

# L'INGEGNERIA CIVILE

E

## LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori ed Editori.

### IDRAULICA PRATICA

#### DI ALCUNE FORMOLE PROPRIE ALLA DISCUSSIONE DELLE ESPERIENZE DINAMOMETRICHE

sulle ruote a turbine

Studio dell'Ing. GIACINTO GAUTERO

Professore di meccanica nella Scuola degli Ingegneri di Bologna

(Veggasi la tav. V).

1. — In una nota presentata alla Reale Accademia dei Lincei (seduta del 17 giugno 1877), io stabilivo, seguendo un'analisi delle più elementari, le due seguenti formole sulle turbine ad asse verticale:

$$L = \frac{GQ}{g} \left\{ m \frac{Q}{\varepsilon} - \omega r'^2 \right\} \omega \quad \dots \quad (1)$$

$$2gH = (\alpha + E) \frac{Q^2}{\varepsilon^2} + 2\beta\omega \frac{Q}{\varepsilon} - \omega^2 (r'^2 - r^2) \quad (2)$$

nelle quali:

- H rappresenta la caduta;
- Q la portata in metri cubi;
- $\varepsilon$  la parzialità della turbine, ossia il rapporto tra il numero delle luci aperte, e il numero totale delle luci del distributore supposto completo;
- $\omega$  la velocità angolare di rotazione della turbine;
- L il lavoro al secondo che si misurerebbe sull'albero della turbine, se non fosse delle resistenze passive esterne che si oppongono al movimento della turbine;
- $r, r'$  le distanze dall'asse di rotazione della turbine, alle quali l'acqua entra ed esce dall'apparecchio motore;
- $m, \alpha, \beta$  tre costanti proprie ad ogni turbine;
- E una quantità dipendente dalla dimensione della turbine, da  $\varepsilon$  e dalla luce per la quale l'acqua dal tubo in cui si trova l'apparecchio mobile, passa nel canale di fuga.
- G il peso specifico dell'acqua;
- g l'accelerazione dovuta alla gravità.

La formola (1) tiene conto di tutte le resistenze che l'acqua può incontrare negli apparecchi fisso e mobile, e la formola (2) che si è stabilita non tenendo conto della resistenza d'attrito che si oppone al movimento dell'acqua, può ancora convenire al caso in cui se ne voglia tenere conto, semplicemente cambiando l'espressione di  $\alpha$ .

Posto questo, lo scopo di questa nota è:

1° dimostrare come uno sperimentatore possa in generale servirsi delle formole (1) e (2) per riassumere tutta una serie di risultati sperimentali dinamometrici, sulle turbine.

2° indicare certe condizioni speciali di sperimentazione le quali quando venissero soddisfatte, permetterebbero molto probabilmente di arrivare, mediante poche operazioni facili e spedite, alla conoscenza sufficientemente esatta del coefficiente di rendimento, e del lavoro massimo di una turbine, non che della portata Q.

3° fare l'applicazione delle formole che si troveranno:

a) ad una prima serie di esperienze eseguite con una

abilità e precisione veramente rare, dall'Ufficio tecnico del Macinato di Torino (\*);

b) ad una seconda serie di esperienze fatte dall'Illustrissimo Comm. Richelmy, sopra una turbine tangenziale di Nagel e Kaemp (veggasi negli *Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino*, seduta del 12 dicembre 1875, la Memoria del prof. Richelmy, intitolata: « *Intorno alle turbine a distribuzione parziale* »), esperienze che per le particolari disposizioni dell'edificio sperimentale idraulico del Valentino e la grande abilità dello sperimentatore, meritano la massima confidenza, e rappresentano certamente quanto vi ha di più esatto ed attendibile in simili ricerche.

#### I. — Formole Generali.

2. — *Equazioni fondamentali.* — Se  $a$ , rappresenta la velocità angolare di rotazione dell'albero al quale è applicato il freno, e  $\mu$  il rapporto di trasmissione di movimento tra detto albero e quello della turbine, si avrà:

$$\omega = \mu a \quad \dots \quad (3)$$

Detto poi  $l$  il braccio del freno, e  $p$  i pesi che lo equilibrano quando la velocità angolare è  $a$ , il lavoro  $pla$  al 1° che così viene a misurarsi, non rappresenta tutto il lavoro L dato dall'equazione (1), ma questo lavoro diminuito di quello consumato dalle varie resistenze passive esterne che si oppongono al movimento della turbine. Di queste, quelle dovute alla resistenza d'attrito che si sviluppa tra le parti tra le quali avviene strisciamento, sono proporzionali a pressioni alcune delle quali sono costanti o sensibilmente costanti, e le altre sono proporzionali a  $p$ . Ne viene di lì, che il lavoro al 1° consumato da queste resistenze potrà essere rappresentato da:

$$l(q + fp)a$$

nella quale  $q$  ed  $f$  sono due costanti.

Le altre resistenze delle quali può occorrere di tener conto, sono dovute al mezzo nel quale il meccanismo si muove, e seguendo la pratica comune, il lavoro al 1° consumato da esse potrà essere rappresentato da:

$$lk a^3$$

$k$  essendo una nuova costante.

Se adesso per brevità di scrittura, porremo:

$$y = q + fp + k a^2 + 'p \quad \dots \quad (4)$$

si avrà:

$$L = a \cdot l y \quad \dots \quad (5)$$

Eliminando mediante le equazioni (1) (2) (3) (5) le quantità  $\omega, Q, L$ , e non prendendo in esame che il caso che

(\*) Io debbo riconoscenza per la comunicazione avuta di queste esperienze, al mio carissimo amico Ing. Richieri Candido, ed al cav. Olmi Giuseppe, Ing. provinciale del Macinato a Torino che lo autorizzò a comunicarmele. — Varii uffici del macinato hanno eseguito esperienze dinamometriche, sui motori di loro interesse, da un punto di vista prettamente scientifico, ed è certo che tanto la scienza quanto la pratica, trarranno dalla conoscenza di codeste esperienze grande vantaggio.

più generalmente si verifica, nel quale la turbine versa direttamente nell'atmosfera, o nel canale di fuga, si avrà:

$$E = 0$$

$$a = \frac{1 - \frac{H}{H_0} \cdot \frac{y}{P}}{\sqrt{1 + v \frac{H}{H_0} \cdot \frac{y}{P}}} \sqrt{\frac{H}{h}} A \quad \dots \quad (6)$$

essendosi posto:

$$\left. \begin{aligned} H &= H_0 + \frac{\mu^2 (r'^2 - r^2)}{2g} a^2 \\ h &= H_0 + \frac{\mu^2 (r'^2 - r^2)}{2g} A^2 \\ A &= \frac{m}{\mu r' \sqrt{2m\beta + \alpha r'^2}} \sqrt{2gh} \\ P &= 2\mu \frac{mG}{\alpha l} \cdot \varepsilon H \\ v &= 2 \frac{m\beta}{\alpha r'^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (7)$$

Si può notare che  $A$  rappresenta ciò che diventa  $a$ , quando  $y$  è zero;  $P$  ciò che diventa  $y$  quando  $a$  è zero, ossia la turbine è frenata al riposo, e  $h$  ciò che diventa  $H$ , quando  $a = A$ .

Se mediante le due espressioni date di  $A$  e  $h$ , si determina il valore  $A$ , si trova:

$$A = \frac{\eta}{\mu} \sqrt{2gH} \quad \dots \quad (8)$$

in cui  $\eta$  è una costante data da

$$\eta = \frac{m}{\sqrt{m^2 (r'^2 - r^2) + r'^2 (2m\beta + \alpha r'^2)}} \quad \dots \quad (9)$$

Se  $P$  è il valore del peso  $p$ , che frena al riposo la turbine, si ha:

$$P = q + fP + P \quad \dots \quad (10)$$

L'espressione della portata  $Q$ , per mezzo di  $H$ ,  $y$ ,  $\varepsilon$ , quale si deduce dalle formole precedenti è:

$$Q = \varepsilon \mu \frac{r'^2}{m} \sqrt{1 + v \frac{H}{H_0} \cdot \frac{y}{P}} \sqrt{\frac{H}{h}} A \quad \dots \quad (11)$$

I valori delle costanti  $m$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , per mezzo delle quantità  $A$ ,  $P$ ,  $v$  sono dati dalle equazioni:

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \mu v r'^2 \frac{GH \cdot \varepsilon}{lP} \\ m &= \frac{\beta (1 + v) \mu^2 r'^2}{v} \cdot \frac{A^2}{gh} \\ \alpha &= \frac{2m\beta}{v r'^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (12)$$

**3. — Parametri.** — Nell'equazione (6) la quale lega  $a$  a  $p$ ,  $H$ ,  $\varepsilon$ , entrano: il parametro  $v$ , proprio ad ogni turbine, i parametri  $q$ ,  $f$ ,  $k$ , proprii all'espressione generale di  $y$  (equazione 4) e inoltre le quantità  $A$  e  $P$ . Di queste, la prima che rappresenta la velocità teorica a vuoto della turbine, è proporzionale alla radice quadrata di  $H$ , e la seconda che rappresenta il peso teorico capace di frenare al riposo la turbine è proporzionale alla caduta  $H$  e alla parzialità  $\varepsilon$  (\*). Si deduce da quest'osservazione che se  $A_0$ ,  $P_0$ , rap-

presentano due valori particolari di  $A$  e  $P$ , corrispondenti il primo alla caduta  $H_0$ , e il secondo alla caduta  $H_0$  ed alla parzialità  $\varepsilon_0$ , i valori generali di  $A$  e  $P$ , saranno dati dalle equazioni

$$A = A_0 \sqrt{\frac{H}{H_0}}; \quad P = P_0 \frac{\varepsilon H}{\varepsilon_0 H_0} \quad \dots \quad (13) (*)$$

Siccome poi nella detta equazione (6) non entra che il rapporto di  $y$  a  $P$ , così in essa non figureranno che i rapporti di  $q$  e  $k$  ad  $(1 + f)$ : cosicchè in definitiva i parametri distinti che effettivamente entrano nell'equazione (6) sono cinque e non sei, come potrebbe sembrare a prima vista.

Si può arrivare a questa stessa conclusione, osservando che nell'equazione (6) entrano il parametro  $\frac{A}{\sqrt{h}}$  (terza delle equazioni 7) il parametro  $v$ , e susseguentemente i parametri proprii dell'espressione

$$\frac{y}{P};$$

ora se in questa espressione si mette per  $y$  il valore dato dall'equazione (4) e per  $P$  il valore dato dalla seconda delle (13) sarà:

$$\frac{y}{P} = \frac{\varepsilon_0 H_0}{P_0} q \cdot \frac{1}{\varepsilon H} + \frac{\varepsilon_0 H_0}{P_0} k \frac{a^2}{\varepsilon H} + \frac{\varepsilon_0 H_0}{P_0} (1 + f) \frac{p}{\varepsilon H}$$

nella quale espressione non entrano evidentemente che i tre parametri:

$$q \frac{\varepsilon_0 H_0}{P_0}; \quad k \frac{\varepsilon_0 H_0}{P_0}; \quad (1 + f) \frac{\varepsilon_0 H_0}{P_0}.$$

Oltre le costanti o parametri ora esaminati in numero distinto di cinque, nella stessa equazione (6) entra ancora il parametro  $\frac{\mu^2 (r'^2 - r^2)}{2g}$  proprio dell'espressione di  $H$ ,

parametro che in ogni caso potrà aversi mediante la misura diretta di  $r$  e  $r'$ , e del numero dei denti delle ruote dentate che vi sono tra l'albero al quale è applicato il freno e l'albero della turbine. Questo parametro dovrà quindi considerarsi come una quantità cognita.

Risulta da quest'esame che i parametri incogniti che entrano nell'equazione (6) sono cinque, e che in conseguenza saranno necessarie almeno cinque esperienze per la loro determinazione.

Vi può però essere tal caso in cui le costanti a determinarsi siano più di cinque, ciò che avviene quando la turbine essendo sommersa è ad alimentazione parziale. In questo caso, la resistenza del mezzo crescendo manifestamente col diminuire di  $\varepsilon$ , si potrà porre:

$$k = b + c(1 - \varepsilon)$$

In esperienze analoghe che si fecero dalla Scuola Professionale di Biella, nell'inverno del 1878, come esercitazioni per gli allievi della sezione meccanica, sopra due turbini Girard versanti nell'atmosfera, e ad alimentazione parziale, l'una dell'opificio Canepa, e l'altra dell'opificio Boussù, la prima operante sotto un battente che si poteva fare variare, e la seconda sotto un battente costante, si verificò pure abbastanza bene la prima delle leggi enunziate, prendendo per velocità  $A$ , la velocità  $A$ , che effettivamente nella turbine si osservava, quando girava a vuoto. Questo prova manifestamente che nel caso in cui una turbine versa direttamente nell'atmosfera, le resistenze esterne che si oppongono al suo movimento non sono eccessivamente grandi.

(\*) Dato il sistema di valori corrispondenti  $a$ ,  $y$ ,  $Q$ ,  $\varepsilon$ ,  $H$ , se si pone:

$$a' = a \sqrt{\frac{H'}{H}}; \quad y' = y \frac{H' \cdot \varepsilon'}{H \cdot \varepsilon}; \quad Q' = Q \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \sqrt{\frac{H'}{H}}$$

in  $a'$ ,  $y'$ ,  $Q'$ ,  $\varepsilon'$ ,  $H'$ , si avrà un altro sistema di valori corrispondenti delle quantità  $a$ ,  $y$ ,  $Q$ ,  $\varepsilon$ ,  $H$ . Queste formole di riduzione possono tornare molto utili specialmente nel caso in cui si hanno i parametri proprii dell'espressione di  $y$ .

(\*) Nelle esperienze discusse in questa nota, e state eseguite su turbini parziali del sistema di Eulero, versanti direttamente nell'atmosfera, le due leggi sono ancora senza grande errore verificate prendendo per velocità  $A$ , la velocità  $A$  che effettivamente si osserva, girando la turbine a vuoto, e per peso  $P$ , il  $P$ .

$b$  e  $c$  essendo due costanti, la quale cosa porterà a sei il numero totale delle costanti a determinarsi e che entreranno nell'equazione (6).

Sarà bene del resto prima di cercare di determinare tutti questi parametri, studiare quale è l'importanza relativa degli elementi che essi rappresentano: e tener conto della precisione propria agli esperimenti, i cui risultati si vogliono riassumere in formole. Così, se come generalmente avviene, si determina la velocità angolare dell'albero del freno dal numero dei giri che esso dà in un minuto primo, l'esattezza di questo numero di già si limiterà alle unità, e la poca esattezza del risultato si farà maggiormente sentire per le velocità piccole che per le grandi. — Si aggiunga a questo che nel caso in cui si tratta di avere velocità nelle vicinanze del massimo dell'effetto utile del motore che si esperimenta, con un freno non convenientemente proporzionato, specialmente per quel che riguarda la circolazione dell'acqua fredda, al lavoro a misurarsi; si avranno velocità molto inesatte, perchè difficilmente si arriverà ad avere il moto dell'albero del freno sensibilmente uniforme. È quindi nel caso dei grandi lavori a misurarsi (e nelle vicinanze dell'effetto utile massimo), che in generale si avranno risultati meno esatti. Ma supposto superata questa causa di errore, egli è certo che la perfetta uniformità di movimento nella turbine può essere molto facilmente disturbata dall'introdursi del più piccolo corpo estraneo nei canali dell'apparecchio fisso o mobile; e che quindi bisognerà usare la massima avvertenza perchè galleggianti anche piccoli non arrivino al motore.

Nel caso in cui una turbine versa direttamente nell'atmosfera, prima di provare per  $y$  la forma generale (4); sarà bene provare la forma più semplice:

$$y = q + fp + p$$

la quale si ha dalla prima tralasciando il termine:  $n k$ .

Siccome poi nel caso in cui il freno è applicato direttamente all'albero della turbine, il termine  $f$  riesce molto piccolo, così in tal caso si potrà porre più semplicemente ancora:

$$y = q + p$$

Quando poi la turbine sia ad alimentazione parziale e sommersa, allora si potrà porre per velocità non eccessivamente piccole:

$$y = \{ b + c(1 - \epsilon) \} a^2 + p$$

tralasciando così i termini in  $q$  ed  $f$ .

Le costanti  $q$  ed  $f$  si possono determinare mediante le pressioni che esercitano tra loro le parti soffregantesi mutuamente e la conoscenza di certe dimensioni del meccanismo. Quantunque questo metodo, il quale del resto implica ancora la conoscenza del coefficiente d'attrito allo strisciamento, non presenti difficoltà di calcolo ad essere applicato; pure mi permetto di indicarne un altro esclusivamente sperimentale, il quale quando riescisse farebbe conoscere immediatamente la quantità  $q + fP$ , dando così un'idea molto esatta dell'entità della correzione che per questa parte bisogna far subire a  $p$  per avere  $y$ .

Egli è manifesto che il peso  $P$ , rappresenta la forza applicata alla distanza  $l$ , dall'asse dell'albero del freno, che nasce dall'azione dell'acqua sull'apparecchio mobile della turbine, che equilibra la somma dei pesi  $q, fP, P$ . Intendiamo adesso sia  $\Pi$  il peso  $p$ , equilibrante il peso  $P$  e le forze  $q$  e  $f\Pi$ , si avrà allora:

$$\Pi = q + f\Pi + P$$

e sommando quest'equazione membro a membro colla (10) sarà:

$$\Pi = 2q + f(\Pi + P) + P$$

e siccome  $P$ , sarà poco diverso da  $\Pi$  a fronte di  $\Pi$ , così si potrà ritenere:

$$q + fP = \frac{1}{2}(\Pi - P)$$

Determinando adunque mediante misure dirette  $P$  e  $\Pi$ ,

questa equazione farà conoscere il valore maximum che può assumere la quantità  $q + fp$ .

4. — *Caso in cui  $r = r'$ .* — Se si suppone come sensibilmente si verifica per le turbine del sistema di Eulero, che  $r$  sia eguale ad  $r'$ , allora le formole precedenti si semplificano assai, essendo in tal caso:

$$H = h = H.$$

Mediante questa supposizione le equazioni (6) e (14) diventano:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{1 - \frac{y}{P}}{\sqrt{1 + v \frac{y}{P}}} \cdot A \\ Q &= \epsilon \mu \frac{r'^2}{m} \sqrt{1 + v \frac{y}{P}} \cdot A \end{aligned} \right\} \dots (15)$$

Così pure la seconda delle (12) si cambierà nella:

$$m = \mu^3 (1 + v) r'^4 \cdot \frac{GA^2 \epsilon}{g l P}$$

e quindi l'espressione della portata in peso  $GQ$ , diventerà:

$$GQ = \frac{g l}{(1 + v) \mu^2 r'^2} \cdot \frac{P}{A} \sqrt{1 + v \frac{y}{P}} \dots (15') (*)$$

5. — *Caso in cui  $r = r'$ ;  $y = p$ ;  $\epsilon$  ed  $H$  costanti.* — In generale le esperienze dinamometriche sulle turbine sono fatte a battente costante, e per ogni serie d'esperienze  $\epsilon$  è pure costante. — In queste condizioni può essere interessante lo studio della questione nel caso in cui non si tenga conto delle resistenze esterne che si oppongono al movimento della turbine, e che  $r$  sia eguale ad  $r'$ .

Detta  $A$ , la velocità di rotazione a vuoto dell'albero al quale è applicato il freno, sarà:

$$A = A$$

e poichè:

$$y = p; \quad P = P$$

la prima delle 15 e la 15' diventeranno:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{1 - \frac{p}{P}}{\sqrt{1 + v \frac{p}{P}}} A \\ GQ &= \frac{g l}{(1 + v) \mu^2 r'^2} \cdot \frac{p}{A} \sqrt{1 + v \frac{p}{P}} \end{aligned} \right\} \dots (16)$$

Frattanto l'espressione di  $GQ$ , mostra che la portata varia in modo continuo col variare di  $p$ ; e precisamente mostra che se  $v$  è positivo, la portata è minima quando  $p$  è zero, ossia la turbine gira a vuoto, e massima quando  $p = P$ , ossia la turbine si tiene ferma. E che il rapporto tra queste due portate, massima e minima, vale:

$$\sqrt{1 + v}$$

(1) Nel caso più generale, l'espressione della portata  $GQ$ , è la seguente:

$$GQ = \frac{g l}{(1 + v) \mu^2 r'^2} \cdot \frac{P}{A} \cdot \sqrt{1 + v \frac{H}{H}} \cdot \frac{y}{P} \cdot \frac{h}{H} \sqrt{\frac{H}{h}}$$

la quale potrà anche mettersi sotto la forma:

$$GQ = \frac{g l}{(1 + v) \mu^2 r'^2} \cdot \frac{H}{a} \frac{P - y}{H}$$

Nel caso in cui  $v$  è negativo, la portata è massima quando  $p$  è zero, ossia la turbine gira a vuoto, e minima quando  $p = P$ , ossia la turbine è tenuta ferma. Il rapporto poi tra la portata massima e minima in questo caso riesce dato da:

$$\frac{1}{\sqrt{1+v}}$$

Si vede quindi che sperimentando a battente costante, la portata varia in generale col variare della velocità della turbine, e che il solo caso in cui la portata si mantiene costante è quello in cui:

$$v=0.$$

Nel caso che adesso si considera è particolarmente importante la determinazione della velocità angolare, e che dirò  $\phi$ , e il peso  $p$ , che dirò  $p_m$ , pel quale il lavoro al 1" della turbine,  $pla$  è massimo. Mettendo per  $a$ , nell'espressione precedente da rendersi massima, il suo valore dato dalla prima delle equazioni (16); la quantità da rendersi massima diventa:

$$pl \frac{1 - \frac{p}{P}}{\sqrt{1 + v \frac{p}{P}}} \cdot A$$

Per cui si può dire che la quantità da rendersi massima è anche la seguente:

$$\frac{1 - \frac{p}{P}}{\sqrt{1 + v \frac{p}{P}}} \cdot \frac{p}{P}$$

nella quale vi entra quale unica variabile il rapporto  $\frac{p}{P}$  che dirò  $x$ .

Se si chiama  $X$  il valore che assume  $x$ , quando il valore dell'espressione precedente è un massimo, detta quantità  $X$ , sarà data all'equazione:

$$X = -\frac{4-v}{6v} \pm \sqrt{\left(\frac{4-v}{6v}\right)^2 + \frac{2}{3v}} \quad (17)$$

il radicale dovendosi prendere con tale segno, che la quantità  $-4 + v - 6vX$

sia negativa. La quale cosa conduce alla conclusione, che se  $c$  è positivo, si dovrà prendere:

$$X = -\frac{4-v}{6v} + \sqrt{\left(\frac{4-v}{6v}\right)^2 + \frac{2}{3v}} \quad (18)$$

e se invece  $v$  è negativo, si avrà da prendere:

$$X = -\frac{4-v}{6v} - \sqrt{\left(\frac{4-v}{6v}\right)^2 + \frac{2}{3v}} \quad (18')$$

Avuto  $X$ , dall'equazione:

$$X = \frac{p_m}{P} \quad (19)$$

si avrà  $p_m$ , e susseguentemente dalla prima delle (16) si avrà  $\phi$ . Così facendo,  $\phi$  riesce dato dall'equazione:

$$\frac{\phi}{A} = \sqrt{(1-X)(3X-1)} \quad (20)$$

la quale mostra anche che  $X$  è maggiore di  $\frac{1}{3}$ .

Le formole trovate possono pure servire a risolvere il problema, data la velocità a vuoto  $A$ , e la velocità  $\phi$  cor-

rispondentemente alla quale si ha il massimo effetto utile, non che il valore corrispondente  $p_m$  del peso  $p$ ; trovare il peso  $P$  capace di frenare al riposo la turbine, e la costante  $v$ . Dall'ultima delle equazioni scritte, si ricava infatti:

$$X = \frac{2}{3} \pm \frac{1}{3} \sqrt{1 - 3 \frac{\phi^2}{A^2}}$$

Avuto il valore di  $X$  dalla (17) si avrà per determinare  $v$ , l'equazione:

$$v = 2 \frac{1 - 2X}{X(3X - 1)} \quad (21)$$

È qui utile l'osservare che se  $v$  è negativo, è necessario perchè il radicale  $\sqrt{1 + v \frac{p}{P}}$ , si mantenga reale, variando

$p$  da zero a  $P$ , che  $v$  sia minore in valore assoluto all'unità: ora se nell'espressione precedente di  $X$ , si dà il segno  $+$  al radicale, la quantità  $v$  riesce negativa, e in valore assoluto maggiore dell'unità. Ne viene di lì, che delle due soluzioni di  $X$ , corrispondenti al doppio segno del radicale, l'unica che convenga al caso nostro è la seguente:

$$X = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} \sqrt{1 - 3 \frac{\phi^2}{A^2}} \quad (22)$$

Avuto così  $X$ , dalla:

$$P = \frac{p_m}{X}$$

si avrà il peso che frena al riposo la turbine.

L'espressione (22) mostra che  $X$  è minore di  $\frac{2}{3}$ , e siccome si è già visto che  $X$  è maggiore di  $\frac{1}{3}$ , così si conchiude che  $X$  è compreso tra i limiti  $\frac{1}{3}$  e  $\frac{2}{3}$ . Se poi si sa che  $v$  è negativo, allora i limiti tra i quali  $X$  è compreso saranno  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{2}{3}$ ; e questo è effettivamente il caso che si verifica generalmente.

La stessa equazione (22) mostra che  $\frac{\phi}{A}$  è minore di  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  ossia di 0.577. Se poi  $v$  è negativo facilmente si riconosce che  $\frac{\phi}{A}$  è maggiore di 0.50, mentre che se  $v$  è positivo,  $\frac{\phi}{A}$  è minore di 0.50.

Io dico che generalmente avverrà che  $v$  sia negativo, e a questa conclusione porta necessariamente la seguente osservazione.

Essendo le quantità  $m$  ed  $\alpha$  essenzialmente positive, l'ultima delle formole (7) mostra che il segno di  $v$  è quello di  $\beta$ . Ora se  $w$  è la velocità dell'acqua entro all'apparecchio mobile appena passato il periodo d'agitazione a cui va soggetta nell'entrare nella ruota, e  $\omega r$  la velocità di rotazione del punto corrispondente della paletta, il segno della quantità  $\beta$ , è (vedi la 2<sup>a</sup> delle formole 9, della memoria citata) quello del coseno dell'angolo che fanno le due velocità  $w$  e  $\omega r$ . E se adesso si osserva che l'angolo variabile ( $w, \omega r$ ), da retto o poco acuto che è generalmente per i primi punti delle palette per i quali l'acqua entra nell'apparecchio mobile, diventa quindi bruscamente e grandemente ottuso a poca distanza dagli stessi punti, facilmente si resta convinti che in generale debba succedere, che l'acqua non cominci ad avere un pronunziato e regolare movimento di massa compatta entro all'apparecchio mobile che ad una certa distanza dalle luci d'introduzione, e passati i cambiamenti

bruschi di direzione. La quale cosa porta naturalmente a concludere essere l'angolo ( $v, \omega r$ ) che entra nell'espressione di  $\beta$ , generalmente ottuso, e conseguentemente  $\beta$  e  $v$  negativi. Questa osservazione prova anche, che non è possibile l'assegnare dietro la sola forma delle palette della ruota, un valore esatto all'angolo in questione.

Giusta questa teoria risulta adunque che sperimentando a battente costante:

1° la portata varia colla velocità, salvo il caso singolarissimo in cui  $v = 0$ .

2° che generalmente deve succedere che la turbine smaltisca sempre più acqua a misura che gira più in fretta.

3° che la velocità corrispondente al massimo effetto utile deve generalmente essere mediamente i 54 centesimi (\*) della velocità a vuoto della turbine (media delle due velocità, limiti più probabili 0.50 e 0.577).

Quest'ultima proposizione quando fosse riconosciuta vera dall'esperienza, darebbe un mezzo molto semplice per avere in ogni caso la velocità di regime di una turbine.

6. — *Caso in cui  $r = r'$ ;  $y = p + q$ ;  $\varepsilon$  ed  $H$  costanti.* — Se si ammette che le resistenze passive che si oppongono al movimento della turbine, siano rappresentate da un termine costante  $q$ , e che  $r$  sia eguale ad  $r'$ , allora sarà:

$$\left. \begin{aligned} y &= q + p \\ P &= q + P \end{aligned} \right\} \dots \dots (22')$$

e l'equazione (6) diventerà:

$$a = \frac{1 - \frac{p+q}{P+q}}{\sqrt{1 + v \frac{p+q}{P+q}}} A$$

(\*) Si ha  $\frac{\phi}{A} = \frac{1}{\sqrt{3}}$  per  $v = -1$ , nel quale caso la seconda delle equazioni (16) mostra che  $Q$  è infinito. Questo porta a concludere che il limite superiore di  $\frac{\phi}{A} = \frac{1}{\sqrt{3}}$  è un limite impossibile ad essere raggiunto.

la quale potrà ancora scriversi così:

$$a = \frac{1 - \frac{p}{P}}{\sqrt{1 + n \frac{p}{P}}} A \dots \dots (23)$$

essendo:

$$n = v \frac{1}{1 + (1 + v) \frac{q}{P}} \dots \dots (24)$$

e quindi una costante per una stessa serie d'esperienze, per le quali  $\varepsilon$  ed  $H$  non abbiano cambiato.

Fra  $A$  e  $A'$  passerà la relazione:

$$A = \frac{1 - \frac{q}{P+q}}{\sqrt{1 + v \frac{q}{P+q}}} A' \dots \dots (24')$$

oppure l'altra che le è equivalente:

$$A = \frac{1 + \frac{q}{P}}{\sqrt{1 - n \frac{q}{P}}} A' \dots \dots (24'')$$

È bene osservare che questa equazione (23) è della stessa forma della prima delle equazioni (16), e come si vede anche con questo grado di approssimazione, si possono rappresentare i risultati di tutta una serie di esperienze fatte a battente costante, con una formola assai semplice, e nella quale non vi entra che un solo parametro  $n$ , il quale non si abbia direttamente dall'esperienza. Le quantità  $A$  e  $P$ , potendosi anzi avere mediante misure dirette con molta facilità e precisione.

La formola 23, potendo darsi che convenga abbastanza bene per esperienze fatte su turbine versanti direttamente nell'atmosfera, non mi pare inutile dar il seguente quadro, nel quale, per diversi valori di  $n$ , si hanno i giri che dà la turbine in uno stesso tempo, per valori di  $p$  che a partire da zero, crescono successivamente di un decimo di  $P$ , nella supposizione che la turbine a vuoto dia mille giri.

$\frac{p}{P}$	Valori di $a$ , essendo $A = 1000$										
	$n = 0$ (1)	$n = -0.1$	$n = -0.2$	$n = -0.3$	$n = -0.4$	$n = -0.5$	$n = -0.6$	$n = -0.7$	$n = -0.8$	$n = -0.9$	$n = -1$ (2)
0	1000	1000.	1000.	1000.	1000.	1000.	1000.	1000.	1000.	1000.	1000.
0.1	900	904.54	909.14	913.81	918.56	923.38	928.28	933.26	938.31	943.46	948.68
0.2	800	808.12	816.50	825.14	834.06	843.27	852.80	862.66	872.87	883.45	894.43
0.3	700	710.75	722.00	733.80	746.20	759.26	773.02	787.56	802.95	819.29	836.66
0.4	600	612.37	625.54	639.63	654.65	670.74	688.25	707.11	727.61	750.00	774.60
0.5	500	512.99	527.04	542.33	559.02	577.35	597.61	620.17	645.50	674.20	707.11
0.6	400	412.57	426.40	441.73	458.83	478.09	500.00	525.23	554.70	589.77	632.46
0.7	300	311.09	323.50	337.53	353.55	372.10	393.83	420.08	452.27	493.20	547.72
0.8	200	208.52	218.22	229.42	242.54	258.20	277.35	301.51	333.33	377.96	447.21
0.9	100	104.83	110.43	117.04	125.00	134.84	147.44	164.40	188.98	229.42	316.23
1.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

(1) Quando  $n = 0$ , la linea dei pesi e giri si riduce ad una retta.

(2) Pel caso limite  $n = -1$ , la linea dei pesi e giri è una parabola il cui asse coincide coll'asse dei pesi.

Nella figura 1 (tav. V), per diversi valori di  $n$ , sono costrutte le curve, le cui ascisse sono i pesi  $p$ , e le ordinate le velocità angolari o numero di giri  $a$ , che dà l'albero del freno, nella supposizione che a vuoto dia in ogni caso mille giri, e che il peso  $P$ , capace di frenare al riposo la turbine, sia pure in ogni caso mille.

Il modo di servirsi della surriferita tabella o delle curve della figura è facilissimo. Avendosi i risultati di tutta una serie d'esperienze fatte a battente e parzialità costanti, si divida ogni numero di giri  $a$  per  $A$  e il quoziente si moltiplichi per mille. Analogamente ogni pesata  $p$  si divida per  $P$  e il quoziente si moltiplichi per mille. Le due serie di numeri che così si ottengono li chiamo  $a'$  e  $p'$ . Si costruisca adesso nella stessa scala che le curve della figura 1, la curva le cui ascisse sono i numeri di giri  $a'$  e le ordinate i pesi  $p'$ . Questa curva o coinciderà sensibilmente con una delle figure, oppure cadrà tra due di esse, e dal rapporto in cui dividerà l'intervallo di queste, si dedurrà qual'è il valore di  $n$ , conveniente alla serie d'esperienze in questione. Volendosi servire dei numeri della tabella data, si procederà per determinare  $n$  con metodo analogo a quello adesso indicato.

Dall'essere l'equazione 23 della stessa forma della 16, quanto si dedusse al numero precedente da detta equazione, sussisterà ancora parola per parola nel caso presente. Anche le osservazioni fatte precedentemente relativamente al variare della portata col variare della velocità, verranno manifestamente ancora per questo caso. L'espressione generale della portata in peso in questo caso diventerà:

$$GQ = \frac{gl}{(1+v)\mu^2 r'^2} \cdot \frac{P}{A} \sqrt{1+n \frac{p}{P}}$$

e se dall'equazione (24) si ricava il valore di

$$v = n \frac{1 + \frac{q}{P}}{1 - n \frac{q}{P}}$$

e si sostituisce nell'espressione precedente della portata in peso, si avrà:

$$GQ = \frac{gl}{(1+n)\mu^2 r'^2} \cdot \frac{P}{A} \sqrt{1+n \frac{p}{P}} \left(1 - n \frac{q}{P}\right) \quad (25)$$

È bene il notare che mediante l'applicazione dell'equazione 23, si riuscirà a determinare  $n$ , ma che mediante una sola serie d'esperienze a battente e parzialità costanti, non si riuscirà a determinare  $q$ . Per arrivare alla conoscenza di questa quantità sarà necessaria almeno ancora un'altra serie d'esperienze a battente e parzialità costanti, ma diversi da quelli della prima, e i cui varii elementi  $p$ ,  $n$ ,  $\epsilon$ ,  $H$ , caratterizzerò coll'indice 1. Per determinare questa costante  $q$ , si potrà ricorrere all'equazione:

$$\frac{P+q}{P_1+q} = \frac{H\epsilon}{H_1\epsilon_1} \quad \dots \quad (26)$$

ma siccome  $\epsilon$  e  $\epsilon_1$ , si possono avere difficilmente con molta esattezza, così per riuscire a questa determinazione, sarà meglio servirsi dell'equazione (24), e di quest'altra che le corrisponde nella seconda serie d'esperienze:

$$n_1 = v \frac{1}{1 + (1+v) \frac{q}{P_1}}$$

le quali possono servire così bene a fare conoscere  $q$  come ancora  $v$ . Così facendo si trova:

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{P - P_1}{n_1 P - n P_1} \cdot n n_1 \\ q &= \frac{n - n_1}{1 + v} \cdot \frac{P P_1}{n_1 P - n P_1} \end{aligned} \right\} \dots \quad (27)$$

Quando però si tenga conto dell'equazione (24') o dell'altra (24''), e si badi che  $A$  e  $A_1$  sono proporzionali alle radici quadrate dei battenti  $H$  e  $H_1$ , si vede che vi è luogo a porsi la questione: date le quantità  $n$ ,  $H$ ,  $A$ ,  $P$  relative ad una prima serie di esperienze a battente e parzialità costanti, e date le quantità  $H_1$ ,  $A_1$ ,  $P_1$  relative ad una seconda serie di esperienze pure a battente  $H_1$ , e parzialità  $\epsilon_1$  costanti, determinare le specifiche  $v$  e  $q$  proprie della turbine, e la costante  $n_1$  propria alla seconda serie d'esperienze.

Per risolvere questo problema, basterà risolvere il seguente sistema di cinque equazioni:

$$\left. \begin{aligned} n &= v \frac{1}{1 + (1+v) \frac{q}{P}} ; & A &= \frac{1 + \frac{q}{P}}{\sqrt{1 - n \frac{q}{P}}} \cdot A \\ n_1 &= v \frac{1}{1 + (1+v) \frac{q}{P_1}} ; & A_1 &= \frac{1 + \frac{q}{P_1}}{\sqrt{1 - n_1 \frac{q}{P_1}}} \cdot A_1 \\ & & \frac{A_1}{A} &= \sqrt{\frac{H_1}{H}} \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

nelle quali il numero delle incognite a determinarsi  $v$ ,  $A$ ,  $A_1$ ,  $q$  e  $n_1$  ammonta appunto a cinque.

Dalle equazioni ora scritte facilmente si ricavano queste due:

$$\frac{P+q}{P \left(1 + \frac{1}{n}\right)} = \frac{P_1+q}{P_1 \left(1 + \frac{1}{n_1}\right)}$$

$$\frac{P+q}{nP} \frac{A^2}{H} = \frac{P_1+q}{n_1 P_1} \frac{A_1^2}{H_1}$$

e quindi anche quest'altra:

$$\frac{n}{1 + \frac{1}{n}} \frac{H}{A^2} = \frac{n_1}{1 + \frac{1}{n_1}} \frac{H_1}{A_1^2} \quad \dots \quad (29)$$

la quale risolta rispetto  $n_1$  darà:

$$n_1 = \frac{1}{2} N \pm \sqrt{\frac{1}{4} N^2 + N} \quad \dots \quad (29')$$

in cui si ha:

$$N = \frac{n}{1 + \frac{1}{n}} \frac{A_1^2}{A^2} \frac{H}{H_1} \quad \dots \quad (29'')$$

È interessante il fatto che  $n_1$  non dipende da  $P$  e  $P_1$ . Avutosi  $n_1$ , le equazioni (27) daranno  $v$  e  $q$ , e le due in  $A$  e  $A_1$  delle (28), faranno conoscere queste due ultime quantità. Quando vogliasi inoltre determinare la parzialità  $\epsilon_1$ , si potrà fare uso della (26) la quale dà:

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon} = \frac{H}{H_1} \cdot \frac{P_1+q}{P+q} \quad \dots \quad (29''')$$

Stando sempre in quest'ordine di idee, mi pare interessante la soluzione del seguente problema:

Corrispondentemente ad una prima parzialità  $\epsilon$ , e battente  $H$ , si è misurata la velocità a vuoto  $A$  e il peso  $P$ , che frena al riposo la turbine; e quantità analoghe  $A_1$ ,  $P_1$ ;  $A_2$ ,  $P_2$ ; si sono misurate corrispondentemente a due altre parzialità e battenti  $\epsilon_1$ ,  $H_1$ ; e  $\epsilon_2$ ,  $H_2$ . Si domandano avendosi questi dati le specifiche  $v$  e  $q$  proprie della turbine, nonchè le costanti  $n$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , proprie alle parzialità e battenti  $\epsilon$ ,  $H$ ;  $\epsilon_1$ ,  $H_1$ ;  $\epsilon_2$ ,  $H_2$ .

La soluzione di questo problema è interessante, inquan-

tochè i dati che si suppone di avere, possono ottenersi senza propriamente fare uso di un dinamometro, il che condurrebbe alla conseguenza abbastanza curiosa di poter fare lo studio dinamometrico completo di una turbine, senza fare uso di freno, e facendo pochissime esperienze, prendendo cioè semplicemente 10 dati, quali  $\epsilon$ ,  $H$ ,  $A$ ,  $P$ ;  $H_1$ ,  $A_1$ ,  $P_1$ ;  $H_2$ ,  $A_2$ ,  $P_2$ .

Se nell'equazione (24') per  $A$ , si mette il suo valore dato dalla (8), si ottiene:

$$A = \frac{1 - \frac{q}{P+q}}{\sqrt{1 + v \frac{q}{P+q}}} \frac{n}{\mu} \sqrt{2gH}$$

dalla quale elevando al quadrato e ordinando rispetto  $q$ , si ha:

$$(1+v)q^2 + (2+v)q.P - 2g \frac{\eta^2}{\mu^2} \cdot \frac{P^2 H}{A^2} = -P^2$$

Come sussiste quest'equazione, così sussisteranno anche queste altre due:

$$(1+v)q^2 + (2+v)q.P_1 - 2g \frac{\eta^2}{\mu^2} \cdot \frac{P_1^2 H_1}{A_1^2} = -P_1^2$$

$$(1+v)q^2 + (2+v)q.P_2 - 2g \frac{\eta^2}{\mu^2} \cdot \frac{P_2^2 H_2}{A_2^2} = -P_2^2$$

Si hanno così tre equazioni, le quali potranno servire a determinare le tre quantità:

$$(1+v)q^2 ; (2+v)q ; 2g \frac{\eta^2}{\mu^2}$$

dalla conseguenza delle quali facilmente si arriverà a quella delle quantità  $v$ ,  $q$  e  $\eta$ . Avutosi  $v$  e  $q$ , dall'applicazione della (24) si avranno le altre quantità  $n$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ .

Così facendo sarà:

$$(1+v)q^2 = \frac{eP(P_1 - P_2) + e_1 P_1 (P_2 - P) + e_2 P_2 (P - P_1)}{D} \cdot P \cdot P_1 \cdot P_2$$

$$(2+v)q = \frac{eP^2(P_2^2 - P_1^2) + e_1 P_1^2 (P^2 - P_2^2) + e_2 P_2^2 (P^2 - P_1^2)}{D}$$

$$2g \frac{\eta^2}{\mu^2} = \frac{P_1 P_2 (P_1 - P_2) + P P_2 (P_2 - P) + P P_1 (P - P_1)}{D}$$

(30)

nelle quali si ha:

$$e = \frac{H}{A^2} ; e_1 = \frac{H_1}{A_1^2} ; e_2 = \frac{H_2}{A_2^2}$$

$$D = e(P_1 - P_2)P^2 + e_1(P_2 - P)P_1^2 + e_2(P - P_1)P_2^2$$

Ponendo adesso

$$\left. \begin{aligned} (1+v)q^2 &= s \\ (2+v)q &= t \end{aligned} \right\} \dots (30')$$

avremo:

$$\left. \begin{aligned} 2+v &= \frac{1}{2} \frac{t^2}{s} + \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{t^2}{s} \right)^2 - \frac{t^2}{s}} \\ q &= \frac{t}{2+v} \end{aligned} \right\} \dots (30'')$$

equazioni che danno la soluzione completa del problema.

Prima di lasciare questo argomento mostrerò ancora come si possa risolvere la seguente questione:

Date le quantità  $a$ ,  $p$ ;  $a_1$ ,  $p_1$ ;  $a_2$ ,  $p_2$ , corrispondenti a tre osservazioni fatte a parzialità e battente costanti, trovare le costanti  $n$ ,  $A$ ,  $P$ , relative a quella serie d'esperienze.

Per questo basta partire dall'equazione:

$$a = \frac{1 - \frac{p}{P}}{\sqrt{1 + n \frac{p}{P}}} \cdot A$$

dalla quale facilmente si ricava:

$$\left(1 - \frac{p}{P}\right)^2 \cdot A^2 - \frac{n}{P} \cdot p a^2 = a^2$$

E come questa si avranno anche le altre due:

$$\left(1 - \frac{p_1}{P}\right)^2 \cdot A^2 - \frac{n}{P} \cdot p_1 a_1^2 = a_1^2$$

$$\left(1 - \frac{p_2}{P}\right)^2 \cdot A^2 - \frac{n}{P} \cdot p_2 a_2^2 = a_2^2$$

Da queste tre operazioni, eliminando le due quantità  $A^2$ ,  $\frac{n}{P}$ , si avrà la seguente equazione di secondo grado in  $P$ :

$$\begin{vmatrix} (P-p)^2 & p a^2 & a^2 \\ (P-p_1)^2 & p_1 a_1^2 & a_1^2 \\ (P-p_2)^2 & p_2 a_2^2 & a_2^2 \end{vmatrix} = 0$$

Avuto  $P$ , mediante due delle equazioni sopra scritte si determinano  $A^2$ , e  $\frac{n}{P}$ , dalle quali immediatamente si ricaverà  $A$  e  $n$ .

7. — Caso in cui  $r=r'$ ;  $y=q+fp+p$ ;  $\epsilon$  ed  $H$  costanti. — Quando delle resistenze passive esterne che si oppongono al movimento della turbine, si tiene conto di quelle che sono rappresentate dai termini in  $q$  ed  $f$ , si ha:

$$\begin{aligned} y &= q + fp + p \\ P &= q + fP + P \end{aligned}$$

e come precedentemente si trova, che la prima delle equazioni (15) può mettersi sotto la forma:

$$a = \frac{1 - \frac{p}{P}}{\sqrt{1 + n' \frac{p}{P}}} A \dots (31)$$

nella quale si ha:

$$\left. \begin{aligned} n' &= v \frac{1}{1 + (1+v) \frac{q'}{P}} \\ q' &= \frac{q}{1+f} \end{aligned} \right\} \dots (32)$$

Così  $n'$  è una quantità costante per esperienze fatte a battente  $H$  e parzialità  $\epsilon$  costanti, mentre  $q'$  è una specifica propria della turbine.

Fra  $A$  e  $A'$  passerà la relazione:

$$A' = \frac{1 + \frac{q'}{P}}{\sqrt{1 - n' \frac{q'}{P}}} A \dots (33)$$

o l'altra che le è equivalente:

$$A = \frac{1 - \frac{q'}{q'+P}}{\sqrt{1 + v \frac{q'}{q'+P}}} A' \dots (33')$$

E come si vede, tutte queste formole sono analoghe a quelle del numero precedente, dalle quali non ne differiscono che per il cambiamento di  $n$  in  $n'$ , e  $q$  in  $q'$ . Ne viene di lì che i ragionamenti fatti nel caso prima considerato si possono estendere senz'altro al presente. È interessante per altro che dall'applicazione della formola (34) e (32) si arriverà bensì a determinare  $q'$ , ma non  $q$ . Si determinerà cioè semplicemente il rapporto di  $q$  ad  $(1+f)$ .

8. — *Determinazione di  $r$  e  $r'$ .* — Le formole (1), (2) sono state stabilite nella supposizione che tutta l'acqua entri nell'apparecchio mobile ad una distanza  $r$  dall'asse della turbine, e ne sorta alla distanza  $r'$ . Ora egli è manifesto che tolto il caso delle turbine Fourneyron, del resto per tutte le altre questa supposizione non si verifica. Volendosi per queste altre avere un valore approssimato di  $r$  e  $r'$ , si prenderà per esse la media delle distanze dall'asse della turbine, delle varie particelle che si trovano nelle luci d'entrata e uscita dell'apparecchio mobile. Così facendo, se  $\rho$  e  $\rho'$  sono le distanze dei punti di mezzo (nel senso radiale) delle sopra nominate luci dall'asse della turbine, e  $2\xi$ ,  $2\xi'$  le lunghezze nel senso radiale delle stesse luci, si trova:

$$r = \rho + \frac{1}{3} \frac{\xi}{\rho} \cdot \xi$$

$$r' = \rho' + \frac{1}{3} \frac{\xi'}{\rho'} \cdot \xi'$$

Ordinariamente accade che  $\rho = \rho'$ ; allora la quantità  $r'^2 - r^2$ , che entra nell'espressione di  $H$ , prende la forma:

$$r'^2 - r^2 = \frac{1}{3} (\xi'^2 - \xi^2) \left( 2 + \frac{\xi^2 + \xi'^2}{3\rho^2} \right)$$

e siccome  $\xi$ ,  $\xi'$ , non sono in generale molto grandi a fronte di  $\rho$ , così si potrà anche ritenere:

$$r'^2 - r^2 = \frac{2}{3} (\xi'^2 - \xi^2)$$

espressione che presenta questo di notevole che è indipendente da  $\rho$ .

Per essere poi  $\xi'$  generalmente più grande di  $\xi$ , succede che  $r'^2 - r^2$  è quantità positiva, e che quindi  $H$  è maggiore di  $H$ . Ne viene di lì che facendosi nella formola (6)

$$r' = r$$

e quindi

$$H = H = h$$

si viene a dare ai rapporti

$$\frac{H}{H'} = \frac{H}{h}$$

dei valori più grandi dei veri.

9. — *Determinazione dei parametri nel caso più generale.* — Volendo arrivare alla conoscenza dei varii parametri che entrano nell'equazione (6), che lega  $a$  a  $p$ , si potrà nel caso più generale fare così.

Si ponga:

$$\frac{A}{\sqrt{h}} = s; \quad \frac{H \varepsilon}{P} = t; \quad \frac{v H \varepsilon}{P} = u$$

$s$ ,  $t$ ,  $u$  essendo tre costanti, e l'equazione (6) diventerà:

$$a = \frac{1 - \frac{t}{H} \cdot \frac{y}{\varepsilon}}{\sqrt{1 + \frac{u}{H} \cdot \frac{y}{\varepsilon}}} \sqrt{H} \cdot s$$

Procurisi quindi dei valori prossimi di queste quantità  $s$ ,  $t$ ,  $u$ ,  $y$  che dirò

$$s_0, t_0, u_0, y_0$$

e quindi si ponga:

$$s = s_0 + \Delta s; \quad t = t_0 + \Delta t; \quad u = u_0 + \Delta u; \quad y = y_0 + \Delta y$$

Fatto questo si svolga in serie l'espressione precedente di  $a$ , secondo le potenze di  $\Delta s$ ,  $\Delta t$ , . . . e si arresti lo sviluppo ai termini di primo ordine, e sarà:

$$a = a_0 + \left( \frac{da}{ds} \right)_0 \Delta s + \left( \frac{da}{dt} \right)_0 \Delta t + \left( \frac{da}{du} \right)_0 \Delta u + \left( \frac{da}{dy} \right)_0 \Delta y$$

nella quale l'indice zero, indica ciò che diventano la funzione  $a$ , e le sue derivate parziali rispetto  $s$ ,  $t$ , . . . , quando queste assumono i valori  $s_0$ ,  $t_0$ , . . .

Per riguardo all'espressione di  $y$ , conviene notare che, anziché darle la forma (4), sarà meglio darle la forma:

$$y = q' + k' a^2 + p$$

il coefficiente  $(1+f)$  potendosi intendere incluso nelle costanti  $t$  ed  $u$ . Così facendo per  $\Delta y$  si avrà:

$$\Delta y = \Delta q' + a'^2 \Delta k'$$

$\Delta q'$ , e  $\Delta k'$ , rappresentando le correzioni che bisogna fare subire ai valori prossimi  $q'_0$ ,  $k'_0$ , delle costanti  $q'$  e  $k'$  per averle esattamente.

Nell'espressione precedente di  $a$ , mettendo per  $\Delta y$  il valore ora trovato, si avrà un'equazione lineare a cinque incognite,  $\Delta s$ ,  $\Delta t$ ,  $\Delta u$ ,  $\Delta q'$ ,  $\Delta k'$ , la quale applicata ad almeno cinque esperienze diverse, fornirà un sistema di equazioni atto a determinarle.

10. — *Esperienze a portata costante.* — In generale le esperienze dinamometriche sulle turbine vengono fatte a battente costante. Egli è però un fatto che la discussione accurata dei risultati che così si ottengono, è eccessivamente laboriosa, come l'analisi precedente mi sembra l'abbia dimostrato. Ma se invece d'operare a battente costante, si operasse a portata costante, la discussione dei risultati che così si otterrebbero dovrebbe procedere verosimilmente molto più sicura e spedita.

Dal paragone dell'equazione (1) colla (5) nella quale per  $\omega$ , si sarà messo il suo valore dato dalla (3), si ha:

$$y \frac{l}{\mu} = \frac{GQ}{g} \left\{ m \frac{Q}{\varepsilon} - \mu a r^2 \right\} \dots (34)$$

Ora se  $Q$  è costante, quest'espressione mostra che tanto che  $\varepsilon$  non varia, il peso  $y$  teorico equilibrante il freno, diminuisce proporzionalmente al crescere della velocità  $a$ . La proposizione è ancora manifestamente vera, quando al peso teorico  $y$ , si sostituisca il peso reale  $p$ , coll'esattezza dei termini di correzione in  $q$  ed  $f$ ; ammettendo cioè che si abbia:

$$y = q + fp + p$$

Si deduce di lì immediatamente che la velocità  $\phi$  corrispondente al massimo effetto utile è la metà della velocità  $A$ , quando la turbine gira a vuoto. Con questo grado di approssimazione si ha adunque:

$$p = \frac{A - a}{A} \cdot P$$

e

$$\phi = \frac{1}{2} A$$

Mediante questi valori si trova anche che il lavoro massimo fatto dalla turbine è eguale a

$$\frac{1}{4} l \cdot A \cdot P$$

espressione che permette di ottenere il lavoro massimo di cui una turbine è capace, semplicemente conoscendo la velocità a vuoto e il peso  $P$  che frena al riposo la turbine stessa, e il braccio del freno. Elementi tutti che si possono avere con molta precisione e facilità, senza che sia manifestamente necessario di impiegare propriamente un freno. Nella citata espressione del lavoro massimo non vi entra del resto nessuna dimensione della turbine, nè vi entra la caduta.

Le espressioni poi di P, e A, mediante gli elementi proprii della turbine, col grado di precisione usata per l'espressione di y, sarebbero:

$$P = \frac{m \mu \frac{GQ^2}{l g \varepsilon} - q}{1+f}; \quad A = \frac{m \mu G \frac{Q^2}{\varepsilon} - q g l}{\mu^2 G Q r'^2}$$

dalle quali si ricava:

$$\frac{P}{A} = \frac{\mu^2 r'^2}{g l (1+f)} \cdot GQ$$

equazione che risolta rispetto GQ dà:

$$GQ = \frac{g l P}{\mu^2 r'^2 A} \cdot (1+f) \quad (*)$$

e così se anche f che è in generale sempre quantità piccola, non si conoscerà, si avrà in GQ' dato da:

$$GQ' = \frac{g l}{\mu^2 r'^2} \cdot \frac{P}{A}$$

un'espressione della portata in peso approssimata, e minore della vera.

Se H essendo la caduta, si divide l'effetto utile massimo  $\frac{1}{4} P l A$ , per il lavoro teorico GQH, si avrà nel quoziente I, il coefficiente di rendimento massimo della turbine.

Così facendo si trova:

$$I = \frac{1}{4} \cdot \frac{\mu^2 r'^2 A^2}{g H} \cdot \frac{1}{1+f}$$

espressione la quale mostra che si calcolerà un coefficiente di rendimento maggiore del vero, prendendo per I il valore I' dato da:

$$I' = \frac{1}{4} \frac{\mu^2 r'^2 \cdot A^2}{g H}$$

È bene il notare che in quest'espressione di I' non entrano che elementi facili ad aversi, e precisamente la velocità a vuoto, la distanza, dall'asse della turbine, alla quale l'acqua sorte dall'apparecchio mobile, e il battente H.

Se si dice U la velocità a vuoto dei punti della turbine distanti della quantità r' dall'asse di rotazione della stessa, sarà manifestamente:

$$I' = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{2gH}$$

la quale mostra che U sarà maggiore di  $\sqrt{2gH}$ , tutte le volte che il coefficiente di rendimento sarà maggiore di  $\frac{1}{2}$ .

Effettivamente l'esperienza (\*\*\*) mostra che U può essere maggiore della velocità dovuta al battente, cosa che a prima vista, parrebbe non dovesse essere.

Frattanto siccome I' è minore dell'unità, così sarà sempre:

$$U < 1,41 \sqrt{2gH}$$

(\*) Se mentre a diventa  $a + \Delta a$ , p diventa  $p + \Delta p$ , si ha:

$$\frac{P}{A} = - \frac{\Delta p}{\Delta a}$$

e susseguentemente l'espressione della portata GQ, si potrà anche mettere sotto la forma:

$$GQ = - \frac{g l}{\mu^2 r'^2} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta a} \cdot (1+f)$$

(\*\*) Da varie esperienze fatte sulla turbine dell'opificio Canepa, il giorno 1 dicembre 1878, lasciandola girare a vuoto, e ope-

Fasc. 5° - Fog. 2°

Noi abbiamo dedotte queste proposizioni, supponendo y della forma:

$$y = q + fp + p$$

Ma anche dando a y la forma più generale:

$$y = q + fp + p + k a^2$$

la discussione della questione non riesce eccessivamente più complicata, e in tutti i casi la determinazione dei vari parametri che entrano nella equazione (34) dipenderà molto semplicemente dalla risoluzione di un sistema di equazioni lineari rispetto alle incognite.

Per finire ciò che può essere relativo all'argomento ora trattato, dirò che le costanti  $\alpha$ ,  $\beta$  proprie della turbine che si sperimenta, si avranno dalla risoluzione di un sistema di equazioni lineari, di cui la fondamentale è la (2).

Da quanto precede, risulta anche per altri riguardi la convenienza di sperimentare a portata costante, potendosi così riescire facilmente alla conoscenza della portata, anche se sarà necessario di dare a y la sua forma più generale. E poichè tutta la serie di calcoli che questa ricerca rende necessari, si basa su una formola che è vera indipendentemente dalle leggi sull'attrito dell'acqua e dal teorema di Carnot per il calcolo della perdita di lavoro dovuta ai cambiamenti bruschi di velocità a cui l'acqua può andare soggetta nel suo tragitto dal canale di arrivo al canale di fuga, è certo che la fiducia nei risultati a cui conduce, è ben fondata.

Per le varie ragioni ora svolte, credo quindi molto utili delle esperienze a portata costante, le quali se anche non servissero che a confermare o contraddire le deduzioni teoriche svolte in questo numero, avrebbero già per questo solo un'importanza che le giustificerebbe pienamente.

Ma per questo è necessario operare a portata veramente costante, la quale cosa richiede che l'acqua del canale di arrivo stramazzi liberamente nella camera d'acqua della turbine e che la portata della luce a stramazzo si mantenga costante. Questo mi pare si otterrà abbastanza bene, operando su un canale del quale si abbia la presunzione fondata che la portata varii di poco, e disponendo uno sfioratore sufficientemente largo, che preceda la luce a stramazzo. (Continua).

## METALLURGIA

### NOTIZIE SIDERURGICHE SUL BACINO DELLA LOIRA.

#### Acciaio Bessemer.

#### II.

#### a) RegISTRAZIONI per la condotta dei bessemeraggi.

La registrazione delle condizioni di tutte le colate, dei fenomeni ed accidenti verificatisi durante le medesime, è cosa indispensabile in un'acciaieria e specialmente in quelle nelle quali si segue il processo Bessemer. In altra nota abbiamo cercato di mostrare l'importanza di diagrammi che ci rappresentino l'andamento della conversione, e di cui gli elementi sieno stati raccolti col mezzo dello spettroscopio e dell'analisi chimica, e sieno stati controllati dall'aspetto del dardo, il quale ben istruisce e guida l'occhio d'un sorvegliante intelligente. Questi diagrammi anche descritti con una certa approssimazione, potrebbero mettersi di fianco a quelli che si registrano sulla condotta della soffieria e di cui abbiamo viste delle interessanti raccolte all'Esposizione di Parigi del 1878. Il confronto di questi diagrammi farebbe

rando a portata sensibilmente costante, si ebbe il seguente risultato medio:

Il battente essendo di 1<sup>m</sup>,53, la turbine dava a vuoto 300 giri in 254<sup>l</sup>.

Mediante questi dati, e sapendosi che il diametro medio della turbine (2<sup>p</sup>) è di 1<sup>m</sup>,521, si deduce per coefficiente di rendimento nella supposizione che il salto disponibile sia di 1<sup>m</sup>,53, il valore 0,53.

apprezzare a colpo d'occhio relazioni importanti; permetterebbe tener dietro passo per passo alle variazioni di pressione del vento, e quindi della quantità di ossigeno immessa nei differenti bagni, variabili per composizione chimica a parità delle calorie contenute, o variabili per il loro calore a parità di condizione chimica, e finalmente nelle ghise variabili sia per l'uno che per l'altro genere di circostanze.

In attesa di questo, riuniremo ora gli elementi che a noi parvero i più caratteristici e dei quali tiensi calcolo nella generalità delle acciaierie-Bessemer che visitammo nei bacini di Liegi e della Loira ed anche desunti dalle informazioni prese all'Esposizione succitata. In questo quadro ci parve interessante lasciar posto agli elementi forniti dall'analisi chimica delle ghise, delle addizioni, e dell'acciaio risultante. Ciò premesso ecco la disposizione e gli elementi del registro-Bessemer.

Officina di . . . . . Acciaieria-Bessemer

Rapporto del giorno . . . mese . . . anno . . .

Minerale o miscela di minerali (provenienza e composizione) . . .

Proporzione di minerale . . .

» fondente (composizione) . . .

» combustibile, rapporto di cenere (composizione) . . .

Ghisa (qualità e composizione) . . .

Alto-forno da cui proviene N° . . .

Pressione media . . .

Temperatura . . .

Looppa (qualità e composizione) . . .

Addizioni (qualità e composizione) . . .

Registro dei periodi e fenomeni osservati durante la conversione.

OPERAZIONI DELLA GIORNATA	1° PERIODO (scintille)		2° PERIODO			3° PERIODO (calma)		FINE della soffieria	Osservazioni
	Durata	Gruppi e righe dello spettro visibili	Dardochiaro 1ª fase	Gruppi e righe dello spettro visibili nel 2° periodo	Eruzioni 2ª fase	Durata	Gruppi e righe dello spettro visibili	Gruppi e righe alla cui comparsa s'arrestò l'operazione	
			Durata		Durata				

Registro dell'andamento pratico delle operazioni Bessemer.

OPERAZIONI della giornata	Principio della 1ª parte	Principio della 2ª parte	Fine dell'operazione	Durata della 1ª parte	Durata della 2ª parte	Interruzione	Pressione del vento			Condotti del vento		Numero dei lingotti	Peso delle colate	Numero del convertitore	Stato del convertitore	Stato dei fondi del paiuolo	Accidenti	Dati forniti dal dardo all'occhio nudo			Osservazioni	
							Iniziale	Massima	Minima	Stato fin.								Fumo	Fiamma	Proiezioni		
										Lunghezza media	N° dei condotti rotti											

A questo registro ne farà seguito un altro sulla composizione del metallo Bessemer, e su quella delle scorie corrispondenti.

Questo numero di elementi sembrerà a tutta prima eccessivo ed impossibile a registrarsi nel pratico andamento di un'acciaieria, tanto più che un certo numero di essi riveste il carattere di una cura quasi di speculazione. Questo dubbio però non sussisterà per chi è abituato a percorrere attentamente i registri che stanno deposti sul banco dei sorveglianti di un bessemeraggio, su quello del direttore degli alti-forni, e finalmente esamina le analisi chimiche che sono registrate colla maggior esattezza nei giornali del laboratorio annesso alle officine. Egli è in questi registri che la scienza della resistenza dei materiali (per rapporto alle ghise, al ferro ed all'acciaio) può trovare un potente soccorso ed un ausiliario prezioso.

b) *Le loppe ed i gaz degli alti forni.*

2. — Partendo ora dai dati consegnati nelle note precedenti facciamo alcune considerazioni, d'indole più generale, sui rapporti di qualità e quantità fra i miscugli minerali e i fondenti, diretti ad un prodotto fisso e determinato, quale è quello della ghisa per acciaio-Bessemer, di cui ci occupiamo con particolare riguardo in queste note.

Le loppe o silicati terrosi, provenienti dal trattamento dei minerali ferriferi, meritano pure una seria attenzione; poichè, come ognuno sa, rappresentano, per così dire, il controllo delle nostre operazioni; e, non solo la loro analisi, ma il loro colore e la loro struttura c'informano già, se le

ghise, loro compagne, sono prossime o lontane dal soddisfare i nostri desiderii e le nostre previsioni.

Una looppa può rappresentarsi in termini generali col simbolo:

$$x S_i O^2 + y A_i^2 O^3 + z R O$$

Per riguardo alle officine del Bacino della Loira, per esempio, può considerarsi che R altro non sia che calcio, poichè gli altri radicali metallici allo stato di protossido, sono quantità trascurabili.

Le loppe di Terre-Noire oscillano attorno alla composizione:

$$\text{Silice} = 35\% - \text{Calce} = 41\% - \text{Allumina} = 22\%$$

alla quale corrisponde prossimamente il simbolo:

$$4 S_i O^2 + 2 A_i^2 O^3 + 7 C_a O$$

Ed il rapporto fra l'ossigeno dell'acido e quello della base è:

$$O_a : O_b = 1 : 1,60$$

Le loppe di Givors, come s'è visto, hanno una composizione generalmente compresa fra i numeri:

$$\text{Silice} = 38\% - \text{Calce} = 49\% - \text{Allumina} = 10\%$$

ed il simbolo corrispondente sarebbe:

$$4 S_i O^2 + A_i^2 O^3 + 8 C_a O$$

in cui:

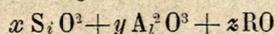
$$O_a : O_b = 1 : 1,37$$

Teoricamente in un trattamento a coke le loppe dovrebbero avere in generale una composizione corrispondente ai proto-silicati di calce e d'allumina in cui  $O_a : O_b = 1 : 1$ . A questa composizione tipica tendono ad avvicinarsi i siderurgici, ma le ceneri del coke, i fondenti, le ganghe, non possono mescolarsi nelle proporzioni che si raggiungerebbero nei laboratori, talchè dev'essere ritenere i suddetti numeri abbastanza buoni. Se il trattamento fosse a carbon di legna, è noto che dev'essere avvicinare in generale al rapporto:  $O_a : O_b = 2 : 1$  poichè non v'ha più bisogno di scoriificare lo zolfo che sussiste generalmente nel coke. Le composizioni delle loppe oscillano, nel caso del protosilicato teorico attorno ai numeri:

Silice = 32 % — Calce = 24 % — Allumina 22 %  
— Residuo = magnesia ed ossido di ferro.

È questo il caso di talune loppe, non molto frequenti del resto, provenienti dal trattamento al coke di minerali alluminati (1). Ora riflettendo sulla composizione dei fondenti che generalmente si aggiungono, si vedrà la impossibilità di frenare la ricchezza in calce delle loppe, eccesso questo che tende naturalmente ad allontanare il valore del detto rapporto dall'unità. Avvertasi inoltre che spesso si carica una quantità di castina ben maggiore di quella strettamente necessaria, e ciò per far passare nella letiera la maggior quantità possibile di solfo, di fosforo e di arsenico, che si trovano in moltissimi minerali: per tal modo si producono dei solfuri, fosfuri, arseniuri, i quali passano nei silicati terrosi in fusione. Questo passaggio è di capitale importanza nei trattamenti per ghise-grigie destinate al bessemeraggio. Diverse basi metalliche propriamente dette passano anche nelle letiere.

Vedesi dunque che i coefficienti  $x, y, z$  possono prendere nei casi pratici valori ben diversi da quelli desiderati; che il simbolo R può rappresentare parecchi radicali, ai quali dev'essere le parecchie colorazioni assunte da una loppa d'alto-forno. Laonde deesi riguardare il simbolo:



come suscettibile di rappresentare per le loppe diversi individui nella gran famiglia dei silicati multipli anidri, talvolta anche tali da trovare i loro corrispondenti nei prodotti naturali registrati dalla mineralogia. — Se queste composizioni definite, a cui noi alludiamo, non avvengano spesso per l'assieme della massa, è cosa però da lungo tempo rimarcata che in seno alle loppe si separano delle specie minerali talvolta anche nettamente cristallizzate. Se poi in molti casi si considera l'allumina come sostituita una quantità corrispondente di acido silicico, allora si hanno spesso delle letiere che dovremo dire composte di *silicati* e di *aluminati*, e quindi un'altra serie di specie minerali entrerà in grembo al simbolo proposto.

Dopo queste considerazioni è facile rendersi conto delle diverse specie di silicati cristallizzati che si trovano nelle loppe, e dei quali non accenneremo, per cagion d'esempio, che ad uno recentemente scoperto, quello cioè studiato dal Grüner in una letiera d'alto-forno inglese, e che giudicò appartenente al gruppo pirossenico (diopside) (2).

La composizione delle loppe presenta spesso delle differenze ben caratteristiche; tali variazioni non sono tanto dovute alla natura del combustibile, sia esso carbon di legna o coke, quanto a quella dei minerali trattati, alle proporzioni ed ai profili degli alti-forni, alla pressione e temperatura del vento, alla qualità della ghisa che vuolsi produrre. Pertanto ci sembra possibile il poter raggruppare questi

(1) Una loppa dell'officina d'Ars-sur-Moselle, proveniente da minerali fosforici ed analizzata alla Scuola delle miniere di Parigi (Rivot, *Docimasia*, T. III, pag. 556) s'avvicina abbastanza al rapporto teorico. Infatti si ha:

Silice = 38,50 — Allumina = 21 — Calce = 38,40

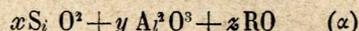
la quale dà:

$$O_a : O_b = 1 : 1,25$$

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, 9 dicembre 1878. *Sur un pyroxène artificiel*. — Note de M. GRÜNER.

silicati attorno a tipi definiti e caratteristici nello studio delle specie minerali. A questi tipi s'avvicinano più o meno le loppe provenienti dagli alti-forni.

I silicati a base di protossido e sesquiossido rappresentati dal simbolo generico:



possono avere tale composizione che sia soddisfatta la condizione:

$$2x = 3y + z \quad (I)$$

tale è il caso, per esempio, in cui:

$$x = 2 \quad \text{ed} \quad y = z = 1$$

ed allora:

$$O_a : O_b = 1 : 1$$

È un caso, diremo teorico, di cui abbiamo parlato più indietro, ed al quale si avvicina spesso volte il siderurgico nel trattamento dei minerali alluminosi.

Una letiera ( $\alpha$ ) soddisfacente alla condizione (I) si potrà dire una *loppa del 1° Tipo*.

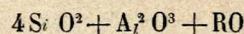
Il trattamento di minerali spatici dà soventi delle letiere, di cui la composizione oscilla attorno alla seguente (1):

Silice	—	50	—	55
Allumina	—	14	—	19
Calce	—	18	—	24
Magnesia	—	6	—	18

Se noi consideriamo la loppa corrispondente alla composizione:

Silice = 54 — Allumina = 18 — Calce = 21 — Magnesia = 7;

e se riferiamo, al solito, gli equivalenti alla composizione centesimale, vedesi che la detta letiera può rappresentarsi con sufficiente approssimazione col simbolo



In questo caso

$$O_a : O_b = 2 : 1$$

Ed infatti le loppe bisilicate discendono assai spesso dal trattamento di minerali spatici.

Pertanto il simbolo ( $\alpha$ ) soddisfa in questo caso alla condizione:

$$x = 3y + z \quad (II)$$

E la chiameremo una *loppa del 2° Tipo*.

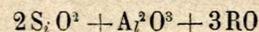
Finalmente il trattamento dei minerali alluminosi, oolitici ed assai impuri, danno delle letiere di cui la composizione è compresa fra (2):

Silice	28	—	35
Allumina	17	—	19
Calce	} 40	—	50
Magnesia			

Se riteniamo una composizione intermedia:

Silice = 29 — Allumina = 18 — Calce = 31 — Magnesia = 22

questa si può rappresentare assai prossimamente col simbolo:



nel quale:

$$3x = 3y + z \quad (III)$$

Allora resta soddisfatta la condizione:

$$O_a : O_b = 1 : 1,5$$

ed avremo una *loppa del 3° Tipo*.

Questi tre gruppi o tipi attorno ai quali oscilla la maggior parte dei casi pratici, sia col trattamento al coke che a quello col carbone di legna, sono dunque caratterizzati dai rapporti nei coefficienti abbastanza singolari, e che ci richiamano molte specie studiate nella mineralogia. — Ma

(1) Vedasi le *Traité de Métallurgie* del GRÜNER.

(2) Vedansi il *Trattato di Metallurgia* del GRÜNER e la *Docimasia* del Rivot al capitolo del Ferro.

altri valori si riscontrano pure, quantunque non di frequente, per i detti coefficienti.

Così abbiamo:

$$x=6 \quad y=z=1$$

e quindi:

$$O_a : O_b = 3 : 1$$

ed allora si hanno le *loppe trisilicate*.

Si trova pure talvolta:

$$x=y=z=1$$

e quindi:

$$O_a : O_b = 1 : 2$$

e tale è il caso di una *loppa bi-basica*.

Pertanto i tipi più sopra descritti corrisponderebbero ai tipi metallurgici che sogliono anche rappresentare nel modo seguente:

il Tipo	I	con	RS
»	II	»	R <sup>2</sup> S <sup>2</sup>
»	III	»	R <sup>3</sup> S <sup>3</sup>

Veniamo ora ad un esempio pratico e prendiamo il caso di Givors. Quivi si caricano generalmente 3 ton. 1/2 di minerale; supponiamo che esso risulti di un miscuglio dei minerali dell'isola d'Elba, di Mokta e di quello di Ria, e che il coke mescolato sia di 1500 chilogrammi. Vogliasi una lettera che si avvicini al 1° Tipo coll'approssimazione in più, per l'ossigeno delle basi, di 0,25, cioè vogliasi:  $O_a : O_b = 1 : 1,25$ . Ciò per la natura poca alluminosa dei minerali. I fondenti indicati per questo miscuglio sono castina e dolomite. A Givors si mescola solamente la castina dell'Isère. Considerando che le ceneri contengono qualità non trascurabili di zolfo e di fosforo, eccederemo tal poco nella base protossida, ossia lasceremo in più la magnesia del minerale. In quest'ipotesi la formola:  $2S_2 O^2 + A^2 O^3 + 2C_a O$ , può soddisfarsi con valori compresi fra i seguenti:

Silice	32 a 36
Allumina	20 a 22
Calce	44 a 50

Se il minerale fosse più puro e si volesse tener calcolo della magnesia contenuta nella ganga, allora il simbolo da considerarsi sarebbe:  $2S_2 O^2 + A^2 O^3 + (C_a O + M_g O)$ ; e la composizione da fissarsi sarebbe compresa fra i numeri:

Silice	27 a 30
Allumina	18 a 19
Calce	21 a 24
Magnesia	14 a 15

Tale è pure la composizione da aversi di mira nel caso di un fondente dolomitico.

Fissata con questi criterii la composizione della loppa alla quale si vuol arrivare, si procederà al calcolo del letto di fusione, sia col metodo analitico sia con un metodo grafico (1).

Nel nostro caso per un miscuglio di minerale del peso vicino al suddetto, con una ganga in ragione del 25 % dedotte le perdite per calcinazione; nell'ipotesi che il combustibile dia dal 6 a 7 % di cenere, avremo le cariche di castina dell'Isère comprese fra 700 ed 800 chilogrammi (2). Effettivamente alla fonderia di Givors le cariche di minerale ferrifero son comprese fra 3000 e 3400 chilogrammi, quelle di castina dell'Isère fra 500 e 1000; il coke è somministrato in ragione di circa il 50 % del peso del minerale. Più indietro si è visto che le loppe risultanti soddisfano alla condizione:  $O_a : O_b = 1 : 1,37$ .

4. — L'analisi dei prodotti gassosi che si svolgono nelle reazioni degli alti-forni può svelare l'incamminamento di una campagna di fusione, e quindi può suggerire degli espedienti per correggerla, se è d'uopo, in tempo opportuno.

Il Gruner propose il calcolo del rapporto  $r = \frac{CO^2}{CO}$  quale e-

spressione dell'andamento della fusione. Questo celebre metallurgico dimostrò mediante un rigoroso bilancio di tutti gli elementi solidi, liquidi e gassosi che entrano e che scendono da un alto-forno, che il suo andamento *economico* è rappresentato dal rapporto suddetto, od almeno che  $\frac{CO^2}{CO}$  è

intimamente legato al coefficiente di rendimento dell'alto-forno. Quanto più mantieni grande  $CO^2$ , tanto più conveniente è la campagna. Or bene sotto questo punto di vista il trattamento dei minerali nell'officina di Givors lascierebbe a desiderare. Infatti il rapporto considerato vi oscillerebbe (vedi analisi precedenti) fra: 14 — 24 — 32; mentre anche il prof. Lan considera  $r = 0,30$  un caso minimo e  $r = 0,70$  un caso massimo, e quindi assai difficile a raggiungerli.

Oggidi si posseggono apparecchi abbastanza semplici (quello del signor Orsat, per es.), che danno speditamente e con sufficiente esattezza l'analisi dei gas; per cui si possono effettuare nella stessa giornata parecchi assaggi di gas usciti dagli alti-forni. In queste condizioni l'analisi dei gas riesce di un utile diretto, e permette di modificare in tempo l'andamento di un alto-forno. Questa modificazione salutare può ottenersi sia per mezzo d'aumento o di diminuzione nel peso delle cariche, sia facendo variare la pressione e la temperatura del vento, o modificando anche, se occorre, la natura delle materie caricate.

Se le analisi, date più indietro per gli alti-forni di Givors, si riferissero alla stessa giornata ed a gas provenienti dallo stesso alto-forno (1), allora si può esser certi che in seguito a quel risultato si forzò un po' più la temperatura del vento, poichè se il forno accennava ad un crescente e *rapido* riscaldamento, questo si sviluppava a *spese* del calor della ghisa, talchè prima ancora della colata si poteva, col semplice espediente accennato, correggere la temperatura della ghisa. Se *in seguito* si fosse verificata una diminuzione nel valore di  $r$  ciò avrebbe significato una diminuzione di pressione, il correttivo sarebbe quindi riescito di pronta e facile applicazione.

I caratteri poi forniti dalle scorie e dalle loppe ricevono dalle analisi dei gas una buona interpretazione, e gli uni e le altre permettono di mantenere l'alto-forno in cammino normale.

Il Gruner ne' suoi studii sul profilo degli alti-forni (2) osserva che il detto rapporto va crescendo nei forni di tipo slanciato, sieno i minerali facili a ridursi, come quelli trattati in Stiria, sia anche per minerali ossidati compatti, difficili a ridursi, come quelli trattati a Finspong e Swartnas (Svezia).

Le Play e Ebelmen valutarono, è già lungo tempo, e fra limiti *pratici*, l'influenza dell'ossido di carbonio, quale agente riduttore negli alti-forni; talchè è cosa essenziale che la maggior parte di questo gas che si svolge, sia anche impiegato nell'*interno* dell'alto-forno; allora si effettuerà per tutta la massa delle regioni medie ed inferiori la reazione:  $F_e O + CO = CO^2 + F_e$ , che è capitale per gli alti-forni.

Un'altra considerazione concorrerà a rendere evidente l'importanza dell'analisi dei gas.

Allorquando in seno ad un alto-forno si svolge un eccesso di ossido di carbonio, e che questo in totalità od in gran parte, anzichè reagire sul ferro ossidato, tenda a portarsi nelle regioni superiori, caldo come è ed in tanta abbondanza, si sdoppia e dà luogo, per effetto d'una reazione intestina, ad acido carbonico, e ad un deposito di carbonio: egli è appunto questo ultimo prodotto che i pratici chiamano *carbonio fioccoso*. La reazione può rappresentarsi così:  $2(CO) = CO^2 + C$ . Or bene questa reazione compiesi a spese del calore del gas stesso, ed abbiamo quindi una perdita di calore che non può trascurarsi. Per cui ogni qual-

(1) Questa ipotesi è assai probabilmente la verità, poichè le citate analisi per i gas ci furono favorite, onde mostrarci completamente l'andamento di quegli alti-forni in campagna per ghisa-Bessemer.

(2) *Ann. des Mines*, 7<sup>a</sup> serie, 1877, e *Traité de métallurgie générale*.

(1) Ricordasi qui il metodo grafico del signor C. BALLING, illustrato anche nel lavoro del sig. ingegnere ZOPPETTI: *Atlante di Siderurgia con indice esplicativo*. Milano, tip. degli ingegneri.

(2) Vedansi le analisi precedenti per l'officina di Givors.

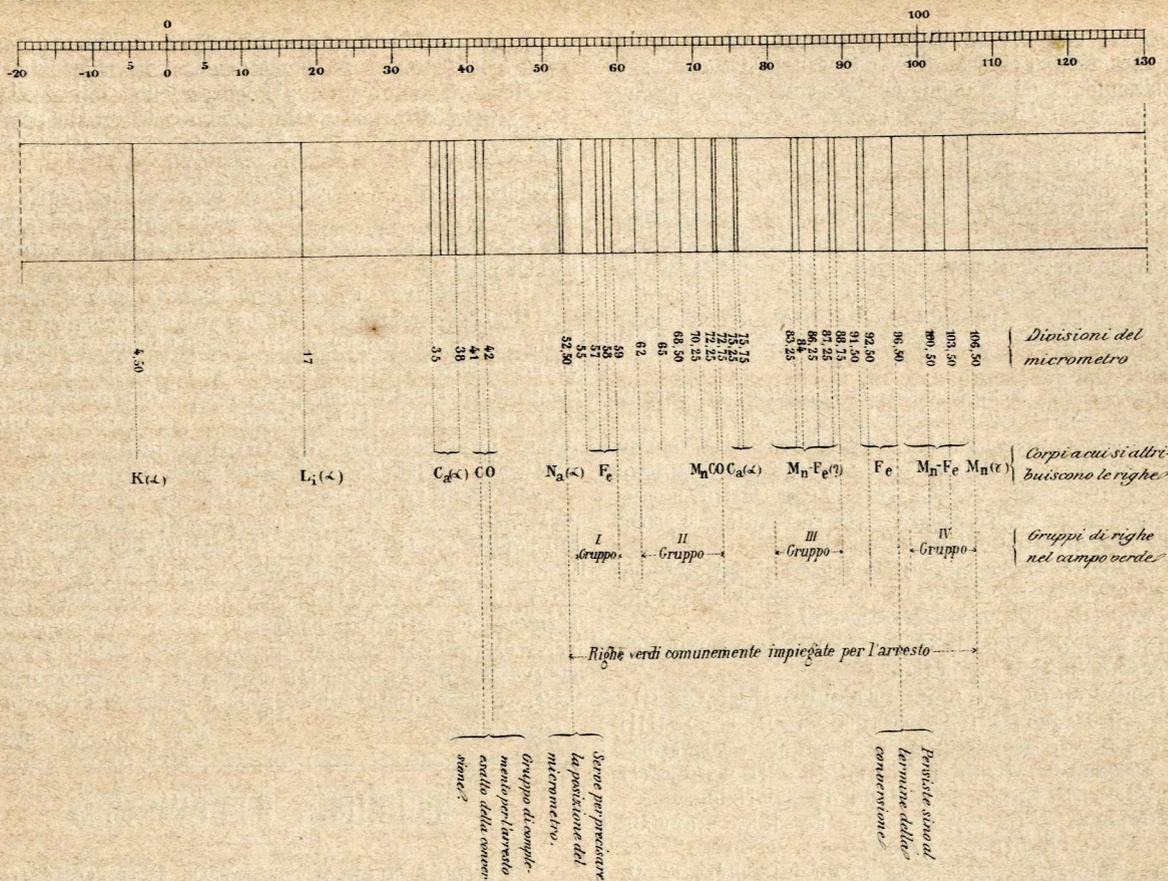


Fig. 12. — Parte dello spettro-Bessemer da impiegarsi per la conversione.

volta si valuta un'ingente quantità di ossido di carbonio fra i gas uscenti dall'alto-forno può sempre e razionalmente temersi una tendenza *eccessiva* alla produzione di questo gas ed alla facilità di sfuggire alla sua reazione sopra l'ossido di ferro, e conseguentemente devesi temere un abbassamento di temperatura dovuto al detto sdoppiamento, una perdita di calorie per un'incompleta combustione del carbonio, ed un'imperfetta riduzione del minerale.

In tutte le officine che visitammo nei bacini di Liegi e della Loira, vedemmo praticata l'analisi dei gas con tutta l'assiduità, specialmente per gli alti-forni in campagna per ghisa-grigia-Bessemer.

#### c) Sullo spettro del dardo-Bessemer.

5. — Se le loppe ed i gas degli alti-forni ci forniscono i mezzi di controllo nella fabbricazione della ghisa, abbiamo pur visto come lo spettro del dardo-Bessemer sia capace di controllare e guidare le operazioni di conversione della ghisa in acciaio. Nella prima parte di queste note ci siamo, con speciale riguardo, intrattenuti su questo mezzo delicato d'indagine ormai praticato in tutte le acciaierie inglesi e del continente; ed ora aggiungeremo qualche altra notizia d'ordine più generale sulla natura e le condizioni dello spettro-Bessemer. Per tal modo resterà anche meno incompleta la breve Nota che sullo stesso argomento abbiamo pubblicata (1). Aggiungendo qualche parola sulla parte storica del problema diremo che, la spettroscopia applicata al bessemeraggio, fu introdotta nel bacino della Loira nel 1864 per opera del signor Valton che l'impiegò in detto anno nelle officine di Terre-Noire. Il sig. ing. Deshayes fece nel 1875 delle importanti comunicazioni « all'Associazione per l'avanzamento delle scienze » riflettenti un gran numero di osservazioni spettroscopiche da lui compiute a datare dal 1872. Questi studi dichiararono viepiù le relazioni esistenti fra lo spettro-Bessemer e gli spettri degli elementi che entrano

in proporzione più o meno grande nella costituzione delle ghise e degli acciai. Precedentemente il signor Lecoq di Boisbaudran aveva compiuti degli interessanti studi spettrali d'indole speculativa, ma che si riferiscono singolarmente ai corpi che concorrono a costituire lo spettro-Bessemer. Segnaliamo anche gli studi analitici dello Snelus (1) sui gas che escono dai convertitori, in quanto che queste analisi si ponno considerare come un punto di esatto richiamo nelle osservazioni spettrali.

Il signor Clerault descrivendo le acciaierie di Gratz dà pure delle notizie sull'impiego dell'osservazione spettrale in relazione colla classe dell'acciaio risultante (2).

L'ing. Deshayes fece pure delle osservazioni spettroscopiche sulla fiamma degli alti-forni, e notò che tale spettro è analogo a quello del dardo-Bessemer, quando gli alti-forni sono in campagna per ghise poco manganisifere.

Alle officine del Creusot e di Terre-Noire, si osservò che i due spettri diventano pressochè identici, quando un alto-forno essendo in campagna per lo spiegel-eisen, si osserva la fiamma che si svolge dall'alto-forno mescolata con vapori d'ossido di ferro e di ossido di manganese. Da questi fatti e dalle accurate indagini del signor Deshayes, risulta che lo spettro-Bessemer deve contenere gli spettri del potassio, sodio, litio, calcio, ferro, manganese e dell'ossido di carbonio. Questi due ultimi si sovrapporrebbero, talchè osservando allo spettroscopio un dardo-Bessemer, devesi tener calcolo che esso ci rappresenta in definitiva il risultato della sovrapposizione di tre spettri in corrispondenza di tre noti principii, e cioè:

1° Di uno spettro continuo, non solo nel 1° periodo, ma durante il 2° ed il 3°, pel fatto che la luce del dardo proviene anche da un liquido incandescente.

2° Di uno spettro a righe brillanti perchè la luce del dardo è fornita, specialmente durante il periodo di decarburazione, dai gas incandescenti.

(1) Vedasi il N. 1 dell'anno V del Periodico l'Ingegneria Civile.

(1) *Journal of Iron and Steel Institute.*  
(2) *Ann. des mines*, 1869.

3° Di uno spettro con strisce d'assorbimento perchè la luce-Bessemer attraversa gas e vapori oscuri, ciò che si verifica specialmente, ed in modo ben marcato, nel caso frequente di ghise caldissime che producono fumi talvolta assai densi.

A questi principii cardinali si possono aggiungere altri due fatti che direttamente riguardano le applicazioni industriali.

1° Dalle analisi dello Snelus risulta che la decarburazione si compie seguendo questa legge: l'acido carbonico si svolge in proporzione decrescente, quella dell'ossido di carbonio è invece crescente; nel 2° periodo si effettuerebbe un salto nel senso di una rapida diminuzione di acido carbonico, e di un grande aumento nello sviluppo di ossido di carbonio.

2° Le righe del campo verde si possono dividere in 4 gruppi, ai quali unite, secondo suggerisce il signor Deshayes, le righe aranciate 41 e 42 (dovute allo spettro d'ossido di carbonio) si hanno gli elementi per stabilire una scala spettroscopica. Questa scala è una legittima conseguenza della legge di scomparsa delle righe dello spettro-Bessemer come diremo fra breve.

Quando lo spettro-Bessemer cessa di essere continuo per complicarsi di righe, queste appaiono con un certo ordine di successione, che può così descriversi (1):

1° Al principio della decarburazione appare e svanisce alternativamente la riga ( $\alpha$ ) del  $N_a$ ;

2° Allorchè  $N_a$  ( $\alpha$ ) è divenuta fissa appare il gruppo (II);

3° Quando il gruppo (II) si fissa, appare il gruppo (III) e successivamente si completa pure il gruppo (IV); appaiono contemporaneamente le righe 37-38. — Il gruppo (I) viene per ultimo in questo 3° periodo di apparizione.

4° Prendono posto nello spettro le righe aranciate 41 e 42, le rosse  $K$  ( $\alpha$ ) e  $L_i$  ( $\alpha$ ).

5° Verso la fine dell'operazione appaiono le righe 58-59, così pure le 91,50-96,50, e tutte queste righe persistono sino al termine dell'operazione.

La scomparsa segue generalmente l'ordine seguente:

1° Scomparsa dei gruppi delle righe verdi: (IV), (III), (II).

2° » delle righe 37-38.

3° » » 41-42.

4° » del gruppo (I).

5° » delle righe 91,50-96,50.

Ora dichiarando il significato dei gruppi e delle righe impiegate, diremo che: il gruppo (I) e le righe 55 a 59 provengono dallo spettro del ferro — il gruppo (II) si attribuisce agli spettri del carbonio e del manganese sovrapposti, e precisamente sarebbe: } 70,25 riga di  $M_n$   
} 72,75 » CO.

Il gruppo (III) è dovuto al manganese. Il gruppo (IV) viene pure attribuito al manganese. Ed è singolare notare la riga 106,5 la quale presenta ai due lati una sfumatura; or bene quella a destra si attribuirebbe al manganese, mentre la sfumatura di sinistra dipenderebbe dall'ossido di carbonio.

Le righe 41 e 42 provano nettamente la presenza dello spettro dell'ossido di carbonio (2), e furono considerate di grande interesse industriale, perchè sono più marcate delle verdi e perchè svaniscono decisamente e *senza oscillazione*. Scomparendo esse prima del gruppo (I), si suggerì l'impiego di queste righe per la fabbricazione dell'acciaio dolce, mentre arrestando l'operazione alla sola scomparsa delle righe verdi, il carbonio è ancora in tal quantità da dare un acciaio duro, laonde per passare alle carburazioni inferiori bisognerebbe prolungare l'operazione di alcuni secondi (a discrezione della pratica).

Si può dunque stabilire, a guida delle operazioni di conversione, la seguente *Scala spettroscopica*.

Acciai duri { 1° Arresto alla scomparsa del gruppo (III).  
} 2° » quando oscillano e stanno per svanire le righe verdi (II).

(1) La fig. 12 è limitata alla parte dello spettro-Bessemer, contenente le righe utilmente impiegate nelle operazioni di conversione.

(2) Vedansi in proposito gli studi di Giorgio Salet sulle fiamme dei gas carburati (*Ann. de chimie et de physique*, 1872).

Acciai duri { 3° Arresto al momento in cui scompaiono completamente le righe del gruppo (II) ed oscillano le righe 41-42.  
} 4° » alla scomparsa definitiva delle righe 41-42 ed alla oscillazione del gruppo (I).  
Acciai 1/2 dolci {  
} 5° » quando sono svanite tutte le righe non escluse quelle del gruppo (I).  
Acciai extra-dolci {

I seguenti casi pratici ci mostrano l'utilità industriale di questa scala.

1° Prendiamo un esempio dato dal signor Clerault (1). A Gratz si arresta l'operazione quando scompare il gruppo (III), ma quando il gruppo (II) sussiste ancora. Si aggiunge lo spiegel-eisen, si rialza il convertitore, si dà di nuovo il vento e si arresta definitivamente l'operazione quando le righe del gruppo (IV) cominciano a svanire; si aggiunge a questo punto la lega del ferro-manganese, e si hanno così degli acciai del n° 7 della scala di Neuberg.

2° A Terre-Noire si trovò, arrestando l'operazione quando le righe 41 e 42 sono quasi scomparse, e dosando le provette prima dell'aggiunta della lega manganesifera, che il carbonio era nella proporzione da 0,200 a 0,250. Arrestando invece a completa scomparsa delle dette righe, non si trovò che 0,150 di carbonio, tenore corrispondente ad acciai extra-dolci. Vedesi dunque che senza attendere la scomparsa del gruppo (I) si possono già produrre acciai dolci, a tenore di carbonio, piccoli fin che si vuole.

(Continua)

Ing. CLAUDIO SEGRÈ.

## ECONOMIA FERROVIARIA

### CENNI SUL SERVIZIO ECONOMICO DELLE FERROVIE.

#### III.

#### Austria-Ungheria.

(Veggasi la tav. VI).

59. STUDI IN AUSTRIA. — Il servizio economico già da qualche tempo attirò a sé nell'Austria-Ungheria l'attenzione di uomini competenti, e vi passò ben presto dal campo delle discussioni teoriche a quello delle pratiche applicazioni, presentandoci sotto questo aspetto alcune novità veramente interessanti. Tanto degli studi teorici, come dei risultati pratici, daremo un breve cenno.

Fin dal luglio 1878 il direttore Reynoschek, pubblicava in Vienna nel *Centralblatt für Eisenbahnen und Dampfschiffahrt* (1878 n. 76) un articolo sui felici risultati di alcune prove fatte in Berlino mediante una carrozza a vapore Rowan. L'egregio scrittore si pronunciava decisamente in favore del nuovo sistema, su cui attirava in Austria l'attenzione degli studiosi del difficile problema, consistente nel rendere proficuo il traffico dei passeggeri sulle linee minori.

Nell'ottobre successivo il signor Anton Elbel, Ispettore Capo presso l'Oesterr. Nordwestbahn (Ferrovie Austriache del Nord-Ovest) pubblicava nello stesso periodico (n. 112-113) alcuni notevoli « Studi sulla scelta del materiale mobile per i treni viaggiatori sulle linee di minor traffico ». Ad essi il sig. Elbel aggiungeva poco dopo una conferenza sugli « omnibus a vapore e le locomotive a carro », tenuta in Vienna l'8 gennaio 1879, nell'adunanza degli Ingegneri-Meccanici della Società degli Ingegneri ed Architetti Austriaci. La dotta conferenza compariva in seguito, con tavole e disegni, nella *Wochenschrift* o Rivista settimanale (1879, n. 5-6) nella quale, detta Società con felice idea, pubblica regolarmente i resoconti delle sue adunanze e dei lavori più importanti dei suoi Membri. Accenneremo in breve i concetti principali svolti dal sig. Elbel in questi suoi scritti.

L'egregio autore osserva come per gli aumenti verificatisi soprattutto nel numero dei treni, si facciano di anno in anno maggiori le lagnanze per la poca produttività del traffico viaggiatori, e ricorda in proposito una discussione che ci parve veramente interessante e che durò a lungo nelle colonne della *Zeitung des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen* (1875-79), ma dalla quale pur troppo non si posero in luce rimedi veramente efficaci e di applicazione generale. Il signor Elbel ricorda pure come dalle ricerche istituite dal Ministero del Commercio in Prussia sia risultato il fatto sorprendente, che nel 1875 sulla maggior

(1) *Ann. des mines*, 1869.

parte delle linee dello Stato i prodotti del traffico viaggiatori non furono bastanti a coprire le spese del relativo servizio. Anzi il signor Elbel adduce ancora il fatto di una piccola rete Austriaca di 150 chilm. circa, dal cui resoconto annuale apparirebbe come per il servizio dei treni viaggiatori e misti, vi sia stato un passivo di circa L. 0,35 per treno chilometro! Questi fatti sono troppo gravi, perchè non richiamino su di essi la più seria attenzione.

Il signor Elbel si domanda adunque quale sia la causa di questo stato di cose così poco soddisfacenti; e trovatala nella tenuità dell'effetto utile dei treni, soprattutto sulle linee minori, si propone di ottenere migliori risultati senza diminuire né il numero delle corse né la loro velocità, divisamento che non sapremmo abbastanza approvare.

La causa primaria dei risultati sfavorevoli finora conseguiti, sta, come bene osserva il sig. Elbel, nell'adozione sulle linee minori del tipo usuale di locomotive, pesanti col tender circa 50 tonn., mentre vi basterebbe un treno leggero, il cui peso lordo di 30 a 35 tonn. potrebbe essere rimorchiato anche su pendenze del 10 per mille, e con una velocità di circa 30 chilm. l'ora, da locomotive assai più leggere, del peso di circa 10 tonn. Qual meraviglia non sarebbe per noi — si chiede ad un dipresso il sig. Elbel — se si vedesse un bel giorno attaccata ad uno dei carrozzoni del tramway di Vienna una locomotiva con tender, del peso di 55 tonn.? — Eppure, per quanto ciò risuoni assurdo, non sarebbe punto più irrazionale di quanto accade così frequentemente su linee di poco traffico, sulle quali il numero di viaggiatori per treno, è di spesso appena uguale a quello dei passeggeri in un carrozzone del tramway di Vienna. Ciò non ci fa sensazione — aggiunge il signor Elbel — unicamente perchè vi siamo avvezzi, come ci si avvezza a tutto, anche alle mode le più incommode.

Si è creduto rimediare in parte a tale inconveniente, col sistema dei treni misti. V'è chi dice: « a noi il traffico-viaggiatori costa quasi nulla: noi attacchiamo le nostre vetture ai treni merci ». Ma il signor Elbel non solo risponde, che non si può sempre fare assegnamento su merci soprattutto pel secondo, e per il terzo treno, ma dimostra ancora come non sia economico il sistema dei treni misti, come quello che consiste nel far viaggiare, a velocità maggiore, dei carri merci che con minor spesa sarebbero rimorchiati dai treni merci, mentre pei viaggiatori si ricorrerebbe ad appositi treni leggeri (1).

Da ciò, il sig. Elbel, è condotto ad una prima conclusione che « per i treni-viaggiatori leggeri con velocità moderata, è da raccomandarsi l'impiego di locomotive che non siano più forti e quindi neppure più pesanti di quanto è assolutamente necessario, e che in ogni caso, pel trasporto delle merci si abbiano a fare treni supplementari, invece di usare treni misti ».

60. — A questo punto, il signor Elbel, passa in rassegna i vari sistemi finora proposti per conseguire codesto risultato, di costruire cioè una locomotiva che non pesi più di quanto sia strettamente necessario. A tale proposito ei ricorda l'Adams, che nel 1849 fe' correre sulla Bristol-Exeter in Inghilterra una carrozza a vapore a tre assi con 40 sedili. Questa carrozza, di cui il sig. Elbel ci dà un piccolo schizzo, accanto a quello d'una carrozza Belpaire, ha con essa una certa rassomiglianza e fu nel 1849 illustrata dall'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*.

Il sig. Elbel ci presenta poscia nella stessa tavola le figure di altre carrozze a vapore poggianti non più su tre assi, ma su due bogies o carrelli a sistema americano. L'una è quella

(1) Addurremo a titolo di spiegazione i calcoli sui quali il sig. Elbel crede di poter basare questa sua opinione.

Prendansi tre treni: uno merci, uno misto ed un terzo viaggiatori, con velocità rispettive di 20, di 27 e di 30 chilm. l'ora: il carico lordo di ciascuno sarà rispettivamente di 450, di 300 e di 200 tonn. Da ciò ne viene che ci vogliono tre treni misti per trasportare un carico uguale a quello di due treni merci.

La spesa per chilometro per ciascun treno sarà uguale, essendo uguale il loro lavoro meccanico, e tale spesa sarà ad es. di L. 2,50 per treno chilometro.

Per ciascun treno misto si avranno ancora 30 tonn. di vetture passeggeri, e poichè la spesa di trazione di 300 tonn. è di L. 2,50, quella di 30 tonn. sarà di L. 0,25. Adunque codesto servizio costerà: tre treni misti a L. 2,50 = L. 7,50 più tre volte 30 tonn. a L. 0,25 . . . . . L. 8,25

Lo stesso servizio si potrebbe fare con due treni merci a L. 2,50 = L. 5 più tre treni leggeri (§. 61-2) a L. 0,71 = L. 2,13 in tutto . . . . . » 7,13

Ossia con un risparmio di . . . . . L. 1,12  
Oppure usando tre carrozze a vapore con una spesa di (3 × 0,54) L. 1,62, si avrebbe: L. 8,25 — 6,62 = L. 1,63 di risparmio.

del Fairlie per 80 posti e che nel 1868 corse nelle vicinanze di Londra: l'altra è del Brunner a due piani con 64 posti; essa data dal 1876, ed una di tali carrozze si troverebbe in esercizio regolare sulla ferrovia stradale Lausanne-Echallens nella Svizzera: la terza carrozza pure a due piani e con 64 sedili è quella del Rowan, di cui già abbiamo fatto cenno.

Questi sistemi hanno tutti la caratteristica comune che in essi il motore e la vettura per passeggeri sono riuniti in un solo veicolo: ad essi il sig. Elbel contrappone o per meglio dire aggiunge un sistema suo proprio mediante la cosiddetta locomotiva-Carro di cui faremo ora parola. Prima però ci sia permesso d'aggiungere, che codesti vari sistemi (compreso quello Elbel) furono pure passati bellamente in rivista in una conferenza che il sig. W. Tedesco, altro Ispettore-Capo della Nordwestbahn, tenne il 7 gennaio 1879 nel Club degli impiegati ferroviarii Austriaci, e che fu pubblicata nello stesso anno in Vienna sotto il titolo « Sull'esercizio delle linee meno produttive ». Le sue premesse (ricche di notizie sull'origine delle ferrovie) e le sue conclusioni concordano con quelle del sig. Elbel.

61. SISTEMA ELBEL SULLA NORDWESTBAHN. — Lo scopo che il sig. Elbel si è proposto è, come già abbiamo detto, di costruire un motore che non sia più pesante di quanto è strettamente necessario a rimorchiare un treno viaggiatori leggero ed a velocità modesta, e che in pari tempo, sia tale da poter entrare nella composizione dei treni ordinari senza alterare sostanzialmente il tipo del treno normale attualmente in uso sulle ferrovie. Il sig. Elbel osserva, come si abbia già una prima soluzione di codesto problema, nelle cosiddette locomotive-tender, le quali possono appunto essere costrutte leggere quanto è necessario, e si sostituiscono semplicemente alle locomotive ordinarie, senza alterare il tipo del treno normale, né la forma del materiale mobile. Ma l'egregio autore (in ciò confortato dall'autorevole parere del sig. Belpaire) non è troppo favorevole al sistema di locomotive-tender. Essendo assai ristretta la base delle loro ruote, esse non presenterebbero una stabilità sufficiente per le forti velocità che attualmente si richieggono, mentre la loro marcia, che l'autore ritiene assai irregolare, reagisce sull'armamento e lo deforma, « cosicchè le Locomotive-tender di recente costrutte, hanno acquistato una fama molto cattiva presso il personale della manutenzione ».

Bisogna adunque costruire una locomotiva la cui base delle ruote sia tale da darle stabilità e marcia regolare e che superi in ogni caso i 3 metri. Oltre ciò, siccome il peso di codesta locomotiva lo si può caricare tutto su di un asse, non potendosi costruire una macchina d'un solo asse, conviene trovar modo di utilizzare il secondo asse, affinché non si abbia un peso inutile.

Questo è l'ordine d'idee che condusse contemporaneamente ed a quanto pare nel 1878, il sig. Elbel ed il sig. A. Gölsdorf ispettore capo della Südbahn a riunire la locomotiva ed il carro bagagli in un solo veicolo a due assi nel modo indicato nella tav. VI.

La parte anteriore di detto veicolo contiene la caldaia ed il meccanismo motore a sistema ordinario, quella posteriore è occupata dall'intelaiatura di un piccolo carro-bagagli del tipo ordinario. Le due parti del veicolo sono naturalmente in comunicazione fra di loro. La locomotiva è munita di freno che agisce su tutte e quattro le ruote, e di cassette per la sabbia: la forma ed i particolari della sua costruzione si potranno facilmente scorgere dalla relativa figura. Gli assi della locomotiva-carro, non sono accoppiati: quello anteriore sopporta la maggior parte della caldaia e del meccanismo motore, mentre il secondo asse non sostiene che una piccola parte del peso della locomotiva, ma porta il serbatoio dell'acqua che è sotto il carro a bagagli.

Il sig. Elbel, che più particolarmente ha rivolta la propria attenzione a codesto tipo di locomotive-Carro, già nel 1879 otteneva che per conto della Nordwestbahn fosse costrutta una di codeste locomotive nella Fabbrica di Florisdorf. Dal 20 al 29 settembre di detto anno si facevano con essa prove diligenti su alcune linee presso Vienna, con pendenze fino al 10 ‰ e con un carico che nelle diverse corse variò da tonn. 25,6 a tonnellate 80. La velocità fu naturalmente diversa secondo le pendenze ed il carico: anche con un carico di 63 a 65 tonnellate non risultò inferiore ai 30 chilm. l'ora e toccò il massimo di 48 chilm., come risulta dai particolari di codeste prove pubblicate in un articolo del prof. Engelhard nell'*Oesterreichische Eisenbahn-Zeitung* del 12 ottobre 1879. Codesta prima locomotiva è ora addeba al servizio ordinario del tronco Trautenau-Freiheit (10 chilm.) con pendenze costanti (per la maggior parte del 15 ‰) e vi rimorchia regolarmente treni di circa 50 tonn. con velocità di circa 18 chilm. l'ora.

Ma la più bella prova della bontà dei risultati ottenutisi con questa macchina l'abbiamo nel fatto che per conto della stessa Nordwestbahn si stanno ora costruendo nella Florisdorfer Locomotiv-Fabrik altre 9 di codeste locomotive dello stesso tipo

della prima con solo leggere modificazioni di alcune dimensioni. Grazie alla cortesia dello stesso sig. Elbel siamo in grado di qui dare le dimensioni adottate per codeste nuove locomotive:	
Superficie della graticola 0,7X0,9 . . . . .	mq. 0.64
Superficie di riscaldamento . . . . .	» 42.5
Numero dei tubi bollitori . . . . .	N. 134
Lunghezza » » . . . . .	m. 2.000
Tensione del vapore . . . . .	Atm. 10
Diametro dei cilindri . . . . .	m. 0.225
Lunghezza della corsa . . . . .	» 0.400
Diametro delle ruote . . . . .	» 1.000
Capacità del serbatoio d'acqua . . . . .	mc. 1.800
Id. id. di carbone . . . . .	tonn. 0.800
Peso aderente . . . . .	» 11
Peso della locomotiva ( a vuoto . . . . .	» 15
( in servizio . . . . .	» 18
Forza massima di trazione . . . . .	chilg. 1400
Base delle ruote o distanza degli assi . . . . .	m. 3.80

Codesta locomotiva dovrebbe rimorchiare su pendenze del 10 per mille 100 tonn. di carico lordo con una velocità di 15 chilm. l'ora e su pendenza del 5, 100 tonn. con velocità di 22 chilm. l'ora.

Aggiungeremo ancora che presso la stessa fabbrica trovasi pure in costruzione una di codeste locomotive per le Ferrovie Ungheresi dello Stato: ma per essa il diametro delle ruote fu portato a m. 1,20, il che consentirà in servizio una velocità maggiore.

#### 62. — Quali sono i vantaggi del nuovo sistema?

Anzitutto la locomotiva Elbel, mentre riunisce in sé i vantaggi delle locomotive-tender, evita il grave inconveniente che in esse si osserva, di avere cioè una base di ruote troppo piccola per la velocità e celerità di corsa che oggidi si richiegono, ragione per la quale il sig. Elbel è senz'altro contrario all'adozione di codeste locomotive-tender.

Oltre ciò, la locomotiva Elbel presenta questo di particolare che riunisce su due soli assi ciò che nel sistema ordinario rende necessari 8 assi, cioè 3 per la locomotiva, 3 per il tender e 2 per carro a bagagli. Quindi minor costo di costruzione e di manutenzione, risparmio d'interessi sul capitale, di materie lubrificanti, di manutenzione dell'armamento e del corpo stradale. Oltre ciò si avrebbe un risparmio di circa 2/3 nel combustibile sia per gli accendimenti che durante la corsa, in confronto delle locomotive ordinarie pesanti col tender da 50 a 55 tonn. Per ultimo siccome il conduttore del treno prende posto sulla piattaforma tra il compartimento bagagli e la macchina, si potrà porre una sola persona al servizio di quest'ultima, risparmiando il fuochista. Il signor Elbel ritiene pure preferibile di non accoppiare gli assi, ottenendosi maggiore semplicità di costruzione, e risparmio nelle spese di riparazione. Egli ci presenta pure il seguente:

Quadro comparativo della spesa per treno-chilometro dei seguenti treni:

PERCORSO GIORNALIERO 100 CHILOMETRI	Media dei vari treni	Treno-merci	Treno-viaggiatori-medio	Treno con sole 3 vetture	Treno Elbel-Gölsdorf	Carrozza Belpaire
Numero dei posti			288	100	100	44
	L. C.	L. C.	L. C.	L. C.	L. C.	L. C.
Manutenzione rotaie, scambi, ecc. . . . .	0,65	0,425	0,147	0,097	0,045	0,020
Manutenzione della restante parte dell'armamento . . . . .		0,267	0,487	0,487	0,225	0,125
Trazione, personale del treno, illuminazione, ecc. . . . .	0,225	0,240	0,200	0,130	0,080	0,075
Macchinista e fuochista . . . . .	0,15	0,175	0,150	0,150	0,087	0,087
Combustibile ed acqua . . . . .	0,275	0,375	0,157	0,092	0,045	0,030
Altre spese di trazione e riparazione . . . . .	0,575	0,742	0,445	0,342	0,167	0,125
Totale L. . . . .	1,875	2,222	1,586	1,298	0,649	0,462
Interesse ed ammortizzazione . . . . .	—	—	—	—	0,062	0,082
Totale L. . . . .	—	—	—	—	0,711	0,544

Tuttoché questa cifra concordi quasi esattamente con quelle trovate nel Belgio, conviene tuttavia ricordare che il costo di

esercizio anche con una stessa qualità di treni, può variare nei diversi paesi a seconda del prezzo del combustibile, delle paghe, del personale, ecc.

Aggiungeremo ancora che l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* (anno 1880, fasc. 2°) ha testè pubblicato il disegno ed i particolari della locomotiva Elbel, la quale prende senza dubbio posto tra i mezzi più ingegnosi per quel servizio economico di cui è da tutti riconosciuta l'utilità. Oltre ciò essa potrebbe trovare applicazione anche pel servizio delle merci su linee di poco traffico o per treni leggeri, e specialmente per linee sulle quali il servizio dei viaggiatori fosse già eseguito mediante carrozze a vapore od altri sistemi economici.

63. SISTEMA GÖLSDORF SULLA SÜDBAHN. — Il signor Gölsdorf ispettore-capo della Südbahn (Società ferroviaria dell'Austria), come già abbiamo detto, divide col signor Elbel l'onore di aver fatte le prime applicazioni di una locomotiva-carro, unendo in un solo veicolo una piccola locomotiva a sistema ordinario ed un carro bagagli. Tuttavia, a differenza del signor Elbel, l'ispettore Gölsdorf avrebbe abbandonato il tipo a 2 assi, e preferirebbe un veicolo a tre assi. Attualmente, e dietro disegni dello stesso signor Gölsdorf, si stanno costruendo nella medesima Florisdorfer Locomotiv-Fabrik 8 locomotive-carri a 3 assi, di cui 2 accoppiati. Esse sono destinate per le linee della Südbahn.

Grazie alla cortesia del sig. Gölsdorf, siamo in grado di dare le seguenti dimensioni della macchina da lui disegnata:

Diametro del cilindro . . . . .	mm. 265
Lunghezza della corsa . . . . .	» 400
Numero degli assi . . . . .	N. 3
Diametro delle ruote . . . . .	mm. 950
Superficie di riscaldamento . . . . .	mq. 40.7
Superficie della graticola . . . . .	» 0.72
Pressione effettiva . . . . .	Atm. 12
Base delle ruote . . . . .	m. 3.60

Peso della macchina in servizio colle provviste e col compartimento a bagaglio carico . . . . .	chilg. 24.500
Id. a vuoto . . . . .	» 20.500
Forza massima di trazione . . . . .	tonn. 2.6
Forza in cavalli vapore . . . . .	cav. vap. 120

Carico rimorchiabile: su pendenza del 25 per mille tonn. 35 con velocità di 15 chilm. l'ora, ovvero tonn. 45 con velocità di 13 chilm. l'ora.

Non intendiamo punto pronunciare tra i due sistemi Elbel e Gölsdorf, quale dei due abbia a dirsi il migliore. Entrambi hanno il vantaggio di darci un motore relativamente leggero, ma a lunga base di ruote, cosicché si può con esso conseguire una velocità e regolarità di marcia che non ci è data in ugual grado dal sistema delle locomotive-tender. Ce ne congratuliamo quindi cogli egregi autori ed anche colle amministrazioni ferroviarie a cui appartengono, come quelle che accordarono loro di tradurre in atto le loro idee con una certa ricchezza di mezzi indispensabile a prove concludenti. Dobbiamo quindi richiamare l'attenzione degli studiosi su queste nuove esperienze in Austria ed augurarci che anch'esse concorrano alla soluzione del problema.

64. SISTEMA KRAUSS SULLA NIEDERÖSTERREICHISCHE STAATSBahn. — Il sistema Krauss da noi già sovra descritto (§ 50-52) ebbe pure recentemente un'altra applicazione sulla linea Leobersdorf-Gutenstein della Niederöst. Staatsbahn (Ferrovie dello Stato della Bassa Austria).

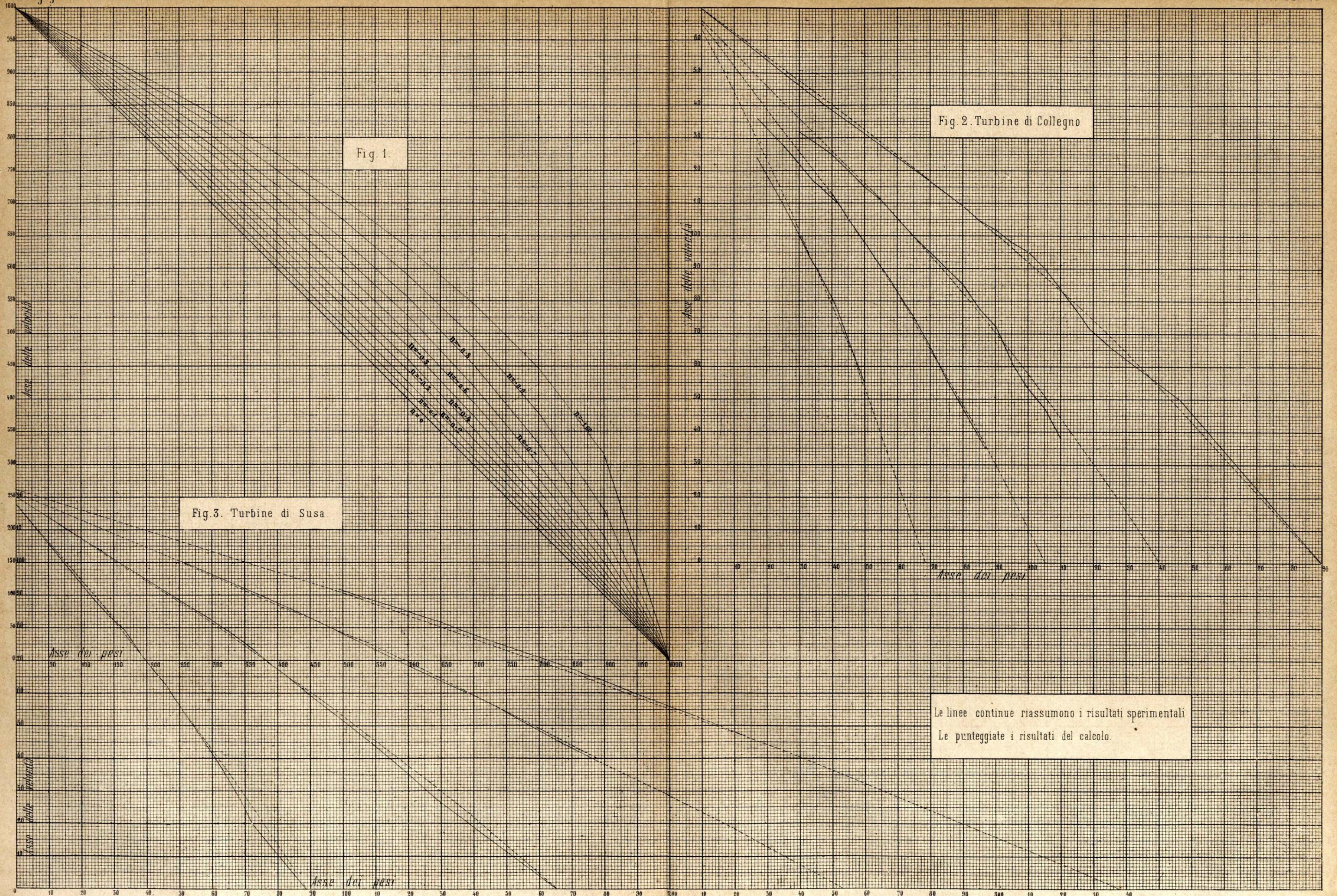
Tuttavia trattandosi non più di un traffico suburbano, ma su di una linea locale con forti pendenze (fino al 20 su 1000) si adottarono locomotiva e vettura di categoria diversa da quelle della linea Berlino-Görlitz. La locomotiva-tender, pure a 4 ruote, ha una forza di 60 cav. vap.: la vettura a due piani è della categoria N. II con 20 posti seduti di II e 70 di III classe, oltre ad 8 mc. di bagagliaio. Il piccolo treno deve così servire ad un tempo al traffico merci e viaggiatori.

Codesto treno fu durante quattro settimane sottoposto a prove, nelle quali percorse 3584 chilm. con una spesa media di L. 0,337 per treno-chilometro (escluse le riparazioni, ecc.). I buoni risultati dati da codeste prove, intorno a cui riferisce il *Centralblatt* (30 settembre 1879), avrebbero condotto all'acquisto di detto treno sulle ferrovie dello Stato, sulle quali farebbe ora servizio. La velocità media varia tra i 24 ai 30 chilm. l'ora escluse le fermate.

65. — Chiuderemo codesti pochi cenni sul servizio economico in Austria col dire come a scopo di facilitarne l'adozione, le autorità abbiano pubblicate alcune disposizioni da applicarsi quando la velocità non superi il massimo di 30 chilm. l'ora. Tali sono, la soppressione del carro a bagagli, del fuochista e della 1ª classe: la riserva di un solo compartimento pel servizio della posta: la facoltà di arrestare il treno a case cantoniere od a passaggi a livello: la distribuzione dei biglietti (entro certi limiti) sul treno stesso.

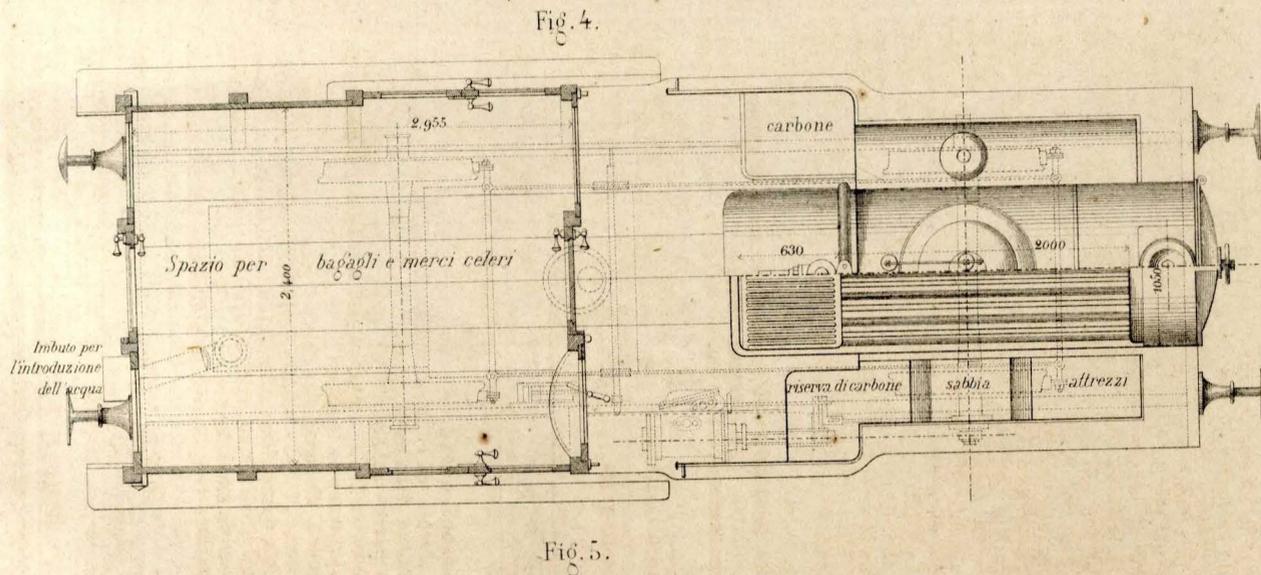
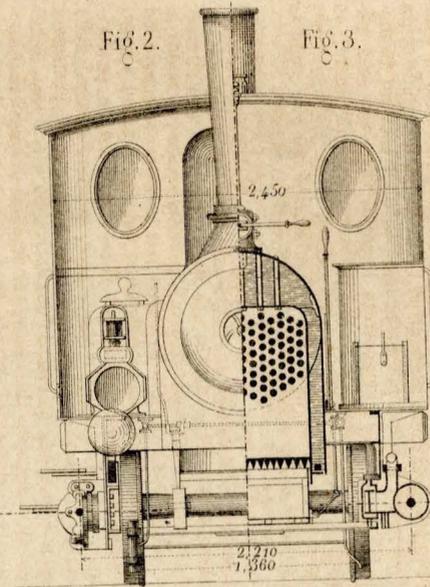
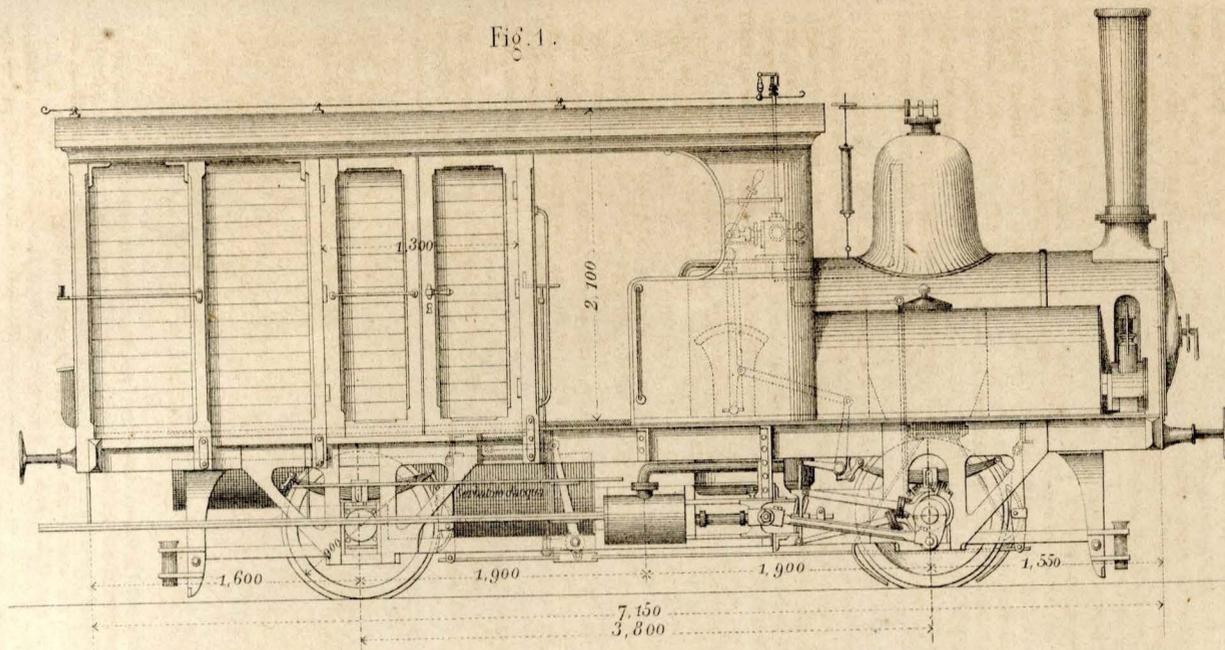
(Continua)

MAGGIORINO FERRARIS.



DISCUSSIONE DI ESPERIENZE DINAMOMETRICHE SULLE RUOTE A TURBINE

Dell'Ingegnere Giacinto Gauter



LOCOMOTIVA LEGGIERA, SISTEMA ELBEL  
per linee secondarie

- Fig. 1. Elevation laterale
- Fig. 2. Prospetto anteriore
- Fig. 3. Sezione attraverso la Camera del focolare
- Fig. 4. Proiezione orizzontale
- Fig. 5. Sezione orizzontale

Scala di 0<sup>m</sup>.02 p.m.<sup>o</sup>