

DISTRIBUZIONE
DELLA FORZA MOTRICE A DOMICILIO

DISSERTAZIONE
PRESENTATA ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DELLA
Regia Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Torino

DA
ENRIOTTI MARC' ANTONIO

da SOLERO - Alessandria

PER OTTENERE IL DIPLOMA DI LAUREA
DI
INGEGNERE CIVILE

TORINO
TIPOGRAFIA FODRATTI, VIA GAUDENZIO FERRARI, 3
1873.

ALLE AFFETTUOSE CURE DI MIA MADRE
LE GIOIE DI QUESTO GIORNO

ALLA VENERATA MEMORIA DI MIO ZIO
PADRE MARC'ANTONIO

AI MIEI PARENTI

A CHI MI FE' DEL BENE

DISTRIBUZIONE

DELLA FORZA MOTRICE A DOMICILIO

I.

Se ci facciamo ad esaminare i continui progressi fatti dall'umanità nei diversi rami delle industrie, non possiamo a meno che restare meravigliati come, l'uomo abbia potuto e saputo trarre profitto delle forze più recondite di cui la natura può disporre, diminuendone così la sua fatica materiale. Ma come approfittare di tali forze? L'invenzione delle diverse macchine sciolse una tale questione; il desiderio di un grande guadagno fece allora sorgere i primi stabilimenti industriali, ed il loro sviluppo molto s'accrebbe colle continue invenzioni e conquiste, poichè secondo le condizioni locali ove si trovarono, poterono fare liberamente la scelta dei differenti motori e tutti assai perfezionati: e se arrivarono per così dire, al loro stato normale, non è che per l'estensione delle officine conseguenza necessaria dell'estensione della fabbricazione, e pel miglioramento degli apparecchi impiegati.

L'imponenza dello spettacolo dei grandiosi mezzi e dei sorprendenti risultati, presentati oggidì dalla così detta grande industria, inducono facilmente a dimenticare i modesti opifizii della piccola e quindi quasi a sopprimerla totalmente. Difatti come potrebbe questa reggere in confronto di quella? Come stabilire i potenti motori a vapore il cui costo non è per nulla proporzionale alla loro forza, e che sono eccessivamente gravosi se non ripartiti su un numero grandissimo di lavoratori?

L'idea di rendere più o meno gratuito l'impiego delle forze della natura, per modo che ognuno ne possa approfittare senza incorrere in ingenti spese, deve essere la meta di ciascuno, poichè allora la piccola industria, non si porterà al grado della grande, che ciò è impossibile, ma si potrà almeno introdurre nei paesi e nelle campagne per modo che i contadini possano ritrarne vantaggio nelle ore perdute, elevandosi così al grado degli operai cittadini, tanto finora superiori ad essi.

L'avvenire della così detta piccola industria sta tutto nella soluzione del problema della distribuzione della forza a domicilio, quindi essendo di vitale importanza per tutti i paesi, merita l'attenzione e lo studio degli ingegneri.

Il compito assuntomi essendo per me grave e di gran lunga superiore alle mie forze, di più la ristrettezza del tempo, non avendomi permesso ulteriori studii, temo che questo lavoro non vada esente da mende e difetti; ma se la buona volontà con cui io mi vi dedicai valesse da sè sola a dargli merito, certamente allora potrebbe sperare di acquistarsi la benevolenza del giudizio della Commissione esaminatrice.

II.

La così detta piccola industria abbraccia i lavori che si fanno al di fuori delle grandi officine, e il più sovente in luoghi molto ristretti. I prodotti commerciali che si ottengono, sono una non piccola risorsa ad una classe di industriali, confinanti forse ai piani superiori d'una casa, là dove la mancanza di spazio mal comporterebbe una macchina incomoda e rumorosa. Ora qual'è la forza motrice in queste piccole officine? La mano dell'uomo. Nella più parte dei casi esaminando il lavoro che esso compie, si vede che è obbligato di dare lui stesso il movimento agli apparecchi che sono i suoi strumenti del lavoro, nello stesso tempo che applica la sua intelligenza a dirigerlo per compierlo nelle condizioni volute.

I bisogni di queste industrie fecero sì che molti operai si occupassero a far muovere degli apparecchi, a girare delle manovelle, ad agire sopra leve, creando così il *tourneur de roue*, il *damnatius ad molam*, quindi non è a stupire, se a Parigi scrivevasi non è gran tempo « noi vediamo nel secolo XIX degli uomini condannati a questo mestiere che Roma antica imponeva a' suoi schiavi. » Essi potrebbero lasciare il posto di motori animati e applicare la loro intelligenza a lavori meno pesanti e meglio remunerati; servendosi allora di una forza meccanica regolare e costante, essa permetterebbe di ottenere prodotti più confezionati e sarebbe inoltre più economica e sempre disponibile, poichè il prezzo della mano d'opera, salendo ogni giorno col crescere dei bisogni veri o fittizii dell'umanità, la piccola industria sarebbe condannata a soffrirne maggiormente, siccome quella che abbisogna di piccola forza e dispone di pochi mezzi.

L'ufficio dell'operaio dovrebbe quindi ridursi a ciò che deve essere realmente, cioè un lavoratore intelligente, e mettendo a sua disposizione la forza motrice che gli è necessaria, di fare eseguire da macchine convenientemente disposte, la parte puramente meccanica del suo lavoro. Non solamente si sopprimerebbe così la parte più penosa di ciò che deve fare, ma gli si permetterebbe ancora di concentrare tutta la sua attenzione sull'esecuzione di quella parte, che essenzialmente ha bisogno delle sue facoltà intellettive.

Non è qui mestieri segnalare il progresso morale che accompagnerebbe l'economico in questa classe sociale, quando venisse attuata la distribuzione della forza a domicilio. Esso tenderebbe a ricostituire l'indipendenza del focolaio domestico e l'unità della famiglia laboriosa, a fronte dell'attuale emigrazione ed aggruppamento delle masse d'operai, intorno alle cadute d'acqua ed alle macchine a vapore, e sarebbe una splendida applicazione del principio d'associazione, permettendo la vita propria e indipendente delle sparse membra, a condizione che ciascuno di essi concorra all'alimentazione del centro della vitalità generale.

Ecco un lampo di speranza per colui che vorrebbe vedere l'operaio lavorare in mezzo alla sua famiglia, mandando il suo figlio a scuola, anzichè condannarlo a soffiare la forgia ed a girare la ruota, impiegando la sua intelligenza meglio che il suo braccio, alla produzione della forza motrice che gli è necessaria. Si eviterebbe così l'enorme influenza demoralizzante che proviene dall'agglomerarsi dei lavoratori d'ambo i sessi.

Sfiorata così la questione dei vantaggi derivanti dalla distribuzione della forza motrice a domicilio sotto entrambi i punti di vista economico e morale, scorgesi come nelle grandi città, una tale questione acquisti un'importanza tale da non sfuggire a nessuno.

Molti mezzi furono proposti onde risolvere l'arduo problema, si

è fatto appello a tutte le sorgenti di forza di cui l'industria dispone attualmente, e benchè nessuno dei sistemi finora proposti abbia ricevuto la sanzione della pratica, tuttavia passerò in rivista le differenti sorgenti di forza utilizzabili, nonchè la convenienza ed opportunità della scelta.

Ma intanto quali debbono essere i requisiti di questa potenza motrice? Essa deve essere portata con facilità nelle case a qualunque altezza, deve essere affidata il più spesso a mani inesperte, quindi deve presentare facilità d'impiego, d'impianto e di manovra, la sicurezza deve essere completa: bisogna inoltre che essa possa impiantarsi in uno spazio ristretto, sia economica, e per esserlo sia ad intermittenza adoperabile.

Il trovare un mezzo che soddisfi a tante e così svariate condizioni, sembra cosa non troppo facile. Vediamo come vi soddisfino quelli finora proposti cioè: molle, elettricità, vapore, aria calda, acqua, aria compressa.

III.

Molle. — Esse furono applicate per mettere in moto le macchine a cucire, per rimpiazzare cioè il lavoro continuo del piede dell'operaia sul pedale, col lavoro temporaneo dei bracci sopra la manovella che serve a rimontare la molla.

Ma per quanto le disposizioni adottate siano ingegnose, non si ha che una soluzione molto ristretta del problema, poichè esse sono applicabili solo in pochi casi, e poi danno un risultato poco soddisfacente.

Esse non sono che un mezzo di trasformazione della forza e non una sorgente di forza propriamente detta, perchè richiedono un

frequente lavoro alla manovella che serve a montarle. Del loro lavoro iniziale non si utilizza che il 75 o 80 per cento, poichè le resistenze passive, e queste a seconda del modo di costruzione dell'apparecchio, assorbono una parte del lavoro immagazzinato nelle molle.

Essendo poi un fatto che le molle non danno più del 0,6 a 0,8 del lavoro che esse sarebbero suscettibili di immagazzinare, non si otterrà infine che 0,6 circa al massimo del lavoro teoricamente possibile.

Si è calcolato che si possa con una molla d'acciaio del peso di 1 kg. immagazzinare una forza di 12 kgm., praticamente quindi non si utilizzerebbero che 7,20 kgm.

Se trattasi adunque di ottenere delle forze relativamente notevoli, di necessità devesi moltiplicare il loro numero, quindi il loro impiego deve essere limitato a macchine molto leggere.

Esse vanno soggette ad alcuni inconvenienti quali sono: la necessità di rimontarle ad intervalli assai vicini, anche quando s'accresca il loro numero per prolungare la durata del lavoro; la loro rottura, che non sempre si può evitare ancorchè la loro scelta sia fatta con cura; la necessità infine di un regolatore a palette per l'uniformità del movimento, destinato a distruggere la parte eccedente del lavoro motore, vincendo la resistenza dell'aria che cresce proporzionalmente al quadrato della velocità. È dunque un lavoro perduto per la macchina, senza contare che il regolatore agisce solo per scemarne la velocità mentre per esempio nelle macchine a cucire è più svantaggioso il rallentamento che l'accelerazione.

IV.

Elettricità. — I molti motori elettromagnetici costruitisi in questi ultimi tempi, avvantaggierebbero di molto la soluzione del problema che ci occupa, se non si dovesse loro rimproverare il prezzo elevato della forza che producono, ed anche il poco di forza che essi danno sotto un volume relativamente grande.

La forza che i motori sviluppano non è altro che il risultato della trasformazione del calore in lavoro; si è invece la soluzione dello zinco della pila nell'acido che genera il calore nei motori elettromagnetici.

Paragoniamo ora lo zinco come sorgente di calore col carbone, e vediamo che conseguenze se ne possano trarre.

Dalle esperienze di Fabre e Silberman si ha che mentre 1 g. di carbone combinandosi coll'ossigeno sviluppa 8 calorie, 1 g. di zinco, sciogliendosi nell'acido solforico, ne sviluppa solamente 0,55, quindi bisognerebbe sciogliere $\frac{8}{0,55} = 14,5$ grammi di zinco per ottenere la stessa quantità di calore che si ha dalla combustione di 1 g. di carbone.

Ora è evidente e noto che lo zinco costa molto più che non il carbone, giacchè il primo è già un prodotto secondario che ha passato una serie di operazioni preparatorie. Da calcoli fatti risulterebbe che una caloria fornita da una pila costa almeno 223 volte di più che non una fornita dal carbone.

Liebig stesso nelle sue *Lettere sopra la chimica* così si esprimeva: « Se noi bruciamo sotto la caldaia di una macchina a vapore, la quantità di carbone necessaria per trattare una certa

« quantità di minerale di zinco, noi otterremo una somma di lavoro di molto superiore a quella che potrebbe produrre lo zinco, ottenuto sotto qualunque forma, e in qualsiasi apparecchio che questo metallo fosse impiegato. »

L'idea di servirsi dell'elettricità è tuttavia troppo seducente perchè riesca a molti impossibile di astenersi dall'augurare presto all'umanità, la grande scoperta di una qualche nuova proprietà dell'energia elettrica, che ci insegni a produrla e convertirla al pari dell'energia termica, e con egual vantaggio, in energia meccanica, in forza motrice industriale. Ma sarà poi possibile una tale economica trasformazione?

La difficoltà di poterla ottenere coi mezzi attuali, ha condotto ad invertire il problema, e invece di trasformare elettricità in lavoro si è cercato di convertire il lavoro in elettricità.

L'esperienza ha dimostrato la giustezza del principio di un tale tentativo, e si è arrivati a dei risultati economici soddisfacenti in questa nuova via.

Si sono infatti costrutte delle macchine magneto-elettriche destinate all'illuminazione dei fari che richiedono appena un lavoro meccanico di 458 kgm. e anche meno per produrre una caloria: ecco qui un risultato che s'avvicina in modo incredibile all'effetto teorico, che vuol ritenersi compreso fra 425 e 438 kgm. per caloria.

Da quanto precede possiamo dunque ritenere che le macchine magneto-elettriche servite da pile non possano essere considerate come una sorgente economica di lavoro, inoltre esse sono incommode, tutt'altro che facili a regolarsi e capricciose nel loro movimento. L'impiego poi degli acidi non è esente da pericoli, massime quando questi apparecchi vengono messi alla portata di tutti e fra le mani di chi spesso mancherà delle più elementari nozioni di fisica.

V.

Vapore. — La forma ordinaria delle macchine a vapore fa sì che non si può soddisfare alle condizioni d'impiego della forza motrice a domicilio, poichè avendo esse un condensatore, un generatore di vapore, un focolaio e un camino per l'uscita dei prodotti della combustione, non possono stabilirsi nei locali ristretti in cui esercitarsi la piccola industria.

Presentemente però si idearono certi piccoli motori di forma tutta affatto speciale, i quali possono soddisfare a certe particolari applicazioni del problema, ma è difficile vedere in essi una soluzione generale.

Motore Fontaine. — Il signor Ippolito Fontaine ha immaginato un motore a vapore rimarchevole per l'insieme delle sue disposizioni. In detto motore la vaporizzazione dell'acqua, l'essiccamento e il sopra riscaldamento del vapore, si fanno per mezzo del gas luce. Esso è costituito di una caldaia cilindrica verticale di sufficiente ampiezza, perchè non si richieda di doverle somministrare acqua per una mezza giornata, ed è terminata alle due estremità da due fondi piani. Al disotto della medesima una doppia corona di 24 candele a gas, sviluppano il necessario calore, ed i gas caldi s'innalzano per una corona di tubi in rame, i quali attraversano il fondo inferiore della caldaia, e si elevano in essi attraverso all'acqua e per una certa altezza, sboccando poi tutti in un cappello di ghisa coperto costantemente dall'acqua.

I prodotti della combustione di qui ridiscendono e vanno a riunirsi in un unico tubo centrale di scarica che si ripiega al disotto della caldaia.

Ecco ora come si opera l'essiccamento ed il sovra riscaldamento del vapore che occupa la parte superiore della caldaia, prima di recarsi alla macchina motrice. Vi ha un tubo verticale chiuso inferiormente ed aperto alla sommità, che è disposto sull'asse centrale della caldaia, sufficientemente lungo da attraversare il cappello dei tubi di rame e da internarsi ancora concentricamente al tubo di scarica dei gas, prolungandosi fin presso la base della caldaia.

La presa del vapore si fa per mezzo di un tubetto concentrico a questo tubo essicatore e verso la parte inferiore del medesimo.

Risulta da fatte esperienze, che si può sviluppare $\frac{1}{10}$ di cavallo vapore colla spesa media di 700 litri di gas all'ora.

Motore Zavaglia. — Anche in Italia si studiò ultimamente la questione dei motori per l'industria a domicilio, ed il signor Zavaglia, che di essa si occupò, fece costruire un piccolo motore a vapore che fece molto parlare di se.

Esso ha una forza motrice compresa fra $\frac{1}{4}$ ed $\frac{1}{2}$ o poco più di cavallo vapore ed è riscaldato a legna. Questo fu infatti lo scopo che si propose l'inventore per risolvere le principali difficoltà che s'incontrano nello studio dei motori di piccola forza, ed a giustificare la scelta egli passò in rassegna i combustibili solidi, liquidi e gassosi comunemente adoperati. Da esperienze da lui fatte si ricava, che il costo di 1 kg. di vapore prodotto coi diversi combustibili adoperati è il seguente:

litantrace	lire 0,0083
legna forte	„ 0,01
petrolio	„ 0,08
gas illuminante	„ 0,08.

Fu con questi dati e dietro tutte quelle condizioni speciali che hanno così grande influenza, quando vogliasi ottenere il massimo

effetto utile colla maggiore economia da un motore di piccola forza, che fu scelto per combustibile la legna.

I risultati delle esperienze eseguite sarebbero intanto dei più soddisfacenti, e l'utilità della sostituzione di questi motori alla forza muscolare degli uomini risulta evidente, quando si sappia che, allorchè il motore funziona per $\frac{1}{4}$ di cavallo, consuma in 40 ore, 30 kg. di legna, che valutati a L. 0,40 il miriagramma si avrebbe una spesa di L. 1,20: quando poi il motore funzionasse per $\frac{1}{2}$ cavallo, consumerebbe nello stesso tempo 50 kg. di legna, con una spesa di L. 2.

A queste cifre si dovranno aggiungere circa L. 3,50 per interessi ed ammortizzazione del capitale, per la indispensabile sorveglianza; quindi mercè il nuovo motore si potrebbero avere a domicilio da 25 a 40 chilogrammetri al secondo con una spesa massima quotidiana di L. 5,50.

Tali due motori non essendo però ancora entrati nel dominio della pratica, non si può pronunziare un giusto giudizio sull'economia del lavoro così realizzato.

VI.

Aria calda. — L'impiego del gas-luce come combustibile ha fatto di molto aumentare il numero dei motori ad aria calda in questi ultimi anni, non perchè abbia migliorato le condizioni del lavoro, ma per la grande facilità che offre all'impianto di detti motori nelle città di qualche importanza, distribuendosi esso in tutti i piani delle case. Il modo poi adottato dalle compagnie di gas-luce, di farne la vendita, di misurarlo cioè col contatore, è

quello che permette di far lavorare i motori ad intermittenza e di limitare esattamente la dispensa del combustibile al tempo pel quale il motore deve funzionare.

Ma il prezzo di costo della forza così ottenuta, circa una lira per cavallo e per ora, limita l'impiego di tali motori alla produzione di piccole forze, del resto un prezzo così elevato non è che la conseguenza inevitabile dell'impiego dell'aria scaldata col gas.

Infatti 1 m.c. d'aria a 0° pesa kg. 1,293; 1 kg. d'aria a 0° occupa dunque un volume di $\frac{1000}{1293} =$ m. c. 0,773 sotto la pressione atmosferica normale di 0,760 di mercurio, o di kg. 1,033 per cm. q. Elevando di 1° cent. la temperatura di detto chilogramma d'aria, si dilaterà di 0,00366 del suo volume primitivo, e tale dilatazione produrrà un lavoro di

$$0,773 \times 10330 \times 0,00366 = \text{kgm. } 29,225$$

Per riscaldare 1 chilogramma d'aria di 1° cent. abbisognano calorie 0,267, il lavoro in chilogrammetri sviluppato da una caloria sarà adunque:

$$\frac{29,225}{0,267} = \text{kgm. } 109,45. \text{ o } 110 \text{ kgm.}$$

Ora si può ritenere, da esperienze fatte, che in media i motori a gas consumano 2 o 3 m.c. di gas per cavallo e per ora, noi prenderemo solo 2. Il potere calorifico di 1 m.c. di gas essendo di 6000 calorie, il consumo di 2 m.c. di gas per ora rappresenta una forza teorica di

$$2 \times 6000 \times 110 = 1320 \text{ 000 kgm.}$$

Il consumo corrispondente alla forza di un cavallo per ora, in pratica è rappresentato da

$$75 \times 3600 = 270 \text{ 000 kgm.}$$

ma come 2 m.c. di gas rappresentano

$$2 \times 6000 = 12 \text{ 000 calorie}$$

ciascuna caloria produce adunque un lavoro utile di

$$\frac{270\,000}{12\,000} = \text{kgm. } 22,5.$$

Il rapporto del lavoro teorico al lavoro effettivo è dunque:

$$\frac{270\,000}{1320\,000} = \frac{22,5}{110} = 0,204$$

d'effetto utile.

Se ora rammentiamo che le migliori macchine a vapore consumano 1 chilogramma di carbon fossile per cavallo e per ora, il lavoro di un cavallo durante un'ora essendo di 270 000 kgm. e 1 chilogramma di carbon fossile rappresentando 8500 calorie, il lavoro di ciascuna di esse sarà $\frac{270\,000}{8500} = 32$ chilogrammetri, cifra molto superiore alla analoga già trovata.

L'utilizzazione del calore nei motori a gas non è abbastanza completa per compensare la differenza di queste cifre.

I motori a gas presentano due grandi inconvenienti; appena avvenuta l'esplosione, la pressione nel cilindro tosto si abbassa, di modo che non v'ha più espansione sensibile, e per conseguenza utilizzazione difettosa della forza d'espansione dei gas scaldati; il riscaldamento del cilindro obbliga che si circondi di una corrente d'acqua costante per evitare una elevazione di temperatura.

La costruzione dei motori a gas è in generale più complicata che non nelle macchine a vapore, essi poi necessitano un mantenimento più accurato a causa dei depositi di carbone e d'acido solforico che possono farsi nei cilindri, e ciò per l'idrogeno solforato che il gas illuminante contiene sempre in più o meno proporzione. Una tale trasformazione ha luogo al momento della combustione dei gas nel cilindro in presenza dell'ossigeno dell'aria.

La maggior parte di tali motori avendo delle dimensioni molto grandi per rapporto alla forza che sono capaci di produrre occupano molto spazio, e necessitano serbatoi d'acqua molto volumi-

nosi; certi poi essendo muniti di apparecchi elettrici ne deriva che per la loro natura stessa non possono mettersi tra le mani di tutti.

In quanto poi alla sicurezza e salubrità il riscaldamento dell'aria col gas lascia molto a desiderare. Devonsi temere le fughe nelle condotte, perchè il gas che ne scapperebbe mescolandosi coll'aria forma un miscuglio detonante, inoltre nel sito ove esse si producono l'atmosfera resterebbe di molto viziata.

Malgrado le cose dette il motore Lenoir e quello di Barsanti e Matteucci possono praticarsi con vantaggio quando si confrontino col lavoro fornito dalla forza muscolare e quando si considerino applicati alla piccola industria. Infatti il lavoro fornito da un uomo applicato ad una manovella essendo di soli 6 kgm. per secondo, ne segue che sono necessari più di 12 uomini a fornire il lavoro di un cavallo: ora il lavoro somministrato da una macchina Lenoir costando all'ora come risulta dal calcolo non più di L. 0,85 e da una Barsanti non più di L. 0,23, si vede che il lavoro alla giornata, di un uomo che giri una manovella, non potendo il medesimo durare nel lavoro più di 8 ore, verrebbe a costare se si usa una macchina Lenoir $\frac{8 \times 0,85}{12} = 0,56$, se una Barsanti $\frac{8 \times 0,23}{12} = 0,15$.

Il tenue prezzo di 15 cent. alla giornata per un lavoro eguale a quello fornito da un uomo, quand'anche vi si aggiungano le spese di manutenzione e d'impianto della macchina, fa scorgere come tali macchine siano utili alla piccola industria. Di più queste occupano un piccolo spazio e sono facilissime a mettersi in moto poichè basta aprire un robinetto e dare un impulso al volante, perchè tosto la macchina prenda a camminare regolarmente.

VII.

Acqua. — Una caduta d'acqua è la forza motrice più economica, massime tra noi in Italia che siamo così ricchi di forza idraulica non utilizzata, e così poveri di combustibili, quindi non devesi trascurare studio alcuno per perfezionare sempre più i metodi coi quali potere approfittare di questa forza.

Il miglior modo d'usare dell'acqua è certamente quello d'impiegarla direttamente sulle ruote o turbini motrici, ma questo metodo non è sempre il più utile, portando molte volte con sè, lo impianto di uno stabilimento lontano dai centri industriali, e molte spese necessarie pel trasporto degli oggetti di produzione; è poi assolutamente impossibile riguardo alla distribuzione della forza.

Si pensò quindi di condurre l'acqua nel centro industriale in cui si ha bisogno della forza motrice per mezzo di tubi, ovviando così a qualsiasi difficoltà nella configurazione del terreno, e la condotta delle acque potabili nelle grandi città ci offri ed offre tuttora alcuni esempi di piccoli motori idraulici a pressione di acqua, in vantaggio della piccola industria. Persino alcune piccole turbini tangenziali si son viste funzionare a Torino e Genova, dove si approfittò della bella condotta dell'acqua potabile di cui sono munite tali due città.

Ma il fare una lunga condotta d'acqua per tubi, affine di recarla agli utilisti d'una qualche città, non è metodo certamente economico, essendochè la perdita di battente per attrito dell'acqua nei tubi è molto rilevante; bisognerebbe proprio essere in una posizione così felice come lo è la città di Torino, perchè da un tubo della lunghezza di 48 km. possa effluire acqua ancora alla pressione di due atmosfere.

L'idea di servirsi tuttavia della forza motrice dell'acqua compressa nei tubi se non può accertarsi in via economica e generale per le grandi distanze, torna invece utilissima a risolvere il problema della distribuzione della forza motrice a più utenti vicini, e per uno stesso stabilimento in tutti quei molteplici punti in cui essa potrebbe saltuariamente occorrere.

Le trasmissioni per mezzo di pressione d'acqua sono anzi altamente economiche, quando si hanno in uno stabilimento molte macchine, le quali debbano lavorare solo ad intermittenza e per poco tempo, e che richiedono molta forza durante la loro azione.

L'arsenale di Torino porge un bellissimo esempio di distribuzione della forza motrice per mezzo dell'acqua premuta, alle molte grù fisse e scorrevoli per quelle officine, ai piani sollevatori e alle diverse specie di macchine.

Il moto dell'acqua nei tubi di distribuzione, può essere prodotto, o dalla differenza di livello delle due estremità della condotta di derivazione, oppure dal motore che alimenta la distribuzione.

Se diciamo F la forza, che può produrre una massa d'acqua M , animata da una velocità v dovuta ad un'altezza di caduta H , sarà:

$$F = \frac{Mv^2}{2} = \frac{M2gH}{2} = MgH$$

ma $M = \frac{P}{g}$ essendo P il peso della massa M d'acqua quindi:

$$F = P.H.$$

In pratica non si può mai contare che su un rendimento minore per esempio:

$$F = 0,60 P.H. \dots (1)$$

La pressione H ha necessariamente un massimo in ogni distribuzione, ma devono evitare le troppo grandi, come le troppo piccole pressioni che sono incompatibili con un buon servizio.

Nella (1) si può porre in luogo del peso P dell'acqua, il suo volume V e si ha allora in generale:

$$F = K V H.$$

Di qui si vede che per un motore avente un coefficiente di rendimento K determinato, le due quantità variabili nell'espressione del lavoro sono V e H .

Per una data condotta si dovrà adunque utilizzare la pressione H la più grande possibile, affine di diminuire d'altrettanto il volume consumato d'acqua V , poichè essa vendesi nelle grandi città in ragione di tanto il metro cubo qualunque sia la pressione.

La forza idraulica derivata dalle condotte d'acqua, dal punto di vista della facilità della manovra e condotta dei motori, della salubrità e della sicurezza, sarebbe quella che darebbe la più intera soddisfazione; si è perciò che in questi ultimi tempi si è cercato un motore di piccola forza il quale, alla facile manovra unisse una mitezza di prezzo. Il problema non è stato risolto nè coi motori a gas, nè coi motori elettrici che sono troppo costosi.

Schmid sembra abbia trovato il motore idraulico che risponde a tali esigenze.

Motore Schmid. — Ciò che distingue questo piccolo motore dagli altri, è il sistema della distribuzione, e non sarà difficile il darne un'idea. Il cilindro motore per mezzo di due perni fusi con esso, e che lo sostengono a metà della sua lunghezza, oscilla intorno ad un asse orizzontale.

Esso trovasi terminato inferiormente da un'appendice a superficie cilindrica convessa, e su questa si veggono scolpite l'una vicina all'altra due luci eguali, che poi allontanandosi, a misura che s'internano nella massa, vanno ciascuna ad un'estremità del cilindro. Questa superficie cilindrica riposa su un'altra eguale e

concava, ma fissa invariabilmente alla base della macchina, sicchè il cilindro oscillando, pare quasi venga cullandosi su questa superficie fissa. Alla base poi sono scolpite tre luci eguali e poste tra loro ad una distanza eguale a quella delle luci del cilindro. Quella di mezzo è in comunicazione colla condotta d'acqua, e le altre due laterali sono in comunicazione col tubo di scarica. Un piccolo serbatoio d'acqua compressa, nel quale termina l'estremità del tubo di condotta serve ad ottenere l'effetto dei colpi di ariete.

I particolari vantaggi di questa distribuzione sono: semplicità di costruzione, grande ampiezza nelle luci di distribuzione, una esclusiva dipendenza del loro movimento da quello del cilindro, e la possibilità di chiuderle ed aprirle rapidamente. Il motore adunque pare ben studiato, semplice, solido, presenta garanzie di durata e di buon lavoro; la smontatura è facile, la tenuta è perfetta appunto perchè si può avvicinare il cilindro al distributore, i tubi non presentano bruschi risvolti e non si hanno valvole e cerniere da riparare e da sostituire da tempo in tempo.

In quanto al suo rendimento ecco come si esprime il professore Kronauer della scuola politecnica di Zurigo:

« Come membro del giuri incaricato di sperimentare 12 motori
 « idraulici, di cui cinque a cilindro, e sette turbini di differenti
 « costruttori, io posso stabilire che il motore Schmid ha sorpas-
 « sato tutti gli altri pel suo rendimento e per semplicità di co-
 « struzione. Queste esperienze sono state fatte colla più grande
 « cura, ed ho trovato un rendimento di 89 per cento del lavoro
 « teorico. Nessun motore ha dato un tal rendimento fino a tal
 « giorno. »

Tal motore adunque si può ritenere come il più soddisfacente per la piccola industria.

Il prezzo della forza motrice con questa macchina varia naturalmente da luogo a luogo. A Torino l'acqua potabile che può avere

in molti luoghi una pressione di 20 metri, costerebbe in media da 55 a 60 lire il metro cubo quando le erogazioni fossero comprese fra 10 e 20 metri cubi.

Ma sul prezzo della forza motrice influisce notevolmente la pressione dell'acqua, che del resto è variabilissima da un quartiere all'altro della città e per i diversi piani delle case.

Sull'uso economico di questa forza motrice in servizio della piccola industria havvi una considerazione a fare: col sistema ora in uso presso le società concessionarie d'acqua bisognerebbe pagare molti metri cubi d'acqua all'anno, ancorchè si tralasciasse di lavorare per settimane e mesi, quindi per ciò evitare converrebbe che le società si disponessero di porre a queste macchine il contatore di giri, e basare su di esso il volume d'acqua realmente consumato ed il prezzo relativo, facendo per l'acqua ciò che si fa pel gas-luce, ed allora sarebbe ben più proficuo e generalizzato l'impiego delle acque potabili in favore delle piccole industrie.

L'acqua dopo aver agito nei motori potrebbe essere utilizzata ad impieghi che non necessitano pressioni, specialmente negli usi domestici.

VIII.

Aria compressa. — Un importantissimo elemento di forza che in Italia potrebbe avere un'imponente applicazione, si è l'aria compressa. Il suo impiego fu fino a questi ultimi tempi assai ristretto nel vero campo industriale, solo vi si ricorse per certe grandi operazioni come: lo scavo delle gallerie per ferrovie e miniere, dove non sarebbe possibile l'impiego del vapore, le fondazioni delle

pile di ponti colossali; ad es. il ponte tubolare di Mezzanacorti sul Po, quello di Pontelagoscuro e quello che ora si costruisce a Borgoforte. Ma sotto un punto di vista assai più vasto devesi considerare il problema della compressione dell'aria.

Se rivolgiamo lo sguardo al nostro paese in particolare, vediamo che esso trovasi in condizioni forse le più favorevoli per l'applicazione di essa come forza motrice giacchè e per le circostanze locali e per altre, ben piccola parte della grande forza idraulica che esso possiede, venne sinora utilizzata.

Citerò solo un esempio: un distinto ingegnere delle miniere assicura che l'Avellino, dalla parte della cascata delle Marmore, può dare una forza teorica minima perenne di 160000 cavalli dinamici, questi potrebbero dare almeno 20000 cavalli utili in aria compressa, disponibili in ogni direzione ad una distanza di oltre 50 chilometri dal luogo della produzione.

Se ora questa immensa quantità di forza motrice immagazzinata nei diversi corsi d'acqua, si usasse per comprimere l'aria, tosto si vede come si potrebbe non difficilmente provvedere alla deficienza di combustibili che l'Italia lamenta, come anche al rincaro ognor crescente di questi. Poichè verrà un tempo in cui, mentre verrà meno la ricchezza dei bacini carboniferi in quei paesi che ne vantano maggior dovizia, la sorgente di forza accennata non sarà mai per estinguersi, anzi l'esperienza e la scienza insegneranno ottenerla più economicamente.

Dovendosi poi le industrie impiantare nei centri i più popolosi, se si pensa alla poco buona prova fatta dalle trasmissioni telodinamiche di Hirn, consegua chiaramente, come alla soluzione del problema della compressione e condotta dell'aria a grandi distanze, debbono rivolgersi gli studii degli uomini di scienza per poter trovare apparecchi poco costosi e di facile regime. Nello stesso tempo si troverà così la soluzione dell'altro non meno importante pro-

blema, cioè della distribuzione della forza motrice a domicilio, che è quello che presentemente ci occupa.

I vantaggi che sarebbero per derivare possono così riassumersi: utilizzazione di ingenti forze idrauliche che per circostanze locali andrebbero perdute, trasmissione a distanze più o meno grandi di una forza prodotta in un luogo, ad un punto qualunque, ove non sarebbe possibile stabilire direttamente un motore. Le circostanze pratiche di luogo e di impiego e soprattutto l'uso varranno forse in seguito a scoprire altre proprietà e vantaggi che per ora è soltanto lecito sperare, ma che non possiamo ancora tradurre nel campo delle pratiche applicazioni.

L'idea della distribuzione della forza motrice a domicilio per mezzo dell'aria compressa non è nuova, poichè Papin stesso, pensava di adoperare la forza dei fiumi ad aspirare per via di lunghi tubi, l'aria contenuta in opportuni corpi di tromba ed a metterne in moto gli stantuffi colla prevalenza della estrema pressione atmosferica, ma dopo lui più nessuno si occupò dell'aria compressa.

Il grande progresso che l'industrie fecero e lo sviluppo continuo delle strade ferrate, rimisero in campo una tal questione; ecco infatti come scrivevasi nella *Revue des deux mondes* del 1829: « Met-
« tete al posto di un gasometro una macchina soffiante di 500 ca-
« valli che spinga aria compressa nei condotti del gas, applicate
« al posto di ciascun becco una piccola macchina a doppio effetto
« che riceva l'aria, come quella di Watt riceve il vapore, e voi ot-
« terrete tanti piccoli motori quante saranno le prese d'aria del
« condotto principale. Verrà un giorno in cui la forza motrice al
« pari del gas, verrà somministrata a domicilio, o al pari dell'acqua,
« dispensata a un tanto il pollice. Ogni operaio potrà avere nella
« sua camera, a qualsiasi piano, una piccola macchina ad aria, della
« forza di uno o due uomini, atta a mettere in moto un tornio,

« una mola, un mantice e ciò a così buon mercato che nessuno
« vorrà tralasciare di approfittarne. »

L'Andraud poi che fece molti studi sull'aria compressa, ma che fra le sue molte stravaganze, pure un tal problema ha fatto progredire, così scrive nella sua opera *De l'air comprimée et dilatée*:
« Non molto lontano è il tempo in cui i corpi municipali terranno
« a disposizione dei loro amministrati dei grandi serbatoi d'aria
« compressa, ed ognuno andrà a comprarsi un vaso di forza come
« si fa dell'acqua e del gas-luce. »

L'aria compressa non è punto una forza naturale, e non può ottenersi come l'aria calda ed il gas illuminante, con un semplice sviluppo di calore; occorre il mezzo di un'altra forza meccanica, cioè dopo una primitiva trasformazione del calore in lavoro. In generale la frase starebbe in tutti i casi perchè anche quando per comprimere aria si utilizzano delle cadute d'acqua, queste si sono create a spese di una certa quantità di calore che ne ha provocata l'evaporazione. Tuttavia non volendo generalizzare diremo, che alle volte, come successe a Bardonecchia, è possibile usufruire della pressione generata da forti cadute d'acqua, le quali agendo come macchine a colonna d'acqua e come arieti idraulici, spingono l'aria in serbatoi appositi senza l'intermediario di alcuno speciale apparecchio di compressione.

L'aria compressa che s'introduce nel cilindro di un motore agisce per forza espansiva, questa tendenza ad espandersi è quella che agisce sullo stantuffo, trasmettendo così il lavoro motore.

Se indichiamo con: V_0 il volume d'aria a comprimere, P_0 la pressione iniziale di quest'aria, eguale alla pressione atmosferica, $V < V_0$ il volume e $P > P_0$ la pressione, alle quali si vuol ridurre l'aria per la compressione, il lavoro T teoricamente necessario per effettuare questa compressione sarà:

$$T = P_0 V_0 \log' \frac{V_0}{V} = P_0 V_0 \times 2,303 \text{ Log. } \frac{V_0}{V}$$

e trascurando le variazioni di temperatura che accompagnano il caugiamiento di volume, dalla legge di Mariotte si ha:

$$T = P_0 V_0 \times 2,303 \text{ Log. } \frac{P}{P_0}$$

e in modo più pratico

$$T = 10,330 \times V_0 2,303 \text{ Log } n$$

rappresentando n il numero delle atmosfere alle quali l'aria deve essere compressa. Durante la sua espansione, quest'aria non farà che restituire il lavoro che le era stato primitivamente trasmesso nell'atto della compressione, quindi il lavoro T' che sarà suscettibile di generare questo volume d'aria condotto al volume V e alla pressione P , quando prenderà il suo volume V_0 iniziale, e pressione P_0 sarà:

$$T' = PV \times 2,303 \text{ Log. } \frac{P}{P_0}$$

espressione necessariamente identica a quel termine, che nelle formule del lavoro della macchina a vapore, corrisponde al periodo dell'espansione. Difatti è una vera espansione quella che l'aria compressa compie nel cilindro del motore ove la si utilizza.

I valori di T e T' dovrebbero essere teoricamente eguali, ma in pratica sono lungi dall'esserlo; di ciò ci diamo ragione riflettendo ai fenomeni di variazione di temperatura che si producono pel fatto della compressione e dell'espansione, variazioni di cui non abbiamo tenuto conto nelle precedenti equazioni.

La compressione di un gas genera calore, e la sua dilatazione ne assorbe; perchè l'aria si comprime senza generare calore, bisogna toglierlo man mano che si produce, facendo circolare una corrente d'acqua fredda attorno all'apparecchio di compressione, oppure introducendovi dell'acqua che trasformandosi in vapore, sottrae all'aria una certa quantità di calore.

La minima quantità di calore sviluppata durante la compressione d'un volume d'aria, un metro cubo ades. quando si prendano le precauzioni esterne volute per impedire le variazioni di temperatura, si calcola per una pressione determinata dividendo il numero dei chilogrammi corrispondenti a questa pressione per l'equivalente meccanico del calore.

Secondo Laboulaye, le calorie sviluppate se trattasi di compressione, o assorbite se di dilatazione da un metro cubo d'aria a differenti pressioni sarebbero:

<i>Atmosfere</i>	<i>Calorie</i>
1	0,
2	38,07
5	224,78
10	643,16
50	3463,55
100	12860,87

Queste calorie crescono rapidamente per rapporto alla pressione; se detto calore non si togliesse durante la compressione, trasmettendosi esso completamente all'aria, ne risulterebbe una elevazione di temperatura facile a calcolare, poichè non si ha che a dividere il numero delle calorie qui sopra pel calor specifico dell'aria 0,237 si avrà:

2	160°,6
5	948,4
10	2713,5
50	23052,9
100	54307,4

Queste sono cifre teoriche, perchè se non si raffreddasse l'aria durante la compressione, questa assorbirebbe un numero di kgm. più grande di quello calcolato colle formole più sopra, l'inverso

succederebbe per l'espansione; tali cifre fanno comprendere la necessità di raffreddare gli apparecchi di compressione dell'aria col mezzo dell'acqua.

Calcolandosi il lavoro di compressione o di dilatazione dell'aria, senza che si raffreddi, ne trasmetta esternamente calore, come succede, si vede che il calore assorbito per la dilatazione dell'aria fa decrescere la pressione, mentre nella compressione lo sviluppo di calore aumenta tale pressione per rapporto a ciò che sarebbe, se la temperatura restasse costante; non è perciò esatto in realtà il dire che T e T' siano eguali, bisogna applicare all'ultimo termine un coefficiente di 0,50 circa e allora

$$T' = 0,50 T.$$

La spesa per l'impianto di una distribuzione d'aria compressa nei differenti quartieri di una città sarebbe certamente considerevole; richiedendosi apparecchi di compressione, serbatoi d'aria compressa, canali sotterranei sufficientemente sviluppati per bastare al bisogno dell'industria, e un potente motore a vapore; ma quando si potesse disporre di una grande caduta d'acqua naturale che permettesse l'impiego di un motore idraulico, oppure direttamente, allora la forza che si ricaverebbe da tubi di condotta dell'aria non verrebbe a costare di più degli altri motori che si possono impiegare, come risulta dalla relazione fatta da Sommeiller sul traforo del Moncenisio, nella quale da apposito calcolo istituito si vede, che il costo per cavallo sarà di L. 128 all'anno per un lavoro di 24 ore al giorno.

Lo stesso Sommeiller fece coi signori Biez uno studio completo di un progetto di distribuzione a domicilio dell'aria compressa come forza motrice in Parigi, ecco alcune cifre a ciò riferentisi.

L'impianto di uno stabilimento produttore 945 cavalli di forza

effettiva provenienti da m. c. 19,917,200 d'aria compressa a 6 atmosfere da motori a vapore della forza totale di 2450 cavalli vapore, costerebbe secondo il progetto Biez 12 milioni. Ammettendo una perdita per le fughe di 163 cavalli, circa 8 p. %, resterebbe una forza utilizzabile nei piccoli motori a domicilio di $945 - 163 = 782$ cavalli vapore. Il prezzo di costo dell'aria compressa sarebbe in queste condizioni di 0,0058 ed il suo prezzo di vendita potrebbe variare da 0,10 a 0,18 il m. c. Richiedendosi poi m. c. 4,2 d'aria compressa a 6 atmosfere per produrre la forza di un cavallo per ogni ora, la spesa sarà:

$$4,2 \times 0,18 = 0,756.$$

Realizzandosi tali cifre nella pratica, l'aria compressa potrebbe essere utilmente impiegata alla distribuzione della forza motrice a domicilio, e il suo consumo potrebbe essere facilmente misurato col contatore, il che permetterebbe il lavoro intermitente delle macchine. Sarebbe ridotta alla semplice manovra di un robinetto la condotta dei motori, e l'aria dopo aver agito nel cilindro del piccolo motore potrebbe scaricarsi liberamente nell'officina: così, lungi dall'essere come i prodotti della combustione del gas o del carbone una causa d'insalubrità, aiuterebbe la ventilazione che sovente fa difetto nelle piccole officine.

L'aria compressa merita adunque di essere studiata nella nostra Italia, perchè può essere sorgente di benessere e di vita industriale in quelle località dove a poca distanza si hanno disponibili cadute e volumi d'acqua.

Così la città di Torino tanto appropriata per divenire in un tempo non lontano, uno dei principali centri industriali d'Italia, ricca com'è di forza idraulica finora non utilizzata, ove facesse studiare il problema dell'aria compressa, introducendola come un nuovo motore, farebbe fare ancora una volta un gran passo all'industria, e risol-

verebbe la prima il grande problema della distribuzione della forza motrice a domicilio, che, come già si disse, tenderà a ricostituire l'indipendenza del focolaio domestico e l'unità della famiglia laboriosa a fronte dell'attuale emigrazione, ed aggruppamento delle masse d'operai intorno alle cadute d'acqua ed alle macchine a vapore.

ENRIOTTI MARC' ANTONIO.