

G 43

DISSERTAZIONE

PRESENTATA

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

della R. Scuola d'applicazione per gl'Ingegneri in Torino

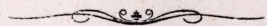
DA

MEANO CESARE

DA GRAVERE (SUSA)

per ottenere il diploma

DI INGEGNERE LAUREATO



TORINO, 1869

TIPOGRAFIA C. FAVALE E COMP.

ALLA SACRA E VENERATA MEMORIA
DI MIO PADRE DI MIA MADRE . . .

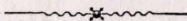
ALLE TUE CURE
MIA SECONDA MADRE
DEBBO LA GIOIA DI QUESTO GIORNO
E TUTTA A TE
LA CONSACRO

CENNI

SUI PRINCIPALI MEZZI ADOPERATI

PER GLI

AGGOTTAMENTI



I.

Le fondazioni idrauliche nei siti in cui l'altezza dell'acqua non è molto considerevole si eseguono ordinariamente mediante *turre*, cioè col mezzo di argini costrutti nel letto di un fiume, d'un lago o del mare, si circonda l'area designata per la fondazione e poi con opportuni mezzi di prosciugamento, se ne estrae l'acqua racchiusa, non che quella che di mano in mano si va introducendo per filtrazione, e quello spazio resta così ridotto in condizione tale da potersi in esso lavorare all'asciutto e procedere così all'esecuzione di una data opera coi metodi ordinari anche sotto il livello del liquido circostante. Così si praticò nella fondazione del ponte sul Po presso Valenza lungo la ferrovia da Alessandria ad Arona, ed in molti altri grandiosi ponti italiani ed esteri come avremo occasione di vedere.

L'operazione di espellere l'acqua e di tenere asciutto un cavo od uno stagno in cui vuolsi praticare un lavoro di fondamenti

chiamasi in pratica *aggottamento*, ed i mezzi che si impiegano per condurla a compimento si dicono *apparati idrovori*.

Molti sono i mezzi che si possono impiegare per attingere acqua da un recipiente e sollevarla ad altezze più o meno considerevoli, ma non tutti possono servire per gli aggotamenti; infatti le macchine a quest'uso destinate devono offrire delle proprietà particolari indipendenti dalle proprietà generali che convengono a tutte le macchine per elevare i liquidi; così per es. gli apparati idrovori devono prestarsi alle variazioni che avvengono durante il lavoro al livello dell'acqua nel cavo; non devono esigere pel loro impianto un cavo troppo spazioso nè troppo profondo, sia per le difficoltà che sempre si incontrano nell'eseguirlo, sia per le filtrazioni che per solito diventano più considerevoli a misura che si aumenta la profondità; devono essere facili a traslocarsi e potersi speditamente ammanire e soprattutto non obblighino a gravose manutenzioni le quali oltre ad occasionare esse stesse ingenti spese, danno pure luogo spesso ad interruzioni nel lavoro, rendendo così inoperosi gli operai impiegati nell'aggottamento.

L'ingegnere incaricato di eseguire opere di aggotamento per non andare incontro ad amare disillusioni e non correre pericolo di sprecare il tempo sempre prezioso, ma ancora di più in questi casi, e per non moltiplicare male a proposito considerevoli spese, deve andare cauto e guardingo nella scelta della macchina idrovora ad adoperarsi e deve prima di tutto paragonarle sotto molti e diversi aspetti e dietro minuto ed accurato esame decidere quale di esse sia più conveniente pel proprio caso, e se non sia alle volte utile l'impiegarne diverse nel tempo stesso; così la convenienza di una piuttosto che di un'altra di queste macchine, dipenderà dal maggiore o minore volume d'acqua da espellersi, dalla maggiore o minore altezza a cui dovrà essere portata, e molte volte accadrà che parecchie specie di queste macchine potranno essere impiegate indistintamente nelle stesse circostanze, allora per scegliere fra queste quella che si dovrà adottare, converrà paragonarle sotto il rapporto della perdita totale di lavoro che ciascuna di esse potrà occasionare per sua natura, ed anche sotto il rapporto

della maggiore o minore facilità di installazione e manutenzione che ciascuna d'esse presenta; si dovrà badare che se la macchina non deve funzionare che momentaneamente per essere poi tolta e traslocata, allora la facilità d'installazione deve entrare per la massima parte nella scelta a farsi, se invece la macchina dovrà dimorare nel luogo dove fu ammanita e qui funzionare per un tempo un poco lungo, allora si dovrà soprattutto cercare di diminuire il più che sarà possibile le perdite di lavoro ed adottare quella che sarà capace di produrre sotto questo rapporto la maggiore economia. Inoltre ognuno sa che il meccanico per rendersi conto della bontà rispettiva delle diverse macchine, esamina quella che produce un dato effetto colla minore forza o in altre parole quella in cui l'effetto utile è il più grande rispetto al lavoro speso dal motore: ma questo punto di vista qui non basta, poichè quella macchina che sotto questo aspetto pare la più difettosa, può essere spesso di un impiego vantaggiosissimo, il che è prodotto dal potere applicare a tale macchina un motore il cui prezzo è assai minore di quello del motore di una buona macchina. Questa differenza di prezzo dei motori molte volte compensa e di gran lunga il prezzo a cui viene l'effetto utile, l'inferiorità che risulta nella proporzione dell'effetto utile al lavoro speso. È dunque necessario per completare il paragone delle macchine idrovore di valutare per ciascuna di esse il prezzo dell'acqua sollevata, avendo riguardo alla spesa giornaliera del motore oltre alle altre spese di stabilimento e manutenzione della macchina.

Ciò posto non mi resta che a studiare partitamente gli apparati idrovori più frequentemente adoperati, essi si riducono a pochi e secondo il prof. Curioni, quelli che vengono adoperati a braccia d'uomini senza il sussidio di alcun meccanismo sono le *secchie*, le *bigonce*, le *gotazze* ed altri simili mezzi: e le macchine idrovore sono le *norie*, i *bindoli idraulici verticali ed inclinati*, i *timpani idrovori*, le *ruote idrovore a palmette*, le *ruote idrovore a cassette*, le *coclee idrovore* e le *pompe o trombe*.

Io considererò dunque ciascuna di queste varietà di macchine idrovore, ne spiegherò brevemente la struttura ed il modo

d'agire, esporrò succintamente qualche cenno di teoria per quelle fra dette macchine per cui l'applicazione dei principii della meccanica ed idraulica ha maggiore importanza, accennerò i risultati delle esperienze che ho potuto raccogliere e da questi dedurrò l'effetto che può ottenersene; paragonando poi questo effetto col lavoro sviluppato dalla macchina, ne dedurrò la spesa effettiva che si richiede per ottenere lo stesso effetto con ciascuna di esse macchine e così si potrà avere un criterio per scegliere in casi particolari, in parità di condizioni, piuttosto una che qualsivoglia altra delle macchine stesse.

II.

Apparati a braccia d'uomini. — Quando si tratta di sollevare l'acqua ad altezze non maggiori di 1^m,50 o di 2^m al più, allora l'aggottamento si fa per mezzo di secchie, di bigonce, di gotazze o di altri somiglianti mezzi che, come già dissi, vengono adoperati a braccia d'uomini senza il sussidio di alcun meccanismo.

Le secchie sono adoperate da un solo uomo che per solito si mette nel bacino a disseccarsi: esse sono costrutte in metallo od in legno; se in metallo hanno d'ordinario la forma cilindrica e sono di rame o di latta con un manico di ferro; se sono in legno hanno la forma di un tronco di cono con lieve differenza nella grandezza delle basi, esse sono formate mediante doghe riunite da cerchi di ferro intorno ad un disco di legno che costituisce il fondo del vaso.

Si adoperano pure dei cesti di vimini incamiciati internamente di cuoio, con due manici, e secondo il Borgnis si fa di questi grande uso a Venezia quando si tratta di aggottare dei recipienti le di cui sponde non si elevano più di 1^m,95 a dir molto sul livello dell'acqua contenuta.

Le bigonce sono costrutte come le secchie in legno e da que-

ste non differiscono che per le loro maggiori dimensioni e vengono maneggiate da due uomini.

Le gotazze altro non sono che cucchiaie di legno con manico diritto. Se la gotazza è piccola ed ha breve manico viene manovrata da un solo operaio, che immerge la cucchiaia nell'acqua, la solleva verticalmente, innalzando così l'acqua che in essa si trova, e la getta fuori del cavo. Questa piccola gotazza detta *gottazuola* è molto in uso nella marina, ed i Veneziani, nel loro vernacolo la dicono *sessola*. Se la gotazza ha tali dimensioni da non potersi agevolmente maneggiare a braccia d'uomini, allora si sospende pel manico con una fune alla cima di un castello piramidale, composto di tre pertiche fitte in terra ed aventi le loro sommità riunite mediante una stretta legatura, e costituisce allora la gotazza a castello, che i Francesi chiamano *hollandaise* e viene per lo più maneggiata da due operai.

In alcune classiche costruzioni idrauliche vennero pure adoperati gli altaleni idraulici e la conchetta di cui parla il Borghis, ma il Gauthey, il Cavaliere, il prof. Curioni ed altri distinti autori non ne consigliano l'uso, perchè questi apparati idrovori utilizzano solo una piccolissima parte della forza motrice, occupano uno spazio soverchio, sono malagevoli a trasportarsi, agitano fortemente le acque nel cavo, danneggiando così le opere murali di fresco eseguite a motivo delle malte che sciolgono e del calcestruzzo che dilavano, e finalmente danno luogo a spese abbastanza considerevoli per il loro impianto e manutenzione, spese che non sono poi compensate dallo scarso effetto utile; egli è per questi motivi che i moderni costruttori non li adoperano nelle opere di aggettamento, ed io mi contento di averli semplicemente accennati.

Dietro le esperienze di Perronet fatte nella fondazione del ponte d'Orleans e riferite dal Gauthey si può dedurre che un uomo lavorando colle secchie o con altri simili vasi, non possa innalzare più di m. c. 46 d'acqua ad 1 m. di altezza per giorno, e poichè l'azione effettiva dell'uomo in simile manovra corrisponde a m. c. 70 sollevati alla stessa altezza e nello stesso tempo, così il rapporto tra l'effetto ottenuto ed il lavoro speso sarebbe 0,657, si perde cioè $\frac{1}{3}$ del lavoro speso.

Ritenendo che sia di m. c. 46 elevati ad 1 m. di altezza, l'effetto reale giornaliero d'un uomo impiegato a vuotare un recipiente con secchie, e detta m , la mercede giornaliera dell'operaio, il costo di ciascun metro cubo sollevato a detta altezza sarà $\frac{m}{46} = 0,0218 m$.; ritenendo poi che per la compra e manutenzione degli strumenti, occorra una spesa di L. 0,001 per ogni m. c. d'acqua estratta, il costo complessivo del m. c. d'acqua elevato ad 1 m. di altezza sarà L. $0,0218 m + 0,001$.

In quanto all'impiego delle gotazzuole non potei rinvenir esperienze da cui poter dedurre l'effetto prodotto in un dato tempo da un uomo occupato ad aggottare con tale strumento e stabilire così il prezzo del m. c.; in quanto alla gotazza a castello, secondo Belidor, si può ritenere che i due uomini ad essa addetti sollevino giornalmente m. c. 185 all'altezza di 1^m,30, ossia m. c. 120 circa elevati in un giorno ad 1^m di altezza da ciascuno degli uomini: ciò posto detta m la mercede giornaliera e ritenuto che la compra e la manutenzione della gotazza importi per ogni m. c. la stessa spesa che le secchie, si potrà ritenere che ogni m. c. d'acqua elevato ad 1^m di altezza venga a costare L. $0,0083 m + 0,001$, ed il coefficiente di rendimento sarebbe 0,70, poichè si può ritenere che in tale manovra ogni uomo sia capace di sollevare 170 m. c. ad 1^m di altezza.

Il signor M. Pareto nel suo *Trattato sull'Impiego dell'acqua in agricoltura*, ci fa menzione di un altro strumento che si può utilmente applicare per gli aggottamenti, voglio dire del *Vaglio*. Questo semplice apparecchio viene manovrato da due uomini; si prende l'acqua e si getta con un movimento di va e vieni secondo un arco di cerchio, ma come si vede in questo movimento si ha perdita di lavoro per far percorrere all'acqua uno spazio più lungo del necessario, ed inoltre gran parte dell'acqua ricade nello stagno; tuttavia alcuni intraprenditori di opere idrauliche, i quali ebbero occasione di adoperare il vaglio manovrato da due uomini robusti ed abituati a questo lavoro, osservarono che per ogni colpo si innalzavano m. c. 0,0189 d'acqua all'altezza di 0^m,65, e che in media si facevano 30 colpi al minuto. Nella primavera

del 1845 per costruire un ponte in muratura sul fiume Lambro, dietro il progetto del signor Pareto, si eseguirono gli aggotamenti con vagli, essendo le chiuse alte 0^m,65, e si osservò che dopo alcuni giorni di lavoro bene avviato e con uomini molto abituati si eseguivano in media 35 colpi al minuto, e raccolta più volte l'acqua innalzata in ciascun colpo da un vaglio, e non sempre dal medesimo fra i molti che erano in azione, si trovò che era di m. c. 0,0147 che valgono 120 m. c. elevati da ogni uomo in un giorno e ad un metro di altezza; si ha così lo stesso effetto che si ottiene colla gotazza a castello onde possiamo ritenere lo stesso coefficiente di rendimento e la stessa spesa elementare.

Il metodo di aggotare per mezzo di questi semplici strumenti può riuscire vantaggiosissimo quando si tratti di vuotare dei recinti a sponde poco elevate sul livello dell'acqua nel cavo, si possono impiegare quanti uomini si vogliono e si potrà così porporzionare la forza all'effetto che si vuole ottenere a misura che si procede nel lavoro, inoltre non si è obbligati di far spese per la costruzione di cavi necessarii per l'impianto di macchine e si può così eseguire l'espulsione molto sollecitamente, ma colle secchie e simili si ha sempre il grande svantaggio di utilizzare solo i $\frac{2}{3}$ del lavoro speso, perchè l'altro terzo è consumato nell'affondarsi del vaso vuoto nell'acqua, nell'alzare il peso proprio dello stesso vaso e nel capovolgerlo quando si vuol vuotare ed altresì nella non piccola quantità d'acqua che esce dal vaso e ricade nel cavo nell'atto che si volta la secchia per vuotarla.

III.

Noria. — Questa macchina idrovora a detta del Borgnis fu introdotta nella Spagna dai Mori, d'onde passò nelle provincie meridionali della Francia. Essa è essenzialmente composta di due tamburi o lanterne, aventi i loro assi orizzontali paralleli e gia-

centi in uno stesso piano verticale. Intorno a questi tamburi è disposta una catena perpetua, portante un certo numero di secchie, la cui capacità che d'ordinario è di 7 od 8 litri giunge alle volte fino a 15 litri. Quando si imprime il moto rotatorio al tamburo superiore, e quindi anche all'inferiore, le secchie discendono l'una dopo l'altra a riempirsi nel cavo sottostante e quindi salgono, rovesciandosi allorchè giungono alla sommità della loro corsa, e versano quivi l'acqua raccolta in una doccia destinata ad esportarla. Si rinnova la discesa e quindi la salita delle secchie, e così di seguito finchè si tiene la macchina in azione. Per solito questa macchina viene impiegata ad innalzar l'acqua per l'irrigazione delle campagne, e, secondo il Borgnis, nessun'altra macchina idrovora può meglio di questa servire a tale uso. Mi parve tuttavia di dover annoverare anche la noria fra gli apparati idrovori, massimamente perchè con essa si può sollevar l'acqua da cavi di profondità piuttosto ragguardevole, e poichè può prendere disposizioni tali da renderla agevole ad essere speditamente traslocata e messa in grado di essere adoperata.

In questa macchina oltre alla perdita di lavoro dovuta all'attrito sui pulvinari dei due tamburi abbiamo una considerevole perdita di forza viva all'entrata delle secchie nell'acqua, inoltre, onde le secchie possano vuotarsi, bisogna elevare l'acqua ad una altezza superiore a quella che si vorrebbe e quindi risulta che per avere un lavoro utile Ph bisogna, astrazione fatta dalle resistenze passive, produrre un lavoro $P(h + h')$, essendo P il peso dell'acqua elevata, h l'altezza a cui si vuole realmente elevare l'acqua, ed h' l'eccesso di altezza, a cui si è obbligati di elevare l'acqua, perchè le secchie si vuotino alla conveniente altezza; questo h' è d'ordinario $0^m,75$, è cioè il raggio del circolo circoscritto all'esagono che è la forma più comune del tamburo, aumentato di $0^m,10$ o $0^m,12$. Questo h' è costante qualunque sia h e quindi il rapporto dell'effetto utile al lavoro speso aumenta col crescere di h , il che è conforme ai risultati pratici riferiti dal Claudel, ed ottenuti con una noria in cui era $h' = 0^m,75$. La macchina era mossa da operai che producevano su manovelle che corredevano il tamburo superiore, uno sforzo di 9 kg. colla ve-

locità di 0,75 a 0,80 per 1"	e si ottennero rispettivamente per
h tra 1 ^m ,00 a 2 ^m ,00	per coefficiente di rendimento 0,48
» 2 ^m ,50 » 3 ^m ,60	» » 0,57
» 3 ^m ,00 » 3 ^m ,30	» » 0,63
» 3 ^m ,60 » 4 ^m ,00	» » 0,66

Un altro difetto della noria consiste nel continuo dondolarsi delle secchie, il che produce certamente una perdita di lavoro ed il Morin afferma che questo dondolamento diminuisce il volume d'acqua nelle secchie di circa $\frac{1}{10}$ della loro capacità. Si potrebbe attenuare la perdita di forza viva all'entrata dell'acqua nelle secchie, facendo camminare lentamente i tamburi, ma la perdita di lavoro per l'eccesso di altezza e pel dondolamento non si può di molto ridurre, tuttavia si potrà sempre avere un vantaggio applicando le modificazioni proposte dal signor Gateau, consistenti nel munire ciascuna secchia di un coperchio a cerniera, il quale resterebbe chiuso per l'ascesa delle secchie, e non si aprirebbe che al momento in cui avviene il versamento dell'acqua nella doccia d'esportazione che s'inoltra fin sotto il tamburo ed è collocata il più alto che si può. Dopochè le secchie sono vuotate, la catena per compiere il suo giro deve passare sopra un rullo che la fa un poco deviare dalla verticale.

Vediamo come si possa esprimere il rendimento della noria. Si è veduto che la perdita di forza viva per l'entrata dell'acqua si può attenuare facendo rotare lentamente il tamburo, per es., colla velocità di 0^m,60 per 1", ma in quanto alla perdita pel dondolamento non si potrà ridurre a meno di $\frac{1}{10}$ e la perdita per l'eccesso di altezza non a meno di 0^m,75, di più il lavoro perduto per gli attriti non potrà trascurarsi e quindi tenuto conto di tutte queste perdite si potrà calcolare il rendimento colla formula di Navier $0,80 \frac{h}{h+0,75}$ quando la profondità del cavo al dissotto della doccia sia uguale o maggiore di 4^m ed al dissotto di questa altezza non si adoprerà la noria, ma qualche altro apparato idrovoro.

Secondo il Gautey, nelle fondazioni del ponte di Beaumont sul fiume Oise, l'acqua dai recinti venne scacciata mediante una

noria mossa dalla forza della corrente pel meccanismo d'una ruota ad ale. Il Gauthey si confessa ignaro dei risultati ottenuti, ma congettura che dovessero essere più vantaggiosi di quelli delle ruote a cassette, mentre non v'ha dubbio, che la disposizione della noria favorisce maggiormente, e deve quindi rendere più proficua l'azione della forza motrice.

Il signor Abadie stabili presso Tolosa una buona noria, le di cui dimensioni si possono vedere sul Claudel, mossa da un cavallo ed avrebbe dato, dietro le esperienze del signor D'Aubuisson, 0,82 per coefficiente di rendimento.

Dietro Navier una noria mossa da cavalli avrebbe dato un coefficiente di rendimento oscillante fra 0,70 e 0,80.

Vediamo ora a quanto ascenderà il prezzo di un metro cubo d'acqua elevato ad 1^m di altezza con questa macchina. Mi atterro ai ragguagli dell'Hachette sulla noria che venne stabilita nelle fosse della Bastiglia ed organizzata per poter esser mossa da due uomini. Questa noria elevava ad 1^m di altezza 276 m. c. d'acqua per ogni giornata, essendo i due uomini impiegati per sole 6 ore al giorno. Detta *m* la mercede giornaliera di ciascun operaio, il prezzo di ogni m. c. ad 1^m di altezza sarà 0,0072 *m*. Si può ritenere che la macchina venisse a costare L. 540, e che potesse durare al servizio di 6 campagne di giorni 60 ciascuna, stando in esercizio 12 ore al giorno, quindi pel consumo della macchina si dovrebbe aumentare il prezzo del m. c. trovato, di circa L. 0,0022, onde la spesa complessiva di ogni m. c. elevato ad 1^m di altezza sarebbe $0,0072\ m + 0,0022$.

La figura 1^a indica sommariamente il modo con cui si mettono in azione le norie, e qui in Torino abbiamo nell'officina meccanica del signor Masera parecchie norie premiate all'Esposizione di Parigi del 1867 ed a quella d'Asti del 1869, e che, a detta del costruttore, sarebbero atte ad estrarre con poca forza 3 m. c. d'acqua all'ora da pozzi di qualunque profondità.

IV.

Bindolo verticale. — Non vi è altra macchina idrovora che sia stata tanto impiegata in Francia nello scorso secolo per le grandi fondazioni idrauliche, quanto il bindolo verticale. Io non dirò delle molte occasioni in cui questa macchina fu impiegata nè delle sue svariatisime forme e dimensioni, mi atterrerò invece ai bindoli verticali adoperati nei lavori del Canale di Piccardia, e che dal Belidor sono stimati degni di servire per modello. La figura 2^a rappresenta appunto uno di questi bindoli, ed eccone brevemente la descrizione: Dal fuso d'una burbera pende una catena perpetua, di cui un tratto passa dentro una canna verticale di legno alta 3^m,09, avente esternamente una sezione quadrata di 0^m,35 di lato, ed internamente una sezione circolare col diametro di 0^m,135. Ai fianchi della canna sono affidati dei sostegni che portano l'asse della burbera: questo asse è in ferro ed ha forma quadrata di 0^m,04 di lato, e termina da ambe le parti in un perno cilindrico, ripiegato a formare il braccio d'una manovella lungo 0^m,40, da cui si parte un manubrio lungo 1^m,14, talmente che possono agirvi contemporaneamente due persone, e quindi la macchina è in caso di essere manovrata da quattro operai. Fra i detti sostegni giace la doccia per cui ha scarico l'acqua, che di mano in mano s'innalza internamente per la canna ed esce dalla sua sommità.

Ai piedi della canna è annessa una cassa aperta superiormente e pertugiata nelle sue sponde, acciocchè l'acqua possa entrarvi da ogni parte, se non limpida, almeno scevra di materie grosse, capaci di impedire il giuoco della macchina. Il fuso della burbera ha 0^m,43 di diametro nel mezzo e 0^m,40 circa alle sue estremità fortificate con viere di ferro, ed è guernito di sei granfie di ferro biforcute, che servono ad obbligar la catena a muoversi secondo il giro della burbera, e ad impedire che quella si mantenga ferma mentre questa si muove come potrebbe accadere se il fuso non fosse così armato ma nudo. Lungo la catena sono distribuiti

a distanza di 0^m,81 i cappelletti; ciascuno dei quali consiste in una piccola campana massiccia di ferro che ha nel vertice un occhio, per cui si unisce ad un anello della catena, e nel centro della di lei base sporge un perno o maschio, avente esso pure un occhio alla sua estremità per poter essere attaccato ad altro anello della catena, onde così il cappelletto viene a far parte della catena stessa. La base della campanella ha un diametro ben poco minore di quello della canna. Nel sopradetto maschio sono infilate una o due ruotelle di cuoio, di diametro perfettamente uguale a quello della canna, e dopo di esse un disco di ferro appositamente forato nel centro; e trovansi strette le ruotelle fra la base della campanella ed il detto disco, mediante una zeppa a chiovetta di ferro che s'insinua forzatamente in un'asola aperta attraverso il maschio. La lunghezza di ciascun cappelletto fra i due occhi per cui si unisce ai contigui anelli della catena è di 0^m,135. Facendo girare convenientemente la burbera una parte della catena discende e l'altra sale, e così ciascun cappelletto passa successivamente dalla cassa nella canna, e nel salire per essa trasporta seco una colonna d'acqua che sbocca alla sommità della canna stessa e si scarica per la doccia. Un rullo situato per traverso nella cassa giova a facilitare l'ingresso dei cappelletti nella canna.

Ciascuno di questi bindoli a detta del Belidor costava L. 150, e secondo i suoi calcoli l'effetto utile di ciascun uomo addetto alla manovra di una di tali macchine sarebbe di m. c. 495 per ogni giorno di 8 ore, alzati all'altezza di 1^m, ma quest'effetto sarebbe superiore ai maggiori risultati forniti dall'esperienza, onde convien dire che il Belidor non abbia badato che *l'occhio del padrone ingrassa il cavallo*, ed abbia quindi fatte le sue esperienze in modo che gli operai si accorsero di essere osservati ed abbiano perciò spiegata un'insolita energia, maggiore assai di quella ordinariamente usata; d'altra parte Belidor dedusse il detto effetto utile dalla velocità impressa alla catena e non dall'effettiva quantità d'acqua veramente sgorgata dalla sommità della canna, onde dal numero ottenuto converrebbe ancora dedurre la perdita d'acqua che avviene certamente tra il perimetro dei cap-

pelletti e la parete interna della canna, e la perdita di lavoro a causa delle inevitabili interruzioni necessarie per rimediare agli sconcerti della macchina; onde io ridurrò questo effetto giornaliero dell'azione di un uomo applicato ad uno di tali bindoli a soli m. c. 117 alzati all'altezza di 1^m, come stabilisce il Gauthey dietro il risultato di varie autorevoli esperienze.

Trovo nel trattato elementare delle macchine dell'Hachette che un bindolo verticale avente la canna alta 7^m,15 ed il diametro del cilindro 0^m,16 esistente alla scuola *des ponts et chaussées* a Parigi, venne adoperato nell'aggottamento per la costruzione del ponte *de la Concorde* a Parigi, ed avrebbe dato per coefficiente di rendimento 0,80, ma questo risultato è troppo grande a fronte degli altri ottenuti per non supporre che si siano commessi sbagli o nelle osservazioni o nei calcoli.

Invece stando alle esperienze di Soyet con un bindolo verticale in cui la manovella faceva 20 o 25 giri per minuto, il volume d'acqua elevato starebbe al volume generato dai cappelletti del bindolo press'a poco nel rapporto di 0,64 all'unità, e che quando la manovella faceva 47 giri per minuto la perdita era ridotta a ben poca cosa. Diverse altre esperienze dello stesso ingegnere fanno vedere che in un giorno di 8 ore un uomo agendo coll'aiuto di una manovella eleva 115 m. c. ad 1^m di altezza.

Il generale Bergère nella sua *Analyse des prix* riferisce che 12 cavalli attaccati ad un maneggio muovevano due bindoli verticali, elevando ad 1^m di altezza per ogni giorno di 8 ore, e per ogni cavallo 674 m. c. d'acqua.

Se ora si paragonano questi risultati col lavoro giornaliero dell'uomo applicato ad una manovella e del cavallo attaccato ad un maneggio, come si vede nell'*Aide Memoire de mécanique* del Morin, si trova che il coefficiente di rendimento del bindolo è 0,67.

I bindoli verticali adoperati dal Perronet nelle fondazioni del ponte d'Orleans ed in quelle del ponte di Neuilly, diedero presso a poco i risultati di Soyet, Bergère e Gauthey.

Secondo il Claudel un uomo applicato ad una manovella di

0^m,40 di raggio e faciente da 20 a 30 giri per minuto, con un bindolo avente la canna alta da 4 a 6 metri eleverebbe da 110 a 120 m. c. d'acqua all'altezza di 1^m, ma io mi attengo al risultato del Gauthey e cerco l'importo di un metro cubo d'acqua elevato ad un metro di altezza con un bindolo verticale. Sia m

la mercede giornaliera d'un operaio sarà $\frac{m}{117} = 0,0085$ il costo

di un m. c. d'acqua alzato all'altezza di 1^m. Se suppongo con Gauthey che sia di L. 9 la spesa quotidiana che per un bindolo ordinario a quattro uomini deriva dal consumo della macchina, avuto riguardo al costo della sua prima costruzione ed alle frequenti riparazioni, e se di più la macchina si tiene in azione l'intera giornata impiegandovi 12 operai 4 per volta che si diano la muta di 8 in 8 ore, poichè l'acqua che nelle 24 ore si sarà innalzata risulta di m. c. 1404, così per ogni m. c. d'acqua si ha la spesa accessoria di L. 0,0064: e quindi il complessivo importo di 1 m. c. d'acqua elevato ad 1^m di altezza è L. 0,0085 m + 0,0064.

Questa macchina ha il pregevole vantaggio di essere con molta facilità traslocata e messa in grado di agire dovunque occorra adoprarla, ma bisogna prima toglier del tutto l'ingombro dell'acqua dalla superficie della fondazione, bisogna formare delle profonde fosse onde porvi la cassa del bindolo, e tutto questo deve farsi cogli apparecchi a mano, il che dà per solito origine a copiose scaturigini d'acqua: di più l'acqua trascina seco nella canna delle pietruzze e dei granelli di sabbia che fanno ostacolo all'ascensione dei cappelletti, obbligano a frequenti interruzioni ed alle volte producono perfino lo strappamento della catena; inoltre la canna del bindolo ha un'altezza fissa, e quindi si solleva sempre a questa altezza l'acqua che alle volte non dovrebbe essere portata che ad altezze molto minori. Egli è per questi motivi che a detta del Gauthey furono così enormi le spese di aggotamenti eseguiti con questi bindoli in molti ponti della Francia, ed è pure dietro queste considerazioni che il prof. Curioni mette questi bindoli fra le macchine idrovore di poca utilità pratica e non ne consiglia l'uso.

In una memoria pubblicatasi in Torino nell'anno 1812 il signor Belgrado proponeva pel bindolo verticale un perfezionamento che pare debba offrire dei buoni risultati, e consiste nel disporre i cappelletti in modo che la loro distanza sia quasi uguale all'altezza alla quale si vuole elevare l'acqua, e questi cappelletti fatti in modo da essere come altrettanti stantuffi muoventisi nella canna verticale del bindolo, il quale farebbe così l'ufficio di tromba aspirante. Con queste modificazioni, secondo il signor Belgrado, sarebbe di molto diminuito l'attrito, ed il bindolo sarebbe meno soggetto a guasti e ad interruzioni.

V.

Bindolo inclinato. — Questa macchina viene adoperata con svariatissime forme e disposizioni, ordinariamente però si compone di una serie di palmette rettangolari unite ad una catena senza fine che si muove dal basso in alto in una doccia di legno inclinata. Questa doccia pesca nel cavo e si eleva fino all'altezza a cui conviene elevare l'acqua. La catena è messa in moto da due rulli posti alle due estremità della doccia coi loro assi paralleli ed armati di ale disposte secondo piani passanti per gli assi dei rulli medesimi e foggiate in guisa da avere cogli articoli od anelli della catena una tale corrispondenza da ottenere l'innalzamento della parte di catena posta nella doccia, e l'abbassamento dell'altra parte che riposa su d'una specie di canale in legno il cui fondo è parallelo al fondo della doccia, quando pel verso conveniente si fa girare il rullo superiore che viene munito di due manovelle se la macchina deve essere mossa da uomini. La catena si fa ordinariamente in ferro, e le palmette e le ali del rullo si fanno anche in legno, ma allora si foderano con lamine di ferro onde l'attrito non le logori troppo nei lembi. Tra i bordi laterali della palmetta e le pareti della doccia si lascia un piccolo intervallo di 5 o 6 millimetri. La distanza che per

solito si lascia tra palmetta e palmetta è di una volta od una volta e mezza l'altezza loro, e la velocità con cui camminano, secondo Morin e Claudel, è da 1^m ad 1^m,50 per secondo. Disposto il bindolo nella sua posizione inclinata e facendo girare il rullo superiore pel verso conveniente, ciascuna palmetta ascendente spingerà in alto un prisma d'acqua rinchiuso fra le sponde della doccia, insistente sulla palmetta, ed il livello superiore sarà nel piano orizzontale che passa pel lembo superiore della palmetta: per tal modo l'acqua verrà portata fino alla sommità della doccia dove si riverserà nel canale d'esportazione.

L'applicazione di questa macchina offre due importanti questioni, che bisogna sempre avere presenti quando si voglia ricavarne il massimo effetto, e sono:

1° Quale deve essere la distanza più conveniente tra due palmette successive?

2° Quale deve essere il rapporto tra la lunghezza della doccia e l'altezza alla quale si deve sollevare l'acqua, o meglio quale deve essere l'inclinazione della doccia?

Cercherò di brevemente risolvere queste due questioni. Siano M ed N due palmette successive (fig. 3*), sia a la loro altezza, α l'inclinazione della doccia all'orizzonte, ed x la distanza tra due palmette prossime. La larghezza della doccia sia uguale ad 1, giacchè posti gli altri elementi, questa larghezza non influirà nelle conseguenze che ne dedurrò. Or bene il volume d'acqua sollevato da ciascuna palmetta è un prisma di altezza 1 e di base $M R Q P$, ossia la differenza fra i prismi aventi l'altezza 1 e le basi $M N Q P$ ed $M N R$, e detta Q' questa portata e lasciando l'altezza 1 avremo

$$Q' = M N Q P - M N R = x \left(a - \frac{x \operatorname{tang.} \alpha}{2} \right)$$

Se dico s lo spazio che ciascuna palmetta percorre con velocità uniforme nell'unità di tempo, y il numero delle palmette contenute nella lunghezza s e c la grossezza di ciascuna palmetta sarà:

$$s = y(c + x) \quad (1)$$

e la portata totale Q nell'unità di tempo sarà:

$$Q = x y \left(a - \frac{x \operatorname{tang.} \alpha}{2} \right)$$

portando in questa equazione il valore di x ricavato dalla (1), si ha:

$$Q = (s - c y) \left\{ a - \frac{s - c y}{2 y} \operatorname{tang.} \alpha \right\}$$

Differenziando questa Equazione rispetto ad y e cercando quale deve essere il valore di questa y onde la portata sia un massimo, si trova:

$$y = s \sqrt{\frac{\operatorname{tang.} \alpha}{2 a c + c^2 \operatorname{tang.} \alpha}}$$

che portato nella (1) mi dà:

$$x = \sqrt{\frac{2 a c}{\operatorname{tang.} \alpha} + c^2} - c$$

Questa è dunque la distanza che bisogna stabilire tra le palmette onde avere la massima portata possibile, ciò vuol dire che la portata del bindolo scemerà a misura che noi ci scosteremo dal detto valore di x ; è dunque fallace l'asserzione del Belidor che diceva crescerci la portata del bindolo a misura che se ne ravvicinavano le palmette, questo sussiste solo nel caso di $c = 0$; il che fisicamente è impossibile. Se dunque è prescritto l'angolo α sotto cui debba esser messo in azione un bindolo di data lunghezza, si renderà questo atto a produrre la massima portata, quando si dispongano le palmette alla testè trovata distanza x .

E poichè, posto questo valore di x , si ricava:

$$\operatorname{tang.} \alpha = \frac{2 a c}{x^2 + 2 c x}$$

così quest'angolo sarà quello sotto cui giova di preferire un dato bindolo a qualunque altro che essendo ad esso uguale in tutto il resto, abbia le palmette più o meno di esso distanti l'una dall'altra.

Vediamo ora quale sarà l'effetto utile di questa macchina. Ho già detto che bisogna lasciare alle palmette un giuoco di 5 o 6 millimetri almeno per parte, onde facilitare la loro circolazione nella doccia. Queste palmette premendo col proprio peso sul fondo della doccia, non lasciano perdere acqua che dai bordi laterali. L'acqua che fugge così dai recipienti formati dalle palmette successive discende sulla palmetta inferiore, e così di seguito di vicina in vicina mentre la palmetta si eleva: la perdita di lavoro dovuta a questo giuoco si può calcolare in questo modo, siano:

R il giuoco laterale di ciascun lato della palmetta, sarà $2R$ il giuoco totale.

H l'altezza del livello dell'acqua in ogni cassetta al di sopra del lato inferiore.

Considero l'orifizio proveniente dal giuoco come uno scaricatore e ne calcolo la portata colla formola approssimata di Morin, ed ho:

$$0,40 \times 2 R H' \sqrt{2 g H'} = 0,80 R H' \sqrt{2 g H'}.$$

Questo volume passando successivamente da un recipiente all'altro, discende per tutta l'altezza del piano inclinato, che dico

H e se dico ancora:

V la velocità uniforme della catena,

L la lunghezza totale della doccia,

$\frac{L}{V}$ sarà il numero di secondi impiegati da ogni palmetta

per percorrere la doccia, dimodochè la perdita di lavoro dovuta a queste fughe durante il tempo impiegato da una palmetta a percorrere il piano inclinato, sarà per ogni palmetta:

$$1000 \frac{0,80 R H' \sqrt{2 g H'}}{V} H L.$$

Questa espressione è solo approssimata, poichè l'altezza H' dell'acqua in ogni recipiente varia sensibilmente durante il cammino della palmetta, ma basta per far vedere che le fughe e la perdita di lavoro che ne è la conseguenza, diminuisce a misura che aumenta la velocità della catena. Vi ha dunque sotto questo rapporto vantaggio a far camminare il bindolo il più rapidamente che si potrà, ma non bisogna dimenticare che le palmette nell'immergersi nell'acqua del cavo inferiore provano un urto ed imprimono alla massa d'acqua $\frac{1000 Q}{g}$ che ciascuna d'esse seco trascina, la velocità V della catena. La perdita di forza viva, che così si produce su ciascuna palmetta, sarà $\frac{1000 Q}{g} V^2$ e poichè all'estremità della doccia, quest'acqua effluisce e possiede ancora la velocità V , che non è utilizzata, vi è così a quest'uscita una perdita di forza viva uguale alla precedente, ed in conclusione queste due perdite di forza viva valgono una perdita di lavoro espressa da $\frac{1000 Q}{g} V^2$ chilogrammetri.

L'elevazione del volume d'acqua Q fornito da ciascuna palmetta all'altezza H esige così un lavoro motore $1000 Q H$ k.g.m.; dimodochè la quantità totale di lavoro che deve essere comunicata alla macchina, astrazione fatta da quella consumata dagli attriti, sarà :

$$1000 \left(Q H + \frac{Q}{g} V^2 + \frac{0,80 R H' \sqrt{2 g H'}}{V} H L \right)$$

Il volume d'acqua realmente elevato per ogni palmetta non è che :

$$Q - \frac{0,80 R H' \sqrt{2 g H'}}{V} L$$

e l'effetto utile ha per espressione :

$$1000 \left(Q - \frac{0,80 R H' \sqrt{2 g H'}}{V} L \right) H \text{ kgrm.}$$

Dimodochè il rendimento della macchina, sempre astrazione fatta dagli attriti, sarà :

$$Q - \frac{0,80 R H' \sqrt{2g H'}}{V} L$$

$$Q + \frac{Q}{g} \frac{V^2}{H} + \frac{0,80 R H' \sqrt{2g H'}}{V} L$$

Stando ai ragguagli del Belidor ed alle osservazioni fatte da Perronet nelle fondazioni del ponte d'Orléans, si ricava che il bindolo inclinato dà un rendimento che è circa 0,38 o 0,39 del lavoro speso. Claudel porta questo coeff. a 0,40.

Gauthey nella fondazione del ponte della Carità sulla Loira si valse di bindoli inclinati, aventi la doccia lunga 6^m,82, ed alzava l'acqua a 3^m,25 d'altezza, onde la doccia doveva essere inclinata all'orizzonte di un angolo di circa 28°,22' la cui tangente è prossimamente 0,50. Alla manovella erano addetti 6 uomini che si davano la muta di 6 in 6 ore, onde la giornata di ciascun uomo non era che di 6 ore. Il rullo faceva 30 rivoluzioni per minuto e l'effetto della macchina era di 402 m. c. d'acqua elevati in 6 ore all'altezza di 1^m cioè m. c. 67 portati in una giornata all'altezza di 1^m e per ogni operaio addetto alla manovella; quindi la spesa di mano d'opera per un metro cubo d'acqua alzata con questa macchina a forza d'uomini all'altezza di 1^m sarebbe $\frac{m}{67} = 0,0149 m$, essendo sempre m la mercede giorno-

liera di un operaio. La spesa di costruzione e di mantenimento della macchina, secondo il Cavalieri è di L. 12 ogni 24 ore di lavoro, cioè per 1608 m. c. elevati ad 1^m di altezza, il che importa la spesa di L. 0,007 per ogni m. c.; onde il costo totale di ogni m. c. d'acqua elevato ad 1^m di altezza col bindolo inclinato mosso da uomini è di L. 0,0149 m . + 0,007, e ritenendo che in tale manovra l'uomo in 6 ore possa elevare ad 1^m di altezza m. c. 116, si avrà 0,58 per coefficiente di rendimento.

Al ponte d'Orléans si fecero funzionare due bindoli inclinati col mezzo di cavalli e secondo Gauthey, il costo di ogni m. c.

elevato ad 1^m di altezza non fu che il terzo di quello che risultò per bindolo mosso da uomini.

Allo stesso ponte si fece pure agire un bindolo mosso dalla corrente e la spesa per ogni metro cubo d'acqua elevata non fu che $\frac{1}{5}$ di quella fatta coi bindoli mossi da uomini.

Questi bindoli inclinati però hanno tutti i difetti dei bindoli verticali e di più anche colla doccia lunga da 6 a 7 metri non possono alzare l'acqua che a poco più di 3^m e richiedono inoltre molto tempo per essere trasportati ed ammaniti, onde giustamente il prof. Curioni, il Cavaliere, Gauthey ed altri distinti autori opinano che i bindoli inclinati non si possano vantaggiosamente applicare nei prosciugamenti per fondazioni idrauliche.

VI.

Timpano idraulico. — La ruota a timpano impiegata dagli antichi e descritta da Vitruvio (fig. 4^a) si componeva semplicemente di un tamburo circolare in legno diviso in otto od in un maggior numero di compartimenti per mezzo di tramezzi diretti secondo i raggi del cerchio. Ciascun compartimento portava sul contorno del tamburo un'apertura che permetteva all'acqua di penetrare nel compartimento, ed il tamburo girando, la sollevava fino all'altezza del suo asse. Quest'asse poi portava, secondo la sua lunghezza, delle scanalature che si prolungavano in uno dei fianchi del tamburo e formavano così dei canali che permettevano all'acqua di uscirne. Il calcolo di questo timpano, detto di Vitruvio, potrebbe aver luogo, notando che l'acqua uscendo dalla ruota per l'asse, abbandona la macchina senza velocità, in modo che si ha però a tener calcolo dell'urto prodotto dal precipitarsi dell'acqua attraverso l'apertura nell'interno degli scompartimenti, dell'attrito che in essi sviluppa l'acqua mentre il timpano gira per sollevarla, e quando poi la macchina girasse con velocità angolare assai considerevole, allora si dovrebbe pure tener conto

degli urti, che in virtù della forza centrifuga l'acqua verrebbe a soffrire contro la parete cilindrica del timpano, ed anche della perdita di forza viva dovuta al moto vorticoso nell'interno degli scompartimenti, prodotto dal precipitarsi dell'acqua verso l'asse, onde avere uscita dalla macchina. Io però non faccio questo calcolo, perchè fino dal 1665 il timpano di Vitruvio veniva modificato dal *P. Jean François de la Compagnie de Jésus (Art du fontainier, 2^{me} édition, imprimé à Rennes en 1665, p. 33)*, e successivamente da Lafaye nel 1717. Queste modificazioni consistono nel sostituire ai tramezzi rettilinei diretti secondo i raggi del cerchio, altri tramezzi incurvati secondo le evolventi del cerchio che segna la luce d'uscita dell'acqua, ciò che permette ancora di sopprimere l'inviluppo convesso del tamburo, dimodochè il timpano così modificato (fig. 5^a), detto di Lafaye, è essenzialmente formato da due grandi lastre circolari, che hanno il loro centro sopra un asse orizzontale; una di queste ed alle volte tutte due portano al centro un'apertura circolare, e sono unite per mezzo di varie scorze cilindriche, le quali partendo dalla circonferenza interna vengono fino all'esterna ed hanno per direttrice l'evolvente del cerchio interno della lastra, scomponendo così lo spazio compreso fra due lastre circolari in un certo numero di intervalli, e ciascuno di questi compreso fra due scorze cilindriche consecutive forma così un canale avente una larghezza costante sia nel senso normale alle evolventi, che perpendicolarmente al piano delle lastre circolari. Questa ruota è immersa per una certa altezza nell'acqua e girando attorno al suo asse, prende l'acqua tra le pareti laterali e la scorza cilindrica sommersa e la solleva fino all'altezza del suo asse o più precisamente fino all'altezza del punto inferiore del vuoto circolare interno dal quale essa sgorga. Essendo dette scorze cilindriche che sostengono l'acqua foggiate ad evolvente del cerchio interno, il centro di gravità dell'acqua sollevata si mantiene prossimamente sulla stessa verticale, o per meglio dire, qualunque sia la posizione del timpano, la verticale passante pei detti centri di gravità, si può assai prossimamente ritenere come confondentesi colla tangente al cerchio interno, perchè nell'evolvente di cerchio la tan-

gente orizzontale, cioè la tangente al punto più basso si mantiene sempre perpendicolare ad una tangente verticale al circolo interno, e quindi il raggio di questo circolo è costantemente il braccio di leva della resistenza, dal che risulta che per questo riguardo il moto è regolarissimo. Di più in questo timpano non abbiamo perdite d'acqua e neppure grandi perdite di forza viva, poichè l'acqua entrata che sia nella macchina non partecipa al moto rotatorio della macchina, ma sale verticalmente, arrivando infine al centro di rotazione dove abbandona la macchina senza velocità; inoltre essendo piccolissima la velocità angolare, noi possiamo ancora ritenere come insensibile l'attrito che si sviluppa nell'interno della macchina, quindi le sole perdite di lavoro che occorrono, sono: quella necessaria per sollevare l'acqua ad una piccola altezza di più di quella richiesta onde abbia libera e comoda uscita dalla macchina; quella prodotta dall'urto della macchina quando penetra nello stagno ad attinger acqua e finalmente quella che è consumata dall'attrito sui guancialini che portano la macchina.

Comincio a calcolare quest'ultima perdita, che è la maggiore di tutte. Per maggior semplicità, suppongo che la resistenza sia uniformemente distribuita sui due guancialini, e con questo non avrò più che a fare un solo calcolo che serve per tutti e due i sostegni. La formola che mi dà il lavoro consumato dall'attrito, mentre il sistema descrive l'angolo elementare $d\theta$ è $f\rho Nd\theta$, che integrata fra limiti convenienti, mi darà il lavoro consumato nella descrizione di un angolo finito. In detta formola ρ è il raggio del pulvinare, f il coeff. d'attrito ed N la pressione sui guancialini. Questa dipende dal peso dell'acqua contenuta nella macchina e dal peso proprio di tutte le parti della macchina stessa. Per determinare questi pesi bisogna prima conoscere la quantità d'acqua che si solleva e quindi prima di tutto determinare lo spazio idrovoro, cioè l'area del segmento DCH (fig. 6*), che vale l'area del settore $ODCH$, meno quella del triangolo ODH . Per trovare queste aree comincio a determinare l'equazione dell'evolvente nella posizione in cui il suo punto D d'incontro col circolo estremo della guancia del timpano, si trova sulla superficie di livello LL' dell'acqua nel cavo.

Prendo coordinate polari col polo in O , ossia nel centro di rotazione e coll'asse polare OX che passa per l'origine dell'evolvente stessa. Le coordinate del punto qualunque M sono $OM = \rho_1$ ed $MOA = \varphi$, sia r il raggio OA del circolo evoluto, conduco la MP che essendo tangente all'evoluta in P sarà normale all'evolvente in M e di più la sua lunghezza sarà uguale all'arco PFA rettificato, ossia si ha $PM = PF + FA$, ma dal triangolo OPM rettangolo in P si ha:

$$PM = \sqrt{OM^2 - OP^2} = \sqrt{\rho_1^2 - r^2}$$

inoltre $FA = r\varphi$ e PF è l'arco che ha per coseno $\frac{OP}{OM} = \frac{r}{\rho_1}$ quindi sostituendo e riducendo si ha:

$$\varphi = \frac{1}{r} \sqrt{\rho_1^2 - r^2} - \arccos \frac{r}{\rho_1} \quad (1)$$

che è appunto l'equazione dell'evolvente in coordinate polari.

L'area elementare è $\frac{1}{2} \rho_1^2 d\varphi$ e l'area totale sarà $\frac{1}{2} \int \rho_1^2 d\varphi$ coi limiti convenienti: questi limiti sono evidentemente $AOD = \psi$ ed $AOH = \psi - \varepsilon$ essendo $\varepsilon = DOH$, onde l'area del settore $DOHC$ sarà: $\frac{1}{2} \int_{\psi-\varepsilon}^{\psi} \rho_1^2 d\varphi$. La determinazione di questi limiti si fa facilmente poichè ψ è la coordinata angolare del punto D , e $\psi - \varepsilon$ quella di H , e se faccio $OD = R$ ed $OH = \rho_2$ la (1) mi darà:

$$\psi = \frac{1}{r} \sqrt{R^2 - r^2} - \arccos \frac{r}{R} \quad (2)$$

$$\psi - \varepsilon = \frac{1}{r} \sqrt{\rho_2^2 - r^2} - \arccos \frac{r}{\rho_2} \quad (3)$$

Inoltre l'angolo ε si compone dei due DOI ed IOH , ma DOI ed IOH sono chiusi da archi aventi rispettivamente per coseni $\frac{OI}{DO}$ ed $\frac{OI}{OH}$, ma se dico s la saetta IK d'immersione del timpano, ho $OI = R - s$ e quindi:

$$\varepsilon = \arccos \frac{R-s}{R} + \arccos \frac{R-s}{\rho_2} \quad (4)$$

Le equazioni (2, 3 e 4) sono quelle che danno ψ , ε e ρ_2 .

Ritornando all'integrale si avrà il $d\varphi$ differenziando la (1) cioè si ha:

$$d\varphi = \frac{1}{r} \frac{\rho_1 d\rho_1}{\sqrt{\rho_1^2 - r^2}} - \frac{r d\rho_1}{\rho_1 \sqrt{\rho_1^2 - r^2}}$$

e riducendo resta

$$d\varphi = \frac{\sqrt{\rho_1^2 - r^2}}{r \rho_1} d\rho_1$$

e quindi detto A l'area di quel settore, si avrà:

$$A = \frac{1}{2r} \int_{\rho_2}^R \rho_1 \sqrt{\rho_1^2 - r^2} d\rho_1$$

dove gli angoli limiti ψ e $\psi - \varepsilon$ vengono sostituiti dai corrispondenti raggi rettori R e ρ_2 perchè si esprime il $d\varphi$ in funzione del $d\rho_1$. Faccio ora

$$t = \sqrt{\rho_1^2 - r^2}$$

da cui

$$t^2 = \rho_1^2 - r^2 \quad \text{e} \quad t dt = \rho_1 d\rho_1$$

onde

$$\int \rho_1 \sqrt{\rho_1^2 - r^2} d\rho_1 = \int t^2 dt = \frac{t^3}{3} + \text{cost}$$

$$\int \rho_1 \sqrt{\rho_1^2 - r^2} d\rho_1 = \frac{1}{3} (\rho_1^3 - r^3)^{\frac{3}{2}}$$

che portato nel valore di A si ha

$$A = \frac{1}{6r} \left\{ (R^3 - r^3)^{\frac{3}{2}} - (\rho_2^3 - r^3)^{\frac{3}{2}} \right\}$$

L'area del triangolo DOH vale il prodotto di due lati pel seno dell'angolo compreso, diviso per 2, è cioè $\frac{1}{2} R \rho_2 \text{ sen. } \epsilon$. Onde infine l'area del seguente idrovoro che dico A' sarà espressa da

$$A' = \frac{1}{6r} \left\{ (R^3 - r^3)^{\frac{3}{2}} - (\rho_2^3 - r^3)^{\frac{3}{2}} \right\} - \frac{1}{2} R \rho_2 \text{ sen } \epsilon.$$

Moltiplicando ora quest'area per la larghezza di petto del timpano che dico λ e pel numero n degli scompartimenti che mentre la macchina agisce contengono acqua, avrò il volume totale e quindi il peso dell'acqua contenuta nella macchina e che gravita sui pulvinari.

Il peso proprio della macchina dipende dalle dimensioni e dalla materia di cui è formata la macchina e dal modo di disporne le varie parti e varierà quindi a norma dei diversi casi, ed io lo rappresenterò con Q , dimodochè restano trovate per componenti della N le espressioni $A' n \lambda$ e Q e supponendo di volere il lavoro d'attrito per un giro intiero del timpano il $d\theta$ diviene 2π ed il lavoro d'attrito sarà:

$$2\pi f\rho (A' n \lambda + Q)$$

Calcolo ora la seconda perdita di lavoro, cerco cioè l'espressione della resistenza incontrata dal timpano nel muoversi nell'acqua, e trovo perciò il lavoro differenziale dall'urto e poi in-

tegrando fra limiti convenienti troverò la perdita totale di lavoro dovuta all'urto. Sia perciò O il polo ed $O X$ l'asse polare: nella posizione indicata dalla fig. 7^a l'evolvente ha per equazione:

$$\varphi_1 - \gamma = \frac{1}{r} \sqrt{\rho_1^2 - r^2} - \arccos \cos \frac{r}{\rho_1}$$

perchè detto γ l'arco AA' e φ_1 la coordinata angolare corrente, il φ della equazione (1) sarà $\varphi = \varphi_1 - \gamma$ e si ha l'equazione scritta. Considero l'elemento qualunque $m m' = ds$. Esso batterà nell'acqua per un arco che sarà dato descrivendo l'arco di circolo di raggio $om = \rho_3$ e prendendo solo la parte intercetta dal livello dell'acqua LL' , quell'arco svolto sarà uguale a

$$2\rho_3 \arccos \frac{OI}{\rho_3} = 2\rho_3 \arccos \frac{R-s}{\rho_3}.$$

Ora considero l'acqua che viene a battere contro l'elemento $m m'$; sia ω la velocità angolare del timpano, sarà $\rho_3 \omega$ la velocità dell'elemento ds che sarà diretta secondo la $m F$, scomponiamola in due, l'una diretta secondo $m m'$ ossia secondo la tangente $m T$ e l'altra secondo la sua normale, la quale ultima componente sarà la sola che produrrà urto, essa sarà uguale a

$$\rho_3 \omega \sin F m T = \rho_3 \omega \sin N m O = \rho_3 \omega \frac{r}{\rho_3} = r \omega.$$

La forza dell'urto è data dalla formola $K G A \frac{V^2}{2g}$, dataci da Newton nel libro 2° dei suoi principii della filosofia naturale, essendo A l'area normalmente urtata, V la velocità, G il peso specifico del liquido e K un coefficiente compreso fra 1 e 2 e che io senz'altro farò uguale a 2.

Ciò posto la forza d'urto per quell'elemento sarà:

$$\frac{G \omega^2 r^2 \lambda ds}{g}.$$

Per avere il lavoro elementare converrà moltiplicare questa forza per la proiezione dello spazio percorso dal punto m , il quale spazio percorso nella direzione della mF vale $\rho_3 \omega dt$ oppure, dicendo β l'arco descritto nell'acqua dall'elemento ds e siccome $\omega = \frac{d\beta}{dt}$ così quello spazio vale $\rho_3 d\beta$ e la sua proiezione sulla direzione della forza dell'urto che è la mN sarà :

$$\rho_3 d\beta \text{ sen } N m O = \rho_3 d\beta \frac{r}{\rho_3} = r d\beta.$$

Ne risulta quindi come sia costante la forza d'urto per ogni punto urtante e costante pure lo spazio che percorre proiettato sulla direzione della forza d'urto.

Questo lavoro adunque per ogni elemento ds sarà dato per l'intero urto dal prodotto della forza costante

$$\frac{G}{g} \omega^2 r^2 \lambda ds$$

per la proiezione dello spazio costante

$$\int r d\beta = r \beta$$

ossia da

$$\frac{G}{g} \omega^2 r^2 \lambda r \beta ds,$$

ma l'arco che dissi β vale $2 \arccos \frac{R-s}{\rho_3}$ onde il lavoro consumato dall'urto nella intiera corsa vale

$$2 \frac{G}{g} \lambda \omega^2 r^3 \arccos \frac{R-s}{\rho_3} ds \quad \text{ma} \quad ds = \frac{\rho_3 d\rho_3}{r}$$

poichè in coordinate polari si ha :

$$ds = \sqrt{\rho_3^2 d\varphi^2 + d\rho_3^2}$$

sostituendo il $d\varphi$ ricavato dalla (1) in funzione del $d\rho_4$ si avrebbe:

$$ds = d\rho_3 \sqrt{1 + \frac{\rho_3^2 r^2}{r^2}} = d\rho_3 \sqrt{\frac{\rho_3^2}{r^2}} = \frac{\rho_3 d\rho_3}{r}$$

e quindi ho per lavoro dell'urto

$$2 \frac{G}{g} \lambda \omega^2 r^2 \rho_3 \arccos \frac{R-s}{\rho_3} d\rho_3$$

che andrà integrato tra i limiti R ed OI ossia $R-S$. Bisogna dunque integrare l'espressione

$$\int \arccos \frac{R-s}{\rho_3} \rho_3 d\rho_3;$$

eseguendo questa integrazione per parti e notando che

$$\rho_3 d\rho_3 = d \frac{\rho_3^2}{2}$$

e che in generale

$$\int u dv = uv - \int v du$$

avrò

$$\int \arccos \frac{R-s}{\rho_3} d \frac{\rho_3^2}{2} = \frac{\rho_3^2}{2} \arccos \frac{R-s}{\rho_3} -$$

$$\int \frac{\rho_3^2}{2} d \arccos \frac{R-s}{\rho_3} = \frac{1}{2} \rho_3^2 \arccos \frac{R-s}{\rho_3} -$$

$$\frac{1}{2} \int \rho_3^2 d \arccos \frac{R-s}{\rho_3}$$

Meano

*4

ma

$$d \arccos \frac{R-s}{\rho_3} = \frac{d \frac{R-s}{\rho_3}}{\sqrt{1 - \left(\frac{R-s}{\rho_3}\right)^2}} =$$

$$\frac{(R-s) d \rho_3}{\rho_3^2 \sqrt{1 - \left(\frac{R-s}{\rho_3}\right)^2}}$$

onde il nostro integrale diviene

$$= \frac{1}{2} \rho_3^2 \arccos \frac{R-s}{\rho_3} - \frac{1}{2} \int \frac{\rho_3 (R-s) d \rho_3}{\sqrt{\rho_3^2 - (R-s)^2}}$$

ma

$$\int \frac{\rho_3 (R-s) d \rho_3}{\sqrt{\rho_3^2 - (R-s)^2}} = (R-s) \int \frac{\rho_3 d \rho_3}{\sqrt{\rho_3^2 - (R-s)^2}} =$$

$$(R-s) \sqrt{\rho_3^2 - (R-s)^2}$$

e quindi l'integrale in questione diviene

$$= \frac{1}{2} \rho_3^2 \arccos \frac{R-s}{\rho_3} - \frac{1}{2} (R-s) \sqrt{\rho_3^2 - (R-s)^2}$$

e ponendo i limiti inferiore R e superiore $R-S$ avremo

$$= \frac{1}{2} (R-s)^2 \arccos \frac{R-s}{R-s} -$$

$$- \frac{1}{2} (R-s) \sqrt{(R-s)^2 - (R-s)^2} -$$

$$\frac{1}{2} R^2 \arccos \frac{R-s}{R} + \frac{1}{2} (R-s) \sqrt{R^2 - (R-s)^2}$$

e notando che arco ($\cos. = 1$) $= 0$ si ha

$$= \frac{1}{2} \left\{ (R-s) \sqrt{R^2 - (R-s)^2} - R^2 \arccos \frac{R-s}{R} \right\}$$

e quindi il lavoro dell'urto sarebbe espresso dalla formola:

$$\frac{G}{g} \lambda \omega^2 r^2 \left\{ (R-s) \sqrt{2Rs - s^2} - R^2 \arccos \frac{R-s}{R} \right\}$$

e poichè per ogni giro si hanno n urti così, così il lavoro dell'urto per ogni rivoluzione sarà

$$\frac{G}{g} \lambda \omega^2 r^2 n \left\{ (R-s) \sqrt{2Rs - s^2} - R^2 \arccos \frac{R-s}{R} \right\}$$

Quest'espressione si potrebbe semplificare svolgendo in serie arco $\cos. \frac{R-s}{R}$ ma poichè questo sviluppo semplificherebbe di poco quella espressione e mi condurrebbe d'altronde a risultati approssimati perchè bisognerebbe naturalmente trascurare dei termini, così io la lascio quale si trova ed ho il vantaggio di avere un risultato esatto.

Trovate così le espressioni delle varie resistenze osservo che l'effetto utile della macchina durante una rivoluzione, ritenendo il moto uniforme, è uguale al motore Lm trasmesso alla macchina durante l'intera rivoluzione, meno la somma dei lavori distrutti dalle resistenze passive, e se per maggior approssimazione voglio ancora tener conto delle resistenze non calcolate come p. es. dell'attrito sviluppato dall'acqua nel muoversi nell'interno degli scompartimenti, della perdita di forza viva prodotta dal moto vorticoso che si genera dall'acqua che si precipita verso l'asse per uscire dalla macchina e simili, allora si potrebbe aggiungere fra le resistenze un termine R ed allora la equazione che dà l'effetto utile del timpano sarà:

$$E_u = L_m - 2\pi f \rho (A' n \lambda + Q) - R - \frac{G}{g} \lambda n \omega^2 r^2 \left\{ (R-s) \sqrt{2Rs - s^2} - R^2 \arccos \frac{R-s}{R} \right\}$$

Per stabilire i pregi ed i difetti del timpano, Vitruvio scrisse: *Non alte tollit aquam, sed exhaustissime multitudinem magnam*; e diffatti tutti gli autori che parlarono del timpano concordano nel dire che il lavoro utile è fra i $\frac{4}{5}$ ed i $\frac{9}{10}$ del lavoro impiegato, onde in questa macchina si ha un risultato superiore a quello della più gran parte delle macchine idrovore, ciò nullameno anche a fronte di un così bel coefficiente di rendimento, noi vediamo raramente impiegarsi il timpano e ciò perchè anche questa macchina ha i suoi difetti, ed infatti il timpano non eleva l'acqua che all'altezza del suo asse, ciò che obbliga il costruttore a dargli delle dimensioni che lo rendono spesso pesante ed incomodo; inoltre essendo ogni diaframma gravato solo per una parte della rivoluzione del timpano, il suo movimento non sarà uniforme ma periodico e questi periodi sono nocevoli alla potenza ed alla macchina che richiederebbe invece uniformità di movimento; ma si può ovviare a tale inconveniente facendo in modo che mentre un diaframma si carica un'altro si scarichi, cosicchè il numero dei giri in un dato tempo ed il numero dei volumi d'acqua dal timpano sollevati sia sempre lo stesso; questo si ottiene regolando convenientemente il rapporto dei raggi R ed r , importerà perciò di dare ad r una lunghezza sufficiente perchè l'acqua esca facilmente e con una velocità moderata; se per es. mi do la condizione che l'acqua esca colla velocità media di 1^m per ogni $1'''$ avrò l'area della sezione libera dividendo il volume dell'acqua da elevarsi per la velocità; per poi tener conto della grossezza dell'albero del timpano, delle scorze, dei ferri d'unione ecc. aumenterò l'area trovata di $\frac{1}{4}$ od $\frac{1}{5}$ ed avrò così la superficie del circolo interno da cui si potrà dedurre il raggio.

Il timpano impiegato nelle fondazioni del ponte d'Orleans aveva $6^m,30$ di diametro, con 12 diaframmi ed elevava l'acqua a $2^m,60$ d'altezza. Era messo in moto da 12 uomini che agivano col proprio peso in ruote a pioli collocate ai fianchi del timpano, e per otto ore in ogni giornata. L'uomo che agisce in questo modo, secondo Guenyveau, solleva m. c. 200 d'acqua all'altezza di 1^m in una giornata di otto ore; or bene al ponte d'Orleans, facendo il timpano 3 giri per minuto, si sarebbero sollevati m. c.

123400 d'acqua per ogni ora all'altezza di 2^m,60 e quindi l'effetto medio d'ogni uomo applicato alla macchina sarebbe stato di m. c. 26,74 per ora, e m. c. 214 al giorno ad 1^m di altezza, effetto superiore a quello stabilito, onde con Gauthey stabiliremo che l'effetto d'ogni uomo addetto al timpano sia solo di m. c. 180 al giorno e ad 1^m di altezza, allora detta m la mercede giornaliera di un operaio sarà $\frac{m}{180} = 0,0055$ m il costo di 1 m. c., ad 1^m

d'altezza, e se il costo della macchina, dedotto il prezzo della medesima quando è fuori d'uso, si ritiene di circa L. 1000 e possa servire per due campagne di giorni 60, ne verrà la spesa giornaliera di 8,33 e si calcola a L. 200 la spesa di manutenzione per le due campagne, sarà di L. 1,67 la spesa giornaliera per manutenzione, e quindi la macchina porterà la spesa di L. 10 per giorno; ma per ogni giorno si hanno a lavorare 36 operai in 3 distinte mute e poichè ciascuno solleva m. c. 180 ad 1^m di altezza in 8 ore, fra tutti solleveranno m. c. 6480 alla stessa altezza e per giorno, e ne risulta la spesa di L. 0,0015, onde la spesa totale d'ogni m. c. d'acqua elevato ad 1^m di altezza sarà espressa dalla formola: $0,0055\ m + 0,0015$.

VII.

Ruota idrovora a palmette. — Questa ruota idrovora, detta dagli inglesi *Flash-wheel* è una ruota ordinaria avente, nel suo stato d'azione l'asse di rotazione orizzontale; le sue palmette (fig. 8^a) sono piane e non sono dirette secondo i raggi della ruota, ma hanno invece sui medesimi una leggiera inclinazione onde facilitare la caduta dell'acqua dalla doccia nel canale d'esportazione. Questa ruota è girevole in una doccia cilindrica avente per asse l'asse stesso della ruota e che a cominciare dal basso accompagna per circa $\frac{1}{4}$ il giro della ruota, in modo però da lasciare un ristrettissimo spazio tra la doccia e le palmette. Si dispone la macchina in

modo che il fondo della doccia e le palmette più basse peschino nell'acqua, ed imprimendo ad essa un moto rotatorio nel verso conveniente, ciascuna palmetta si immerge successivamente nell'acqua e nel salire lungo la doccia spinge a sè d'innanzi un prisma liquido che giunto alla sommità della doccia, passa su questa e cade nel canale destinato ad esportare l'acqua sollevata. Si vede facilmente che con questa macchina non si può elevare l'acqua a più di 3 o 4 metri, altrimenti bisognerebbe darle delle dimensioni troppo spropositate; del resto questa ruota ha il vantaggio di non sopportare che una parte del peso dell'acqua elevata, giacchè l'altra parte è sopportata dalla doccia e questo fa sì che la pressione esercitata sui pulvinari della ruota riesca minore che nelle ruote idrovore a cassette.

Lo stabilire una di tali ruote non può presentare difficoltà, poichè il raggio dovrà essere un poco superiore all'altezza massima d'elevazione al di sopra del fondo della doccia la di cui situazione dipenderà da quella dello scavo.

L'altezza delle palmette nel senso del raggio sarà uguale alla maggiore elevazione che si ammette pel livello dell'acqua nel serbatoio inferiore al di sopra del fondo della doccia.

La distanza fra palmetta e palmetta misurata sulla circonferenza esterna, secondo Morin, sarà compresa fra $0^m,30$ e $0^m,40$. Ciò posto sarà facile determinare il volume d'acqua che la ruota eleva in un dato tempo, data la forza del motore, od inversamente determinare quale deve essere la forza del motore onde sollevare una data quantità d'acqua ad una data altezza, perciò siano:

A , l'area della sezione d'acqua che una palmetta potrà trasportare a partire dalla verticale passante per l'asse di rotazione e farla salire all'estremità della doccia;

L , la larghezza di petto della ruota;

D , la distanza tra palmetta e palmetta misurata sulla circonferenza esterna;

V , la velocità alla circonferenza che per solito vale 1^m per ogni secondo;

N , il numero delle palmette che per ogni secondo passano pella verticale ed è $N = \frac{V}{D}$.

Il massimo volume d'acqua che la ruota potrà elevare in 1" sarà:

$$Q^{max} = A L N = \frac{A L V}{D} \text{ m.c.}$$

Ma poichè bisogna tener conto della perdita d'acqua all'estremità della palmetta che non si potrà stimare minore di $\frac{1}{10}$, così questo volume d'acqua sarà solo

$$Q = 0,9 \frac{A L V}{D} \text{ m.c.}$$

Se fosse dato il volume d'acqua da sollevarsi per ogni secondo, essendo A e D già determinati, come dissi più sopra, si dedurrà la larghezza di petto della ruota colla formola

$$L = \frac{Q D}{0,9 A V}$$

Dicendo H l'altezza media d'elevazione dell'acqua, l'effetto utile che si ottiene sarà di kg, $1000 Q H$.

La forza del motore da impiegarsi dovrà dunque essere capace di produrre questo effetto e di vincere le resistenze passive che sono, la resistenza dell'aria, l'attrito sui pulvinari, l'attrito dell'acqua nella doccia, ed inoltre deve essere tale da compensare la perdita di lavoro prodotta dall'urto della ruota nell'acqua, e per la perdita di forza viva che avviene quando le palmette si immergono nell'acqua, e quando quest'acqua abbandona la ruota, questa perdita totale di forza viva è $2 \frac{1000 Q}{g} V^2$ ed il lavoro

perduto sarà di kgm. $\frac{1000 Q}{g} V^2$.

Per tener conto di queste perdite io dividerò l'effetto utile

trovato per la frazione 0,70 come fecero Smeaton e Morin, ed ho così che la forza di cui deve essere capace il motore che vogliamo impiegare sarà espressa dalla formula $\frac{1000 Q H}{0,70}$.

Per quante ricerche io abbia fatte non potei rinvenire esperienze, dalle quali potessi dedurre il prezzo di ogni m. c. d'acqua elevato ad 1^m di altezza, solo trovai che una di queste ruote eleva l'acqua della Senna nei bacini del porto di Saint-Ouen presso Parigi. È mossa da una macchina a vapore che secondo Leblanc ha la forza di 40 cavalli, e solleverebbe fino a 3600 m. c. d'acqua per ora a 4^m di altezza, si avrebbe cioè un effetto utile superiore al lavoro motore, stando invece alle osservazioni di Walter di S. Auge questa ruota eleverebbe 2500 m. c. d'acqua a 4 metri di altezza in un'ora essendo supposta la forza della macchina motrice di 45 cavalli, il rapporto dell'effetto utile al lavoro speso sarebbe 0,82, ma anche qui per poter tener conto di questo risultato assai soddisfacente bisognerebbe avere misurata esattamente la forza della macchina e non semplicemente averla supposta di 45 cavalli, ad ogni modo il coefficiente di rendimento di questa macchina si scosterà poco dal citato, e se anche a fronte di questo rendimento e della facilità con cui questa macchina potrebbe essere messa in movimento da uomini, da quadrupedi, dalla forza d'una corrente o dal vapore, noi non la troviamo applicata nelle opere di aggettamento, stando alle giuste osservazioni del prof. Curioni, ciò si deve attribuire alla difficoltà di trasporto e di impianto, allo spazio piuttosto considerevole che occupa ed alla piccola altezza, a cui si può con essa innalzar l'acqua.

VIII.

Ruote idrovore a cassette. — Queste ruote quando sono messe in azione hanno il loro asse di rotazione orizzontale, sono munite alla loro circonferenza di vasi che venendo l'uno dopo l'al-

tro a tuffarsi nel recipiente inferiore, si riempiono d'acqua e la trasportano fino all'apice della loro rivoluzione, dove versano l'acqua in una doccia destinata ad esportarla, e quindi scendono di bel nuovo a riempirsi. Servono assai bene per sollevare l'acqua all'altezza di 5 o 6 metri. La forma e la disposizione di queste ruote possono essere variate in molte guise a seconda della forma e della disposizione dei recipienti annessi alla circonferenza. Se questi recipienti hanno la forma di casse in legno od in metallo e sono fisse alla superficie esterna della ruota, come indica la figura 9^a, allora la ruota si dice *chinese*, perchè si crede importato dalla China, dove si costruiscono in *bambous*. Quando queste ruote camminano con poca velocità, per es. di 0^m,20 per secondo, le perdite di forza viva all'entrata ed all'uscita della ruota dall'acqua sono assai lievi; l'altezza di elevazione al di sopra della doccia che esporta l'acqua può essere ridotta a 0^m,50 o 0^m,60 e poichè questa è una quantità costante, così influirà tanto meno quanto più grande sarà il diametro della ruota. La quantità d'acqua che sfugge dai recipienti sarà assai piccola quando le casse siano convenientemente costrutte. Secondo Morin, il rendi-

mento di questa ruota non sarà inferiore a $0,70 \frac{H}{H+0,60}$ essendo H l'altezza reale d'elevazione dell'acqua al di sopra del livello nel serbatoio inferiore. Questo rendimento aumenta col diametro della ruota che può essere di 6 od 8 metri ed anche arrivare a 10^m senza inconvenienti. Esperienze fatte sopra un modello di questa macchina esistente al Conservatorio d'arti e mestieri a Parigi, a detta del Morin, farebbero concludere un coefficiente di rendimento oscillante fra 0,60 e 0,65.

Se i recipienti annessi alla circonferenza esterna sono secchie articolate in modo da prendere naturalmente la posizione verticale, allora la ruota dicesi a *secchie oscillanti*. Queste secchie portate dalla ruota nel suo movimento si riempiono d'acqua e si elevano fino alla sommità, e giunte a questa altezza incontrano un ostacolo che le fa capovolgere e versare l'acqua nella doccia d'evacuazione. Questa ruota è da posporci alla ruota cinese, perchè le secchie nella loro introduzione e circolazione nell'ac-

qua, danno certamente luogo ad una perdita di lavoro assai più considerevole che la ruota cinese, poichè le casse di questa possono rendersi contigue le une alle altre in modo da formare quasi una sola superficie cilindrica; d'altra parte il continuo dondolarsi delle secchie deve certamente produrre una considerevole diminuzione nel volume d'acqua sollevato; infine il continuo moto delle articolazioni delle secchie determina un rapido consumo che non si produce nella ruota cinese in cui il modo d'agire della macchina è assai più semplice.

Tuttavia, a detta di Morin, una ruota di questo genere che venne impiegata nelle fondazioni del ponte di Nemours, avrebbe dato 0,65 per coefficiente di rendimento.

Onde ovviare agli inconvenienti accennati per le ruote a secchie ed ottenere un maggiore coefficiente di rendimento il capitano del Genio Niel, che fu poi gran maresciallo e ministro della guerra in Francia, per gli aggotamenti necessari agli ingrandimenti delle fortificazioni della piazza di Bayonne nell'anno 1834, faceva costruire una ruota a cassette fisse (fig. 10^a) che si trova descritta in una memoria dello stesso Niel, inserita nel N. 44 del *Mémoire de l'officier du Génie*, pubblicata nel 1844. Questa ruota a cassette era unita ad una ruota a tamburo o a *piroli*, messa in moto da uomini i quali agendo col proprio peso si elevavano più o meno alto secondo la velocità che dovevano comunicare alla macchina e che per prudenza e per ottenere, senza troppa fatica, il miglior effetto, pare non dovesse superare 0^m 60, nè essere inferiore a 0^m 30 per secondo, poichè si riconobbe a Bayonne che al di sotto di 0^m 30 il movimento perdeva la sua uniformità e al di sopra di 0^m 60 gli uomini avevano un movimento troppo celere, poichè in media si può ritenere che per ogni passo l'uomo s'innalzi di 0^m 15.

Queste velocità limiti della circonferenza esterna, corrispondevano press'a poco a quella di 0^m 45 o 0^m 225 dei gradini sui quali camminavano gli uomini. Le cassette di questa ruota erano in latta e penetravano un poco le une nelle altre. Si riempivano pel bordo esterno e si vuotavano per l'interno in una doccia posta nell'interno della ruota.

Per procedere al calcolo di questa ruota siano :

- V la velocità della ruota alla circonferenza media dei due dischi anulari che ritengono le cassette.
- H l'altezza del fondo della doccia per cui l'acqua effluisce al di sopra del livello dell'acqua nel cavo.
- h la maggior altezza della circonferenza interna della ruota al di sopra del fondo della doccia.
- r il raggio dell'albero della ruota.
- p il peso dell'acqua sollevata in ogni giro.
- q il peso degli uomini situati sul tamburo.
- m la massa dell'acqua che ha per peso p e sarà

$$m = \frac{p^2}{g} = \frac{p}{9,81}$$

Q il peso della ruota col suo carico.

Suppongo che la velocità sia uniforme ed applico alla macchina in moto il principio delle forze vive, cioè trovo la somma delle quantità di lavoro impresse per un dato tempo in un senso sottraggo la somma delle quantità di lavoro impresse nel tempo stesso in senso opposto ed uguaglio questa differenza alla metà delle forze vive acquistate o perdute nello stesso tempo. Comincio dal considerare ciò che succede in una intiera rivoluzione della macchina. Ho in primo luogo un peso d'acqua p che è sollevato ad un'altezza di cui la media è $H + \frac{h}{2}$ ciò che corrisponde ad un lavoro resistente espresso da $p \left(H + \frac{h}{2} \right)$.

In secondo luogo se la macchina impiega t secondi per fare un giro ed in questo tempo gli uomini che sono sul tamburo fanno salire il loro centro di gravità di un'altezza verticale h' , si sarà sviluppato un lavoro motore $q h' t$.

Il lavoro elementare perduto per l'attrito sui pulvinari che sopportano la ruota è espresso da $f Q r d\theta$ e se voglio il lavoro per un giro intiero il $d\theta$ diviene 2π ed il lavoro totale dell'attrito sarà $2\pi r f Q$.

La somma algebrica dei lavori motore e resistenti sviluppati in un giro è dunque

$$q h' t - p \left(H + \frac{h}{2} \right) - 2 \pi r f Q$$

Considero ora le forze vive

La ruota prende nello scavo una massa d'acqua $m = \frac{p}{g}$, a cui imprime la velocità V , ne risulta quindi una perdita di forza viva per l'effetto dell'urto delle cassette nell'acqua ed inoltre della massa della ruota, considerevole per rapporto a quella dell'acqua urtata. Di più quando la ruota abbandona l'acqua nella doccia, le lascia la forza viva $m V^2$ che possedeva e che per la macchina è ugualmente perduta, come succede per le ruote idrauliche. La somma delle forze vive perdute è dunque $2 m V^2$ quindi l'equazione che dà la condizione del movimento sarà

$$q h' t - p \left(H + \frac{h}{2} \right) - 2 \pi r f Q = m V^2$$

e dà per effetto utile

$$p H = q h' t - \frac{1}{2} p h - 2 \pi r f Q - \frac{p}{g} V^2$$

La quale equazione mette in evidenza che h , r e V devono essere i più piccoli possibili: ma si badi che il valore di r dipende pure dalle regole di resistenza dei materiali, e che quello di h dipende dalla forma delle cassette e non può essere guari minore di 0^m,30.

La forma delle cassette deve soddisfare a due condizioni essenziali: 1^a Lo stesso numero d'uomini deve esser sufficiente per far camminare la ruota comunque essa sia sommersa nell'acqua, e lo stesso Niel nella succitata memoria osserva che in una ruota costrutta a Bayonne non essendo soddisfatta questa condizione, era impossibile di farla camminare quando essa pescava nell'acqua fino al suo asse.

2^a Quando le cassette prendono il loro massimo carico di acqua non devono versarla prima di arrivare alla doccia nè dopo d'averla oltrepassata.

Alla 1^a condizione si soddisfa facendo in modo che le cassette prendano la massima quantità d'acqua possibile quando poca se ne trova nello scavo e ciò si ottiene facendo in modo che il contorno esterno delle cassette si avvicini il più che sia possibile a quello della ruota; di più le cassette non devono caricarsi troppo quando sono molto sommerse nell'acqua e ciò si ottiene restringendole convenientemente nella loro parte superiore ed aumentando la penetrazione dell'una nell'altra. La 2^a condizione è soddisfatta quando la doccia d'evacuazione versi l'acqua il più presto che sia possibile, e che la parete interna della cassetta sia assai prolungata in dentro della ruota onde l'acqua non cominci a cadere prima d'arrivare alla doccia e tutta in essa la versi, ed è appunto per questa considerazione che più sopra dissi che il valore di h dipendeva dalla forma delle cassette.

Le esperienze istituite a Bayonne su questa ruota idrovora diedero i seguenti risultati: Con 5 uomini sul tamburo pesanti in media 71 kg, ciascuno, si misurò a più riprese la quantità d'acqua fornita dalla ruota e si trovò che per ogni secondo si elevavano $22^{\text{kg}}.55$ d'acqua a $2^{\text{m}},50$ d'altezza. Un giro della ruota si faceva in $42''$ e gli uomini sollevavano il loro centro di gravità di $0^{\text{m}},19$ per secondo. Facevano dunque ciascuno un lavoro motore espresso da $71^{\text{kg}}. \times 0^{\text{m}},49 = 13^{\text{kg}}.49$ e l'effetto utile per uomo era così $\frac{1}{5} 22^{\text{kg}}.55 \times 2^{\text{m}},50 = 11^{\text{kgm}},26$ ed il coefficiente di

rendimento era dunque $\frac{11,26}{13,49} = 0,83$.

Con 6 uomini sul tamburo la ruota faceva un giro in $25''$ e gli uomini elevavano il loro centro di gravità di $0^{\text{m}},20$. Ciascuno d'essi forniva un lavoro motore $71^{\text{kg}}. \times 0^{\text{m}},20 = 14^{\text{kg}}.20$. La ruota elevava per ogni secondo $28^{\text{kg}}.19$ d'acqua a $2^{\text{m}},50$ d'altezza, e l'effetto utile per uomo era espresso da

$$\frac{1}{6} 28^{\text{kg}},19 \times 2,50 = 11^{\text{km}},75$$

ed il coefficiente di rendimento era $\frac{11,75}{14,20} = 0,82$.

Si vede dunque che questa ruota di costruzione e maneggio abbastanza semplici può in molti casi rendere dei grandi servigi nei lavori di aggettamento.

Nelle fondazioni dell'ultimo sostegno del Canale di Pavia presso lo sbocco del Ticino (anno 1819) si adoperò pure una ruota a cassette avente 5^m,50 di diametro, collegata con una ruota a palmette di m. 6 di diametro mossa dalla corrente del Ticino, e si sollevarono mc. 4 per minuto primo e si asciugò lo spazio fino al piano infimo delle fondazioni.

Terminerò questi cenni sulle ruote idrovore a cassette esponendo i risultati sperimentali ottenuti dal Perronet colla sua ruota a cassette adoperata nelle fondazioni del ponte di Neuilly. Questa ruota aveva 5^m,36 di diametro, la sua superficie esterna era munita di 16 cassette della capacità ciascuna di 137 litri, ma la quantità d'acqua che arrivava al punto di versamento non era che di 100 litri.

La quantità d'acqua elevata in media a 3^m,60 di altezza era di 4442 mc. per 24 ore, che è lo stesso effetto utile fornito da 12 bindoli verticali pure adoperati nello stesso ponte. Questo effetto utile equivale a 15991 mc. d'acqua portati all'altezza di 1 metro. Se vogliamo ora avere il prezzo di 1 mc. portato all'altezza di 1 metro, ammettiamo con Gauthey, *construction des ponts*, che una macchina come quella di Perronet per esser costrutta e messa in ordine nel sito in cui deve essere adoperata possa richiedere una spesa di L. 6000 circa, e sia in grado di poter servire al lavoro di due campagne di 60 giorni l'una, e che in questo periodo la manutenzione di essa unita alla mercede degli uomini destinati a vegliare sul buon andamento della operazione possa ascendere a circa L. 10 al giorno, risulta la totale spesa giornaliera di L. $\frac{6000}{60 \times 2} + 10 = 60$. Laonde il costo di 1 mc. portato all'altezza di 1 metro, si trova di L. 0,004 circa.

Questa ruota del Perronet era messa in moto da una ruota verticale ad ali stabilita sulla Senna. La distanza del centro di

ciascun'ala dall'asse della ruota era di 2 metri circa ed impiegava 24" per ogni rivoluzione. Questa ruota ad ali era stata collocata in un punto fisso, ove la velocità della corrente era di 0^m,81 e la ruota a cassette venne successivamente portata sul luogo delle diverse pile sino ad una distanza di 35 metri, ed affinchè non avvenissero inflessioni sull'albero comune di queste ruote si stabilirono ad opportune distanze dei cavalletti sostenenti delle pulegie, sulle quali si avvolgeva una correggia che sosteneva l'albero senza impedirne il movimento di rotazione.

IX.

Coclea Idrovora. — La coclea idrovora che frequentemente si impiega dai costruttori per opere di aggettamento si compone di due superficie cilindriche aventi lo stesso asse: la maggiore che dicesi *inviluppo* è formata con tavole di legno forte tenute in sesto con cerchi in ferro, essa ha per solito un diametro uguale ad $1/12$ della lunghezza totale che non eccede i 5 o 6 metri. Il cilindro interno è d'ordinario in ferro e forma il perno di rotazione dell'intera macchina. Il suo diametro è per solito $1/3$ di quello dell'inviluppo e perciò $1/36$ della lunghezza totale. Fra queste due superficie cilindriche e per tutta la lunghezza della coclea si dispongono delle sottili tavole di legno o meglio fogli di lamiera di ferro in modo da formare col loro assieme un'elicoide sghembo avente per piano direttore un piano perpendicolare al perno, trasformando così quello spazio cilindrico in un condotto spirale. Si colloca la coclea inclinata all'orizzonte e si fa in modo che l'estremità inferiore peschi nell'acqua e la superiore si trovi di poco sopra la doccia d'esportazione (fig. 11^a).

Allora facendo rotare la macchina nel verso conveniente, il punto più basso di ciascuna spira del condotto cangia posizione nella spira stessa, per modo che l'acqua penetrata nella coclea dovendo sempre occupare il punto più basso della spira su cui

si trova, sarà costretta a salire lungo il condotto spirale, elevandosi di una spira ad ogni giro, finchè giunta alla sommità si verserà nella doccia d'evacuazione.

Io non entrerò nello studio assai delicato della determinazione dello spazio idrovoro, cioè del volume occupato nella coclea dall'acqua che vi è entrata, e mi contenterò di notare che l'acqua entra ed esce dalla macchina con velocità piccolissima, e quindi sarà pure di poca entità la perdita di forza viva dovuta all'entrata ed all'uscita dell'acqua: inoltre tutto il volume entrato sgorgherà dalla parte superiore senza che se ne perda nel moto rotatorio della macchina, e quindi le sole resistenze passive saranno l'attrito degli assi di rotazione e quello dell'acqua sulle spire, e perciò quando la macchina funzioni in condizioni favorevoli, il suo rendimento dovrà approssimarsi al massimo; essa presenta inoltre il vantaggio di essere facilmente trasportabile, di potersi adattare a tutti i lavori a motivo della sua semplicità e leggerezza: l'altezza a cui con essa si eleva l'acqua non ha per limite che la lunghezza della vite, bisogna però notare che dovendosi dare all'asse della macchina una certa inclinazione il costruttore sarà alle volte obbligato di elevare l'acqua ad un'altezza maggiore di quella che sarebbe necessaria, ad ogni modo il grande uso che si fece e si fa tuttora di questa macchina ci fa vedere come essa possa riescire vantaggiosissima nelle opere di aggettamento.

Per molte ed importanti opere d'arte eseguite lungo il canale Cavour si fecero gli aggettamenti mediante coclee ed il prof. Curioni ci riferisce che, alcune di esse, messe in azione da locomobili innalzavano l'acqua ad altezze piuttosto considerevoli. Si usarono pure coclee per molti lavori nella ferrovia Torino-Ciriè, ma non riescirono sempre vantaggiose, infatti nella fondazione del ponte obliquo sul torrente Ceronda, si piantarono i pali per le ture al luogo di fondazione della pila: una locomobile serviva a mettere in moto due grandi coclee, mentre altre tre erano mosse a braccia d'uomini, ma in questa località il fondo del torrente è ghiaioso alla superficie e fino ad un metro di profondità si trova sempre ghiaia con grossi ciottoli; più in basso si

trova uno strato di poco spessore di sabbia e poi di nuovo ghiaia compatta con ciottoli. La permeabilità di questo terreno non permise mai di abbassare il livello dell'acqua nello scavo a più di 0^m,30 sotto il pelo del torrente. Lo stesso accadde per la fondazione delle spalle, sicchè si dovettero lasciare le coclee e lavorare agli scavi con badilioni o pale orizzontali forate ed a lungo manico verticale. Si potè con essi ultimare lo scavo secondo le dimensioni del progetto e regolarizzarlo fino alla profondità di 2^m,50 sotto il fondo naturale del torrente.

Il Perronet nelle fondazioni del ponte d'Orléans si servì d'una coclea lunga 2^m,60 e con 0^m,49 di diametro esterno. La sua inclinazione ordinaria era di 33° ed elevava l'acqua ad 1^m,14 di altezza. La macchina era messa in moto da due uomini addetti ad una manovella avente 0^m,32 di raggio. Questi due uomini lavoravano per 8 ore e la coclea, facendo 30 giri per minuto, elevava m. c. 0,308, cioè 21 m. c. d'acqua ad 1^m di altezza per ogni ora, e quindi ogni uomo elevava in un giorno 84 m. c. ad 1^m di altezza. Ritenendo che l'azione giornaliera d'un uomo applicato ad una manovella sia di m. c. 155 elevati ad 1^m di altezza, come opina il Venturoli dietro le esperienze di Coulomb, il coefficiente di rendimento sarebbe 0,542.

Dietro i risultati di Lamandé una coclea lunga 5^m,85 con 0^m,49 di diametro esterno e faciente 40 rotazioni per minuto, elevava 45 m. c. per ora a 3^m,30 di altezza. Questa coclea era servita da due mute di 9 uomini ciascuna lavoranti alternativamente per 2 ore. Il prodotto della macchina era dunque di m. c. 148,50 elevati ad 1^m di altezza per ogni ora. Supponendo che gli uomini non lavorino nella notte, e che il lavoro duri 12 ore, ciascun uomo eleva 99 m. c. per giorno ad 1^m di altezza e ritenendo la stessa azione giornaliera dell'uomo, il coefficiente di rendimento sarebbe 0,639, assai maggiore di quello ricavato dalle osservazioni del ponte d'Orléans, ma giova notare che qui il movimento della coclea era dato in modo meno svantaggioso, poichè le mani degli uomini non erano più applicate direttamente alla manovella inclinata, ma la facevano girare per mezzo di bracci che venivano dagli uomini alternativamente spinti e tirati.

Osserva il Gauthey che, con questo mezzo adottato dai moderni costruttori, e con una coclea ben costrutta, l'effetto medio di ciascun uomo applicato a farla agire si può ritenere di 90 m. c. d'acqua sollevati in un giorno all'altezza di 1^m. Ciò posto il costo di 1 m. c. d'acqua per ciascun metro contenuto nell'altezza a cui il liquido deve essere innalzato sarà uguale ad $\frac{m}{90} = 0,0111$ m.

Supponendo poi che il costo d'una coclea ordinaria cioè lunga da 5 a 6 metri, col diametro esterno di 0^m,45 o 0^m,50 sia di L. 1,000, e che possa durare al servizio di cinque campagne di 60 giorni ciascuna senza notevole dispendio di manutenzione, giacchè si può ritenere che la spesa occasionata dalle riparazioni sia compensata dalla maggior durata della macchina. Così quella coclea porta una spesa di L. 3,33 per ogni giorno di lavoro, e poichè in tale tempo in media si elevano 1700 m. c. d'acqua, così ogni m. c. a motivo della spesa della macchina costerà lire 0,002, e così il prezzo complessivo di ogni m. c. elevato ad 1^m di altezza sarà dato dall'espressione $0,0111 \text{ m.} + 0,002$, essendo sempre *m* la mercede giornaliera dell'operaio.

Come si vede dall'esposto calcolo la spesa per ogni m. c., è ben poca cosa, di più oltre ai vantaggi già accennati la coclea si presta assai bene ad aggiustarsi per le variazioni che succedono nel pelo dell'acqua nel cavo da cui deve essere cacciata, ma in generale essa non può guari servire per altezze maggiori di 3^m,50 se non vuolsi aumentare di troppo il suo peso ed andare incontro a nocive inflessioni del perno.

X.

Delle trombe. — Gli aggotamenti con trombe sono generalmente più dispendiosi che colle altre macchine fin ora descritte, se si eccettuino gli strumenti a mano ed il bindolo inclinato; tuttavia può accadere in pratica che la spesa dell'operazione con

trombe riesca minore di quella che sarebbe con altri mezzi, attesa la facilità che si ha di far salire l'acqua a quella precisa altezza che bisogna e non più, allungando od abbreviando a norma dei casi il tubo d'ascesa, di poter agevolmente trasportare la macchina, metterla in azione in siti anche assai ristretti e sollevare con esse l'acqua ad altezze assai considerevoli: conviene per altro avvertire che male a proposito riescirebbe l'uso delle trombe per aggettamenti in acque torbide poichè l'arena ed il limo venendo assorbiti coll'acqua, si introducono fra lo stantuffo, le pareti della tromba e le articolazioni delle valvole producendo così nella macchina delle alterazioni così notevoli da renderla inoperosa.

Io non mi fermerò a spiegare il giuoco di queste macchine, nè dirò delle diverse disposizioni impiegate, il di cui numero varia all'infinito, il che sarebbe eccessivamente prolisso, ma mi limiterò semplicemente a stabilire la formula della spesa occorrente per innalzare l'acqua con queste macchine e ad investigare l'effetto di cui esse possono riputarsi capaci, giusta i dati dell'esperienza e per quest'ultima ricerca io mi servirò delle esperienze fatte al Conservatorio di arti e mestieri e riferite dal Morin sulle trombe per aggettamenti che figuravano all'Esposizione di Parigi del 1855, e che poi vennero ancora presentate all'Esposizione Universale del 1867.

Quando si hanno da eseguire piccoli aggettamenti le trombe si mettono in movimento a braccia d'uomini e si ricorre all'impiego di quadrupedi, di correnti d'acqua e del vapore quando si deve sollevare molta acqua ad una grande altezza. Per stabilire il prezzo del metro cubo d'acqua elevato ad 1^m di altezza io mi servirò delle osservazioni fatte dal Boistard su trombe mosse da uomini. Una tromba avente 0^m,27 di diametro e che esigea l'impiego di 21 uomini, divisi in 3 squadre di 7 persone, le quali si cangiavano per turno, faceva salire in 24 ore m. c. 508,520 d'acqua all'altezza di metri 3,63; il che equivale a m. c. 88 circa d'acqua ad 1^m di altezza per ogni giorno e per ogni persona impiegata. Un'altra tromba avente 0^m,244 di diametro coll'impiego dello stesso numero di persone portava

m. c. 470,040 a 3^m,57 di altezza, il che corrisponde a circa m. c. 80 sollevati al giorno da ciascun uomo ad 1^m di altezza. Quindi l'effetto medio di ogni uomo applicato ad una tromba sarebbe di m. c. 84 sollevati in un giorno ad 1^m di altezza, d'onde si ricava che la spesa di mano d'opera negli aggotamenti eseguiti con trombe è di $\frac{m}{84} = 0,0119$ m. per ogni m. c.

d'acqua sollevato all'altezza di 1 metro. La spesa pel consumo della macchina, calcolato il costo primitivo e la manutenzione di essa, secondo Gauthey, può stimarsi di L. 7,23 per ciascuna giornata, cioè per 1764 metri cubi all'altezza di 1^m, onde lire 0,004 per ogni metro cubo. Dunque la spesa totale occorrente per alzare 1 m. c. d'acqua ad 1^m di altezza sarà L. 0,0119 m. + 0,004.

I costruttori che furono premiati alle Esposizioni di Parigi del 1855 e del 1867 per le trombe per aggotamenti da essi presentate sono i signori Denizot, Delpèch, Letestu e Nillus. I disegni, la descrizione e le dimensioni delle loro trombe si possono vedere sul trattato del Morin o sulle relazioni delle suddette Esposizioni, ed io quindi non farò altro che brevemente esporre le esperienze dinamometriche fatte sulle medesime onde constatarne il rendimento.

Il signor Denizot che ha il suo laboratorio a Nevers presentò all'Esposizione del 1855 una tromba a due cilindri a semplice effetto; le esperienze eseguite al Conservatorio avrebbero fatto riconoscere che per altezze di elevazione da 2^m,25 a 2^m,35 questa tromba dava un effetto utile uguale a 0,515 del lavoro motore.

In seguito presentò alla Società d'Incoraggiamento una nuova tromba destinata allo stesso uso e le esperienze fatte fornirono i risultati della tavola N. I; dalla quale si vede che la tromba del signor Denizot, dà un rendimento uguale a 0,69 del lavoro motore, anche non elevando l'acqua che a 4^m,70 di altezza e che il volume d'acqua ch'essa fornisce è uguale a circa 0,92 del volume generato dallo stantuffo. Questa tromba deve dunque essere posta in prima fila.

Il signor Delpèch di Castres presentò una tromba aspirante e premente ed a doppio effetto. Le esperienze eseguite con questa

tromba diedero i risultati della tavola N. II. Le cifre in essa consegnate fanno vedere che il prodotto in acqua di questa tromba è di circa 0,90 del volume generato dal suo stantuffo e che il suo effetto utile si eleva a debole velocità fino a 0,60 e più del lavoro motore speso.

Il signor Letestu che ha il suo laboratorio a Parigi, *rue du Temple N. 118*, presentò una tromba a 2 stantuffi. Fu sottoposta a due serie di esperienze che diedero i risultati della tavola N. III. Dai quali si deduce che il volume d'acqua realmente elevato è di circa 0,93 o 0,95 del volume generato dagli stantuffi. Si noterà che in ognuna delle due serie di esperienze l'effetto utile sarebbe d'altrettanto maggiore di quanto è minore la velocità dello stantuffo, inoltre a velocità uguali, il rendimento per grandi corse è maggiore che per piccole, il che conduce a conchiudere che per aumentare il prodotto delle trombe, bisogna accrescere il diametro e la corsa dello stantuffo e non dargli che una debole velocità. Il rendimento medio della prima serie è 0,513 e quello della seconda è 0,484; risultato favorevole soprattutto, se si riguarda alla poca elevazione dell'acqua ed all'influenza relativamente assai grande del lavoro consumato per l'attrito costante per una così piccola altezza di elevazione.

Il signor Nillus di Havre presentò una tromba aspirante a 2 cilindri. I risultati delle esperienze consegnati nella tavola N. IV, fanno vedere che l'effetto utile di questa tromba elevante l'acqua a 2^m,45 di altezza è in media 0,502.

Confrontando ora i risultati delle esperienze eseguite al Conservatorio di arti e mestieri all'occasione dell'Esposizione del 1855 si ottengono i risultati della tavola N. V.

Terminerò questi cenni sulle trombe notando che il pregio principale delle trombe presentate all'esposizione di Parigi è di essere disposte in modo da permettere ai corpi estranei anche d'un certo volume di attraversare gli orifizi senza che si interrompa il giuoco della macchina, del resto ad ovviare a questo inconveniente il prof. Curioni suggerisce di munire la luce per cui l'acqua passa nella tromba di una rete metallica a maglie strette per cui le materie solide non possano avere passaggio.

XI.

Apparecchio del signor Nagel. — Non posso terminare questa breve rivista degli apparecchi idrovori senza dare un breve cenno del nuovo ed ingegnoso apparecchio proposto e messo in opera dal signor Nagel e del quale parlarono alcuni giornali scientifici italiani e stranieri. Questo apparecchio si fonda sul noto principio della comunicazione laterale del moto che è il seguente: Se nella parete di un tubo, entro cui l'acqua scorra con grande velocità, si fa un foro, invece di uscirne l'acqua, accade un assorbimento dell'aria esterna, e se al detto foro si applica un altro tubo che peschi in un recipiente in cui vi siano materie liquide da estrarre, dopo l'assorbimento dell'aria contenuta nel secondo tubo, ha luogo l'assorbimento delle materie liquide contenute nel recipiente medesimo. Ciò posto il signor Nagel, dovendo prosciugare l'area di fondazione d'una turbine, in uno spazio così ristretto da impedire l'impianto dei soliti apparecchi idrovori, e dovendosi eseguire il prosciugamento in un tempo assai limitato perchè l'area della fondazione doveva essere inondata due volte per settimana onde permettervi la navigazione ed il movimento delle chiuse, pensò di utilizzare la forza motrice derivante dalle acque discendenti e si servì del suo nuovo apparecchio rappresentato nelle Fig. 12, 13 e 14, e che brevemente vado a descrivere. Sul fondo del canale dietro la paratoia mobile *A* abbiamo una cassa in legno di sezione rettangolare che va aumentando nel senso verticale a partire da *B* fino in *C* e che a partire da *E* va allargandosi nel senso orizzontale, formando così due casse distinte riunite insieme tra *C* ed *E*. L'aumento nel senso verticale si fa per facilitare l'accesso dell'acqua e nel senso orizzontale si fa allo scopo di deviare più facilmente l'acqua che arriva dal canale laterale in *E*. Nell'unione delle due casse in legno abbiamo una cassa rettangolare in ferro che è con esse chiusa ermeticamente e che si prolunga lateralmente per mezzo di un tubo di circa 0^m,23 di diametro. Questo tubo *G* è strettamente unito

alla cassa in ferro e per mezzo di un braccio verticale arriva alla fossa *M* che si vuole disseccare.

Quando si apre la paratoia *A* l'acqua si precipita nella cassa colla velocità dovuta alla sua altezza, arrivata in *E* si contrae, poscia va espandendosi verso *D* quindi in *E* si forma un vuoto che attira l'aria e l'acqua della cassa di ferro *F*, producendo così un'aspirazione sull'acqua della fossa *M*. Per far agire l'apparecchio si ha la valvola *K* mobile intorno alla cerniera *S* posta all'estremità della cassa in legno. Tirando la funicella *T*, col mezzo della lamina elastica *L* in ferro, si trasmette il movimento alla valvola *K* che girando attorno ad *S* viene a chiudere completamente l'orifizio *D* della cassa e ciò allo scopo di obbligare l'acqua a riempire completamente la parte divergente *ED* della cassa.

La valvola *H* posta all'estremo inferiore del tubo verticale *G* si apre automaticamente dal basso all'alto e chiudendosi impedisce all'acqua aspirata di ricadere nella fossa *M*. Per poter arrivare a diverse profondità nella fossa la parte inferiore del tubo è montata a scorrimento. Nella cassa di ferro *F* si pose una piccola cassetta *I* che si può manovrare esternamente per mezzo di due viti; essa permette di diminuire o di aumentare la sezione del canale *E* secondo i bisogni.

L'apparecchio raggiunse perfettamente lo scopo, perchè con esso la fossa fu disseccata e mantenuta asciutta, benchè le pareti ed il fondo della fossa medesima dessero passaggio ad una quantità d'acqua molto maggiore di quella che le ipotesi più sfavorevoli avevano indicato. Si aggiunga che l'acqua conteneva anche ciottoli i quali avrebbero prodotti degli accidenti nella maggior parte delle macchine in uso. Alla fine del primo giorno in cui si lavorò, si trovò nella cassa *F* una quantità di ciottoli che vi erano arrivati senza avere causati danni all'apparecchio.

XII.

Esposti così nel miglior modo che mi fu possibile i risultati sperimentali che potei raccogliere intorno agli strumenti ed alle macchine idrovore, non mi resta che a raccogliarli in un quadro, onde si possa chiaramente vedere l'effetto di cui sono capaci; la forza necessaria a tenerli in movimento, la qual forza esprimo col numero degli individui che debbono mettersi contemporaneamente in azione; e finalmente la spesa a cui bisogna assoggettarsi eseguendo l'aggottamento con uno o con un altro dei detti mezzi. Tutto questo io cercai di raccogliere nello specchio della tavola N. VI; nella quale, la prima colonna indica gli strumenti e le varie sorta di macchine delle quali può farsi uso nelle occorrenze architettoniche: la seconda fa conoscere il numero degli operai che bisogna simultaneamente impiegare per tenere in esercizio le diverse macchine; nella terza è indicato il numero delle ore che costituisce la durata del lavoro giornaliero d'un uomo nell'esercizio di muovere le diverse macchine; nella quarta l'effetto diurno utile di ciascun uomo impiegato, cioè il numero dei metri cubi d'acqua che ogni uomo alza in un giorno ad 1^{ma} di altezza, stando in azione il numero di ore fissato nella colonna terza; la quinta esprime il prezzo elementare dell'operazione, cioè la spesa che si richiede per alzare un metro cubo di acqua ad 1^{ma} di altezza; la sesta dà il coefficiente di rendimento ossia il rapporto tra l'effetto utile raccolto ed il lavoro speso, e la settima le osservazioni. Questo quadro gioverà molto all'Ingegnere incaricato di opere di aggottamento, poichè con esso potrà prefiggersi il metodo più conveniente da tenersi nell'esecuzione nell'opera, e potrà calcolarne preventivamente la spesa. La scelta del metodo dipenderà da varie circostanze delle quali già dissi al principio di questa dissertazione; la spesa poi si calcolerà immediatamente colle formole della colonna quinta, poichè conosciuta la mercede m dell'operaio si conoscerà pure il prezzo

elementare e detto c questo prezzo sarà acv la spesa necessaria per elevare v metri cubi d'acqua all'altezza di a metri.

Giova ancora notare che impiegando cavalli, servendosi della forza motrice del vapore e molto più mettendo a profitto la forza d'una corrente per tenere in azione le macchine idrovore si fanno generalmente gli aggotamenti con spesa assai minore di quella che deriva dall'impiego della forza umana; ed in alcuni casi, come già accennai, la spesa degli aggotamenti con macchine mosse da cavalli, non fu che $1/3$ di quella che corrisponde all'uso della forza umana, e che discese perfino ad $1/5$ allorquando si trasse partito della forza motrice d'una corrente; ma però non bisogna credere per questo che siano sempre svantaggiosi gli aggotamenti colle altre macchine a mano; le circostanze del sito determinano spesso qual è il motore che devesi impiegare, ed è da osservarsi che negli aggotamenti di breve durata, le dette economie potrebbero svanire se la spesa che deve farsi per apparecchiare e sistemare una gran macchina dovesse ripartirsi in un numero di giorni assai minore di quello che esprime la durata verosimile della macchina medesima e sul quale è fondata la deduzione del secondo termine della spesa elementare. Così per esempio, l'esperienza dimostrò che colla ruota a cassette di Peronet, mossa dalla corrente, il prezzo elementare è minore che con qualunque altra macchina, ma essa come pure tutte le altre ruote idrovore, ha il difetto di alzare l'acqua ad un'altezza invariabile; onde il vantaggio che deriva dall'uso di essa può diventare minore ed anche annullarsi, quando si adoperasse in qualche caso in cui bastasse di sollevare l'acqua ad un'altezza minore di quella a cui essa necessariamente la solleva; nè credo vi sia artificio valevole a mettere la macchina in istato da poter servire all'alzamento dell'acqua a varie altezze secondo il bisogno, senza andar lungi da quella semplicità che forma un requisito importantissimo di questa e di ogni altra macchina idrovora. La prerogativa molto interessante di sollevare l'acqua a varie altezze secondo il bisogno è posseduta dalla noria, la quale per questo si preferisce alle ruote idrovore, fra le quali in ogni caso, qualunque sia l'agente motore di cui possiamo servirci si dovrà dare

la preferenza al timpano di Lafaye, attesa la maggiore produzione di effetto utile come rilevasi dal sucitato quadro e come viene riferito da Belidor, Perronet, Gauthey, Hachette, Boistard, Curationi ed altri distinti autori.

Qui pongo termine alla mia dissertazione, ma pensando a ciò che scrissi mi accorgo che il compito assuntomi era per me grave e di gran lunga superiore alle mie forze, ma conoscendo per prova la clemenza e bontà de' miei egregi Professori, io mi vi accinsi con tutte le mie forze e non tralasciai fatica per condurla a termine, e se la buona volontà in cui si eseguisce un lavoro valesse da sè sola a dargli merito, certamente questo potrebbe sperare di acquistarsi la benevolenza del giudizio di quelli che lo esamineranno.

MEANO CESARE.

TAVOLA I.

Tromba per aggettamenti del signor Denizot.

Diam. degli stantuffi 0^m,40; corsa dello stantuffo 0^m,173.

Volume generato per corsa degli stantuffi 0^m,0217.

Numero delle esperienze	N.º dei colpi doppi in 1'	Velocità dello stantuffo in 1"	Volume d'acqua elevato in 1'	Volume d'acqua elevato per ogni colpo dello stantuffo	Rapporto tra il volume reale al volume generato dallo stantuffo.	Altezza di elevazione.	Effetto utile per 1'	Lavoro motore per 1"	Coefficiente di rendimento	OSSERVAZIONI
		m.		lit.		m.	km.	km.		
1	17	0,097	673,54	19,81	0,91	4,70	52,73	74,42	0,708	
2	20	0,115	777,20	19,43	0,90	4,70	51,74	78,08	0,663	
3	17,5	0,100	716,80	20,48	0,94	4,70	54,54	76,83	0,710	
4	19	0,110	764,37	20,11	0,92	4,70	53,57	77,85	0,688	
					0,92				0,692	

Tavola II.

Tromba per aggettamenti del signor **Delpech.**

Diam. del corpo di tromba 0^m,30; corsa dello stantuffo 0^m,194.

Volume generato per corsa dello stantuffo 27^{lit},009.

Numero delle esperienze	N.º dei colpi doppi in 1'	Velocità dello stantuffo in 1"	Volume d'acqua elevato in 1'	Volume d'acqua elevato per ogni colpo dello stantuffo.	Rapporto tra il vol. reale ed il volume generato dallo stantuffo.	Altezza d'elevazione.	Effetto utile in 1'.	Lavoro motore in 1'.	Coefficiente di rendimento.	OSSERVAZIONI
		m.	lit.	lit.		m.	km.	km.		
1	14,30	0,046	361	25,27	0,936	3,413	20,10	30,28	0,665	
2	19,28	0,062	466	24,40	0,902	3,480	26,21	45,50	0,577	
3	21,61	0,069	525	24,31	0,900	2,871	24,04	44,20	0,545	
4	23,67	0,075	573	24,85	0,900	2,882	26,15	48,30	0,544	
5	28,50	0,092	686	21,07	0,891	3,037	32,49	72,50	0,448	
					0,926				0,556	

Tavola III.

Tromba per aggettamenti del signor **Lelestu.**

*Diam. del corpo di tromba 0^m,40; corsa dello stantuffo da 0^m,18 a 0^m,43;
volume generato per colpo 0^m,189 nelle 3 prime esperienze
e 0^m,130 per le altre.*

Numero delle esperienze.	N.° dei colpi doppi in 1'	Velocità dello stantuffo in 1".	Volume d'acqua elevato in 1'.	Volume d'acqua elevato per colpo dello stantuffo.	Rapporto tra il vol. reale ed il volume generato dallo stantuffo.	Altezza d'elevazione.	Effetto utile in 1'.	Lavoro motore in 1'.	Coefficiente di rendimento.	OSSERVAZIONI
		m.	lit.	lit.		m.	km.	km.		
1	8,09	0,0306	361,86	44,73	0,920	2,400	23,90	14,48	0,559	
2	11,80	0,0373	323,50	44,53	0,922	2,396	39,50	20,96	0,532	
3	13,39	0,0513	610,19	44,90	0,945	2,400	52,00	24,50	0,473	
					0,929				0,515	
4	12,70	0,0273	383,00	30,33	0,938	2,293	29,30	53,00	0,503	
5	13,76	0,0298	418,00	30,30	0,945	2,313	31,93	53,50	0,503	
6	18,70	0,0387	572,00	30,72	0,930	2,303	22,00	46,85	0,472	
7	21,20	0,0462	633,00	30,90	0,935	2,320	25,33	53,92	0,454	
					0,947				0,484	

Tavola IV.

Tromba per aggettamenti del signor Nillus.

Numero delle esperienze.	N.° dei colpi doppi in 1'.	Velocità dello stantuffo in 1"	Volume d'acqua elevato in 1'.	Altezza d'elevazione.	Effetto utile in 1'.	Lavoro motore in 1'.	Coefficiente di rendimento.	OSSERVAZIONI
		m.	lit.	m.	km.	km.		
1	14,90	0,625	678,00	2,45	27,6	53,5	0,515	
2	15,90	0,667	672,00	2,45	27,4	58,0	0,472	
3	17,66	0,745	746,66	2,45	30,5	59,0	0,518	
4	26,30	1,110	116,00	2,45	47,2	109,0	0,433	
							0,502	

Tavola V.

**Paragone delle trombe sperimentate
al Conservatorio.**

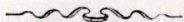
Nome del Costruttore	Rapporto fra il volume d'acqua generato ed il volume elevato	Coefficiente di rendimento	OSSERVAZIONI
Delpech	0,926	0,556	
Denizot	0,930	0,690	
Letestu	0,940	0,500	
Nillus		0,502	

Tavola VI.

Quadro dimostrativo degli effetti degli strumenti e delle diverse macchine idrovore.

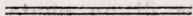
STRUMENTI e Macchine idrovore	Num. degli individui cooperanti	Ore di lavoro diurno	Effetto diurno d'ogni individuo	SPESA ELEMENTARE	COEFFICIENTE di RENDIMENTO	OSSERVAZIONI
			m.c.	lire italiane		
Secchie ed altri si- mili strumenti a mano	1	12	46	0,0218m + 0,001	0,63	
Gotazza a castello .	2	12	120	0,0083m + 0,001	0,70	
Vaglio	2	12	120	0,0083m + 0,001	0,70	
Noria	2	6	138	0,0072m + 0,0022	0,48—0,66	
»					0,70—0,80	Mossa da cavalli.
Bindolo verticale .	4	8	117	0,0083m + 0,0064	0,64—0,67	
»					0,67	Con 12 cavalli o- peranti, ogni ca- vallo sollevò m.c. 674 in 8 ore.
» inclinato .	6	6	67	0,0149m + 0,007	0,38—0,58	
Ruota a palmette .					0,70—0,82	
» cinese					0,60—0,63	
» a secchie o- scillanti					0,63	
» Niel					0,82—0,83	
» Perronet				0,004		Colla forza d'una corrente si solle- varono m.c. 15991 in 24 ore.
Timpano	12	8	180	0,0033m + 0,0015	0,80—0,90	
Coclea idrovora . .	9	6	90	0,0111m + 0,002	0,634	
Trombe	7	8	84	0,0119m + 0,004	0,50—0,69	

TESI LIBERE



MECCANICA APPLICATA ED IDRAULICA.

Date le dimensioni d'un canale in cui l'acqua corre con moto uniforme, determinarne la portata.

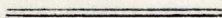


MACCHINA A VAPORE E FERROVIE.

Determinazione dello spessore da assegnarsi alle caldaie cilindriche, affinchè non avvenga la rottura secondo sezioni meridiane o parallele.

COSTRUZIONI CIVILI, IDRAULICHE E STRADALI.

Resistenza delle murature allo scorrimento ed al rovesciamento.



GEOMETRIA PRATICA.

Determinazione analitica di un punto per mezzo di altri tre noti di posizione.



Fig. 1.

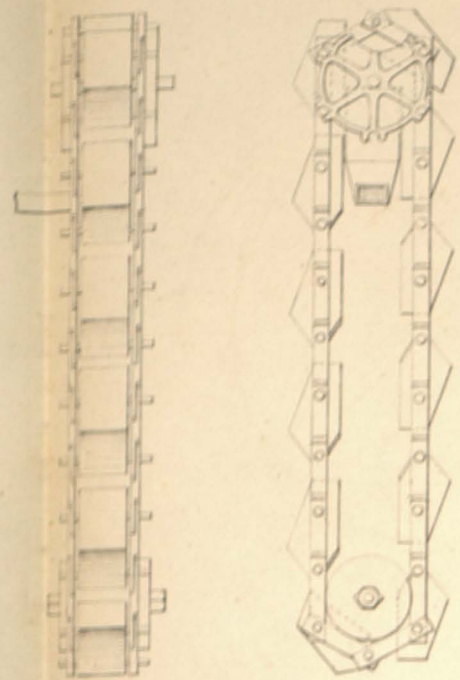


Fig. 2.

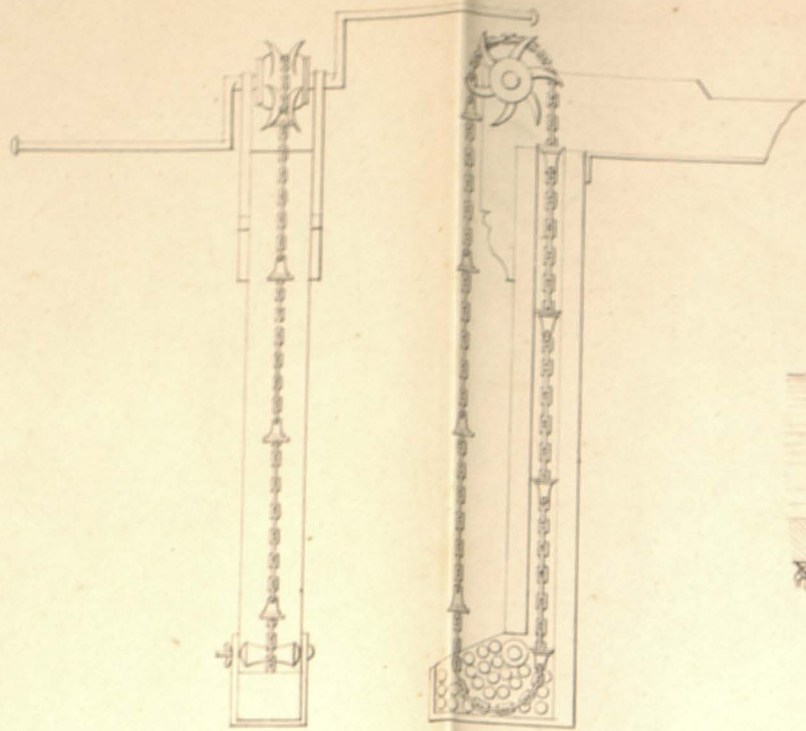


Fig. 3.

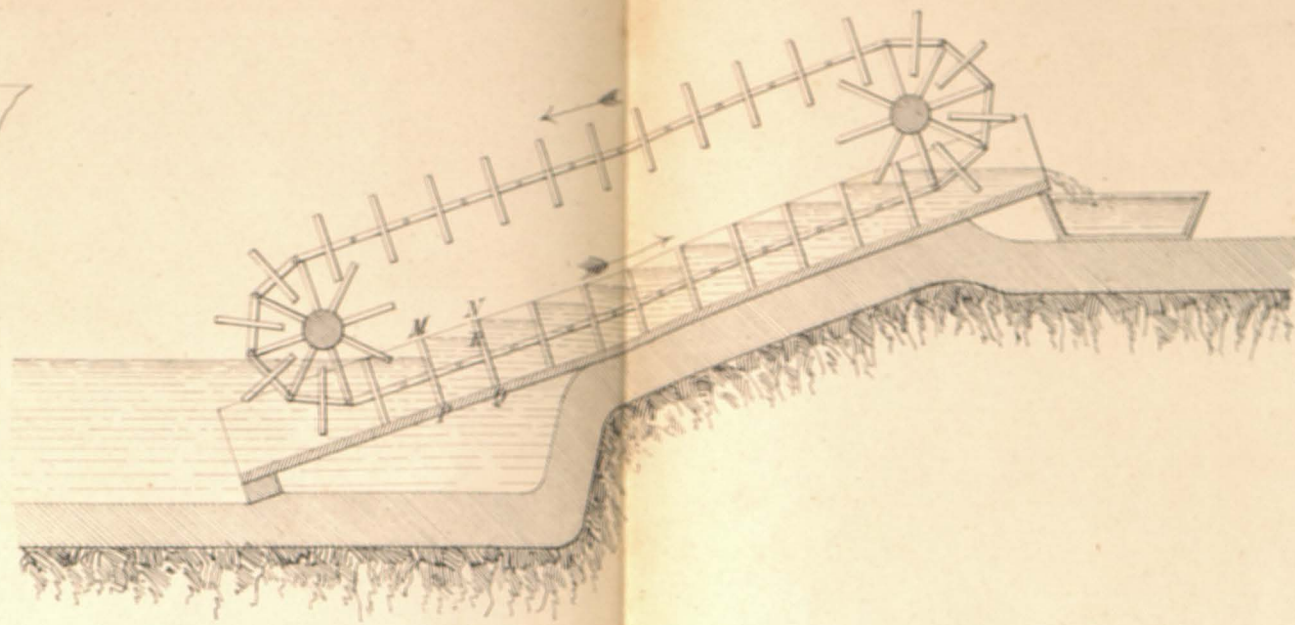


Fig. 4.

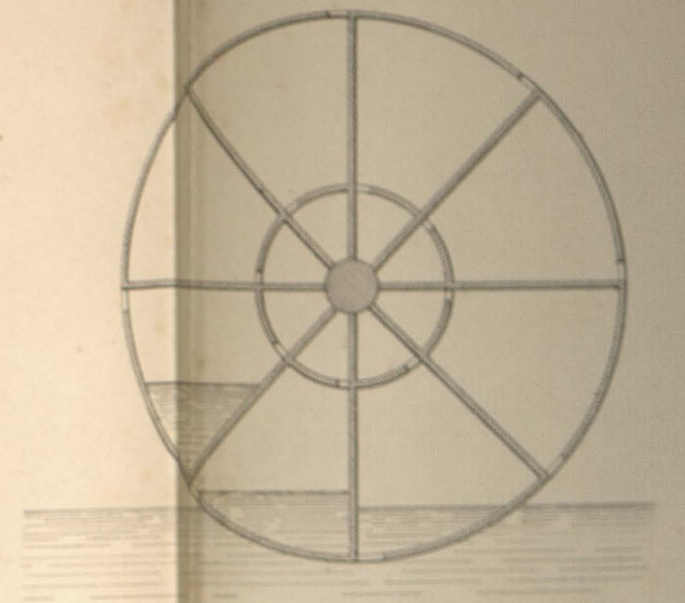


Fig. 5.

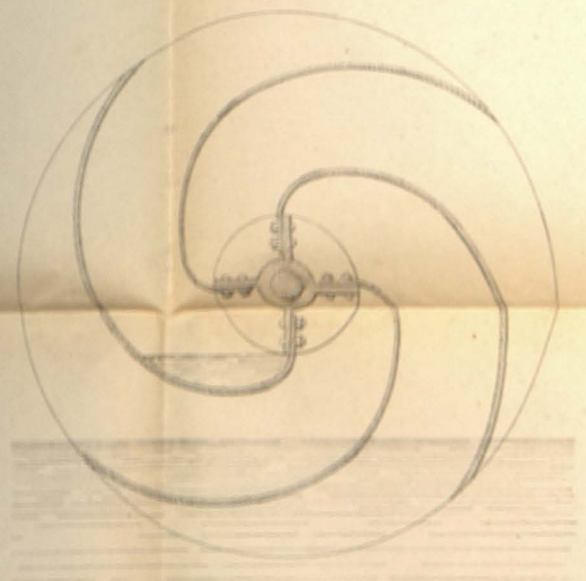


Fig. 6.

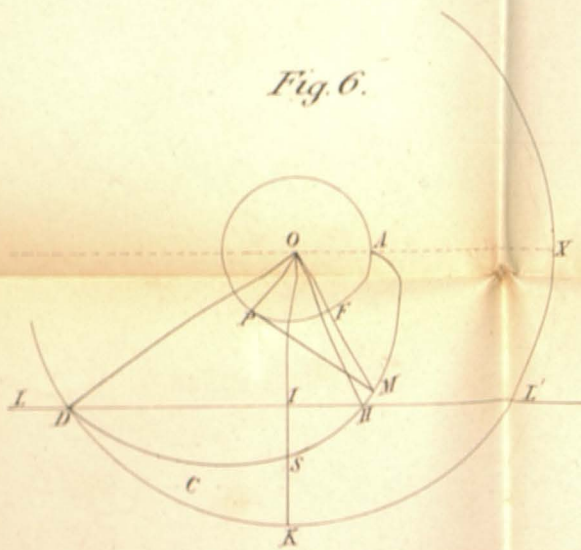


Fig. 7.

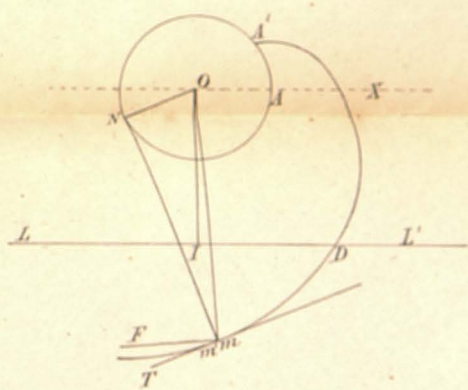


Fig. 8.

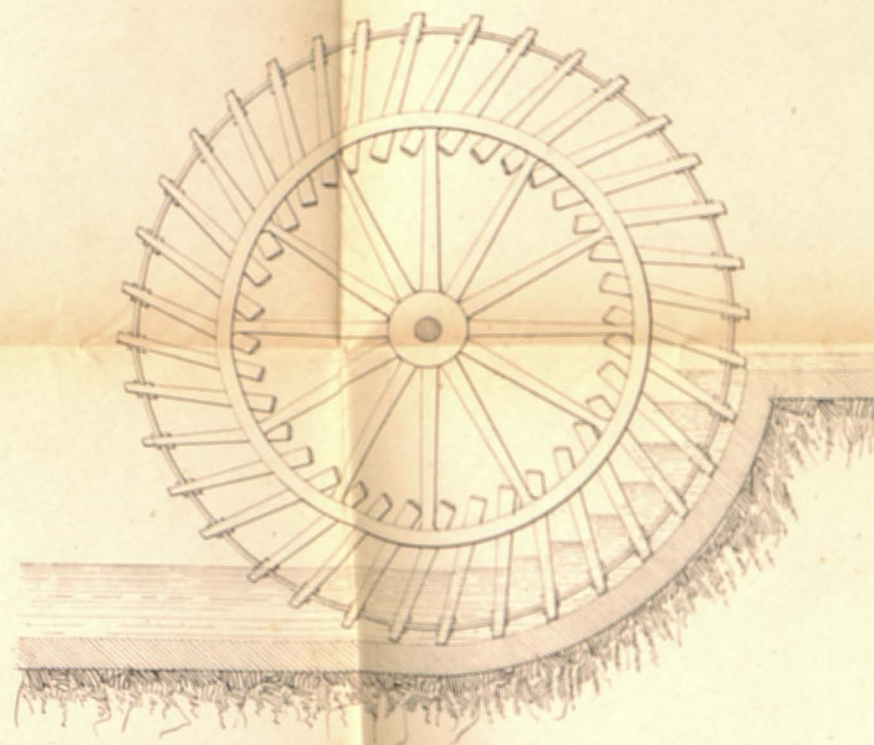


Fig. 9.

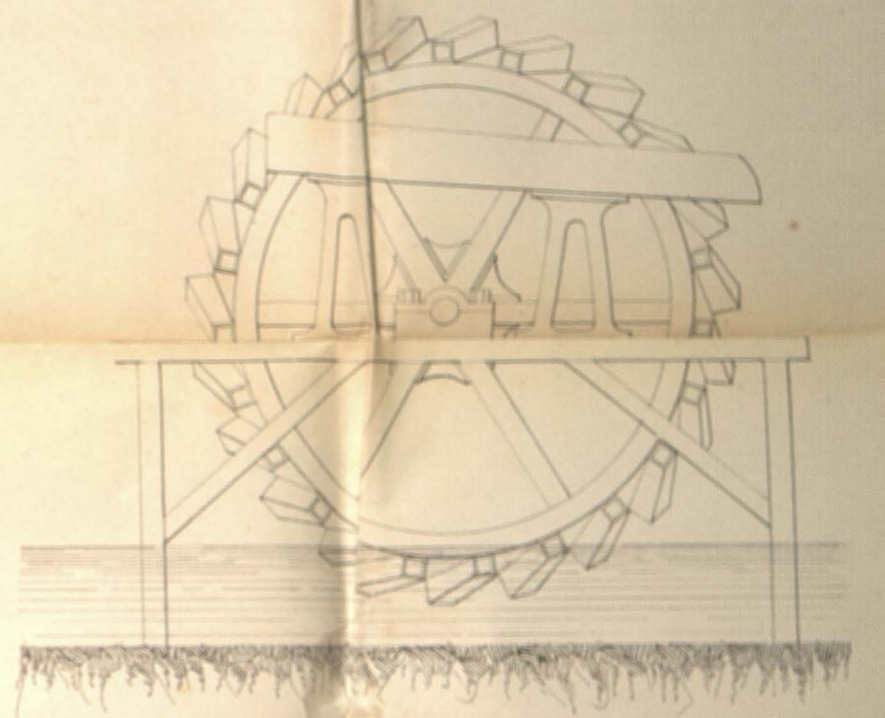


Fig. 10.

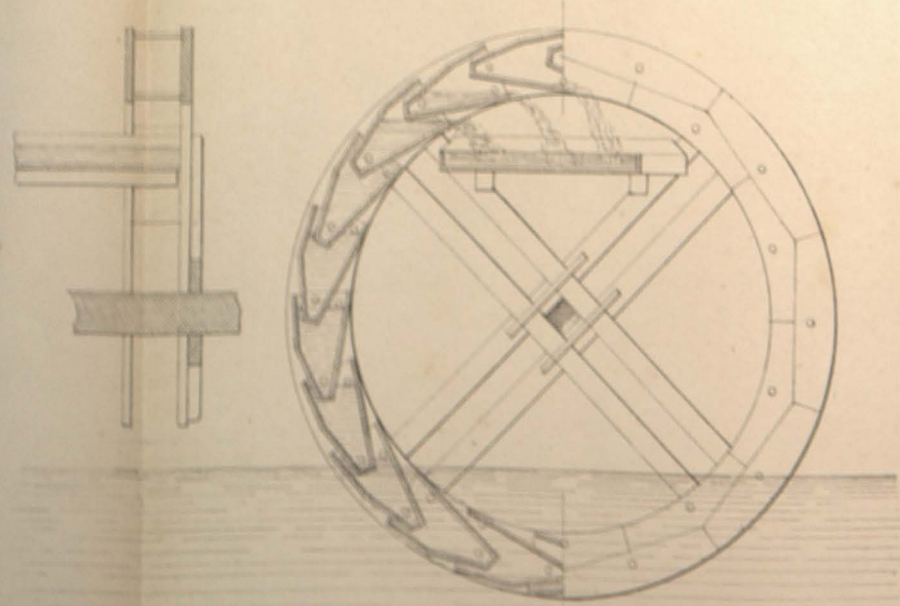


Fig. 11.

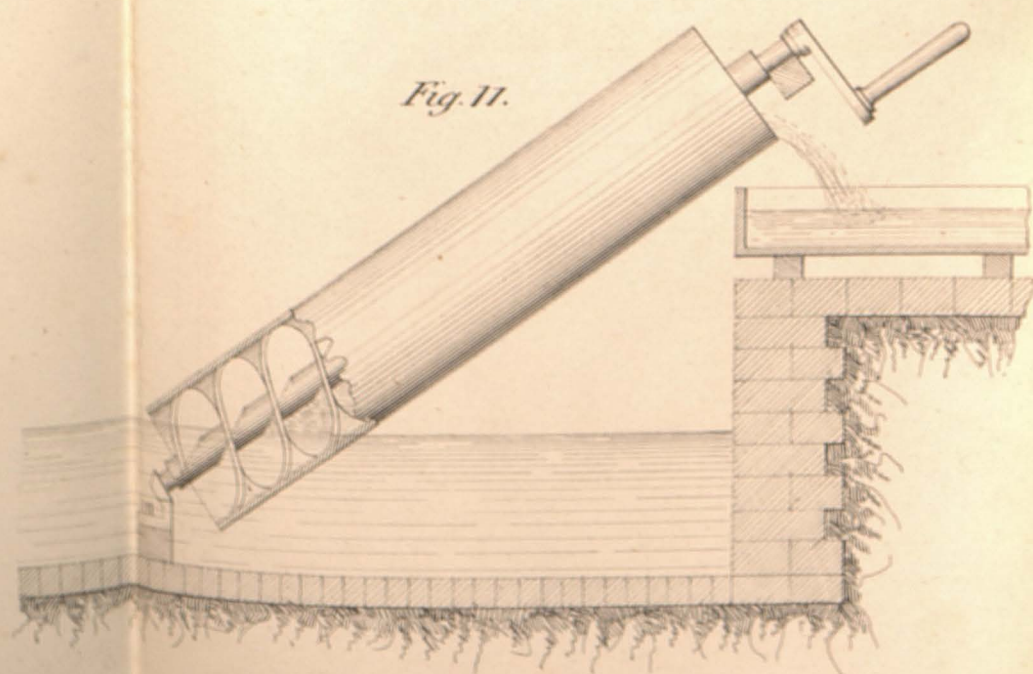


Fig. 12.

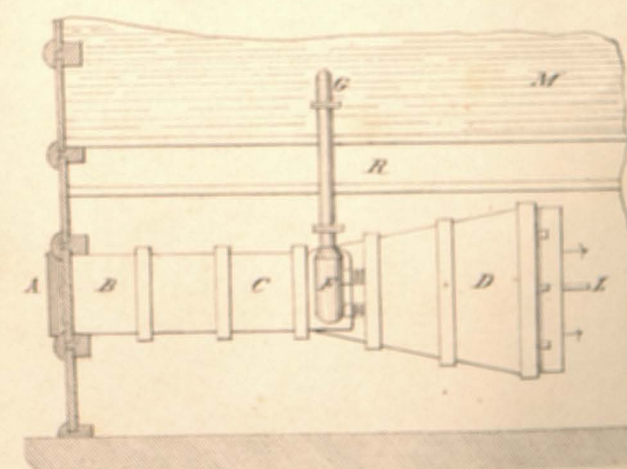


Fig. 14.

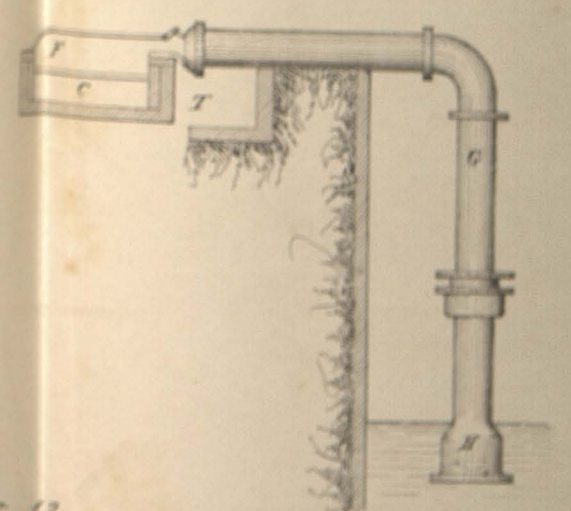


Fig. 13.

