

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

Si discorre in fine del Giornale di tutte le opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori.

IDRAULICA PRATICA

SU DI UNA CONDOTTA D'ACQUA POTABILE PER TUBI.

Parere dell'Ingegnere GIOVANNI SACHERI

A risolvere la questione della massima portata ottenibile teoricamente dalla condotta d'acqua per tubi di 202 millim. di diametro interno, e coi dati ricavabili dal profilo che mi fu trasmesso, credo anzitutto dover premettere alcune considerazioni sulle formole consegnate nei proutuarii per la soluzione generica di codesti problemi.

Quelle formole infatti, sono adoperate per lo studio preventivo di una determinata condotta, affine di rendere questa praticamente capace della portata che si desidera.

Ma il problema inverso riesce ancor meglio determinato, ed i risultati pratici che si ottengono, riescono in generale a conferma mirabile delle deduzioni teoriche.

Queste considerazioni credo tanto più necessarie nel caso concreto che mi si presenta inquantochè non saprei quale Ingegnere potrebbe ragionevolmente ammettere, che nel disegno e nello studio preliminare della condotta in questione siasi tenuto esattissimo conto di tutte le cautele più indispensabili nelle applicazioni della teoria alla pratica.

I.

L'equazione del movimento dell'acqua nei lunghi tubi è semplicissima. Essa ci dice che l'altezza h del livello costante dell'acqua di un serbatoio superiore, supposto inesauribile, sul centro della luce d'efflusso alla estremità inferiore di una condotta di lunghezza λ (la quale altezza suolsi dire battente, tuttochè debbasi dire piuttosto un'altezza premente) consta di diverse parti rispettivamente consumate da diverse cause, cioè: 1° per urto intestino nell'ingresso dell'acqua dal serbatoio nella condotta; — 2° per la resistenza d'attrito nel tubo e per le azioni mutue che ne risultano; — 3° per conservare all'acqua giunta all'estremo del tubo una certa quale velocità d'efflusso. Si ha cioè l'equazione:

$$h = \frac{v^2}{2g} \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 + \frac{4\lambda}{D} (\alpha v + \beta v^2) + \frac{c^2}{2g}$$

nella quale v e c significano rispettivamente la velocità lungo il tubo, e quella alla sezione d'efflusso; D e d sono i diametri della condotta e della sezione d'efflusso; μ , α , β sono coefficienti o costanti o variabili somministrati dalla esperienza, e consegnati nei proutuarii.

Osservo ancora che per l'equazione della continuità l'ultimo termine della equazione precedente si trasforma in quest'altro:

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

Partendo da questa equazione, e trascurando i termini meno influenti, si giunge ad altra equazione più semplificata, ma necessariamente meno esatta; la quale è però abbastanza semplice ed abbastanza approssimata da potersene praticamente servire nelle condotte d'acqua per lunghi tubi.

Epperò dicendo Q la portata della condotta in metri cubi 1° si trovano indicate per la soluzione dei problemi pratici sulle condotte per lunghi tubi le due equazioni seguenti:

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} h &= 0.00154 \frac{\lambda}{D} v^2 \left\{ 1 + 33 \frac{D}{\lambda} \left(\frac{D}{d} \right)^4 \right\} \\ Q &= \frac{\pi D^2}{4} v \end{aligned} \right.$$

Notasi inoltre che d è bensì minore di D , ma quasi sempre minore di poco, e se la condotta è di lunghezza notevole, il 2° termine tra parentesi è trascurabile a fronte del primo, ossia a fronte dell'unità. Così nel caso nostro avrebbesi $D=0.202$ e $\lambda=3363$, ossia:

$$33 \frac{D}{\lambda} < \frac{1}{500}$$

Ed è perciò che si ritengono in generale come sufficienti le due equazioni:

$$(2) \quad \left\{ \begin{aligned} h &= 0.00154 \frac{\lambda}{D} v^2 \\ Q &= \frac{\pi D^2}{4} v \end{aligned} \right.$$

Ma non sarà mai abbastanza avvertito che in queste equazioni la v e la Q hanno valori *limiti* ambedue insuperabili, epperò sempre un po' maggiori del vero, inquantochè presuppongono che tutto il battente h sia consumato in attrito, e che perciò l'acqua arrivi precisamente all'estremità inferiore del tubo, ossia alla sezione d'efflusso, teoricamente parlando, senza alcuna velocità d'efflusso.

Eliminando v dalle equazioni (2) si ha l'equazione finale che tutti conoscono, e di cui tutti si servono:

$$Q = 20 \sqrt{\frac{h D^5}{\lambda}} \quad (3)$$

senonchè non tutti osservano che la Q così calcolata è una portata limite alla quale mai non arriverà quella della condotta.

Ne conseguita che avendosi da stabilire una condotta di acqua di cui è conosciuta l'altezza premente h , e da cui si vuole ricavare una determinata portata Q , si possa bensì far uso della formola (3) per determinare il diametro D , ma quel valore di D così ottenuto ci dà una portata più piccola del vero; ed è perciò che devesi ritenere questo calcolo siccome un calcolo di pura approssimazione; ed avuto il valore di D è necessario aumentare un po' questo valore nell'assegnare alla condotta reale il diametro voluto.

Solo allora si sarà certi di avere la portata che si desidera; ed è poi per poterla praticamente ottenere nella sua precisa misura che si stabilisce alla estremità della condotta una luce di efflusso di diametro d , che potrebbesi ricavare teoricamente dalla equazione

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

la quale deriva dalle equazioni (1) nello stesso modo che la (3) dalle (2); ma al vero diametro d suolsi invece da tutti arrivare praticamente, e con maggior sicurezza, munendo l'estremità della condotta di una luce a chiave regolatrice, ed aprendola più o meno finchè siasi precisamente ottenuta la portata prestabilita.

II.

Le quali cose premesse, vediamo dapprima se il diametro della condotta in questione siasi effettivamente determinato in base ai suesposti criteri.

Prendesi atto fin d'ora del fatto che la estremità inferiore del tubo non è stata munita di alcuna disposizione atta a regolare la sezione effettiva della luce d'efflusso, o quantomeno non venne finora adoperata; e che si ha quindi d costantemente uguale a D ; circostanza questa che, come vedremo, non ha vantaggi pratici, e che certamente non può dirsi commendevole.

Dal profilo I, II, III, IV, V, VI, VII (fig. 4) comunicatomi della condotta (dalle sinuosità del quale faccio, solo per un istante, astrazione completa, traggio le due quote di livello estreme della linea di centro della condotta; la superiore essendo segnata 15,582 e la inferiore 41,500, trovo una differenza di livello di m. 25,918 a cui aggiungo 82 millimetri di battente alla estremità superiore della condotta dietro i dati del problema, e riscontro perciò un'altezza premente $h = 26$ metri.

Ritenendo la lunghezza λ della condotta di metri 3363, ciò che pure risulta dal profilo, e la portata che si voleva prefissa di 33 litri al 1" ossia $Q = 0,033$, ed applicando la

formola (3) si troverebbe un diametro di 204 millimetri, o per dir meglio si trova che *alla condotta in questione perchè fosse capace della portata prefissa* doveva assegnarsi un diametro maggiore di 204 millimetri; inoltre si consiglia dai pratici di aggiungere sempre a questa misura da 10 a 20 millimetri in più.

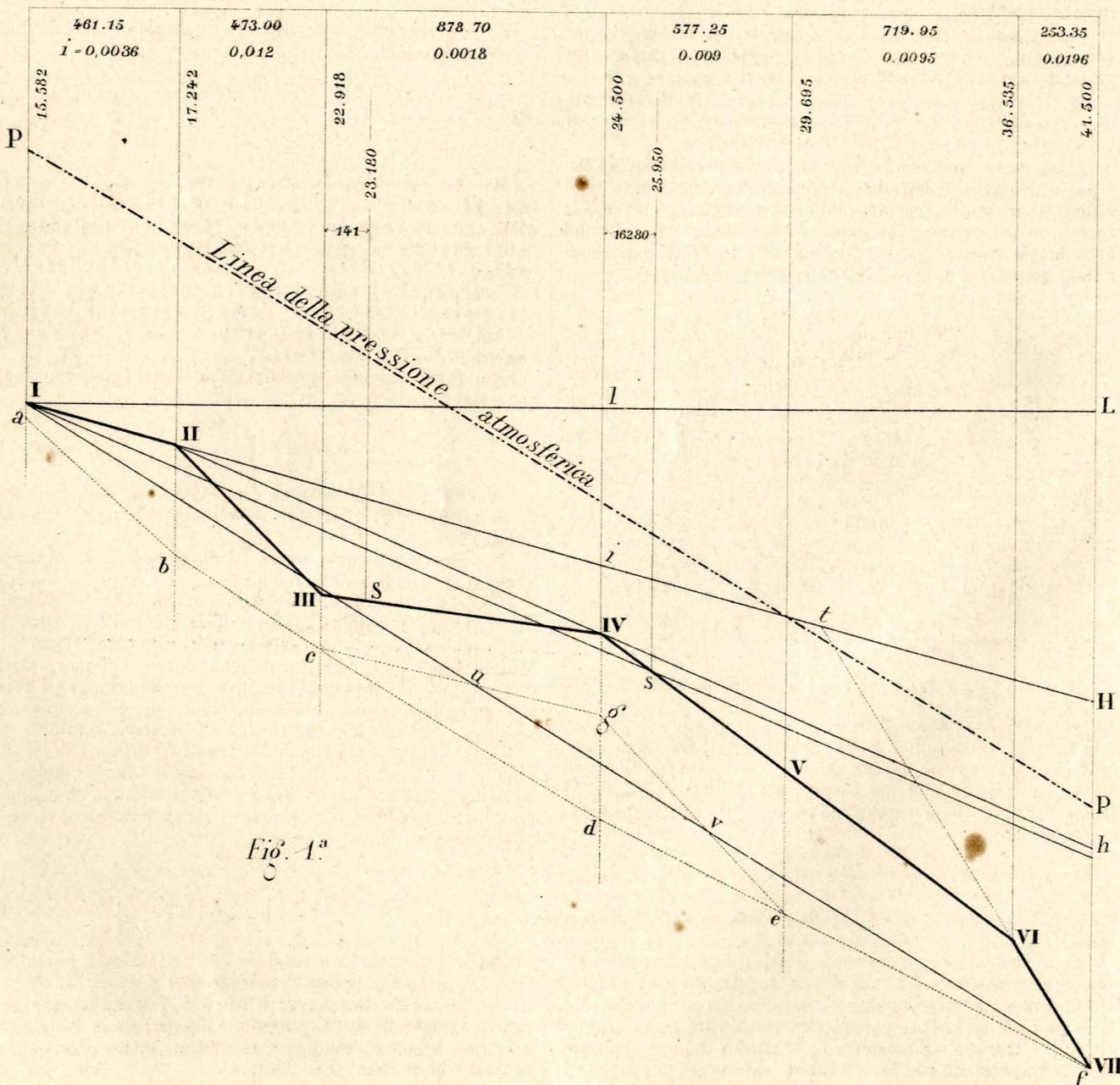
Sta invece il fatto che la condotta non ha che un diametro interno di 202 millimetri.

La mancanza di grandezza della sezione non avrebbe tuttavia per effetto che di far scemare di qualche litro la portata. Ma ben altri inconvenienti maggiori è d'uopo lamentare nella disposizione di questa condotta.

III.

Il calcolo ora esposto non devesi ritenere che un preliminare dello studio della condotta; il profilo dell'asse, o, come dicesi, l'altimetria di questo può esercitare sul valore della portata, e quindi indirettamente sul diametro da assegnarsi, una notevole influenza.

Non basta cioè, siccome alcuni avrebbero casualmente pensato, che tutti i tronchi della condotta inclinino al basso, quale più e quale meno, a seconda della configurazione generale del terreno che trattasi di percorrere col tubo,



per essere certi che l'acqua prendendo a discendere per il tubo sotto la pressione dovuta all'altezza premente, arrivi alla bocca d'efflusso colla effettiva portata da cui abbiamo preso le mosse per calcolare il diametro della condotta. Tant'è vero che *potrebbe benissimo succedere* (e non è questa una semplice ipotesi irrealizzabile, siccome tra poco vedremo) *di avere una condotta per tubi sempre discendente, ma con tale successione di pendenze* che l'acqua non riesca a progredire oltre di una certa sezione della condotta, epperò *da non potersi più teoricamente ammettere alcun efflusso.*

Comprendesi poi di leggieri, anche prima di scendere ad idee più concrete, come tra questo caso estremo, e dicasi pure rarissimo, e quello di una condotta tracciata a dovere anche nel senso altimetrico, possano presentarsi una infinità di condizioni intermedie, nelle quali avvenga effettivamente una notevole diminuzione della portata. E tale appunto è il caso pratico proposto.

Se non che prima di ragionare su di un caso tanto eccezionale, gioverà all'intelligenza di riferirsi prima ad un caso ordinario e generico. Suppongasi dunque d'avere una condotta il cui profilo sviluppato siasi indicato colla linea a punti rotondi *abcdef*. Sia *al* l'altezza dell'acqua nel serbatoio superiore, ossia l'altezza premente all'origine della condotta, e suppongasi che all'estremità inferiore *f* l'acqua prenda ancora a salire all'altezza *fH*. È anzitutto evidente che conducendo per *I* la orizzontale *IL*, l'altezza *HL* rappresenterà la perdita di battente da *a* in *f* per causa dell'attrito nel tubo, a quello stesso modo che la *fH* rappresenta l'altezza dovuta alla velocità di efflusso, stata più sopra espressa col termine

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

È del pari evidente che ove si conduca la linea retta *IH*, e poi si immagini scomposta in diverse parti la condotta della totale lunghezza λ , per essere la resistenza d'attrito proporzionale alla lunghezza del tubo, la perdita di battente dovuta a tale resistenza, per una sezione qualsiasi della condotta, per il punto *d*, ad esempio, sarà misurata dalla verticale *il*. Ciò equivale a dire che se in *d* fosse innestato un cannello verticale sufficientemente alto, l'acqua prenderebbe a salire in esso per tutta l'altezza *di*; e ciò essendo per qualsiasi altro punto della condotta, ne segue che la linea *IH* è ciò che dicesi *la linea dei battenti*.

Nel dare il progetto di una condotta per tubi la costruzione grafica della linea dei battenti non può essere trascurata, perchè è con essa che solamente si spiegano certi fenomeni i quali avvengono nelle condotte naturali.

Si immagini infatti che la estremità inferiore della condotta in *f* abbia una luce d'efflusso di diametro eguale a quello *D* della condotta, ma munita di cannella a chiave o d'altro rubinetto qualsiasi con cui si possa ridurre o più o meno quella medesima luce. È chiaro che più si chiude quella luce, ossia più si diminuisce il *d*, più risulta accresciuto il termine

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

e più aumenta l'altezza *fH*.

Ma pel contrario, aprendo maggiormente la luce, l'altezza *fH* diminuisce, e se la luce è tutta aperta, allora la linea dei battenti sarà *If*, e tutta l'altezza premente *Lf* sarà consumata per attrito. Siamo cioè nel caso della *portata limite* determinata dalla formola (3) di cui s'è detto il modo di servirsi per assegnare il diametro alle condotte.

Se la linea dei battenti *If* rimane allora tutta superiore alla linea della condotta *abcdef*, nulla di particolare vi è da osservare, e si avrà realmente la portata prefissa dalla formola (3).

Ma se, come può benissimo accadere, il profilo della condotta, tuttochè composto di tronchi sempre discendenti, intersecasse la linea *If* dei battenti, se, per esempio, si avesse il profilo *abcgef*, è chiaro che per tutto il tratto *ugv* la pressione del liquido nell'interno della condotta, contro la parete del tubo, sarà, al pari dell'ordinata, negativa, o per lo meno

inferiore alla pressione atmosferica esterna. Epperò se si praticasse un piccolo foro in tale tratto della condotta, non solamente non si verificherebbe alcun zampillo o sperdimento d'acqua, ma ne succederebbe al contrario un succhiamento d'aria che potrebbe rendersi capace in certi casi non solo di ridurre la portata, ma pur anche di arrestare la condotta.

IV.

Applicando le cose ora esposte al profilo *I, II, III, IV, V*, ecc., della condotta che si tratta di esaminare, si vede subito che per non essere munita di chiave regolatrice la estremità del tubo in *f*, la linea teorica dei battenti sarebbe la *If*; e che però *questa condotta, progettata, regolarmente approvata, e fatta costruire, presenta la singolarità, appena credibile poichè la si vede, di avere la sua linea dei battenti pressochè tutta al disopra del profilo della condotta.* Ne fanno eccezione il brevissimo tratto alla origine in *I* in virtù degli 8 centimetri di battente sulla luce di introduzione, e l'altro egualmente brevissimo tratto nel punto *III*.

Ne risulta, che tracciando la *PP* parallela alla *IF* ed all'altezza di m. 10,33, nelle sezioni prossime al punto *IV* la pressione assoluta nel tubo non è più che una metà circa della pressione atmosferica. Ora è evidente che l'aria sempre frammista all'acqua, e con questa trascinata giù per la condotta dal serbatoio, essendo naturalmente elastica, prenderà a dilatarsi nella condotta, e ad assumere volume corrispondente alla diminuita pressione. Col sopraggiungere di nuova aria succede una nuova resistenza da vincere, ed una diminuzione della portata. Tant'è vero che ove la linea della condotta avesse proseguito, ad esempio, colla primiera pendenza del primo tratto (*I, II*), fino ad incontrare in *t* il prolungamento dell'ultimo tratto (*VI, VII*), la condotta sarebbe riescita inevitabilmente interrotta e resa impossibile per il vuoto assoluto che ne risulterebbe all'incontro del suo profilo colla linea *PP* della pressione atmosferica; e ciò sarebbe inevitabilmente avvenuto, tuttochè la condotta risulti costituita da tronchi tutti quanti *graficamente discendenti*, se così m'è lecito dire.

Ma lasciando da parte questo caso estremo di portata nulla, ed ancorchè si volesse fare astrazione dalla elasticità dell'aria, è chiaro che quanto più il profilo vero di una condotta si accosta a tale estremo, tanto più irregolare e diverso dalle ipotesi fatte dev'essere il movimento dell'acqua nella condotta, che si farà in modo intermittente, o quanto meno, a sezione scema, e in condizioni ancor meno favorevoli di un canaletto aperto, più non potendosi, come in questo, fare astrazione dalle resistenze dell'aria.

Una notevole diminuzione di portata è dunque la conseguenza pratica, definitiva ed innegabile della poco buona disposizione che la condotta data ci presenta.

V.

Trattasi ora, poichè lo si chiede, di trovar mezzo di dedurre quanta potrebbe essere la portata effettiva di questa infelice condotta, così com'essa si trova, e poi vedere se siavi mezzo di accrescerla.

Le considerazioni suesposte ci permettono al riguardo di rispondere:

1° Se si munisse la bocca d'efflusso di luce sufficientemente piccola, perchè la linea dei battenti possa alzarsi regolarmente al disopra di tutto il profilo della condotta, nel qual caso la condotta si troverebbe in piena regola; la linea dei battenti resterebbe segnata dal prolungamento di *I, II* fino in *H*, ma la portata limite, ottenibile col diametro dato, non sarebbe dovuta più che all'altezza premente *HL*.

Calcolata colla solita formola, essa risulta appena di litri 22 per 1" invece di 33 litri, come si voleva da chi progettò la condotta;

2° Ad ottenere in tali condizioni di cose la portata effettiva di 33 litri, converrebbe che la condotta avesse il diametro di 240 millimetri invece di 202;

3° La molta perdita di battente *fH* potrebbe per altro essere diminuita, ove si prendesse per linea dei battenti la retta che unisce i due punti culminanti *II* e *IV* con che si guadagnerebbe in altezza premente il tratto *Hh*; ma ciò

presume che ottengasi il movimento dell'acqua nel tratto I, II, secondo una linea di battenti quasi parallela alla condotta per tutto quel tratto, e per ottenere tale cosa bisognerebbe aumentare di alcun poco il diametro della condotta in quel solo tratto.

Così operando, o per dir meglio, così supponendo, la portata risulterebbe al massimo accresciuta fino a litri 26,9;

4° Siccome poi non è praticamente indispensabile che in tutte le sezioni della condotta la pressione interna sia effettivamente superiore a quella atmosferica, così non sarà nè teoricamente nè praticamente impossibile di ottenere, per la economia della condotta, che la linea effettiva dei battenti parta da I e passi di un cotal poco al disotto del vertice II, e del vertice IV di tanto appena da non dar luogo a troppo dannosi ingorghi e resistenze d'aria; e da potersi promettere anche col diametro attuale, che si disse insufficiente per il primo tratto, una portata effettiva di 26 litri, o poco più;

5° A verificare praticamente questo massimo di portata, sarà conveniente di munire la estremità inferiore del tubo di chiavetta regolatrice, cercando sperimentalmente il grado di maggiore o minore apertura della medesima, finchè il massimo della portata si sia ottenuto.

È chiaro infatti che se si lascia l'acqua effluire liberamente dalla intera sezione f del tubo, il movimento dell'acqua nella condotta avverrà come in canale scoperto, e l'efflusso si farà necessariamente a bocca scema, siccome si è pure constatato sperimentalmente.

Col restringere di poco la luce di efflusso si innalzerà successivamente la linea dei battenti di quel tanto che si riconoscerà appena sufficiente a far sì che l'acqua, affluendo a bocca piena, impedisca all'aria esterna di risalire a ritroso su per la condotta, opponendosi al corso regolare dell'acqua.

Parrebbe ad ogni modo che la resistenza prodotta da codest'aria esterna abbia presso a poco lo stesso effetto di un conveniente restringimento della sezione d'efflusso, dapochè la portata, dietro quanto mi fu riferito, sarebbe sperimentalmente trovata di 26 litri, e sarebbe ad un tempo constatato che l'efflusso facevasi, come di necessità, a bocca scema dalla estremità libera della condotta.

Una seconda conferma delle induzioni teoriche su esposte avrebbsi pure nel fatto che in s a metri 162.80 più a valle del punto IV, l'acqua della condotta non elevavasi nella vaschetta piezometrica che di tre a quattro centimetri, i quali per di più sparivano di quando in quando.

Ben vedesi dunque che la linea dei battenti teoricamente stabilita, combina perfettamente col dato sperimentale su riferito, e che perciò la portata di litri 26 vuol essere ritenuta siccome assai vicina alla massima sperimentalmente ottenibile da quella condotta.

Tutto al più vi sarà luogo a provare, se mai armando a dovere di rubinetto a chiave la luce d'efflusso, nell'unico scopo di diminuire la resistenza, che oppone l'aria esterna spingentesi su per il tubo, e che riesce perciò di alcun poco maggiore che operando solamente sulla vena contratta della sezione d'efflusso; e regolando sperimentalmente questa apertura in modo da non far elevare la linea dei battenti che di quel poco a ciò necessario, vi sarà luogo a provare se sarà possibile di elevare di qualche mezzo litro tutto al più la portata di litri 26 di quella condotta.

6. — Ad ottenere praticamente una economica linea di battenti, la quale riuscisse parallela e di pochi centimetri superiore a tutto il profilo sinuoso della condotta tal quale fu tracciato, e ricavare dalla condotta medesima la portata effettiva di 33 litri, si avrebbero dovuto assegnare i seguenti diametri ai diversi tronchi, dei quali la condotta è risultata composta, cioè:

	I	II	III	IV	V	VI	VII
D=mm.	238	187	273	198	196	170	

invece del diametro unico di 202 mm. e coll'avvertenza di aumentarli ancora di 10 a 20 mm., come i pratici consigliano, e la teoria, dietro le ipotesi dalle quali parti, pienamente ammette.

Ne risulta che i due tratti aventi diametro assolutamente insufficiente sono il 1° ed il 3°, mentre gli altri tre tratti avrebbero ancora diametro sufficiente.

Ciò risulta d'altronde chiarissimo dalla figura, e senza d'uopo di calcoli; essendochè non credo aver d'uopo di dimostrare che i tratti aventi maggiore pendenza della retta unica lf accusano un diametro eccedente, e quelli aventi minore pendenza accusano insufficienza di diametro.

Volendo infine allo stato attuale delle cose rimediare al male colla minima spesa, in modo da ottenere effettivamente la portata di 33 litri, basta cangiare i tubi nei due soli tratti (I,II) e (III,IV). Ciò è indispensabile.

G. S.

FERROVIE D'INTERESSE LOCALE

LA LINEA FUNICOLARE-PNEUMATICA LAUSANNE-OUCHY. (*)

(Veggansi le Tavole I e II).

In tempi così difficili per le nuove costruzioni ferroviarie come i presenti, di fronte al *krach* multiforme che ha regolarmente colpito quasi tutte le ferrovie esistenti, ed alla mediocre fiducia che ora ispirano al capitale le cosiddette speculazioni *ferruginose*, non possono parere che ardite le applicazioni veramente pratiche di sistemi speciali per ferrovie d'interesse locale.

Eppure per chi tenga dietro, colla scorta dei fatti e delle statistiche, al diagramma segnato dall'estendersi progressivo delle strade ferrate, in confronto colla quantità assoluta di abitanti servita — colle regioni prescelte, e con quelle lasciate indietro — col danaro sborsato, e con quello incassato — è cosa pressochè dimostrata, che le ferrovie d'interesse generale, cioè le grandi linee sfruttate dalla locomotiva, sono in realtà quelle, in cui, per mala ventura, codesti differenti fattori, non che conciliarsi ed equilibrarsi a vicenda, si trovano più spesso in cozzo, od in ingrata armonia fra di loro.

La quale penosa proposizione viene a dire, che, ove si esprimessero rispettivamente con curve grafiche, in funzione progressiva del tempo e dei mezzi impiegati, lo sviluppo di codeste ferrovie, poi la densità dei paesi e delle popolazioni attraversate, l'intensità dell'azione assimilatrice sui traffici divergenti infrapposti, ed il rendimento netto ottenuto, si vedrebbe che non solo queste quattro curve sono lungi dal riuscire convergenti o parallele, ma che anzi le tre ultime si scostano generalmente dalla prima, ora più, ora meno — sempre però in guisa da provare, che all'ampliarsi di quella non corrisponde un congruo e sufficiente allargarsi di queste. Una sola curva camminerebbe per avventura di conserva colla prima, e forse anche la intersecherebbe — quella degli oneri emergenti ai corpi morali od ai privati.

Gli è che le grandi arterie stradali a vapore non possono, per la natura stessa dello scopo e dei modi, raccogliere, nè allacciare sul loro percorso, tutto quel movimento, direi quasi, intercomunale, che s'irradia fra il centro e la periferia entro la zona da esse solcata, e che, comunque formato da piccoli nuclei di persone e di prodotti, rappresenta però la interna vitalità del paese; vi si oppongono collettivamente il tracciato, il sistema di trazione, e le necessità stesse dell'esercizio — conseguenze obbligate di quelle linee, che, per essere internazionali od interprovinciali, sono più particolarmente legate ad una diretta e rapida comunicazione fra i punti principali od estremi.

Un tale assunto è invece il campo naturale ed omogeneo

(*) All'egregio amico e collega, cav. Leonardo Carpi, che ebbe occasione di visitare in persona i lavori di questo nuovo sistema di ferrovia a trazione funicolare recentemente inaugurata, dobbiamo la presente elaborata memoria, di cui i nostri lettori apprezzeranno, come noi, tutta l'importanza. Manifestiamo ad un tempo la speranza di avere dalla cortesia dell'ing. Carpi analoghi ragguagli sul ramo a trazione pneumatica non si tosto, ultimati i lavori, ne sarà inaugurato l'esercizio.

(Nota della Direzione).

delle piccole vene ferroviarie — a vapore, o senza — le quali, sole, possono seguire, in ogni più svariata loro manifestazione, tutte le ondulazioni orografiche dei commerci e dei transiti, ed accettare ogni contributo, anche saltuario ed irregolare, senza venir meno, anzi giovando, alle loro condizioni proprie, ed agli interessi privati coinvolti.

Esse mi ricordano il fatto di quella miniera aurifera, dove i proprietari, fuorviati da smisurate spese di scavo e di trattamento, e da un impianto irrazionale, furono ridotti a sospendere la coltivazione, mentre alcuni fra i loro stessi operai, associatisi modestamente, salirono in grande fortuna col semplice vagliare i detriti abbandonati dai loro antichi padroni.

Non è in modo diverso, che le piccole ferrovie d'interesse locale, col poter quasi prendere e condurre a domicilio il viaggiatore o la merce, col piegarsi ai loro bisogni, anziché regolamentarli, col profittare infine di tutto il traffico sfuggito alle linee principali, sono in realtà destinate a colmare economicamente le grandi lacune da queste lasciate, a prosperare con quei mezzi stessi che trarrebbero le altre a rovina, e ad essere infine i fattori di quell'influenza interamente provvida e remuneratrice che talora chiedono invano alle reti primarie il commercio e l'industria, e che può certo assicurare ad un paese la ramificazione del benessere sociale.

Quindi l'apertura di una ferrovia funicolare, avvenuta in quest'anno a Losanna, benchè circoscritta in apparenza ad un campo isolato e ristretto, prende in realtà le proporzioni di un fatto scientifico ed economico dei più rilevanti. E come tale merita di essere da noi conosciuto, perchè fa fede sempre maggiore di quel tenacissimo spirito d'iniziativa e di creazione, che è carattere e fortuna precipua della Svizzera, e col quale soltanto può uno Stato crescere in libertà ed in risorse, senza nulla sperare od invocare dall'alto.

I.

Losanna, i più lo sapranno, è una industriosa e spigliata città di circa 30,000 abitanti, capitale del Cantone di Vaud, e situata sul transito dei traffici tra l'Italia e la Francia da una parte, la Germania ed il Nord dell'Europa dall'altra. Rasentata dal lago Lemano ne' suoi sobborghi, essa lo domina però da un'altezza media di 125 metri, su cui è a cavaliere, e da una distanza di circa 1500; essa sovrasta pure di 45 metri mediamente la sua propria stazione ferroviaria, che è punto d'incrociamiento per le direzioni del Mediterraneo, della Svizzera tedesca e del lago di Costanza. Perciò, tanto il lago, quel gran bacino del Rodano da cui essa trae, col più grande movimento di persone e di prodotti, l'alimentazione più attiva delle sue industrie e del suo commercio, quanto il suo accesso alle reti ferroviarie che la servono, non sono in immediato contatto con lei.

Questo isolamento dalle rapide comunicazioni e dalle aure salutari della spiaggia era una fonte di notevole danno al benessere materiale della città, cioè alle condizioni del vivere, all'estendersi degli abitati, ed all'affluirvi di forestieri. Il lavoro necessario a superare i 125 metri in salita dal lago a Losanna si traduceva nella duplicazione netta del costo dei materiali trasportati, nei prezzi conseguentemente elevatissimi delle costruzioni civili, e nel concentrare sulla riva del lago, cioè ad Ouchy, la vera Losanna visitata ed abitata dal viaggiatore di piacere.

D'altra parte mancavano pure alla città buone e copiose acque potabili, che potessero valere nel tempo stesso di forza motrice.

Per ovviare a tale stato di cose, che minacciava mutarsi in un marasma permanente di affari, si formò una Compagnia per azioni avente i tre distinti obbiettivi:

1° Di collegare Losanna ad Ouchy, suo approdo alla navigazione del Lemano per le provenienze e destinazioni del Sempione, della riva Savoiarda e dell'interno — a mezzo di una ferrovia funicolare;

2° Di riunire Losanna alla sua stazione ferroviaria con un sistema pneumatico parallelo al precedente;

3° Di utilizzare per forza movente di entrambi i sistemi una condotta d'acqua derivabile dalla immissione delle acque del Grenet nel lago di Bret ridotto ad ampio serbatoio, e

dalla successiva loro canalizzazione, per 14 chilometri fino a Losanna, a beneficio del pubblico consumo e delle industrie.

Il lago di Bret è un piccolo bacino all'est di Losanna, che sovrasta la riva meridionale del Lemano, a monte della ferrovia Losanna-Berna, e sull'impluvio della catena di colli, che separano quest'arteria dalle montagne del Giura; alimentato in origine dalle piogge, e da qualche scarso affluente, scola le sue acque nel Lemano stesso, che le porta poi per il Rodano nel Mediterraneo.

All'opposto il rivo del Grenet, che sgorga dai boschi del monte Jorat, un po' più lungi ed a settentrione del lago di Bret, a cui è inferiore in livello, dirige il suo corso verso il nord, e mescolandosi più oltre alle acque dell'Aar e del Reno, sbocca con questi fiumi nel Mare del Nord.

Si ha quindi nelle inflessioni di terreno che si adergono, e s'intromettono, fra queste due opposte direzioni di acque, un frammento di quella vasta e generale linea di displuvio che divide le acque fra il sud e il nord dell'Europa. Attraversare questi promontori con una galleria di circa 280^m, e condurre per essa, nel lago di Bret, una porzione delle acque del Grenet, in guisa da rendere sensibilmente normale il volume liquido di quel lago, per natura irregolare ed incerto, e da formarne un deposito costante di alimentazione della condotta accennata — ecco il criterio fondamentale dell'impresa. Scopo conseguente — il portare in città, per sotterranei, ed opere d'arte non lievi, un volume d'acqua corrispondente al minimo di 540,000 litri per ora, concentrandone alle porte di essa un recipiente di 6000 metri cubi, non che il costruire una strada ferrata tanto breve di percorso, quanto difficile per condizioni e per esito, che si valesse della forza motrice in tal modo accumulata.

Questa impresa, che racchiudeva così molte incognite come riuscita, ed alee assai dubbie come impiego di danaro, fu tuttavia, non appena concepita, tosto sanzionata e concessa, e, quel che più, resa possibile dai soli abitanti di Losanna, i quali ne assunsero la totalità delle Obbligazioni ed i tre quarti delle Azioni. Esempio di spontaneità e di volere, che noi italiani, ancora colle braccia incrociate dinanzi a tanti problemi vitali di lavori e d'industria, dovremmo ben seriamente considerare.

II.

Disposizione generale della linea. — La linea di cui ho indicato le cause determinanti, solo perchè affini a quelle di alcune nostre città o provincie, deve correttamente definirsi *a piano inclinato, con trazione funicolare automotrice.*

Le sue disposizioni planimetriche, non che i profili-tipi della costruzione, su cui più oltre mi soffermerò brevemente, parlando del corpo stradale, appaiono in modo evidente dalle Tavole I e II qui annesse. Quanto all'altimetria basterà notare per ora, che la distanza fra le due stazioni estreme — cioè quella del *Flon* (Losanna), e quella di *Ouchy* (lago) — è di 1496^m, e che il dislivello totale fra esse è di 104^m.72, i quali vengono superati colle tre successive pendenze del 7, del 5.59 e dell'11.60 0/0 sopra i rispettivi percorsi di 257^m, di 760^m.80 e di 267^m.70; la rimanente lunghezza di 210^m.50 è la somma del tratto orizzontale alla stazione inferiore, e dei raccordamenti assegnati all'incontro di ogni livelletta, i quali hanno raggi altimetrici di 200^m, di 1700^m, e di 400^m, colle rispettive lunghezze di 11^m.17, di 100^m.35 e di 46^m.09 (1).

L'intera linea è in rettilineo, toltine i due brevi raccordamenti curvilinei che immettono alla tratta d'incrociamiento dei convogli, e che hanno entrambi il raggio di 400^m sopra uno sviluppo complessivo di 89^m.54. La tratta rettilinea interclusa fra questi raccordamenti è di 52^m.50, ed è sufficiente a permettere l'incrociarsi di due convogli aventi la massima lunghezza.

Quattro sono le stazioni servite, comprese le due di testa, e sono:

(1) Queste cifre, non che taluna delle seguenti, subirono posteriormente qualche leggera modificazione, che è senza importanza per il lettore, non portando nè sulle pendenze, nè sulla disposizione generale della linea.

LOSANNA (*Gare du Flon*): a 482^m.50 di altitudine sopra il livello del mare;

Saint-Luce (stazione ferroviaria della *Suisse Occidentale*);

Jordil (stazione suburbana resa meccanicamente necessaria dalla precedente);

OTCHY (riva del lago Lemano): a 377^m.78 di altitudine.

La stazione funicolare di Saint-Luce, affatto adiacente alla stazione ferroviaria della città — la cui ubicazione meglio emerge dalle Tavole annesse, che da più diffusi ragguagli — acquisterà maggiore importanza quando sia ultimato il ramo pneumatico, il quale, servendosi dello stesso corpo stradale, si raccorderà direttamente, cioè senza trasbordo, alla stazione ferroviaria medesima.

Questo ramo, che trovasi ancora in costruzione, e che completerà nell'operoso territorio svizzero l'applicazione di tutti i principali sistemi conosciuti per il valico delle forti pendenze, è indicato con un tubo in sezione nella figura 5, rappresentante il profilo trasversale della galleria di Montbenon (Tav. II), sotto cui dovrà passare, allato al suo confratello funicolare.

Nei primordi del progetto si trattò un momento di adottare la propulsione pneumatica a grande tubo, cioè in galleria, alla quale gli studi di Clarke diedero la prima notorietà; e si pensò ad un convoglio-stantuffo, che una campana soffiante, messa in azione da un torchio idraulico, avrebbe spinto in una galleria-cilindro, coll'immettere l'aria di questa nella campana stessa, e raccogliendo il lavoro resistente della discesa per impiegarlo alla successiva salita. Ma poi la convenienza di riunire in una sola galleria i due sistemi di propulsione, anziché di averli in due distinte gallerie parallele a sezione diversa, fece ben tosto preferire la propulsione pneumatica a piccolo tubo, cioè a cielo scoperto, che le conosciute ricerche di Medhurst, Hutten, Clegg, Mallet, trassero sul limitare delle applicazioni.

Un cilindro metallico avente una verosimile sezione di 20 a 22 centimetri quadrati, fissato sull'asse della linea, solidariamente coll'armamento della medesima, e di poco emergente dal piano del ferro, servirebbe da tubo di propulsione, entro il quale uno stantuffo composto, ed equilibrato, scorrerebbe nei due sensi, guidato eventualmente da rotelle annesse al suo gambo: quest'ultimo porterebbe infisso, normalmente alla pendenza, un robusto nerbo di congiunzione prolungantesi, come sbarra d'attacco del convoglio, al di fuori del tubo, entro cui esso nerbo trova continuato e successivo passaggio mediante una valvola praticata longitudinalmente sul cielo del tubo stesso — valvola apribile mediante rotelle precedenti la sbarra, e richiudibile automaticamente a contrappeso, od a molla, dopo il passaggio dello stantuffo. L'aria ad alta pressione, necessaria alla corsa dello stantuffo, sarebbe cacciata, e rinchiusa, per via di compressori a pompa, in adeguati serbatoi comunicanti col tubo propulsore, ed imprimerebbe per espansione lo sforzo motore, non consentendo la brevità del percorso un'azione uniforme; quella poi accumulata dalla discesa verrebbe opportunamente raccolta, per essere a sua volta utilizzata nel rispingere il convoglio alla salita.

Le modificazioni, e le varianti, che l'abbozzato sistema potrà manifestamente subire in corso di esecuzione, mi dispensano dall'entrare in particolari, la cui descrizione riuscirebbe assai più opportuna ed attendibile a successo raggiunto.

Passiamo all'altro ramo, che è un fatto compiuto.

Il piano inclinato funicolare contiene due binari paralleli ingegnosamente combinati, cioè non già perfettamente distinti, bensì quasi sovrapposti uno all'altro per un primo tratto inferiore a quattro guide, due a due equidistanti, ed a scartamento normale — poi bipartentisi effettivamente al punto d'incrociamiento per una totale lunghezza di 142^m.04 — quindi riuniti lungo il rimanente percorso in tre uniche rotaie, una delle quali rimane per ciò stesso comune ai due binari. Cosiffatta disposizione, oltre al conseguire un'importante economia nella larghezza della piattaforma stradale, e nella quantità del materiale fisso, ha per effetto di escludere il bisogno di scambi all'incrociamiento dei convogli; scambi, che, cagionando spese di manutenzione, sarebbero per più riusciti di non lieve ostacolo all'infissione delle puleggie di scorrimento della fune.

Anche qui l'offerta visione del piano generale (Tav. I) e le diverse sezioni della Tav. II, mi esimono da cenni più estesi.

Il sistema di locomozione adottato sta nel noto principio: che, dato un leggero impulso iniziale, due convogli equipesanti, resi solidali coi due capi di una fune avvolta ad una puleggia infissa al vertice del piano inclinato, e lunga quanto la corsa totale di un convoglio, si muoveranno sopra i due binari in guisa, che, se questi abbiano pendenza uniforme, mentre uno sale e perviene al vertice del piano, l'altro scende e ne raggiunge l'estremità inferiore, incrociandosi fra loro alla metà del percorso.

Senonchè nel caso concreto il piano inclinato Lausanne-Ouchy, a differenza di tutti gli altri fin qui costruiti per locomozione funicolare automatica, non avendo una inclinazione costante, e di più, lasciando prevedere una esuberanza di traffico, perciò di peso, nei convogli ascendenti, l'equilibrio, o l'automabilità, anche astrazione fatta dalle resistenze passive, che pure son gravi, non ha luogo — e quindi un motore fisso, necessariamente capace di vincere ogni reazione, imprime il moto alla fune.

III.

Meccanismo motore. — Il motore, collocato nel sotterraneo della stazione culminante, ed in un vano di 100^m d'area per 41^m di profondità, è una duplice turbina del sistema Girard, fissata ad un asse orizzontale, ed avente — per una opportunissima innovazione dell'ingegnere Callon, che è l'autore del progetto meccanico — due corone di palmole disposte in senso inverso, per i due opposti movimenti. Essa ha il diametro esterno di 2^m.25, ed è attivata da una colonna d'acqua, la quale vi giunge per una condotta del diametro massimo di 0^m.40, con un battente di 142^m.50, cioè alla pressione di circa 14 atmosfere. Cosiffatta eccezionale pressione non trova riscontro che nei compressori applicati alla perforazione del Gottardo — non esistendo, che io sappia, un'altra industria importante e continua, il cui motore lavori regolarmente sotto il carico di una tale colonna d'acqua.

L'asse orizzontale, od albero motore della turbina, è parallelo a quello del tamburo che avvolge la fune di trazione, i cui due capi formano i rispettivi due rami, ascendente e discendente, di essa; e la trasmissione del movimento avviene per mezzo di un albero secondario, pure parallelo ai due primi, che serve ad ottenere una velocità convenientemente ridotta. Sull'albero motore è perciò calettata una piccola ruota dentata del diametro di 1^m.05 con 50 denti, la quale imbocca in altra maggiore calettata sull'albero secondario, ed avente il diametro di 4^m.53 e 216 denti; su quest'asse secondario trovasi calettata alla sua volta un'altra ruota del diametro di 1^m.414 con 33 denti, la quale muove il gran tamburo avvolgitore della fune metallica, avente il diametro esterno di 6^m.20, e 160 denti in legno distribuiti su di una corona, alla sua estremità anteriore. Tre doppi sistemi di razze a robuste nervature collegano questo gran cilindro di ghisa, che è lungo 3^m.80, al proprio albero di rotazione, che ha il diametro di 0^m.35: ed un involuppo in legno ne riveste la periferia, intorno a cui si avvolge in quattro giri la fune. Ognuno dei due rami di questa, cioè l'ascendente, e il discendente, nel distaccarsi dalla periferia del tamburo, vien ricevuto e rinviato da una puleggia a gola del diametro di 3^m, notevolmente inclinata all'orizzonte; tali due puleggie di rinvio stanno una per parte del tamburo, in posizione quasi tangenziale alla sua circonferenza direttrice, ed il senso della loro obliquità è tale, che l'angolo dei piani in cui sono contenute è bisecato dal piano verticale passante per l'asse del tamburo medesimo. Esse servono a dirigere i due rami della fune parallelamente fra loro, lungo il piano inclinato, dopo averli mantenuti per breve tratto paralleli all'asse del tamburo, cioè orizzontali; esse fanno inoltre l'ufficio di tenditori, ed a questo scopo sono calettate entro due carretti conduttori, — scorrevoli ciascuno entro due travi metalliche di guida — i quali formano madrevite di un'elica continua, che è mossa dall'albero stesso principale per intermezzo di ingranaggi conici. Vien così ricevuto dai carretti conduttori, ed impresso alle puleggie di rinvio, un moto traslatorio longitudinale di

35^m per ogni giro di tamburo, ossia unospostamento totale, nella direzione della linea, di 2^m, 76 per ogni corsa dei convogli: ciò che permette alla fune metallica, passante per le puleggie stesse, di avvolgersi e svolgersi regolarmente attorno al tamburo, poichè la indicata traslazione di 0^m.035 corrisponde appunto al diametro (0^m.03) della fune, più un leggero giuoco.

Questo ingegnoso meccanismo, rivolto ad assicurare lo sviluppo normale della fune, è la parte più interessante, e credo affatto nuova, dell'apparecchio motore: duolmi non potere, per motivi di privativa industriale, unirne un disegno a questo scritto.

Un indicatore, annesso ad uno dei due carretti conduttori delle puleggie, scorre contro un regolo, diviso secondo le singole tratte e stazioni della linea, e fisso ad una delle travi di guida, segnando così la successiva posizione dei convogli al macchinista, il quale, da una piccola cabina situata nel sotterraneo, ne regola e dirige il movimento senza corrispondere coll'esterno; una semplice soneria elettrica gli trasmette dalle successive stazioni i segnali di partenza, mentre egli legge davanti a sè l'istante di chiudere il distributore, cioè l'arrivo dei convogli ad ogni sosta della corsa. Così l'indicatore supplisce molto vantaggiosamente ai segnali di tromba del sistema Agudio, quale fu sperimentato al Moncenisio (1), ed assicurando la regolarità delle corse e delle fermate, toglie, nelle circostanze normali, ogni valore alla mancanza di comunicazione diretta fra il macchinista ed il convoglio. Tuttavia questa mancanza, comune d'altronde a tutti i sistemi funicolari, non cessa, a mio credere, dal presentare in casi eccezionali un reale inconveniente.

Un potente freno idraulico a disco applicato direttamente all'albero motore, permette la repentina fermata del meccanismo; ed una pompa ad aria, mossa da quest'ultimo, attutisce i colpi d'ariete, comprimendo il fluido in un serbatoio.

La velocità massima della turbina — siccome fu pure negli esperimenti del sistema Agudio a Lanslebourg — è di 250 giri al minuto; la normale adottata varia fra 180 e 230, secondo quella che vuolsi imprimere ai convogli. Alla velocità di 230 giri, il gran tamburo avvolgitre ne fa in media 79 per ogni corsa intera di convoglio, compientesi mediamente in sei minuti e mezzo. Onde, per la velocità effettiva massima dei convogli al secondo:

$$\frac{\pi \times 6.20 \times 79}{60 \times 6.30} = 4^m 056$$

La minima corrispondente a 180 giri della turbina, ed alla salita dell'11.60 0/0, risponde a circa 3^m per secondo. Si ha dunque, a un dipresso, una velocità ascensionale effettiva di 11 a 15 chilometri all'ora. La velocità virtuale del sistema Agudio, applicata al caso presente, sarebbe in media quasi doppia, poichè le sperienze di Lanslebourg accertarono una velocità media di circa 8 chilometri all'ora per uno sviluppo poco minore che Lausanne-Ouchy, e per un'altezza di 350^m fra gli estremi del piano inclinato; quindi una maggiore potenza di trazione. Però il peso del treno, spinto automaticamente, può essere tutto utile, mentre nel sistema Agudio comprende il peso morto del locomotore.

Gli orifizi del distributore sono 7, dei quali non apronsi che 2 1/2 per ottenere il massimo sforzo di trazione adottato, onde un consumo d'acqua di circa 7^{mc}. 50 per minuto; ne segue, che, di fronte alla grande portata della condotta, la quantità d'acqua consumata è relativamente esigua, ed il manometro rimane quindi insensibile alle variazioni di pressione durante la corsa.

La forza ed il rendimento della turbina si determinarono con quattro serie di esperimenti, fatti con un freno di Prony del diametro di 3^m.50, applicato all'albero motore, ed aprendo

(1) È noto però, che durante le sperienze di Lanslebourg, l'ingegnere Agudio ideò di sostituire ai segnali di tromba una comunicazione elettrica fra il convoglio ed il macchinista della turbina.

Questa comunicazione, che verrà applicata alla ferrovia funicolare Torino-Superga, di prossima attuazione, avviene mercè una spatola metallica annessa al locomotore, la quale è scorrevole a contatto di un filo telegrafico collocato lungo la linea.

2 orifizi e 1 1/3 nella prima serie, 3 nella seconda, 3 1/2 nella terza e 4 nella quarta.

Essendo p il peso sul piattello del freno, v il numero dei giri per minuto, e fatto successivamente, in ciascuna serie di esperienze,

$$p = 120; \quad 140; \quad 100 \text{ chilogrammi,}$$

$$v = 200; \quad 178; \quad 240 \text{ giri,}$$

la media dei tre successivi valori della forza totale

$$\frac{2\pi \times 3.50 \times v}{60} \times \frac{p}{75}$$

svilupata in cavalli-vapore della turbina, risultò rispettivamente:

$$1^a \text{ serie, cav. vap. } 118.95 \text{ ossia } 50.98 \text{ per orifizio.}$$

$$2^a \text{ » » » } 149.19 \text{ » } 49.73 \text{ »}$$

$$3^a \text{ » » » } 187.82 \text{ » } 53.67 \text{ »}$$

$$4^a \text{ » » » } 189.15 \text{ » } 49.78 \text{ »}$$

Da cui desumendo una media di 50 cavalli di forza per ognuno dei 7 orifizi, si ha, per la forza totale della turbina, 350 cavalli.

Essendo poi:

0.85 il coefficiente della portata, *supposto* dal Callon per la sua turbina,

0^m.048 \times 0^m.016 la sezione, e 140^m l'altezza del battente, si ricava:

$$0.85 \times 0.048 \times 0.016 \sqrt{2g \times 140} = 34^{\text{litri}}.21 \text{ al secondo}$$

per la portata effettiva di un orifizio, e

$$\frac{50 \times 75}{34.21 \times 140} = 0.783$$

per il rendimento della turbina, che risulterebbe perciò notevolissimo, quando il coefficiente 0.85 fosse il vero.

Passando al rendimento del sistema, considerato come ascensore, esso consisterà naturalmente nel rapporto fra il lavoro occorrente all'ascesa di un convoglio carico, ed il lavoro totale prodotto.

Ora il peso normale dei convogli ascendenti è di 35 tonnellate utili, così ripartite:

1 vagone misto per viaggiatori e bagagli	chilogr.	6,500 (carro d'attacco)
1 vagone per viaggiatori	»	6,500
3 carri da merci	»	12,000
Carico	»	10,000

Totale chilogr. 35,000

Ricordando che la differenza di livello superata è di circa 100^m sopra un percorso di quasi 1500^m, ritenendo la velocità minima di 3^m per secondo, ed assumendo come coefficiente di resistenza 3 chilogrammi per tonnellata, il lavoro resistente consumato nella salita sarebbe, in cifre arrotondate:

$$\frac{35.000 \times 100 \times 3}{75 \times 1500 \times 5} + \frac{35 \times 3 \times 3}{75} = 97 \text{ cavalli.}$$

Il lavoro massimo speso dal motore varia fra 150 e 200 cavalli, cioè non si aprono ordinariamente che 3 o 4 dei 7 orifizi del distributore. Adottando il limite superiore, cioè 200, si avrebbe dunque per il rendimento del sistema nella sola ascensione

$$\frac{97}{200} = 0.48:$$

risultato teorico elevatissimo, e tanto più a notarsi ove lo si confronti coi rispettivi rendimenti degli altri sistemi attualmente in esercizio, fra i quali basterà citare quello delle locomotive, che non supera 0^m.18, se considerate come ascensori. Ignoro però se la regolare sperienza dell'esercizio l'abbia confermato.

Le perdite dovute agli attriti apparvero del 2 1/2 %, per ogni coppia di ruote dentate. Il massimo peso ammissibile per ciascun convoglio in ascesa risultò di 44 tonnellate con 18

alla discesa, e la totale quantità d'acqua spesa per la complessiva corsa di un convoglio ascendente del peso massimo di 44600 chilogrammi, risultò di 47^m c. 50.

Quanto al numero delle corse, l'esperienza ha provato potersi far seguire i convogli di dieci in dieci minuti. Rimaneva tuttavia in un margine più ampio, per tener conto di ogni eventuale manovra, l'esercizio normale possibile in un'ora è fissato a 4 convogli, cioè al trasporto massimo ascensionale di 176 tonnellate. Considerando sempre il sistema come ascensore, e paragonandolo ancora col sistema Agudio — me lo conceda il mio egregio amico — abbiamo che questo elevava a Lanslebourg il carico complessivo di 138 tonnellate per ora, peso del locomotore dedotto, all'altezza di 350^m, cioè tre convogli doppi di 35 — 12 = 23 tonnellate ciascuno. Onde col sistema Agudio, anche valutando al minimo il maggior percorso virtuale dovuto all'altezza, si avrebbe una potenza di trazione più che doppia. Per contro il lavoro consumato in esso dai meccanismi e dalle resistenze proprie, è maggiore, e quindi minore il rendimento assoluto. Ne consegue che la sola prolungata prova del traffico potrà determinare più corretti criteri di preferibilità.

Per neutralizzare, o per fare almeno più radi, i pregiudizievole effetti delle continue oscillazioni di pressione, che necessariamente conseguono dal permanente avvicinarsi del moto e del riposo della turbina, in presenza di una colonna idraulica, che supera in potenza quella stessa onde disponevasi nelle citate sperienze del Moncenisio (133^m 32 di battente) — fu forza applicare eccezionali misure di consolidamento e di precauzione, fra cui un sistema di robusti puntelli alle svolte della condotta maestra. Nondimeno lo sviluppo di 5165 metri che hanno i soli tubi di ghisa — astrazione fatta da quasi altri nove chilometri di condotta in muratura — i loro diametri variabili fra 250 e 500 millimetri, e l'alta pressione a cui sono sottoposti, rendono inevitabili, se non frequenti, le rotture e le spese di refezione. Per questo una motrice a vapore di 180 a 200 cavalli di forza assicurerà il servizio nel caso d'interruzione della condotta.

L'intero meccanismo, quale fu descritto, costò 95.000 franchi; le turbine furono costruite ad Esson presso Parigi, ed il rimanente a Kriens presso Lucerna. L'impianto sotterraneo dell'apparecchio richiese 4400 metri cubi di scavi, 3300 di murature, e fu coperto da una impalcatura metallica formante ponte o piattaforma ai binari che attraversano la soprastante stazione di testa.

Un interessante apparecchio telegrafico, connesso ad un indicatore a galleggiante, riunisce, per via di filo elettrico, il serbatoio foraneo, a cui fa capo la condotta, cogli uffici della direzione, che ne distano di circa due chilometri — e dai quali è così possibile una immediata e permanente sorveglianza sul livello dell'acqua accumulata.

IV.

Fune di trazione e rotelle di scorrimento. — La fune rimorchiatrice, fabbricata a Liverpool, ha il diametro di 3 centimetri ed è formata da un maschio in canapa, intorno al quale si attorcigliano 114 fili d'acciaio, del diametro di 2 millimetri divisi in 6 cordoni di 19 fili ciascuno; un composto resinoso, con cui vien tutta costantemente spalmata, la protegge dalle influenze atmosferiche. La sua sezione è di 358^{milli}. e la sua resistenza, accertata in 16^{chgs}. per millimetro quadrato, dà uno sforzo resistente totale di 60 tonnellate, cioè più che il decuplo dello sforzo ordinario di trazione. L'eventualità di rottura è dunque assai lontana.

Le rotelle di scorrimento che guidano la fune sulla linea, sono in ghisa, e di due specie distinte: *ad asse orizzontale*, e *ad asse perpendicolare al piano del ferro*.

Le prime possono ancora dividersi in *semplici*, e *prolungate*: e sono quelle comunemente applicate su tutto il percorso — mentre le seconde sono specialmente riservate alla tratta d'incrociamiento dei convogli, dove le quattro opposte curve di raccordamento le rendevano necessarie per evitare gomiti nello sviluppo della fune.

Le rotelle ad asse orizzontale semplici hanno il diametro utile di 0^m 30, e la larghezza di 0^m 18 fra i due orli laterali: si corrispondono parallelamente, due a due, sull'asse di

ciascun binario lungo la tratta a tre guide intercetta fra la stazione culminante ed il crociamento, e ciascuna delle rotelle di ogni coppia guida e sopporta separatamente uno dei due rami della fune.

Le rotelle ad asse orizzontale prolungate hanno lo stesso diametro utile di 0^m 30, e la lunghezza di 0^m 43 fra gli orli laterali, per poter sopportare alternativamente entrambi i rami della fune; sono situate lungo la tratta a quattro guide interposta fra il crociamento e la stazione inferiore, dove il descritto sovrapporsi dei due binari, e la conseguente prossimità dei due rami della fune, non permetteva l'impiego separato delle precedenti: fissate sempre sul mezzo di ciascun binario, sono pure appaiate, ma invece di corrispondersi di fronte, si succedono due a due, ad un intervallo longitudinale di due traverse, cioè di 1^m 60, fra i centri di ogni rotella formante coppia.

Le rotelle ad asse perpendicolare al piano del ferro sono formate da un cilindro senza orli laterali, del diametro di 0^m 25 e dell'altezza di 0^m 38, con una scanalatura disposta secondo una direttrice e destinata ad insolare la fune: corrispondenti parallelamente e di fronte, due a due, sono fissate tangenzialmente alla fune ed all'asse di ciascun binario, a partire dai due opposti imbocchi del crociamento, ed opportunamente ripartite lungo le rispettive curve di raccordamento. Ogni coppia è preceduta o seguita — ad una distanza che varia fra 1^m ed 1^m 20 — da un'altra coppia di puleggie ad asse orizzontale, avente per effetto di ottenere un più facile rimando della fune.

Un telaio composto di due traverse ordinarie successive sopporta i cuscinetti in ghisa su cui poggiano gli assi di rotazione delle rotelle normali; mentre quelle speciali del crociamento ruotano intorno ad un asse, che s'impenna in una piastra metallica fissata semplicemente sopra una traversa comune.

Ogni coppia di rotelle dista in generale di 15^m dalla susseguente; questo intervallo longitudinale è però variabile secondo la eventuale posizione delle traverse, ed è poi minore nei cambiamenti di livelletta per impedire un eventuale contatto della fune col suolo: esso assume il minimo di circa 6^m fra le tre prime coppie di rotelle poste nella stazione culminante, ed oscilla fra 8 e 16^m lungo il crociamento.

La lubrificazione continua avviene per mezzo di coppette metalliche ad olio, che coronano i cuscinetti delle rotelle orizzontali, o che, per le rotelle perpendicolari al binario, son poste in cima all'asse delle nervature interne, comunicando per via di foro col piattello del perno.

V.

Materiale mobile. — Il materiale mobile, costruito nelle officine meccaniche di Aarau e di Olten, è a sistema americano, ed accoppia alla comodità una certa eleganza. Si compone di carrozze-freno (*carri d'attacco*), di carrozze-viaggiatori e di carri da merci scoperti; per l'aprirsi dell'esercizio si commisero 3 delle prime, 6 delle seconde, e 10 degli ultimi.

Ogni carro d'attacco è per metà bagagliaio, e per l'altra metà carrozza-viaggiatori con 20 posti di seconda classe. Come il locomotore nel sistema Agudio, è sempre all'estremità inferiore del convoglio, e ad esso si aggancia la fune di trazione, passando sotto tutti i veicoli, cosicchè ogni scambievole unione fra questi è resa soverchia, ed in ogni caso, di quasi impossibile rottura.

L'apparecchio d'attacco, infisso centralmente sotto il compartimento a bagagli, si compone di un tirante inclinato, che per un estremo afferra direttamente la cassa del veicolo, verso la sua metà, e per l'altro estremo è collegato alla cassa medesima mercè un tirante verticale distante 1^m dai tamponi, che finisce in robusto gancio, e che discende fino a 25 centimetri sopra il piano del ferro, formando così un triangolo rettangolo, il cui lato maggiore si dispone durante la corsa sensibilmente parallelo alla pendenza della linea; l'estremità della fune, che, per la lunghezza di circa 15 centimetri si ingrossa a cono fino ad avere un diametro estremo di quasi 8 centimetri, è fortemente costipata ed impiombata in un imbuto conico, contro la cui faccia maggiore s'inchioda una piastra circolare di ferro, al centro

della quale è congiunto, per via di altra grossa chiavarda, l'anello ch'è afferrato dal gancio: questo è poi sostenuto ad altezza costante da una catena, fissa per un capo al telaio del carro, e per l'altro, all'imbuto descritto.

Le carrozze-viaggiatori sono in parte di seconda classe, con 40 posti, ed in parte miste, con 20 posti di prima classe e 20 di seconda per ciascuna; la differenza fra queste due classi uniche sta in ciò, che l'una ha i sedili imbottiti, e l'altra no. I carri da merci, finora tutti scoperti, hanno una portata di 7500^{chs}, un peso di 4150 a vuoto ed una superficie utile di 14^m q., con cassa di 0^m 40 di altezza alle pareti. Ogni veicolo di queste due specie è munito dell'ordinario sistema di freni a frizione diretta sulle ruote, che da parecchi anni è in uso su quasi tutte le ferrovie della Germania e della Svizzera.

Due sono invece i sistemi di freni applicati al carro di attacco, ed entrambi manovrabili dalla sua piattaforma esterna.

Il primo agisce immediatamente su ciascun asse delle quattro ruote con una coppia di potenti zoccoli, o morse, a settore circolare, che accerchiano due dischi facenti corpo coll'asse medesimo, sul suo mezzo, e che sono comandati da una manovella-volante orizzontale trasmettente il moto per via di vite all'ordinario sistema di tiranti articolati. Ciascun disco ha il diametro medio di 0^m 55 collo spessore di 0^m 15, e la sua circonferenza esterna consiste in una scanalatura compresa fra due grossi orli, ed intagliata a filetti triangolari su tutto il suo sviluppo, contro la quale premono un contro l'altro i due citati zoccoli di legno forte.

Codesto apparecchio non è altro, in sostanza, che il predetto sistema ordinario di freni a frizione applicato agli assi, anziché sulle ruote. Nel caso particolare il calcolo prova, che si può con esso esercitare uno sforzo premente di 4400^{chs} sopra ogni ruota, cioè di 17600^{chs} sopra la totalità delle ruote. Quindi assumendo mediamente $\frac{1}{7}$ per il coefficiente di aderenza fra le rotaie e le ruote, e ritenendo che il massimo peso totale di un carro merci — carico compreso — è di 11650^{chs} e che perciò la componente del peso parallela al binario, sopra la massima pendenza (11.60%), non è che di 1350^{chs} in cifra arrotondata, si vede che con questi soli freni è già possibile fermare prontamente ogni vettura, nonchè l'intero convoglio, sulla più forte discesa.

Ed invero, assoggettati a prova, mercè un carro d'attacco lasciato libero sulla indicata pendenza dell'11.60%, essi lo immobilizzarono dopo un tratto di 20^m dal punto in cui furono posti in azione, e sotto una velocità acquisita di 9^m per secondo; risultato il quale, introdotto nelle consuete formole meccaniche della pressione, dà che lo sforzo resistente di questi freni supera il quarto del peso del veicolo.

Il secondo sistema di freni applicato al carro d'attacco consiste in quattro scarpe di ferro accoppiate, ognuna delle quali in istato di riposo, sta orizzontalmente avanti a ciascuna ruota nel senso della discesa, a circa 10 centimetri sopra le rotaie; cotali scarpe possono inclinarsi e cadere contro i cerchioni delle ruote stesse, calzandoli esattamente, mercè l'azione di un piccolo volante verticale, che è pure situato sulla piattaforma esterna, lateralmente al primo, e che manovra una catena, da cui dipende il moto d'un altro sistema di tiranti e di leve a snodo. Le prove isolate, analogamente fatte, dimostrerebbero come un veicolo munito di codesto solo sistema di freni basti a fermare sulla pendenza dell'11.60% un convoglio di peso triplo del suo proprio. Senonchè giova notare, che praticamente un tale sistema non potrà porsi in azione se non quando la velocità sia già molto ridotta, e ciò per non dar luogo a scosse e ad attriti così ingrati ai viaggiatori, che dannosi al materiale; quindi, a mio avviso, esso riesce infruttuoso o superfluo.

D'altronde qui, a differenza di quanto si verificò nelle esperienze di Lanslebourg, l'effetto della gravità non ha importanza che nel caso inverosimile di rottura della fune, nel qual caso la sicurezza è garantita dal primo dei descritti sistemi di freni, come anche dai freni ordinari suindicati. Se si escluda questa ipotesi, la tensione permanente della fune sarà sempre il migliore dei freni, non apparentandosi il ritenere mediocre l'opportunità di tutti gli altri, quando il capo-convoglio non può corrispondere col macchinista.

VI.

Corpo stradale. — La linea, comunque breve, presentò difficoltà di costruzione non comuni — in parte inerenti alle servitù solitamente imposte dall'attraversare luoghi molto abitati.

L'opera più importante è la Galleria di Montbenon, che sottopassa per la lunghezza di 253^m un colle formato da una morena laterale dei ghiacciai del Rodano, la cui compage miocenica è ricoperta da un potente strato di argilla assai dura alla marra, ma disgregantesi al contatto dell'aria e dell'acqua, e talora frammista con massi erratici a base granitica. Codesto strato argilloso è alla sua volta coperto da sabbia secca di varia grossezza, entro la quale, per le condizioni speciali del profilo longitudinale, si dovè scavare quasi tutta la parte di galleria che sovrasta ai fianchi del volto, mentre la maggior parte della sezione sottostante cadde nell'argilla compatta, non essendosi potuto raggiungere la massa miocenica che presso l'imbocco inferiore.

Simili circostanze, nonchè la pendenza dell'11,60 0/0 su cui trovasi l'intera galleria, e l'eccezionale sua larghezza di 9^m (v. Tav. II, fig. 5), che fu richiesta dal duplice sistema di trazione a cui essa è destinata, cioè dai tre binari che racchiude — richiesero necessariamente procedimenti speciali di scavo, d'armatura e di muratura.

L'attacco in piccola sezione fu fatto col cosiddetto sistema inglese, cioè cominciando dal fondo, a livello delle basi dei piedritti — per ottenere lo scolo delle masse soprastanti instabilissime e sature d'acqua — e quindi procedendo all'allargamento con pozzi ciechi elevatisi fino alla sommità della calotta, che a lor volta servivano d'attacco al cunicolo superiore, ed ai progressivi allargamenti. Senonchè l'asse di questa galleria non coincidendo con quello della galleria successiva, cioè della tratta rimanente, che ha un binario di meno (v. Tav. I), si dovette stabilire il cunicolo inferiore sul prolungamento di quest'ultimo asse, cioè ad 1^m,65 di distanza laterale dall'asse vero della descritta galleria, anziché sopra di questo, come si pratica normalmente.

Nelle murature fu invece prescelto il sistema belga, cioè si murò prima la calotta, poi i piedritti, per sottrarsi più rapidamente alle infiltrazioni, ed all'ineguale pressione del terreno superiore. Per superare poi colla volta la considerevole pendenza, evitando speciali apparecchi, essa fu costruita ad anelli retti orizzontali, aventi ciascuno 2^m50 di lunghezza, staccati uno dall'altro, e scaglionati a riseghe verticali successive di 0^m,29 d'altezza, in guisa che lo spessore del volto alla chiave (0,65) è sempre più che doppio della sporgenza d'ogni scaglione. La calotta non fu cominciata che all'altezza di 1^m20 sopra il piano d'imposta, situato a 4^m,50 sotto la chiave; la sottostante parte di volto fu fatta coi piedritti, siccome assai sovente si pratica, sia per diminuire il peso della calotta stessa e le difficoltà di centinatura, che per deviare la spinta del volto contro i suoi fianchi esterni, anziché averla sui sottoposti sostegni di terreno al momento di abatterli.

Un'acconcia disposizione di centine a ventaglio, aventi sempre sul mezzo lo spazio libero necessario all'inquadratura del cunicolo superiore, permise di far procedere contemporaneamente su parecchi punti la muratura di un anello e lo scavo completo del precedente a monte, quindi la muratura di questo e lo scavo completo del successivo a valle, imprimendo così alla costruzione quella regolarità che è così essenziale nei lavori di galleria.

L'esame della Tav. II, fig. 6 e 7, chiarirà completamente tutti i particolari del processo seguito. Aggiungerò soltanto, che si fondarono i piedritti sopra 0^m,80 di calcestruzzo, dando loro 1^m,60 di altezza per 0^m,90 di spessore, e che due fra i tre binari racchiusi in questa galleria sono su tre guide per il sistema funicolare, ed uno per il pneumatico, il quale termina allo sbocco di essa, cioè alla stazione delle Ferrovie Occidentali.

L'altra galleria, lunga 110^m,80, larga 5^m,50, e rappresentata pure in sezione nella Tav. II, Fig. 4, fu costruita sotto, e frammezzo, alle fondazioni ed alla piattaforma della stazione medesima. E qui stava uno dei punti difficili ed obbligati della linea: raccordarsi ai binari di quest'ultima stazione, e sottopassarla in pari tempo. Le altezze di queste due gal-

lerie, che sono rispettivamente 6^m,10, e 5^m,40, potrebbero parere soverchie per sotterranei non ammessi al passaggio di locomotive, ove non vi si scorgesse una conseguenza necessaria della loro larghezza, che è appena sufficiente, per non dir pericolosa, allo scopo.

La sezione normale della strada ha tre tipi di larghezza fra i cigli della piattaforma: 3^m,20 nella parte in cui i due binari son quasi aderenti uno all'altro: 4^m,50 dove essi si riuniscono in tre rotaie: 7^m,20 nel tratto di 52^m,50, in cui corrono paralleli e distinti per l'incrocciamento dei convogli. I muri di sostegno, gli scoli, e la formazione delle scarpe, che i profili annessi dimostrano, sono d'un tipo corretto, e le banchine stanno nitidamente sostenute da muretti paraghiaia sulla quasi intera lunghezza. In generale poi, la costruzione della strada è in ogni parte accuratissima, e rade volte mi occorre di vedere aprirsi al pubblico una linea così assolutamente finita. Nel che la Compagnia fu accorta e previdente, perchè in percorsi così speciali val meglio un sovrappiù di spese d'impianto, che carichi di manutenzione.

Come criterio sulla conseguenza delle opere eseguite, dirò per ultimo: che nel suo totale percorso di 1496^m la linea conta 2 gallerie aventi 363^m,80 di complessiva lunghezza, 7 cavalcavia lunghi da 3 a 15^m, uno dei quali in muratura, e 6 a travata in ferro, un sottopassaggio metallico di 6^m ed un tombino a volta: e che si richiesero in complesso 85300^{m.c.} di sterri a cielo scoperto, 27200^{m.c.} di scavi in galleria, 40100^{m.c.} di muratura — 8700 dei quali in galleria — 68500^{chs.} di impalcature metalliche per ponti, e 3000^{m.c.} di pietrisco d'armamento. Lavori questi, il cui importo ascese a circa 1,300,000 franchi.

Fabbricati ed armamento. — Le stazioni intermedie, e l'inferiore, sono quali dovrebbero sempre farsi in qualunque linea di nuova costruzione, sia primaria, sia locale. Consistono in tre semplicissime tettoie in legno, contenenti ciascuna un casotto di pochi metri quadrati per le più strette necessità del servizio, ed in una rimessa-vettura, in legno anch'essa; e questo è, proporzioni fatte, quanto basta per qualunque incipiente ferrovia.

Per contro l'edificio della stazione superiore, che era in origine informato allo stesso modico tipo, sta ora sostituendosi con un fabbricato definitivo, le cui proporzioni esterne ed i maestosi contorni sembrano eccedere di molto il carattere dell'impresa — benchè si contenga nelle fondazioni tutto il meccanismo motore. Sarebbe a rammaricarsi che trovasse proseliti l'esempio — per verità nuovo in Svizzera — della Compagnia del Gottardo, la quale dilapidando il danaro internazionale fece di ogni stazione un sontuoso monumento, lasciando poi all'Italia e alla Germania la *carte à payer* (1). Calcando orme, che già portarono altrove malefici frutti, anzichè prudentemente tenendosi nell'orbita tracciata dalla natura stessa delle cose e del fine, le Compagnie, grandi e piccole, corrono il rischio — non giova dissimularlo — di serbare agli azionisti i più penosi disinganni.

Le guide sono del tipo Vignola a 20^{chs.} per metro corrente con 88^{mm} di altezza, 82 alla suola, e 48 al fungo; fissate su traverse di quercia all'intervallo costante di 0^m,80, esse hanno lo scartamento normale di 1^m,435.

(1) È noto come i tronchi di ferrovia finora costruiti dalla Compagnia del Gottardo, cioè le linee delle valli ticinesi, passarono in costo il *triplo* del preventivo elaborato dalla Conferenza internazionale di Berna (1869), la quale si era fidata agli studi ed alle relazioni degli ingegneri Beck e Gerwig; ed è pur noto, come per i soli fabbricati di quei tronchi furono spesi oltre ad 80000 franchi al chilometro, ossia circa il 14 0/0 del totale loro costo di costruzione. Così, il prodotto netto totale di tali linee, la cui complessiva lunghezza è di 65 chilometri, non paga oggi giorno nemmeno la *sesta parte degli interessi del puro capitale impiegato nei fabbricati*.

Se pensiamo che con questo medesimo capitale si poteva dotare l'Italia di 125 nuovi chilometri di ferrovie secondarie a sezione ridotta, e provvedere così alle imperiose necessità di qualche provincia, che chiede invano da molti anni il pareggio nei benefici, come nei pesi, si vede quanto debba deplorarsi, che l'enorme tributo da noi assegnato al Gottardo, venga affidato ad un'amministrazione ormai giudicata e condannata — e serva così a pagare il fasto e lo spreco in un paese come la Svizzera, dove tutto è parsimonia e risparmio.

Nessuno scambio, nè passaggio a livello sulla linea, e quindi nessun cantoniere.

Nel primo tratto inferiore, la cui lunghezza è segnata sul profilo in 672^m,92, i due binari entrano per così dire uno nell'altro, in modo che ognuna delle quattro guide forma quasi contro-guida alla sua vicina, conservando con essa un'interasse di 0^m,15. Esse si separano quindi al primo cuore fino a raggiungere, fra gli assi delle due guide interne, l'intervallo di 1^m,90 necessario all'incrocciamento, che mantengono per 52^m,50, formando sulla totale lunghezza dell'incrocciamento stesso due binari realmente disgiunti: si ricongiungono poi per la successiva tratta di 681^m,04 in tre guide equidistanti di 1^m,435 fra loro, la cui centrale sostituisce le due interne predette. Così un binario serve costantemente all'ascesa, l'altro alla discesa. Nella stazione al lago una traversata a carrello automobile li rilega entrambi, e serve il loro prolungamento alle calate.

VII.

Costo della linea e considerazioni generali. — Paragonando il sistema funicolare Lausanne-Ouchy ai principali altri congeneri attualmente esercitati, cioè a quelli della Croce Rossa a Lione, di Leopolsberg presso Vienna, di Buda-Pest in Ungheria, di Ingleby in Inghilterra, di Pittsburg in America, di Santos nel Brasile, stanno a favore di questa prima applicazione svizzera:

1. L'impiego di una forza motrice naturale; — 2. Le ingegnose innovazioni del meccanismo, e specialmente le puleggie a traslazione longitudinale conducenti la fune; — 3. La multipla variazione delle pendenze; — 4. La disposizione speciale dei due binari, quasi sempre sovrapposti l'uno all'altro, anzichè normalmente separati — cioè una importante economia di costo e di manutenzione.

Debbono invece contrapporsi a carico:

1. L'immediato contatto della stazione culminante colla pendenza dell'11.6 ‰; — 2. Il conseguente fermarsi e stazione dei veicoli sulla pendenza stessa, ciò che necessariamente affatica e logora il materiale; — 3. La possibile eventualità di dover equilibrare i pesi dei convogli con veicoli vuoti.

Venendo dall'aspetto finanziario, conviene anzitutto tener conto del duplice scopo di trasporto e di canalizzazione, che si coinvolge in questa impresa. Però è forza convenire, che le spese superarono di molto le previsioni, e che sperimenti siffatti non sono possibili se non dove il capitale affluisse, e quando si può, e si vuole, assoggettarlo a cospicui sacrifici.

Infatti, nel bilancio che precedette immediatamente l'apertura dell'esercizio, la totalità delle spese liquidate salirono a 5,630,573 franchi, frazioni ommesse; non si andrà dunque lungi dal vero nel fissarle in 6,000,000 ad opera finita. Ritenendo tuttavia la prima di queste cifre, essa così si decompone:

DESIGNAZIONE DEI CAPITOLI	SPESE Fr.	PROPORZIONE 0/0
I. Ferrovia Lausanne Ouchy.		
Proprietà immobiliari	1,613,553	43.8
Lavori	1,400,559	38
Macchine, materiale fisso, motori, funi ecc.	113,256	3.1
Materiale mobile (acconto)	48,580	1.4
Interessi e commissioni	* 404,871	11
Mobiglia d'ufficio	* 1,613	—
Amministrazione, personale e spese generali	* 98,034	2.7
Totale per la ferrovia	3,680,465	100
II. Canalizzazione delle acque.		
Terreni e servizi	188,336	9.6
Lavori	1,400,514	71.9
Strade ordinarie	109,000	5.6
Interessi e commissioni	* 202,435	10.4
Mobiglia d'ufficio	* 807	—
Amministrazione, personale e spese generali	* 49,016	2.5
Totale per il servizio delle acque	1,950,108	100

Ho desunto le somme contrassegnate con asterisco, ripartendo il totale delle rispettive rubriche nella proporzione, sensibilmente ammissibile, di 1/3 per il servizio delle acque, e di 2/3 per la ferrovia.

Questa linea sarebbe dunque costata in ragione di circa 2,450,000 franchi al chilometro; somma per dir vero enorme, ma della quale i lavori propriamente detti non formano che il 38 0/10, mentre le sole espropriazioni ascendono al 43 0/10 e ciò per i prezzi elevatissimi che hanno le proprietà immobiliari, in una regione, come questa, tutta a ville suburbane o vigneti, nonchè per gli indennizzi cospicui, e per le servitù che vi si unirono. Tolta la quota offerente a questo capitolo, il costo della linea si ridurrebbe — servizio degli interessi compreso — a circa 1,380,000 franchi al chilometro, ch'è ancora ragguardevolissimo, ma che non può tuttavia sorprendere un occhio pratico, se si considera:

1° Che le tratte in galleria formano circa il 25 0/10 della intera linea;

2° Che si dovè sottopassare, nelle condizioni del profilo qui annesso, tutta la larghezza di una stazione in esercizio che ha un movimento medio giornaliero di 1000 viaggiatori e di 4000 quintali di merci, pregiudicandone seriamente il fabbricato passeggeri — il che indusse lavori sussidiari, precauzionali, e rifusorii, affatto eccezionali;

3° Che sopra un breve percorso è accumulato un numero relativamente grande di difficoltà, le quali non trovano perciò quel compenso distributivo che offrono i lavori delle lunghe linee;

4° Che per il fatto di essersi aperto l'esercizio coi lavori quasi assolutamente ultimati, il capitolo *costruzioni* rimase oberato di spese, che in generale — benchè speciosamente — si trova più comodo di far figurare nei lavori di *finimento e manutenzione*;

5° Che finalmente il soverchio protrarsi dei lavori — forse dovuto alle incertezze sul sistema, e ad intoppi finanziari — aggravò notevolmente il servizio degli interessi durante la costruzione.

Quanto al prodotto dell'esercizio, che finora sembra avviato in favorevoli condizioni, non ho dati positivi da produrre: ma, per quanto buoni, è lecito inferire, alla stregua del capitale speso, che gli azionisti dovranno contentarsi — per i primi tempi almeno — di una mediocre remunerazione.

Altrettanto estesi son però i vantaggi che ne risultano ai pubblici interessi.

L'atto di concessione del Consiglio di Stato fissò preventivamente le tariffe a corsa intera in 25 e 50 centesimi per i viaggiatori delle due classi, con diritto al trasporto gratuito di 10 chilogrammi di bagaglio per viaggiatore — ed in 10 a 18 centesimi per le merci, da 20 fino a 100 chilogrammi, contando 20 centesimi per ogni 100 chilogrammi oltre i primi 100, ed 1^{re} 20 per ogni tonnellata oltre la prima; tasse in proporzione, per le percorrenze intermedie. Attualmente si fanno 31 convogli al giorno in ogni senso, cioè 62 in complesso, e 70 nei giorni festivi, mentre l'esercizio estivo ne contò rispettivamente 74 e 94 quotidiani, raggiungendo — mi si afferma — un massimo di 8000 viaggiatori trasportati in un sol giorno.

E poichè sono a parlare di esercizio, noterò qui per incidenza, che anche in ordine a ferrovie comuni, alcune imprese svizzere — non parlo della Compagnia del Gottardo — sono nate e sussistono, perchè sanno esercitare le loro linee con una economia, che giunge ancora ad escogitare un lucro dove altri incontrerebbe rovina, e che merita essere attentamente studiata per trapiantarla dove si riesce a trovare rovina, quando altri farebbe guadagni.

Così vi si hanno linee il cui prodotto lordo medio è di *seimila* franchi all'anno appena, e che sono attive, mentre ne abbiamo in Italia con eguale prodotto lordo, che sono passive. Gli è che le prime non costano che *quattromila* franchi al chilometro di esercizio, mentre le ultime ne costano *diecimila* (1).

(1) Reti Calabro-Sicule, esercizio 1876:

Prodotto lordo	L. 6,185,82)
Spese ordinarie e straordinarie	» 10,070,63)

per chilom.

Nè il paragone ci torna sfavorevole in questo solo caso particolare. Quel prezioso lavoro, che è l'ultima relazione statistica dell'onorevole comm. Valsecchi — in cui l'accuratissima mole dei dati, ed il difficile merito di essere contemporanea, la pongono a paro delle più lodate pubblicazioni congeneri della Germania, e la fanno superiore, per attualità, a molte altre estere — ci dimostra, come in reti che danno, a cifre arrotondate, un prodotto lordo chilometrico di 16,000 lire all'anno, le spese di esercizio ascendono a 12,000 lire, cioè ai *tre quarti* del prodotto stesso (1); mentre presso paesi vicini esse non ne superano generalmente i *due terzi*, anche per linee del minimo prodotto.

L'origine di questo minor costo d'esercizio deve cercarsi in un complesso di circostanze organiche diverse, che non è qui luogo di esporre, e di analizzare, ma che quasi tutte fanno capo alla questione amministrativa.

Ritornando al nostro assunto, e passando alla canalizzazione delle acque del lago di Bret — ramo per certo non secondario dell'impresa — lo specchio suesposto permette di valutarne il costo a circa 140,000 franchi per chilometro; dove i lavori propriamente detti stanno nel rapporto di 71,9 0/10. Nella sua parte laterizia, la condotta è tutta un monolite in cemento colato, con sezione circolare lungo i primi 700^m, e semiellittica coperta da volto ad arco di circolo, nel rimanente percorso: talora scavata in galleria, talora costruita all'aperto, ma sempre di almeno un metro sotterra, ha spiragli d'accesso ad ogni mezzo chilometro, ed è talora interrotta da camere per la misura della dispensa.

Il servizio di questo ramo potè aprirsi al pubblico quasi un anno prima che il precedente, ma sarebbe tuttavia prematuro l'istituire previsioni sulla base dei prodotti ottenuti, essendo noto, che le nuove derivazioni di acque non s'impongono che gradatamente al consumo, cioè che l'aumento degli utenti non è mai repentino, ma segue in iscala crescente e sicura la progressione del tempo e dei benefici.

Come distribuzione di forza motrice, la Compagnia prevede ch'era nel suo interesse un tipo comune di apparecchi, e lo rese quindi pressochè obbligatorio al consumatore, adottando idromotori a cilindri dei sistemi Schmid, Wyss e Stouder, provvisti di misuratore del consumo, ed applicabili ad ogni richiesta di abbuonamento. Nel primo anno di esercizio essa potè stabilirne 19, formanti in tutto una forza di circa 30 cavalli-vapore, e ripartiti fra stamperie — per il maggior numero — fra officine meccaniche, fonderie, falegnami, fabbricanti di acque gasose, venditori di legna da fuoco, e conciatori di pelli.

Il prezzo di abbuonamento è di 20 centesimi per ogni cavallo di forza e per ora, cioè per ogni 270,000 chilogrammi. La minima forza concessa è di un cavallo, e la quantità di chilogrammi spesa vien calcolata moltiplicando la dispensa d'acqua in litri per la pressione statica in metri, al momento dell'introduzione nell'apparecchio; il calcolo si fa una volta sola per macchina, con ogni abbuonato, ed in guisa da fissare in contraddittorio con questi il prezzo di 10,000 giri della rispettiva macchina nella posizione che occupa. Inutile osservare, che, in causa della forte pressione, ogni motore fa più lavoro, che non consumi acqua — circostanza questa, tutta a beneficio degli utenti.

In sostanza l'uso alimentare, industriale, ed agricolo delle acque derivate dalla Compagnia è assicurato a Losanna per il minimo prezzo di cinque centesimi al metro cubo. E siccome dei 12,960 metri cubi d'acqua, che questa canalizzazione può fornire in 24 ore, 3500 basteranno ampiamente al massimo traffico giornaliero dei due sistemi funicolare e pneumatico riuniti, così essa rimane per quasi tre quarti a beneficio semigratuito del pubblico consumo — onde la vitale questione della forza a domicilio sta giù ricevendo in codesto piccolo centro un fecondissimo principio di soluzione.

(1) Reti Romane, esercizio 1876:

Prodotto lordo	L. 16,531,66)
Spese	» 12,528,42)

per chilom.

V. *Relazione statistica sulle costruzioni e sull'esercizio delle Strade ferrate italiane per l'anno 1876*, del comm. PASQUALE VALSECCI, Direttore generale delle Ferrovie del Regno.

Si può dunque affermare che l'opera sortì pieno successo, malgrado i numerosi ostacoli che si frappongono sempre all'applicazione di sistemi speciali; e l'esito deve ascrivere alla perseveranza dei promotori, non meno che alla fede animosa degli azionisti, i quali non si lasciarono intimidire dai sacrifici a cui dovettero, e dovranno, forse ancora per qualche tempo, sobbarcarsi. Amo ripeterlo, codeste volontà pervicaci, sostenute vigorosamente *usque ad finem*, formano — allato pure a molte mende — uno dei pregi salienti di codesta eterogenea Svizzera, per la quale nulla soffre indugio di quanto può giovare al proprio avvenire. In breve spazio di tempo sorsero, di vita propria, nel solo angusto territorio vonese, due imprese ferroviarie: questa di Lausanne-Ouchy, ed in un campo più vasto, quella del Sempione, a cui l'Italia, tanto interessata, dovrà ormai seriamente tener dietro. Una è giunta a termine, o poco meno; l'altra, di assai più gran lena, vi giungerà pure, non vi ha dubbio (1).

Chiuderò pertanto queste note col far voti, che da noi pure si venga, in materia industriale, al vero spirito di associazione, ed allo spontaneo patrocinio delle idee concrete, senz'aspettare dal governo un continuo intervento, od aiuto, perchè questo ha da promuoversi per naturale elaterio, non da fissarsi come base di operazione, o come impulso iniziale.

Anche noi — e forse più di chicchessia — abbiamo centri isolati dalle comunicazioni, o comunicazioni senza portata pratica per i centri: regioni a cui far approdare le acque per aprirle alle vie navigabili: od acque da condurre al piano per alimentare il suolo o le industrie; anche noi necessitiamo di ferrovie locali, che diramino la vita dalle provincie ai Comuni, rilegando tutte le arterie del paese; anche noi necessitiamo infine di forze motrici e di traffici. Ora se nello stato attuale delle cognizioni ferroviarie, è posto in sodo, che la locomotiva ed il sistema normale — comunque onerosissimo e scarsamente remuneratore — sono i soli mezzi per servire utilmente le grandi reti nazionali od internazionali, per contro par manifesto che i sistemi speciali sono, e debbono essere, il punto d'appoggio delle linee d'interesse locale. Scelga dunque il suo sistema ogni centro abitato a cui preme di usufruire, o di attivare — coll'allacciarsi a punti suscettibili di speciale movimento — le sue risorse interne e le forze espansive, quindi promuova nel proprio seno il concorso del capitale per attuarle.

L'esempio non ci manca. Già Torino, codesta degna culla del risorgimento italiano, sta facendo sua la prima applicazione industriale del locomotore Agudio, così giustamente onorando l'ingegno cittadino e la scienza (2).

Se sorgeranno imitatori ovunque sia possibile sviluppare una nuova affluenza, un nuovo commercio, una nuova industria; se in altri termini ci faremo noi stessi promotori e sovventori delle ferrovie di ogni ordine e specie, finchè ne abbia il suo metro ogni abitante — poco monta se ad aria, od acqua, od a vapore, e se a binario normale o ristretto — avremo sanato molte piaghe che ora sterilmente lamentiamo, e scritto nella nostra storia moderna una nuova pagina — la più pratica di tutte — quella della ricchezza e della forza.

Affrettiamoci a scriverla fin che ne abbiamo il tempo. Quando nazioni inferiori all'Italia hanno — mi si passi il dire — le rotaie alle porte di ogni cittadino, è in verità penoso ed umiliante il riflettere, che noi non le abbiamo nemmeno alla porta di ogni provincia, e che se questa interna sconnessione ci vale ora il frequente sarcasmo di oltre alpi, correremmo rischi ben peggiori, ove tempi più grossi ci cogliessero ancora slegati.

Ing. LEONARDO CARPI.

LOCOMOTIVE E STRADE FERRATE

NUOVO SISTEMA

di alimentare le caldaie delle locomotive con una pompa-iniettore

dell'ingegnere CHIAZZARI

Ispettore principale, Capo-divisione del materiale delle Ferrovie dell'Alta Italia.

1. — Ognuno sa che le caldaie delle locomotive hanno bisogno di essere alimentate d'acqua man mano che viene a mancare, e che quest'acqua dev'essere opportunamente derivata dal serbatoio portato dal tender, per mezzo di apparecchi speciali che si fanno agire a misura del bisogno.

Quell'acqua non ha in generale una temperatura superiore a 10° o 25° centigradi, a seconda della stagione; in alcune circostanze essa è riscaldata artificialmente con un getto di vapore che viene dalla caldaia, siccome si pratica nelle lunghe fermate, quando si ha vapore in eccesso.

Ad alimentare le caldaie servivano esclusivamente negli anni addietro le ordinarie trombe a stantuffo riflutore, le une a lunga corsa, e le altre a piccola corsa, secondochè prendevano il movimento o direttamente dall'asta di uno stantuffo motore della locomotiva, o indirettamente da uno degli eccentrici calettati sull'asse delle ruote. Due di tali pompe erano applicate ad ogni locomotiva, ad assicurare l'alimentazione della caldaia nei casi normali.

Quando poi per la specialità del servizio le locomotive andavano soggette a stazionamenti prolungati, ad alimentare la caldaia durante le fermate facevasi ricorso ad un'altra tromba a vapore avente con sè l'apparecchio motore, e detta perciò *piccolo cavallo*. Questa tromba, per lo più staccata dalla locomotiva, e collocata in luogo opportuno nelle stazioni, in alcuni casi annessa alla locomotiva, prendeva sempre ad ogni modo il fluido motore dalla caldaia stessa della locomotiva, e serviva ad alimentarla durante le fermate.

2. — La scoperta dell'*iniettore*, applicato per la prima volta da Giffard, ha recato un notevole cambiamento nel modo di alimentare le caldaie. L'applicazione di così meraviglioso congegno alla locomotiva dà luogo a vantaggi reali ed incontestabili. Il poco volume, il non aver pezzi in movimento, il non consumo di lavoro quando non è fatto operare, e più di tutto la possibilità di funzionare egualmente bene nelle fermate come durante la corsa, diedero tosto a tali apparecchi una superiorità manifesta sulle trombe a vapore, ed in breve tempo tutte le locomotive furono munite qual di uno e qual di due iniettori, mentre l'azione delle trombe fu riservata per alcuni casi speciali. Tanta è la robusta semplicità e la sicurezza a cui già si pervenne da vari costruttori di apparecchi siffatti, che v'ha chi affiderebbe con sufficiente garanzia il servizio d'ogni locomotiva ad un solo iniettore.

L'iniettore adunque dev'essere oggidi considerato come l'ultima meta che nella questione pratica dell'alimentazione delle caldaie a vapore, considerata almeno dal lato esclusivamente meccanico, sarà ben difficile di potere oltrepassare.

3. — Ma l'iniettore, quale almeno oggi si trova, e com'è applicato, non può dirsi in grado di risolvere egualmente bene il problema complesso dell'alimentazione delle caldaie dal punto di vista economico, ossia per ciò che riguarda tutto il possibile risparmio di combustibile. Non basta infatti che un meccanismo provveda, foss'anche nel modo migliore, ad un'alimentazione *continua*, e che essa abbia luogo *automaticamente*; ma è necessario che l'alimentazione sia fatta con acqua portata al punto di ebollizione, e che questo preventivo riscaldamento si faccia a spese del calore perduto, del vapore esausto prima sciupato.

Lo utilizzare una parte almeno della enorme quantità di calore che sfugge dal camino insieme al vapore ed ai gas prodotti dalla combustione, fu, si può dire, una preoccupazione costante di tutti gli ingegneri e costruttori che fecero studi profondi sulle macchine locomotive.

Lasciando da parte alcuni infruttuosi tentativi fatti per impiegare questo calore al riscaldamento del convoglio, accenneremo solo ai diversi mezzi coi quali si cercò di usu-

(1) Una recente votazione del Consiglio di Stato del Vallese, non che le cospicue e volenterose prestazioni dei Comuni interessati, hanno testè assicurato l'intera costruzione della linea d'accesso settentrionale, cioè il compimento della ferrovia del Sempione fino all'imbocco nord della grande galleria.

(2) Ferrovia funicolare Torino-Superga.

fruire il calore perduto per il riscaldamento dell'acqua di alimentazione, e che si possono dividere in due categorie:

a) riscaldamento dell'acqua nel suo passaggio dal serbatoio alla caldaia: — b) riscaldamento dell'acqua nel serbatoio del carro di scorta.

4. — Alla prima categoria appartengono gli apparecchi di Clarke, di Ehrhardt e di Bouch. L'illustre Clarke tentò tre modi per risolvere l'interessante problema, utilizzando dapprima il calore dei gas, e poscia quello del vapore di scarica. Nel suo più antico apparecchio il tubo di rifluimento delle trombe passava alla base del camino prima di immettersi nella caldaia, e l'acqua, percorrendo questo tubo, foggiato a serpentino, era riscaldata dai gas della combustione che lo avvolgevano da ogni parte. Se non che l'enorme sviluppo che dovrebbesi dare al serpentino per ottenere un discreto aumento di temperatura, e l'ingombro che ne deriva per il libero passaggio dei gas hanno indotto il signor Clarke ad appigliarsi ad altro partito.

Tentò con un secondo apparecchio di costringere il vapore di scarica a circolare intorno al serpentino, che ebbe cura di collocare in apposita cassa separata; ma il riscaldamento era anche qui così debole, e l'inconveniente delle incrostazioni nell'interno del tubo era sì grande, da indurre il Clarke ad abbandonare del tutto l'idea primitiva.

Esso pensò allora di ottenere il riscaldo mediante la condensazione del vapore di scarica entro la massa stessa dell'acqua. Ed a tal fine la tromba dell'acqua fredda spingeva quest'acqua in un recipiente chiuso la quale vi arrivava contornando il getto centrale del vapore, ad un dipresso come negli iniettori usuali. L'acqua riscaldata per la condensazione del vapore, si lanciava nella caldaia per mezzo di un'altra tromba ordinaria.

In quest'apparecchio la temperatura del miscuglio non sorpassava guari i 60 o 65 gradi; e d'altronde il riscaldamento era di sua natura variabilissimo dipendentemente dalle proporzioni d'acqua e di vapore; continue le manovre per aprire e chiudere a tempo l'entrata dell'acqua alle trombe perchè queste non iniettassero acqua fredda nella caldaia; e dopo tutto ciò non si aveva che una piccola economia di combustibile, la quale in ogni caso non poteva salire oltre al 7 od 8 per 100. In tali condizioni di cose anche il terzo apparato non poteva sciogliere il problema.

Altri tentativi si fecero pure in Germania basati presso a poco sul principio del secondo apparecchio di Clarke.

Così il signor Ehrhardt sostituiva al serpentino due fasci di piccoli tubi, entro i quali era costretta a passare l'acqua fredda prima di giungere alla caldaia. I fasci di tubi erano ancora involti dal vapore di scarica. Le incrostazioni potevano più facilmente asportarsi che non dal serpentino di Clarke. Ma l'esiguità dei risparmi e la complicazione dell'apparecchio lo fecero ben tosto abbandonare, come già si erano abbandonati tutti gli apparati congeneri.

Ultimamente il signor Bouch applicò in alcune macchine da merci, della linea da Stockton a Darlington, un apparecchio che si avvicina a quello di Clarke ultimo spiegato. La differenza essenziale sta in ciò, che il Bouch riscalda l'acqua in una camera anulare che circonda il camino: una prima tromba spinge l'acqua fredda, facendola sboccare alla parte superiore della camera in tanti piccoli getti da un foro bucherato; nella sua caduta l'acqua incontra il vapore di scarica lanciato da due tubi, si riscalda, si raccoglie al basso, ed aspirata da una seconda tromba, è iniettata nella caldaia.

Questa disposizione è più complicata e dispendiosa di quella di Clarke, nè pare che possa dare risultati diversi, sebbene non si conoscano quelli ottenuti.

5. — Fra gli apparecchi della seconda categoria, nei quali il riscaldamento si fa nel serbatoio stesso dell'acqua, il più antico, che ebbe esito creduto soddisfacente ed applicazione piuttosto estesa, è l'apparato del signor Hirschweger. Esso consiste essenzialmente in un condotto che da un lato mette capo all'origine del tubo di scappamento, e dall'altro al basso del serbatoio dell'acqua nel tender. Una porzione del vapore che si scarica dai cilindri può così venir lanciata nella massa d'acqua, la quale finirà per portarsi ad un

grado di temperatura abbastanza elevato. L'acqua così riscaldata è spinta nella caldaia per mezzo delle trombe ordinarie.

L'idea di per sé stessa non avrebbe potuto essere più semplice; ma nel tradurla in pratica si hanno a risolvere parecchie difficoltà, e prima tra di esse quella di regolare la sottrazione del vapore di scarica in guisa da non diminuire di troppo la chiamata artificiale nel camino; poi quella di costringere il vapore a precipitarsi nell'acqua del tender vincendone il peso, e le molteplici resistenze presentate da tubi, senza aumentare soverchiamente la contropressione nei cilindri.

Al qual proposito è d'uopo anzitutto osservare che la temperatura a cui si potrà arrivare nel tender non sorpasserà certamente i 90°, temperatura che rimarrà dunque la *massima* dell'acqua di alimentazione; non essere però questa la temperatura *media*, essendochè, prima di poter arrivare a quel punto di riscaldamento, è ben d'uopo di alimentare la caldaia. Or bene, è d'uopo di notare che, per non andare incontro a gravi inconvenienti per la mancanza di chiamata nel camino, il macchinista deve limitarsi a lanciare nel tender un quarto al massimo del vapore totale che si scarica dai cilindri, poichè i tre quarti di esso non saranno già più sufficienti a produrre il voluto tirante artificiale, senza trovarsi nella necessità di sforzare lo scappamento in modo sensibile con proporzionale aumento di contropressione entro ai cilindri. Perciò la temperatura media dell'acqua di alimentazione non può oltrepassare i 70°. Fissando al 65° la temperatura media dell'acqua che entra nella caldaia, non si commette certamente errore a danno dell'apparecchio in discorso, ed in tali condizioni il massimo risparmio teorico di combustibile può tutto al più arrivare al 10 per 100.

Se non che tale sarebbe il risparmio reale; ove l'effetto utile del vapore entro ai cilindri si conservasse costante, ove cioè la contropressione media dietro le facce degli stantuffi non venisse a variare. Ma è forza ammettere che, volendo riscaldare l'acqua al suo massimo, la somma delle contropressioni medie risulterebbe nelle macchine attuali sensibilmente aumentata.

E dappoichè la differenza di un solo decimo di atmosfera nel valore della compressione cagiona subito nel combustibile un guadagno od una perdita del 3,5 per 100, così è forza concludere che cogli apparati Kirchweger, posti su macchine buone l'economia definitiva di combustibile non potrà mai salire certamente oltre al 10 per 100, nelle ipotesi più favorevoli, e che nella massima parte dei casi dovrà invece ridursi al 6 o 7 per 100 ed anche meno.

Questo risultato corrisponde esattamente a quanto fu constatato nella pratica. Il signor Couche riferisce nel tomo III della sua opera, che il risparmio di combustibile, bene accertato, avviava al 5, all'8 per 100 nelle circostanze più propizie, quando cioè si trattava di potenti macchine da merci viaggianti a piccola velocità e con forti ammissioni di vapore; mentre tale risparmio diminuiva ancora, o scompariva affatto, nei treni celeri e leggeri.

Tant'è che, dopo essersi munite di siffatti apparecchi un discreto numero di locomotive, essi vennero poco a poco eliminati, principalmente dal giorno in cui l'introduzione degli iniettori rese così semplice e comoda l'alimentazione delle caldaie.

Allo stato attuale delle cose il riscaldamento dell'acqua nel tender può dirsi quindi del tutto abbandonato, giacchè il guadagno possibile non giunge a compensare le maggiori spese di impianto e di manutenzione, ed i maggiori imbarazzi nel servizio normale delle locomotive.

E questa conclusione non si potrebbe che meglio confermare al di d'oggi, in cui l'applicazione de' più recenti iniettori, che funzionano bene con acqua riscaldata a 35° e 40°, permette di utilizzare senza pericolo alcuno tutto l'eccesso di vapore che eventualmente tendesse a prodursi anche nelle più lunghe fermate.

6. — L'ingegnere Chiazzari, già distinto allievo della Scuola di applicazione degli ingegneri di Torino, ed ora ispettore principale del materiale delle ferrovie dell'Alta Italia, sulla considerazione che gli iniettori ordinari erano ben lungi dal soddisfare alla condizione economica di una alimentazione fatta con acqua portata al punto di ebulli-

zione a spese del vapore sciupato, si accinse a studiare un nuovo sistema di alimentazione per le caldaie delle locomotive, proponendosi di guadagnare assai largamente dal lato economico quanto fosse d'uopo per avventura di perdere dal lato meccanico.

E cominciando, contrariamente a quanto fanno d'ordinario moltissimi inventori (che farebbero un gran bene a loro stessi e a tutto il mondo se inventassero mai nulla), a studiare il problema dal lato teorico, trovò che il problema era suscettibile teoricamente di una soluzione più felice di quanto, a prima vista, altri per avventura non si immaginino.

Al quale intento l'ing. Chiazzeri sottopose a calcolo rigoroso tutto il complesso delle circostanze le quali conducono ad una definitiva economia di combustibile, quando suppongasì una alimentazione fatta con acqua portata al punto di ebullizione a spese del vapore di scarica.

Calcolò anzitutto il risparmio diretto proveniente dall'aver a convertire in vapore lo stesso peso d'acqua, ma introducendo quest'acqua a temperatura elevata di 100° anziché a quella di 15°, e trovò un primo risparmio in combustibile del 13,22 per 100.

Poi osservando che questo primo risparmio di combustibile, accumulato con quelli successivi, di cui diremo in seguito, conduce ad un maggiore effetto utile del combustibile che sarà bruciato, per la minore quantità bruciata nello stesso forno, la maggiore superficie di riscaldamento per chilogrammo di combustibile, ecc., trova che il risparmio sarà portato per l'effetto complessivo delle due cause su cennate, al 18,52 per 100 con macchine nuove, ed al 18,23 per 100 colle macchine ora esistenti.

Inoltre il diminuito consumo di combustibile diminuisce pure la quantità d'aria necessaria alla combustione, e sarà quindi minore la forza da impiegarsi per produrre la aspirazione artificiale nel camino. E siccome la quantità di vapore che si scarica non varia, vi sarà diminuzione nella contropressione media del vapore contro la faccia degli stantuffi. E tutto questo vuol dire che, per produrre colla macchina lo stesso lavoro di prima, basterà impiegare minore quantità di vapore, epperò minore quantità di combustibile.

Siffatto risparmio si comprende subito, se il sistema dell'ing. Chiazzeri non ricorresse al vapore di scarica per il riscaldamento dell'acqua. Ma qui vi sono nuovi calcoli, coi quali si dimostra che la proporzione di vapore che vien sottratto dallo scappamento è di molto inferiore alla diminuzione verificatasi nello stesso tempo sulle forze resistenti opposte dal moto dei gas; epperò i calcoli dell'ingegnere Chiazzeri concludono che, per effetto della diminuita contropressione, il nuovo sistema originerebbe un risparmio del 3,43 per 100. Se non che, è d'uopo aggiungere ancora un altro risparmio perchè la quantità di vapore che sarà condensato, mentre prima era lasciato fuggire dal camino, fa risparmiare una corrispondente quantità d'acqua fredda, donde una minore capacità iniziale del tender ed una minore provvista d'acqua. Il peso lordo da trascinarsi è dunque di un cotal poco diminuito; e qui nuove supposizioni e nuovi calcoli arrivano ad un nuovo risparmio di vapore e di combustibile; cosicchè l'economia definitiva di vapore, epperò di combustibile, per riguardo all'accresciuto effetto utile del vapore ed al risparmio di forza, risulta del 9,46 per 100, per locomotive di nuova costruzione, e del 6,95 per 100, per quelle già esistenti, alle quali si applicasse il sistema di cui è caso.

I giovani ingegneri che bramassero esercitarsi ad applicare a casi pratici tutte le teorie di un corso di macchine a vapore, studino senz'altro sul libro dell'ingegnere Chiazzeri (1), dal quale abbiamo dedotte queste notizie. Noi qui ci limitiamo a riassumere il risultato di una quarantina di grandi pagine nei seguenti termini. Il sistema di alimentare la caldaia delle locomotive con acqua portata a 100° a spese del vapore di scarica, prima sciupato, condurrebbe, teoricamente parlando, ad una somma di risparmi e relative

(1) Nuovo sistema di alimentare le caldaie delle locomotive, esposto da Orazio Chiazzeri De-Torres. — Torino, stabilimento di Giuseppe Civelli, 1876.

filiazioni, dirette e derivate, di risparmi di combustibile, che in servizio normale può arrivare al 27,98 per 100 con locomotive di nuova costruzione, ed al 25,18 per 100 colle locomotive ora esistenti.

Siccome poi non è cosa sì facile in pratica arrivare col vapore esausto al riscaldamento a 100°, e praticamente lo stesso ing. Chiazzeri è solo riuscito a portarlo a 95° circa nel lavoro normale, così è che, tenendo conto di questa circostanza, il risparmio complessivo di combustibile colle locomotive in servizio normale risulta rispettivamente del 24,57 e del 22,41 per 100, secondochè trattasi di locomotive appositamente costrutte, o di locomotive attualmente in servizio.

Ma con quali mezzi pratici fu possibile attuare l'idea? e che risultati si sono poi effettivamente ottenuti? La risposta alle due domande è nella parte seconda dell'opera dell'ingegnere Chiazzeri; e noi ci proviamo a riassumerla, inviando i lettori per la completa intelligenza della nuova pompa-iniettore ai disegni che vanno uniti all'opera stessa.

7. — *Descrizione della pompa-iniettore.* — In un corpo di tromba orizzontale (fig. 2) si muove uno stantuffo S che, guidato da un grosso gambo G, genera dalla parte che diremo anteriore A' un volume più grande che dall'altra. Nella sua corsa di andata, lo stantuffo produce un vuoto dietro di sé, ad occupare il quale la pressione atmosferica spinge l'acqua fredda che è nel tender e che vi giunge per il tubo T sforzando la valvola t. Nella corsa di ritorno, la valvola di per sé stessa si chiude, e s'apre invece un'altra valvola d, per cui l'acqua contenuta nella camera minore della tromba passa per mezzo di apposito condotto DD in una camera di condensazione che sta sul davanti del corpo di tromba. E l'acqua vi giunge attraversando i molti forellini di una piastrina P. Intanto è d'uopo sapere che codesta camera di condensazione è in comunicazione colla camera anteriore A' del corpo di tromba, per mezzo di una valvola b, forzata la quale, l'acqua è costretta ad entrare nella camera maggiore della tromba in virtù del vuoto che vien fatto dallo stantuffo che retrocede.

Ma siccome il volume generato è molto maggiore di quello dell'acqua che vi entra, così vi si produce un vuoto parziale, il quale richiama per mezzo del tubo V una parte del vapore che si trova nel tubo di scarica; ed è questo vapore che condensandosi all'incontro dell'acqua spruzzante in sottilissimi getti dalla piastrina, riscalda l'acqua e la trascina con sé nella camera maggiore della tromba. Seguitando il giuoco dell'apparecchio, dopo il secondo colpo di stantuffo la tromba è preparata; nella corsa di andata l'acqua bollente che è nella camera anteriore A' chiude la valvola di comunicazione colla camera di condensazione, sforza una valvola di ritenuta c, e coll'intermezzo di una camera d'aria H, e per mezzo del tubo C passa nella caldaia, mentre dall'altra parte dello stantuffo, la camera minore di nuovo si riempie d'acqua fredda proveniente dal tender.

Quest'apparecchio fu dall'autore denominato *pompa-iniettore*, perchè di fatto riproduce l'ufficio di un iniettore ordinario, la cui forza di aspirazione e la cui efficacia a temperatura elevata fossero grandemente aiutata dalla forza estrinseca che muove la pompa.

Quest'apparecchio non ha poi l'inconveniente delle trombe usuali, nelle quali, se l'acqua da aspirare è troppo calda, succede che il vuoto generato dallo stantuffo si riempie, in parte od in totale, di vapore che si sviluppa dalla massa liquida tanto più facilmente inquantochè tale sviluppo è favorito dalla formazione stessa del vuoto.

8. — *Regolatore automatico dell'acqua fredda.* — La tromba, quale fu descritta, potrebbe funzionare senz'altro, immettendovi dirèttamente l'acqua fredda derivata dal tender. Ma per le locomotive sarebbe pur necessario che, ogni volta si chiude il moderatore del vapore, venisse pur chiuso il rubinetto che regola l'accesso dell'acqua fredda della tromba, perchè altrimenti la pompa inietterebbe acqua fredda nella caldaia, il che è d'uopo evitare. A tale intento fu abilmente congegnato un doppio tubo incurvato a sifone, che è posto sul passaggio dell'acqua dal tender alla tromba, e nel quale è pure immerso il vapore di scappamento; il vapore, operando in una specie di iniettore, tiene chiusa una valvola atmosferica; e fintantochè in codesto tubo vi sarà vapore

di scarica, la tromba agisce senza interruzione. Ma tostochè, chiuso il moderatore nel tubo a sifone, regnerà la pressione atmosferica, la valvola si aprirà per il proprio peso, e da quel punto il vuoto prodotto nel piccolo scompartimento della pompa si riempirà d'aria e la tromba lavorerà a vuoto, pronta a riprendere le sue funzioni appena si apra di nuovo il moderatore.

9. — *Risultati ottenuti coll'esperienza.* — Negli ultimi giorni del 1875, l'ingegnere Chiazzari otteneva l'autorizzazione di sperimentare la pompa-iniettore su di una locomotiva in servizio presso la Ferrovia dell'Alta Italia; e fu scelta la macchina 950 *Fieramonte* a 6 ruote accoppiate, costrutta da Cockerill, la quale era allora ferma al deposito di Torino per ricambio delle ruote, di alcuni tubi, e di vari cuscinetti, e che aveva prestato servizio dal maggio 1873, con un percorso di 85,500 chilometri, senza avere mai subite riparazioni.

Dopo le solite corse di prova, il 17 gennaio 1876, la *Fieramonte* incominciò il suo servizio normale; e da quell'epoca la macchina prestò sempre regolarissimo servizio, nè rimase un'ora sola inoperosa per causa del nuovo apparato.

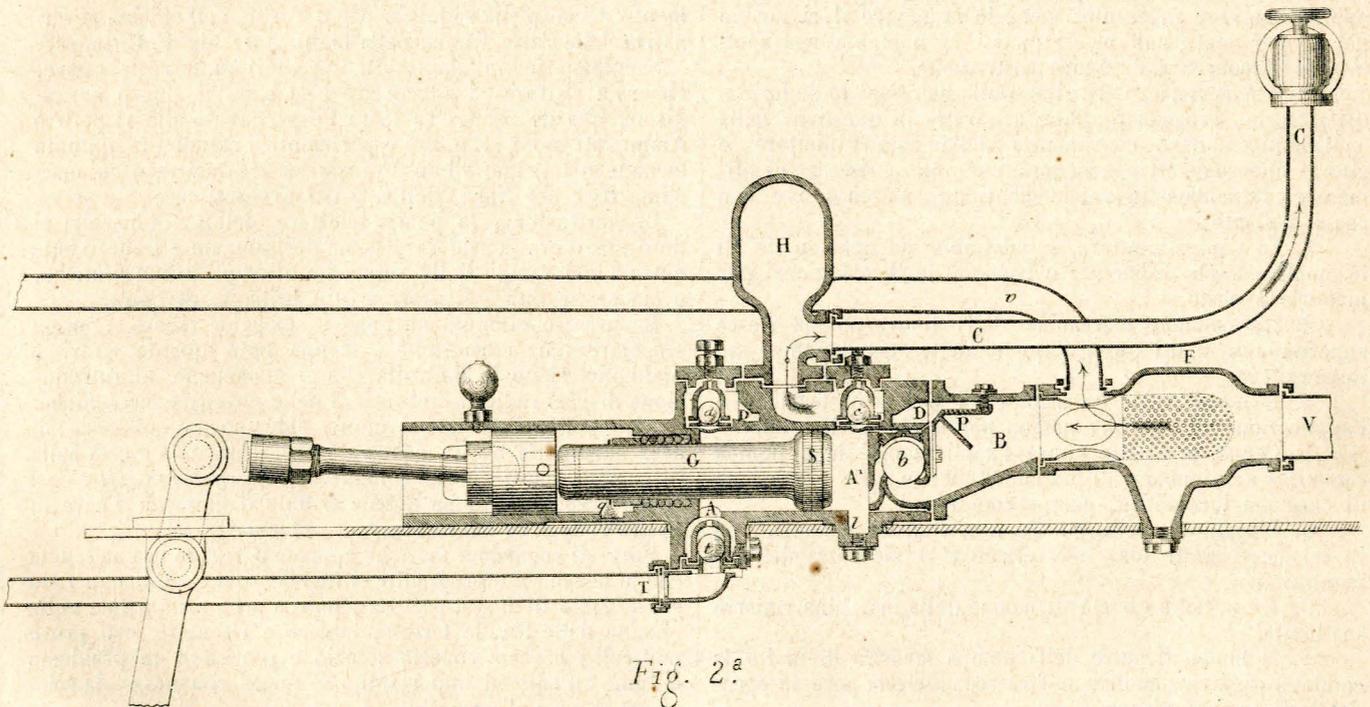
La pompa erasi costruita nelle officine dell'Alta Italia in Torino, a Porta Nuova, sotto l'abilissima direzione del capomastro signor P. Verole; dal lato meccanico essa funzionò

L'effetto utile della pompa varia naturalmente secondo la velocità, ma più ancora colla temperatura dell'acqua che essa aspira. Se l'acqua è fredda e la velocità normale, l'effetto utile giunge a 0,65 almeno. Se l'acqua è molto calda, esso discende anche sotto a 0,50.

Il regolare funzionamento della pompa è stato pure constatato sotto qualsiasi velocità, ed anche a quella di 40 e 45 chilometri, a cui corrispondono 182 rivoluzioni di ruota al minuto, ed altrettanti colpi di stantuffo nella pompa.

Quando si chiude il regolatore, la tromba, non potendo più assorbire dell'acqua in grazia dell'apparecchio automatico, si comporta allora come un vero compressore d'aria, e ad ogni colpo di stantuffo lancerà una certa quantità di aria nella caldaia. Questo fatto dal punto di vista meccanico è favorevole al nuovo sistema, poichè per esso si immagazzina nella caldaia una parte della forza viva concepita dal treno, e che bisogna in qualche modo disperdere per poterlo fermare.

Potrebbe temersi tuttavia che l'aria lanciata nella caldaia in troppo grande quantità finisse per impedire il regolare funzionamento degli iniettori ordinarii; e questo sarebbe un inconveniente abbastanza grave, poichè non bisogna privarsi mai volontariamente, e sotto nessun riguardo, della riserva



sempre a meraviglia, e le esperienze sono oramai abbastanza prolungate da poterne accettare le conseguenze come definitive. Il giuoco delle valvole, dello stantuffo e dell'apparato automatico, nulla lascia a desiderare. Dopo 4 mesi di lavoro continuo, visitate le stoppe del bossolo, si trovarono ancora in più che discreto stato di conservazione.

L'apparecchio automatico funzionò pure con pieno successo; la sua sensibilità è grandissima, tanto più se si trova vicino alla pompa. Nei casi normali, aperto il moderatore, bastano pochi colpi di stantuffo perchè la pompa cominci a funzionare; appena quello si chiude, la pompa cessa immediatamente di aspirare acqua fredda, e non fa più che spingere nella caldaia quella poca acqua già calda che riempiva le varie parti dell'apparato.

Cosicchè, senza il menomo disturbo da parte del macchinista, si è certi che l'alimentazione della caldaia riesce automatica, senzachè vi si possa iniettare un litro solo d'acqua meno calda: fatto questo importantissimo dal triplice punto di vista della condotta della locomotiva, dell'economia del combustibile, e della buona conservazione della stessa caldaia.

di avere sempre pronto un altro apparato di alimentazione.

Ma stante le piccole dimensioni della tromba, l'aria iniettata non è che di 14 litri ad ogni 100 colpi di stantuffo; e poi si ha il fatto, che l'iniettore non cessò mai di funzionare anche dopo che in certe discese la pompa aveva lavorato a vuoto per tre ed anche 4 chilometri consecutivi.

Nessun dubbio adunque che dal lato meccanico il problema non sia stato praticamente risolto.

10. — Dal lato economico, vediamo ora se i vantaggi che i calcoli teorici indicavano sono stati effettivamente, e fino a qual punto, conseguiti.

Quanto alla temperatura dell'acqua lanciata nella caldaia, l'esperienza ha provato che nei casi di lavoro normale, se l'acqua entra fredda nella pompa, la temperatura finale del miscuglio varia da 80° a 85°. Ma perchè la pompa funzioni benissimo, è necessario regolarsi in modo che l'acqua nell'iniettore dell'apparecchio automatico non abbia una temperatura superiore a 65° o 70°, e allora la temperatura finale dell'acqua che entra nella caldaia risulta di 95° o poco presso a seconda dei casi.

Oltre a ciò furono effettivamente confermati dalla esperienza i calcolati vantaggi di codesta pompa sull'andamento della locomotiva.

La diminuzione della temperatura dei gas prodotti dalla combustione fu trovata (alla base del camino di una macchina fissa cui era stata applicata la pompa) essere di 50° all'incirca.

La diminuzione della contropressione risultò di atmosfere 0,095.

Anche la forza di trazione sviluppata dalla locomotiva risultò notevolmente aumentata; il numero di assi trasportati ad 1 chilometro risultò maggiore del 22,56 per cento, e la quantità media degli assi trasportati per ogni treno era maggiore del 3,50 per cento.

Il risparmio d'acqua risultò del 25,50 per cento.

Il risparmio di combustibile nei 4 mesi d'esame fu riconosciuto del 19,46 per cento, sul lavoro brutto fatto dalla locomotiva, e del 21,58 per cento sul lavoro netto in assi trasportati ad un chilometro. Considerando inoltre che la pompa risultò di proporzioni non sufficienti ai bisogni della locomotiva, talchè per un quarto circa dell'acqua si era obbligati ad una alimentazione a freddo, è ben ragionevole concludere che con una pompa meglio proporzionata il risparmio del 22 per cento in combustibile, dato dal calcolo nel servizio normale, verrà nella pratica con molta approssimazione raggiunto; come lo sarà pure il risparmio del 25 per cento nell'ipotesi in cui la pompa venga adottata per locomotiva di nuova costruzione.

11. — Accertate coi risultati dell'esperienza le deduzioni delle teorie, l'ingegnere Chiazzari tratta la questione della applicabilità e della convenienza della pompa-iniettore, e giunge alle seguenti conclusioni sul nuovo sistema di alimentare le caldaie in modo continuo, automatico e con acqua bollente:

1. La pompa-iniettore è adattabile ad ogni specie di locomotive anche esistenti, e bastano da 3 a 4 giorni per metterla a posto.

2. L'andamento meccanico della nuova pompa riesce superiore in molti punti a quello delle attuali pompe ad immergitore.

3. La spesa reale da incontrarsi per la costruzione e l'applicazione di ciascuna pompa non è che di lire 600.

4. Per le macchine nuove l'applicazione della pompa cagionerà un'economia di più che 3000 lire nella costruzione di ciascuna locomotiva, pompa compresa.

5. L'aggiunta della pompa non scemerà giammai, ed in certi casi aumenterà notevolmente la sicurezza dell'alimentazione.

6. La perfetta libertà di azione della macchina rimarrà inalterata.

7. Il modo di agire della pompa favorirà di molto la condotta della locomotiva e farà scemare non poco le spese della sua manutenzione.

8. La presenza della pompa renderà possibile la composizione di treni più pesanti.

9. Finalmente, a motivo dei risparmi di combustibile, di acqua, ecc., e per effetto del minor peso lordo rimorchiato, si avrà un beneficio economico diretto di lire 4800 circa all'anno per ogni macchina esistente, e di L. 6,400 per ogni locomotiva di nuova costruzione.

E pensare che le sole ferrovie dell'Alta Italia hanno 750 locomotive in esercizio!

Vogliamo sperare che sarà dato all'ing. Chiazzari di inviare alla Esposizione di Parigi del 1878 una locomotiva nuova munita del suo apparecchio.

12. — Intanto ci preme ancora di far notare che la pompa-iniettore dell'ing. Chiazzari non è soltanto applicabile alle locomotive come fin qui si è supposto, ma essa si adatta egualmente bene a tutte le macchine a vapore senza condensazione, sieno fisse, locomobili o marine.

La pompa-iniettore invero sostituisce con molto vantaggio la pompa ordinaria e l'apparato speciale di riscaldamento dell'acqua di alimentazione, (casce, tubi, serpentine, ecc.), che quasi sempre accompagna la pompa usuale nelle macchine bene studiate.

Col nuovo sistema il costo di primo impianto è grandemente diminuito; minore è pure la spesa di manutenzione e ciò che più monta si ha un notevolissimo risparmio di combustibile, poichè colla pompa-iniettore l'acqua si porta in caldaia ad un più alto grado di temperatura, e si ha inoltre una diminuzione di contropressione sugli stantuffi motori.

13. — Una abbastanza estesa e prolungata esperienza ha oramai controllati e ratificati tutti i grandi e svariati vantaggi del nuovo sistema di alimentazione. Ci consta infatti che di tali pompe già se ne contano sin d'ora una quarantina in esercizio regolare in Italia ed all'Estero, sia su locomotive, che, su macchine fisse o marine, e che tutte diedero eccellentissimi risultati meccanici, promovendo un risparmio di combustibile che può ritenersi del 20 p. 0/10 al minimo.

Ed invero le esperienze ufficiali a lungo protratte sopra una pompa applicata ad un motore delle officine ferroviarie a Torino, hanno dato un minimo di economia di carbone del 22,4 p. 0/10, economia che salì in molti casi oltre al 30 p. 0/10.

Altre prove ufficiali fatte dagli ingegneri delle strade ferrate Meridionali sopra una pompa applicata ad una locomotiva, fecero risultare un risparmio in combustibile del 21,60 p. 0/10; e così per molte altre.

Sappiamo che pompe di tale sistema funzionano normalmente e con piena soddisfazione a Torino nell'officina governativa delle Carte-Valori, nella fabbrica del sig. F. Cirio, ecc.

Sappiamo infine che molti ingegneri di ferrovie estere, ebbero a visitare ed apprezzare così bene il nuovo meccanismo, che ne proposero tosto l'esperimento alle rispettive Amministrazioni. E questi esperimenti si stanno ora appunto facendo nel Belgio ed in Francia su locomotive e su macchine fisse del Nord, dell'Est, del Creusot, ecc.

In conclusione, la pompa-iniettore dell'ing. Chiazzari si deve sin d'ora considerare come decisamente e francamente entrata nel campo delle vere ed utili applicazioni pratiche, e già se ne può assicurare il più brillante avvenire.

Il successo ottenuto ne pone in maggior rilievo i pregi singolarissimi; essendochè è troppo noto quanto gravi e molteplici sieno le difficoltà che si oppongono all'introduzione di così radicali innovazioni nelle industrie meccaniche.

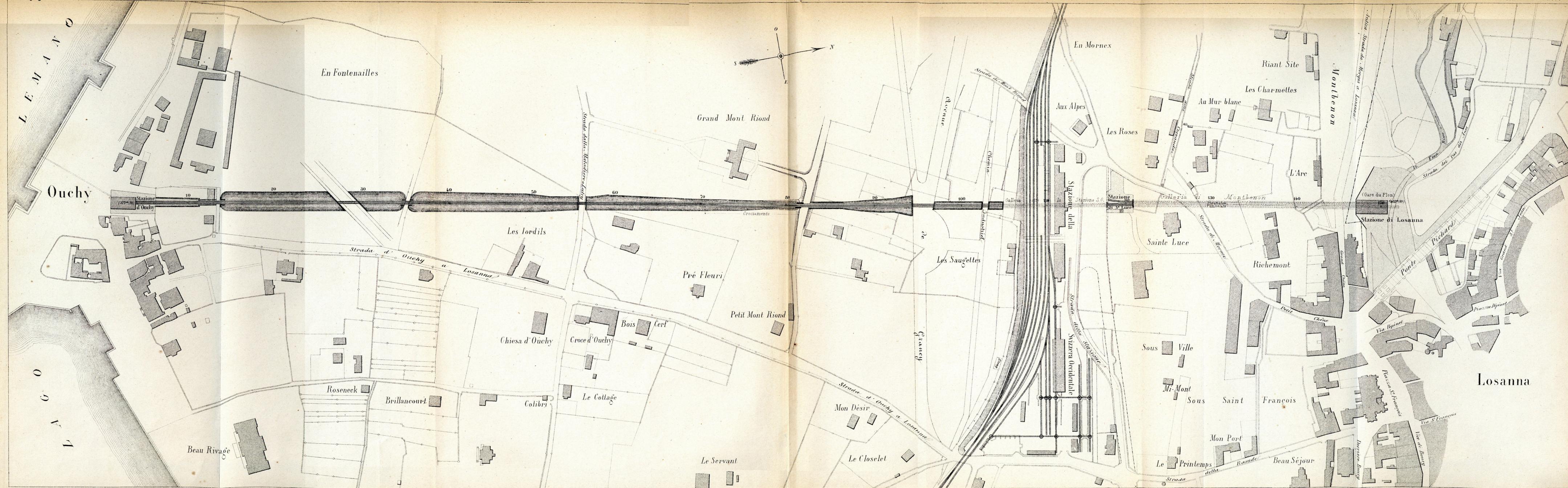
14. — Per tutti questi motivi abbiamo la coscienza di aver adempiuto ad un nostro dovere, dedicando a così bella invenzione queste poche colonne dell'*Ingegneria Civile*. Così voglia accoglierle come debole tributo d'onoranza l'egregio nostro collega ed amico ingegnere Chiazzari.

Forte di cognizioni teoriche apprese a Torino in una scuola che le nazioni più progredite ci invidiano, noi l'abbiamo visto col sussidio di una esperienza, poco a poco conquistata nelle officine delle Strade ferrate, tentare e ritentare con prove molteplici e varie codesta soluzione pratica di un problema dei più difficili ed importanti che ancor rimanesse da sciogliere intorno alle macchine a vapore.

Lo studio indefesso e la rara costanza erano pari alle difficoltà tecniche ed economiche che l'una dopo l'altra gli si presentarono da sciogliere; ed il Chiazzari ha pienamente raggiunto lo scopo.

L'Italia è ancora troppo giovane in fatto di industrie meccaniche, ed è meno che esordiente in tutto ciò che riguarda la costruzione e lo studio delle macchine a vapore industriali, e delle locomotive di strade ferrate. Eppure essa ebbe fin da principio uomini grandi che nella soluzione dei più difficili problemi di trazione ferroviaria hanno acquistato fama mondiale, come il Ruva, il Grandis ed il Sommeiller; ed ora è cosa affatto naturale che vi siano gli allievi capacissimi di emulare i loro maestri. Procuriamo soltanto che l'assetto delle ferrovie italiane non sia tale da soffocare ulteriormente lo slancio generoso de' nostri ingegneri; che essi vi trovino libero e sconfinato campo sperimentale di studi e di prove, non mai inceppato da mire ambiziose di inetti, o da meschini interessi di poco illuminate Società d'esercizio; sarà il più bel servizio che avremo reso all'Italia!

G. S.



FERROVIA FUNICOLARE LOSANNA - OUCHY Piano Generale (Scala di 0^m.0005 per m²)

Fig. 1.
Dal decam. 6.17 al decam. 68.092

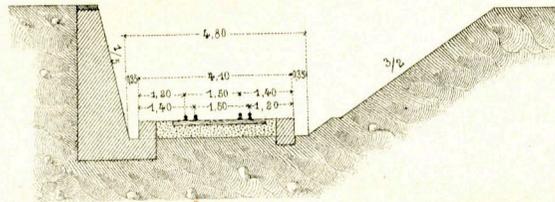


Fig. 2.
Dal decam. 73.15 al decam. 75.4.

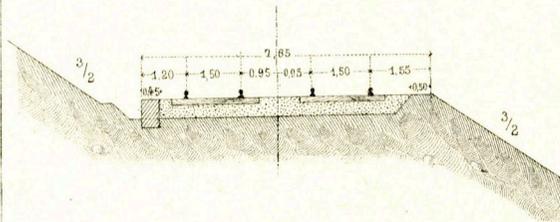


Fig. 3.
Dal decam. 82.296 al decam. 105.18

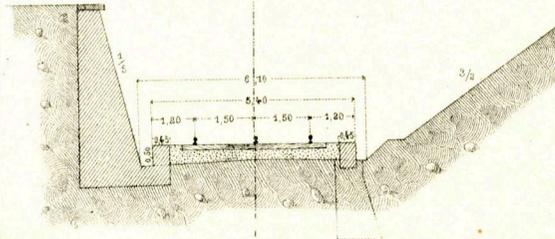


Fig. 4.
Dal decam. 105.18 al 116.26
Galleria

sotto la Staz. (Suisse Occidentale) di Losanna.

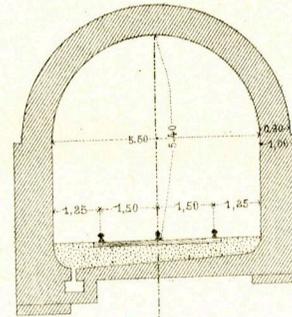
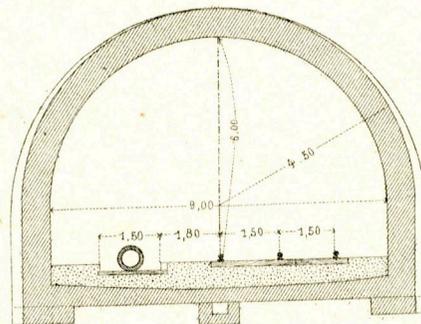


Fig. 5.
Dal decam. 123.60 al 146.90.
Galleria di Montbenon



Scala. $\left\{ \begin{array}{l} \text{di } 0,005 \text{ per le Fig. } 1, 2, 3, 4, 5 \\ \text{di } 0,0075 \text{ per le Fig. } 6, 7. \end{array} \right.$

Fig. 6. Galleria di Montbenon durante i lavori
Sezione trasversale

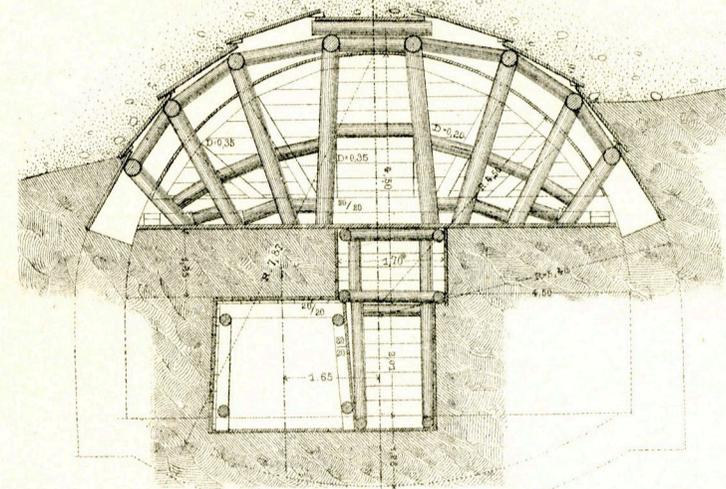
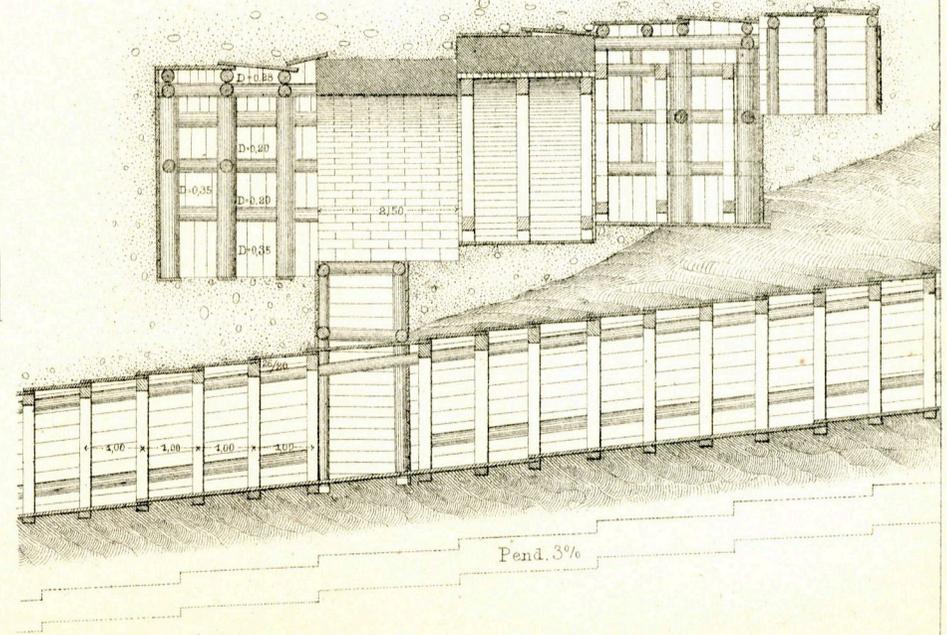


Fig. 7. Galleria di Montbenon durante i lavori
Profilo longitudinale



Nota - Le lunghezze progressive partono dalla Stazione inferiore di Ouchy.