$ mc.

Nella fig. 23 si possono vedere rappresentate, tutte le operazioni ora descritte: e precisamente fu disegnato il diagramma delle velocità per la verticale MM' , congiungendo con una curva a sentimento gli estremi dei segmenti che rappresentano le velocità nei punti m_1, m_2, \dots, m_6 ; quindi l'area di questo diagramma, corrispondente al prodotto della profondità p per la velocità media u , ridotta secondo il rapporto α , fu riportata normalmente alla linea di pelo SS , in $M\gamma$.

Ripetendo l'operazione per tutte le verticali, si ottengono così

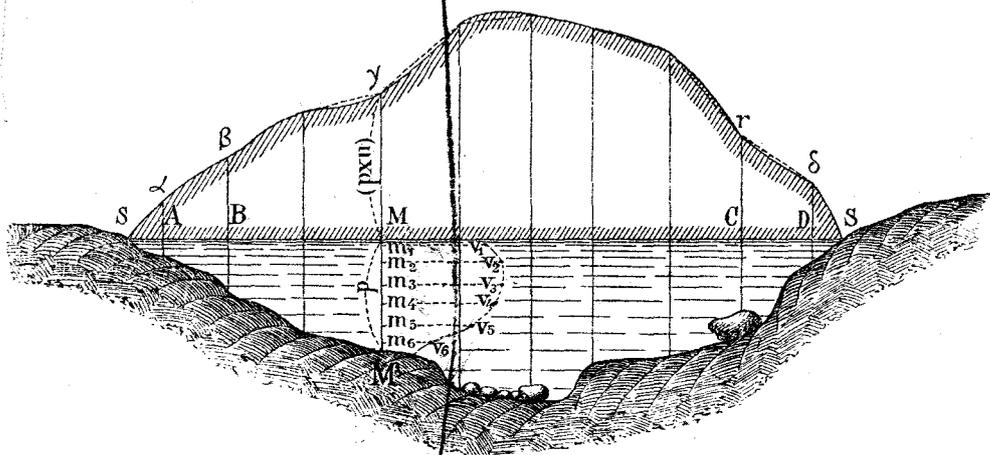


FIG. 23.

tutti i punti $\alpha, \beta, \dots, \gamma, \delta$, che fra loro congiunti pure con una curva a sentimento, hanno fornito il diagramma delle portate.

Come esempio nella Appendice (allegato 2°) si trovano riprodotti i calcoli di una misura di portata eseguita sul Piave a Segusino il 7 marzo 1914.

C) Metodi accelerati per la misura e per il calcolo delle portate

Al metodo ordinario, dianzi descritto, si ricorre sempre quando dalla misura si vogliono ottenere risultati abbastanza esatti, e si desidera anche conoscere come le diverse velocità sono distribuite nella sezione liquida. Il tempo richiesto da ogni misura, e dai calcoli relativi, è però sempre piuttosto grande, e sono stati proposti diversi metodi, sia per ridurre le operazioni, come per semplificare il calcolo della portata.

In casi eccezionali, per corsi d'acqua soggetti a rapide e improvvise variazioni di portata, nei quali importa ridurre più che sia possibile la durata delle operazioni, oppure per misure isolate e sommarie, si può ricorrere ad un metodo accelerato, che consiste nel misurare le velocità U_n , U_m , U_p in tre soli punti della sezione, disposti come appare dalla figura 24: la velocità media si calcola allora colla formola :

$$u = \frac{S_n U_n + S_m U_m + S_p U_p}{S}$$

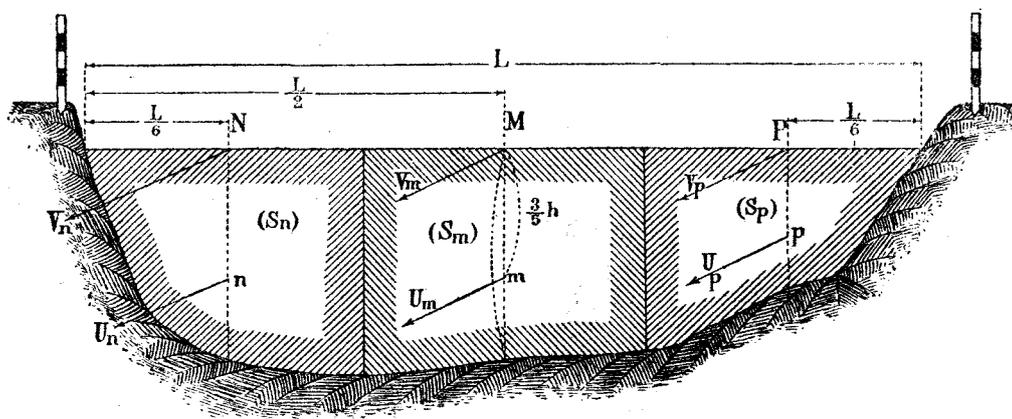


FIG. 24.

Naturalmente i risultati non presentano una grande attendibilità.

Molto più esatto è un altro sistema che, pur esigendo un certo numero di osservazioni permette di ridurre notevolmente i calcoli; per ogni verticale si misurano le velocità, non al fondo ed alla superficie e quindi in punti intermedi fra loro equispaziati, per modo che la verticale risulti suddivisa in altrettanti segmenti di lunghezza costante, ma nei punti di mezzo di questi segmenti. Si misurano cioè le velocità che, nella figura 25 rappresentante il diagramma delle velocità lungo una verticale, sono segnate a tratteggio, invece di quelle segnate a tratto continuo; e si assume poi per velocità media lungo la verticale, la media dei risultati forniti dalle singole misure. Mantenendo un valore costante alla distanza fra le verticali, la media di tutte le velocità si può assumere con approssimazione come la velocità media nella sezione.

Ricordiamo infine il metodo per integrazione: come già è stato

accennato, riesce utile per corsi d'acqua molto profondi e dotati di velocità moderata. Il procedimento sommariamente descritto, è il seguente :

Si sposta il molinello lungo l'asta con velocità costante, dalla superficie fino al fondo, o viceversa, dal fondo alla superficie : e si misura con un contagiri il numero N di giri compiuti dalle alette durante l'intera escursione. Si può dimostrare che se t è il tempo impiegato nella discesa, il numero :

$$n = \frac{N}{t}$$

sostituito nella formola del molinello fornisce la velocità media nella verticale (1). Così, senza costruire l'intero diagramma delle velocità si ha modo di conoscere la velocità media nelle diverse verticali.

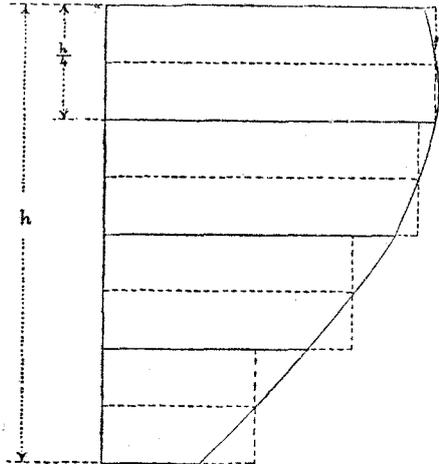


FIG. 25.

L'applicazione di questo metodo richiede, oltre ai soliti strumenti già descritti, alcuni apparecchi accessori, e cioè uno speciale arganello che permetta di spostare verticalmente lo strumento con velocità sensibilmente uniforme, un contatore elettrico di giri, possibilmente accompagnato con un cronoscopio, per la misura del tempo impiegato nella discesa. Inoltre il molinello deve esser fornito del cosiddetto contatto di fondo che mette in azione una sone-ria, non appena lo strumento raggiunge il fondo.

I risultati sono buoni soltanto in casi particolari, per la difficoltà di ottenere velocità uniforme nella discesa del molinello e perchè non è possibile tener conto della pulsazione dell'acqua.

(1) Questo sussiste in modo rigoroso finchè la formola del molinello è del tipo $v = an + b$: in altri casi si può accettare soltanto in prima approssimazione.

D) Misure con galleggianti

Si distinguono, come già s'è detto, in galleggianti propriamente detti, e in reometri a galleggiante.

Coi primi può essere determinata soltanto la massima velocità superficiale, giacchè il galleggiante è sempre sollecitato a portarsi nel filone. — Per l'esecuzione di questa misura, scelto sul corso d'acqua un tratto regolare e rettilineo, di lunghezza non inferiore ai 50 metri per canali artificiali, ai 100-150 per corsi naturali, si individuano due sezioni trasversali e quindi si getta il galleggiante in acqua un po' a monte della prima sezione, per modo che, quando arrivi in essa, abbia potuto portarsi nel filone: si misura quindi il tempo t impiegato a percorrere lo spazio s fra le due sezioni, e si ricava

$$v = \frac{s}{t}$$

L'operazione deve naturalmente esser ripetuta più volte, assumendo poi come velocità del filone la media dei valori ottenuti.

Nota la massima velocità superficiale v , la velocità media U nella sezione in prima approssimazione si può ritenere:

$$U = 0.75 v \div 0.80 v$$

Altre espressioni più esatte furono date, fra le quali degna di nota quella di Bazin:

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

dove R è il raggio medio, i la pendenza.

La portata è allora rappresentata dal prodotto della velocità media, per l'area della sezione liquida, del corso d'acqua.

Coi reometri a galleggiante si misura la velocità superficiale in corrispondenza a parecchi punti dello specchio liquido: da questa si risale mediante formole teoriche o empiriche alla velocità media lungo le corrispondenti verticali, e quindi alla portata.

Lo strumento viene lanciato in acqua da un ponte od altro manufatto che si presti all'uopo, e quindi manovrato mediante un'apposito arganello sul quale si avvolge il cavo conduttore.

Quando non esistano ponti, si può ricorrere ad un dispositivo, usato già da molto tempo da parecchi Uffici Idrografici stranieri, che permette la manovra dello strumento dalle rive.

Attraverso il corso d'acqua vien tesa una fune metallica, ed a questa viene applicata una specie di carrello mobile (v. fig. 26), a cui arriva il cavo che porta appeso il galleggiante col molinello.

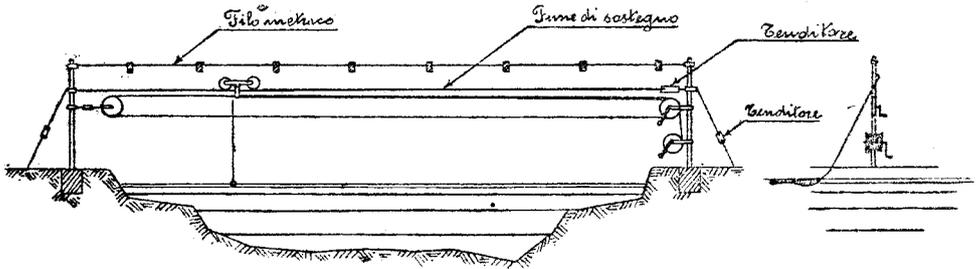


FIG. 26.

Il carrello mobile può esser portato nella posizione che si desidera per mezzo di una fune senza fine, che gira attorno a due puleggie disposte sulle due rive; il cavo lo segue nel suo movimento, svolgendosi da uno dei soliti arganelli a contatti striscianti.

CAP. V.

MISURA DELLE PORTATE MEDIANTE MISCELE CHIMICHE

L'impiego del molinello, o l'applicazione di uno stramazzo misuratore non danno risultati soddisfacenti, quando il corso d'acqua da misurare sia un torrente alpino, perchè le costanti dello strumento vengono facilmente alterate dalle alluvioni che la corrente trasporta sempre in gran copia, e perchè non è facile tener conto delle perdite dovute alle infiltrazioni attraverso le sabbie e le ghiaie. Inoltre, la velocità ha di solito valori notevoli, il moto è irregolare, e facilmente vorticoso, e la portata non ha un valore istantaneo costante, ma oscilla attorno ad un valore medio.

In questi casi si ricorre con vantaggio al metodo chimico. In un certo punto opportunamente scelto, si immette nel corso d'acqua una soluzione salina concentrata (detta *soluzione iniziale*) di titolo perfettamente noto, e con portata rigorosamente costante: si raccolgono quindi, a conveniente distanza, dei campioni d'acqua, e si misura il grado di diluizione assunto dalla soluzione dopo il miscuglio colle acque del torrente (*soluzione finale*). Se Q e q sono le portate del corso d'acqua e della soluzione iniziale, c è la concentrazione di questa,

C quella della soluzione finale, si ha evidentemente $\frac{Q-q}{q} = \frac{c}{C}$ o approssimativamente essendo q molto piccolo rispetto a Q

$\frac{Q}{p} = \frac{c}{C}$ da cui si deduce Q misurando c , C , e q .

Il metodo di misura delle portate mediante miscele chimiche fu proposto per la prima volta da Côte e Bellet, e descritto dettagliatamente da Boucher e Mellet.

Per formare la soluzione concentrata fu finora adoperato cloruro di sodio, accuratamente depurato da ogni sostanza estranea.

Perchè i risultati sieno soddisfacenti sono necessarie le tre condizioni seguenti:

1. Il versamento della soluzione iniziale deve avvenire con portata rigorosamente costante e perfettamente nota. A tale scopo la soluzione si forma in un recipiente V di sezione e volume piuttosto

grandi (v. fig. 27) e passa in un altro v , di sezione più piccola, dal quale si versa nel corso d'acqua attraverso un piccolo foro: uno sfioratore mantiene su di questo un carico costante. La portata viene poi misurata direttamente, con recipienti di noto volume.

2. La miscela della soluzione iniziale colle acque del torrente deve avvenire in modo perfetto. Questa condizione, facile a verificarsi, in torrenti impetuosi, di non grande portata, non si realizza affatto quando si tratta di fiumi grandi e regolari.

3. Devono essere perfettamente noti i titoli delle due soluzioni, iniziale e finale. Per la determinazione del titolo di quest'ultima, sempre molto diluita, si ricorre all'analisi volumetrica perchè di applicazione più facile e più rapida.

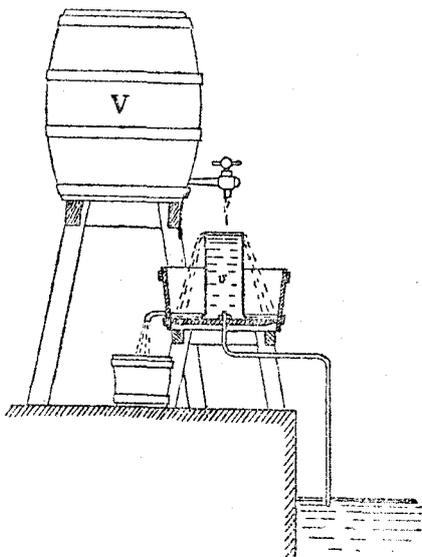


FIG. 27.

APPENDICE

ORGANIZZAZIONE DEL SERVIZIO DI MISURA DELLE PORTATE PRESSO L'UFFICIO IDROGRAFICO.

Le misure vengono eseguite da personale apposito dell'Ufficio. Idrografico. Ogni stazione di misura è affidata ad un apposito consegnatario, che generalmente funziona anche da osservatore idrometrico.

Per la scelta del giorno in cui eseguire le misure vengono seguiti due diversi criteri secondo che si tratta di corsi d'acqua stabili, pei quali è possibile calcolare una scala di deflusso, oppure di fiumi o torrenti a fondo mobile.

Per i primi importa soprattutto di avere i valori della portata in corrispondenza a diverse altezze idrometriche, non troppo discoste fra loro e comprese fra la minima magra e la massima piena. Il consegnatario della stazione è allora incaricato di avvertire telegraficamente l'Ufficio non appena il livello liquido ha subito una variazione superiore ad un limite prefissato, dopo l'ultima misura eseguita, e soltanto in base a tali comunicazioni il caposervizio ordina l'esecuzione della misura.

L'entità della variazione limite è fissata specialmente avendo riguardo ai massimi dislivelli che nel corso d'acqua possono manifestarsi passando dalla magra alla piena: essa varia secondo i casi fra 5 e 20 centimetri.

Invece nei corsi d'acqua a fondo mobile, nei quali le letture all'idrometro non forniscono criterio alcuno per giudicare della portata, bisogna render più frequenti e sistematiche le misure in modo che da esse si ottenga direttamente quel numero di elementi che è necessario per conoscere con una certa approssimazione il regime dei deflussi.

In questi casi il consegnatario della stazione è semplicemente incaricato di preparare in giorni determinati di ogni mese (non mai meno di due volte al mese) l'impianto, informando l'Ufficio delle condizioni del fiume ed avvertendolo quando, per piene forti, ritenga impossibile l'esecuzione della misura.

Gli operatori durante la loro permanenza fuori di sede tengono giornalmente informata la Direzione dell'andamento delle operazioni, mediante un giornale di campagna e tornati alla sede, sviluppano i calcoli in base ai risultati delle osservazioni, raccolti negli appositi brogliacci (allegato 1°).

Questi calcoli vengono sottoposti a tutti quei controlli e quelle verifiche che l'importanza delle misure rende necessarie e sono depositati nell'archivio dell'Ufficio Idrografico, mentre i risultati vengono anzitutto pubblicati nel Bollettino mensile dell'Ufficio e a seconda del caso raccolti e studiati in speciali pubblicazioni.

UFFICIO IDROGRAFICO DEL MAGISTRATO ALLE ACQUE

Bacino..... Corso d'acqua.....

MISURA DI PORTATA

eseguita nella località.....

il giorno..... dalle ore..... alle ore.....

Strumento impiegato.....

Metodo impiegato.....

Osservazioni all'idrometro di stazione: al principio della misura.....

(ore.....): alla fine..... (ore.....)

Osservazioni ad altri idrometri.....

Condizioni atmosferiche.....

Operatori.....

L' OSSERVATORE

Osservazioni.....

Verticale N.....			Distanza dalla riva..... m.....		
Distanza dalla precedente m.....					
Ora dell'inizio delle misure nella verticale.....					
Profondità dell'acqua m.....			Punta.....		
Riferimento in profondità	Numero dei giri	Durata dell'osservaz.	Riferimento in profondità	Numero dei giri	Durata dell'osservaz.
I osservaz.			V osservaz.		
II osservaz.			VI osservaz.		
III osservaz.			VII osservaz.		
IV osservaz.			VIII osservaz.		

UFFICIO IDROGRAFICO DEL R. MAGISTRATO ALLE ACQUE

Bacino VI

Corso d'acqua Piave

MISURA DI PORTATA

eseguita nella località *Segusino*

il giorno 7 marzo 1914 dalle ore 9 alle ore 11

Strumento impiegato *Molinello "Ott.", N. 1759*

Sue caratteristiche $p. n. < 2. l: v = 0.153 n. + \sqrt{0.0121 n^2 + 0.0025}$
 $p. n. > 2. l: v = 0.266 n.$

Osservazioni Idrometriche: Idrometro di stazione:

inizio (+0.57): fine (+0.565)

Idrometro Ponte di Fener: inizio (+0.70): fine (+0.70).

Portata Mc. 99.4

Sezione liquida. . . mq. 67.10 || Velocità media . . . m. 1.48

Velocità mass. superf. m. 2.19 || Velocità media superf. m. 1.54

Profondità media . . m. 0.96 ||

Annotazioni

Operatori *Ing. G. De Marchi, Capo Tec. A. Barzan, mecc. E. Taschin*

Il Calcolatore

f.to Lorenzi

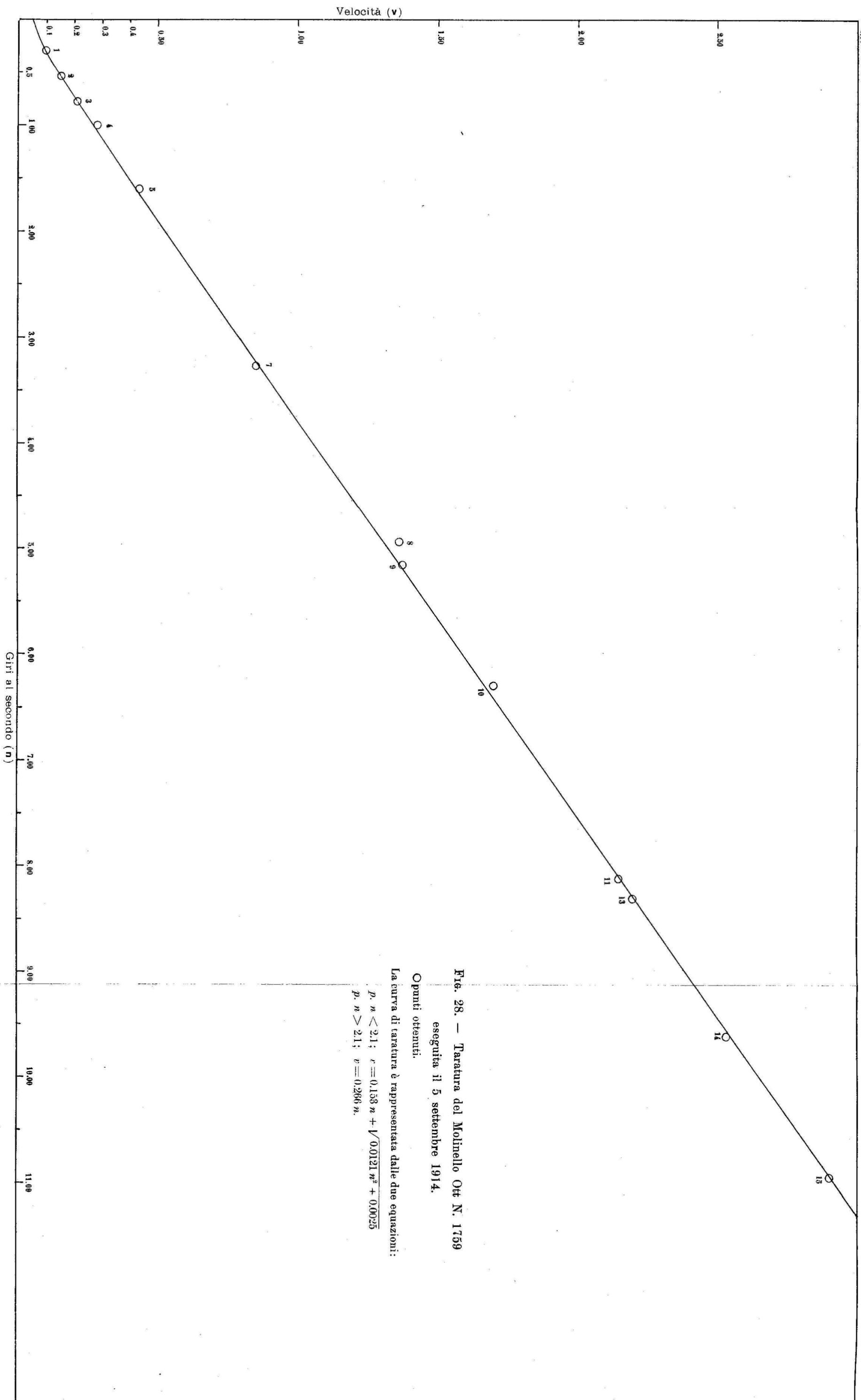


Fig. 28. — Taratura del Molinello Ott N. 1759
 eseguita il 5 settembre 1914.

Opunti ottenuti.

La curva di taratura è rappresentata dalle due equazioni:

$$p. n < 2.1; \quad v = 0.153 n + \sqrt{0.0121 n^2 + 0.0025}$$

$$p. n > 2.1; \quad v = 0.266 n.$$

Calcolo grafico della portata a Segusino (fiume Piave)

7 Marzo 1914

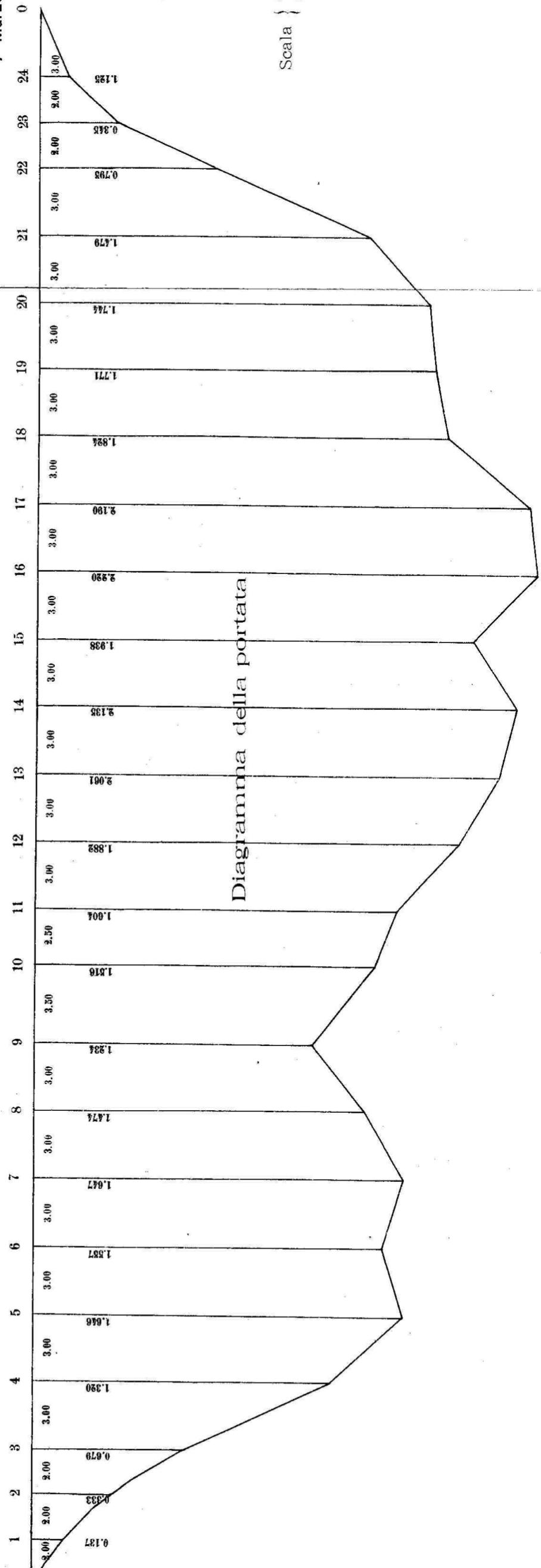
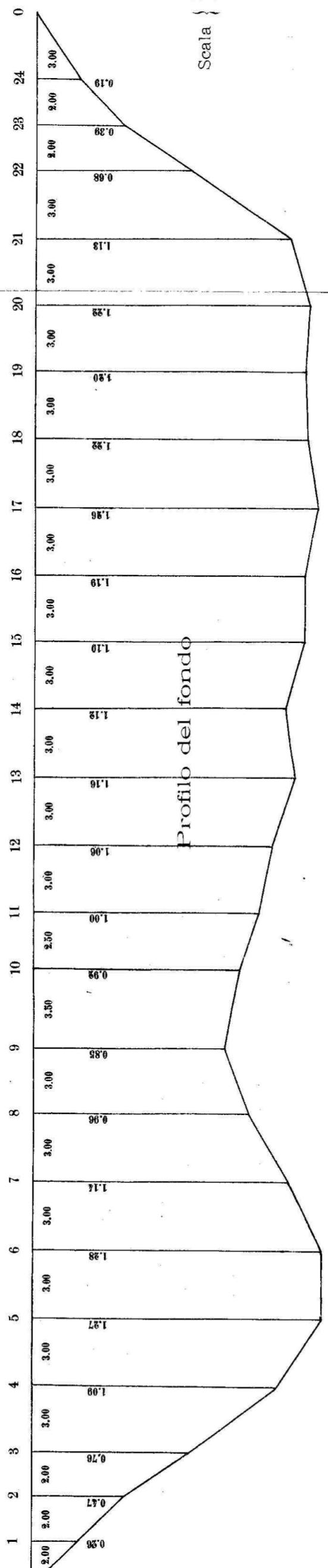


Diagramma della portata

Scala { p. le ascisse 1 a 200
p. le ordinate 1 cm. per 0,2 mq.



Profilo del fondo

Scala { p. le ascisse 1 a 200
p. le ordinate 1 a 20