

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

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

SUL TELEFONO DI GRAHAM BELL

CONFERENZA

fatta nella Società degli Ingegneri e degli Industriali di Torino
nella seduta del 2 febbraio 1878

dall'Ingegnere GALILEO FERRARIS

Prof. di fisica nel R. Museo Industriale Italiano.

(Veggasi la Tav. IV).

Un benevolo voto del nostro Comitato stabili, che in questa adunanza io intrattenevo la Società sul telefono dell'americano Graham Bell. Ubbidiente a questo voto, io mi propongo: 1° di spiegare ai miei colleghi, come i suoni e le parole si possano trasmettere fra due luoghi lontani congiunti fra loro per mezzo di un semplice filo telegrafico; 2° di ricercare con loro le leggi di questa trasmissione, e di indagare le relazioni che sussistono tra i suoni prodotti in una stazione, e quelli ricevuti col telefono nella stazione compagna.

Per riuscire nel mio intento, egli è naturale che io cominci a ricordare in che cosa consistano i suoni articolati: soltanto quando conosceremo ciò che si vuole trasmettere, noi potremo studiare i mezzi di trasmissione.

Il suono, prendendo la parola nel suo senso più generale, e comprendendo con questa denominazione tutto ciò che può essere sentito dall'orecchio, è l'effetto di una rapida successione di condensazioni e di rarefazioni, di aumenti e di diminuzioni di pressione nell'aria, che riempie il *foro uditivo*. Invece delle variazioni di pressione possiamo anche considerare gli spostamenti delle particelle dell'aria, dei quali quelle sono la conseguenza, e dire che il suono è l'effetto di una successione di oscillazioni delle particelle dell'aria. Prendiamo i tempi per ascisse, e prendiamo per ordinate gli aumenti positivi o negativi di pressione dell'aria contenuta nella cavità esterna dell'orecchio, o, se vogliamo, gli spostamenti di una particella di quest'aria, od ancora la sua velocità, e tracciamo una linea ABCDEF... (fig. 1). Questa ci mostrerà in un colpo d'occhio tutta la serie di stati, per cui quell'aria va passando. Orbene, ogniqualvolta questa linea presenta punti massimi e punti minimi A, B, C, D, così vicini, che i segmenti *ab*, *bc*, *cd*, *de*, ecc., corrispondano ad una frazione di minuto secondo abbastanza piccola, l'orecchio sente qualche cosa, sente un suono. Se la linea così tracciata è formata di una successione di porzioni ABCDE, EFGHI, ecc. (fig. 2), tutte uguali, se la funzione del tempo, che essa rappresenta, è una funzione periodica, il suono è un *suono musicale*, non è un rumore. È un fatto questo, che tutti conoscono, e che io non fo che ricordare.

Data la linea ABCD..., è dato il suono, e come l'occhio vede in essa diverse particolarità, così l'orecchio nel suono corrispondente sente particolarità diverse. L'occhio vede la massima differenza BD' delle ordinate, vede l'*ampiezza* delle oscillazioni; l'orecchio sente l'*intensità* del suono. L'occhio vede la differenza AE delle ascisse di due punti corrispondenti di due successive porzioni uguali della linea periodica, vede la grandezza del *periodo*; l'orecchio sente l'*altezza*, l'*acutezza* del suono: un suono è tanto più acuto, quanto più è breve il segmento AE.

Ma l'analogia tra l'occhio e l'orecchio termina qui: l'occhio vede la *forma* della linea, la *forma dell'onda*; l'orecchio non sente questa forma, sente soltanto alcuni caratteri del suono, che si collegano con questa. È questo un punto fondamentale nella acustica fisiologica, e senza essermi spiegato su di esso, io non saprei parlare di suoni.

La linea *aaa...* (fig. 3) sia la linea rappresentativa di un suono sentito dall'orecchio; l'aria del foro uditivo subisce alternative di rarefazioni e di condensazioni rappresentate da questa linea. Mentre questo suono perdura, arrivi all'orecchio un altro suono; se fosse solo, questo produrrebbe alternative di rarefazioni e di condensazioni rappresentate da un'altra linea *bbb...*. Se i due suoni coesistono, le rarefazioni e le condensazioni loro dovute si sommano algebricamente, e l'aria subisce una serie di rarefazioni e di condensazioni rappresentate da una curva diversa da *aaa...* e da *bbb...*, da una curva *ccc...*, che si può disegnare sommando algebricamente le ordinate delle due prime. Ai due suoni *aaa...* e *bbb...* può aggiungersene un terzo, un quarto, se ne può aggiungere un numero qualunque, e si può nel medesimo modo tracciare la linea rappresentativa del suono risultante dalla loro sovrapposizione.

Qualunque sia questa linea, comunque noi l'abbiamo formata, essa è *una*, il movimento, a cui è dovuto il suono, il suono *oggettivamente* considerato è unico, non è nè più semplice nè più complesso di quelli, coi cui noi l'abbiamo, per sintesi, costituito — Ebbene: *soggettivamente* ciò non è; generalmente l'orecchio, aiutato da una attenzione ben diretta, sa distinguere nel suono, che, ripeto, di per sè è *uno*, i suoni, o parte dei suoni componenti. Il meno avvezzo fra noi a studi musicali sa distinguere, quando è abituato a sentirli, i suoni degli strumenti diversi che compongono un accordo; non è necessario essere più che un mediocre dilettante di musica per scorgere in una razionale, veramente artistica, successione di accordi (che, oggettivamente, è una successione di suoni semplici) parecchie frasi melodiche, che si svolgono simultaneamente; ed i veri artisti, che col lungo esercizio hanno esaltato questa ammirabile proprietà dell'organo dell'udito, trovano il bello più elevato appunto là dove tre, quattro, e talora cinque *parti* procedono di fronte senza turbarsi. Chi senti qualche volta e riesci a gustare alcune fughe del Bach, non trova di paragonabile al sublime di quel canto composto nulla, nulla nella musica volgare ad una sola voce.

Nel caso, che io ho ricordato, l'orecchio analizza i suoni in grazia della familiarità sua coi suoni prodotti dai diversi strumenti, più che i suoni esso distingue le loro sorgenti. Questa analisi è un atto dell'intelligenza, e non differisce da quello, per cui un geometra può vedere nell'ordinata di un punto di una linea *c* (fig. 3) la somma delle ordinate di altre linee *a*, *b*,... che egli può scegliere a piacimento e in mille maniere.

Ma oltre a quest'analisi, che prendendo ad prestito dai chimici la loro nomenclatura, potremmo dire: *immediata*, l'organo nostro dell'udito è atto a fare, e fa sempre, a nostra insaputa, un'altra analisi molto più fine, che un chimico direbbe: *elementare*. E questa analisi, io debbo annunziarlo fin d'ora, l'orecchio fa non per abitudine presa, non per atto di riflessione, non arbitrariamente, ma meccanicamente, per la sua stessa struttura, in un modo unico, e con leggi fisse, che nulla contengono di arbitrario. L'orecchio scompone, ordinariamente senza che noi ce ne accor-

giamo, i suoni in altri, talora numerosissimi; scompone così anche i suoni prodotti da un centro di scuotimento unico; ed in un suono *uno*, ch'esso è abituato a sentire, e che noi, per atto di intelligenza giudichiamo unico, esso sente effettivamente la sovrapposizione di numerosi suoni, che forse raramente esso ebbe occasione di sentire isolati. È questo un fatto fondamentale nella teoria dei suoni; su di esso riposa tutta una scienza: tutta la teoria fisiologica delle percezioni uditive, tutta la teoria fisiologica della musica. È un fatto sperimentale.

G. S. OHM enunciò pel primo questo teorema, che porta il suo nome: « Se la linea rappresentatrice del moto sonoro, della *forma dell'onda*, è una *sinusoide*, se cioè essa » ha una equazione della forma

$$y = a \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} (t + \alpha)$$

» ove T è il tempo periodico, t il tempo, α una costante » arbitraria, *la fase*, ed y lo spostamento di un punto vibrante dalla sua posizione di equilibrio, oppure la velocità, oppure la variazione di pressione del mezzo, in cui » il suono si propaga, l'organo dell'udito sente un tutto indivisibile: un tale suono, che si può dire *pendolare*, è » per l'orecchio un suono *semplice*. Se la linea rappresentatrice non è una sinusoide, l'orecchio sente in essa una » somma di suoni semplici o pendolari rappresentati da » onde sinusoidali ».

In ciò l'orecchio e l'occhio si trovano in condizioni assolutamente diverse. L'occhio vede l'insieme dell'onda; l'orecchio invece non coglie l'onda tutta in una volta, non l'abbraccia nel suo insieme, ma la sente per impulsi successivi; esso ha entro alla sua parte esterna qualche centimetro cubo di aria, la quale prende stati successivi diversi di pressione, e deve giudicare dell'onda per mezzo di questa successione di stati. L'orecchio è nelle condizioni di un occhio, a cui si presentassero *una dopo l'altra* le ordinate dei diversi punti della linea rappresentatrice dell'onda, come accadrebbe quando il foglio, su cui la linea è disegnata, fosse coperto da un altro foglio opaco, in cui fosse una strettissima fessura parallela all'asse delle ordinate, e si facesse scorrere dietro a questo parallelamente all'asse delle ascisse, cosicchè l'occhio vedesse successivamente le porzioncelle della linea, che vengono passando dietro alla fessura. L'orecchio è nelle condizioni di un occhio, che guardasse la superficie dell'acqua di uno stagno, nella quale si propagasse un'onda, ma che guardasse quest'onda attraverso ad uno strettissimo tubo, che non gli lasciasse vedere altro che una porzioncella minima di quella. Posto in queste condizioni, un occhio non saprebbe giudicare della *forma dell'onda*; bisognerebbe per ciò fare, ch'esso misurasse gli spazii successivi percorsi dalla porzioncella di superficie. Nemmeno l'orecchio non sa fare questa misura, ma vi supplisce in parte riconoscendo le onde sinusoidali, che bisognerebbe sommare per ottenere l'onda data.

Qualunque sia la forma di una linea periodica, la matematica insegna, sta in ciò il celebre teorema di FOURIER, che la sua ordinata si può rappresentare con una serie di *seni*, così:

$$y = a \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} (t + \alpha) + b \operatorname{sen} \frac{4\pi}{T} (t + \beta) + c \operatorname{sen} \frac{6\pi}{T} (t + \gamma) + \dots$$

L'orecchio fa, per sua natura, a nostra insaputa, la stessa analisi. Per esempio, abbiasi la linea semplicissima disegnata nella figura 5: una linea spezzata ABCDE.... L'occhio non saprebbe trovar nulla di più semplice, e ciò è un merito che esso ha sull'orecchio, *sente una linea spezzata*. L'orecchio no; l'orecchio fa meccanicamente il lavoro che fanno i matematici quando applicano il teorema di FOURIER: trova tante sinusoidi, le cui ordinate, sommate algebricamente, riproducono l'ordinata della linea spezzata.

L'orecchio non può fare altro: sovrapponendo due o più onde sinusoidali date, e facendo variare le fasi, cioè spostando alcune delle sinusoidi rispetto alle altre, si possono

comporre infinite onde diverse; dall'orecchio tutte queste onde sono sentite nella medesima maniera, sono sentite come suoni perfettamente identici. Per esempio si abbiano (fig. 4) due linee *aaaa....*, *bbbb....*, identiche a quelle segnate colle medesime lettere nella figura 3; ma la linea *bbbb....* sia spostata così, che invece di passare per l'origine, come nella figura 3, sia tagliata dall'asse delle ordinate in un punto massimo b ; se noi sommiamo algebricamente le ordinate delle due linee, troviamo una linea risultante *c'c'c'....* di forma visibilmente diversa da quella disegnata nella figura 3: l'occhio non vedrebbe tra la forma della linea *c'c'c'....* e quella della linea *cccc....* nessuna parentela; l'orecchio invece non sente tra le due forme nessuna differenza. Tutte due le onde, e tutte le infinite altre, che si otterrebbero spostando variamente le linee componenti prima di comporre, producono suoni identici. La *tempera* dei suoni è indipendente dalle fasi dei suoni componenti. Un'onda di forma data dà luogo ad una tempera determinata; ma una medesima tempera può corrispondere ad infinite onde di forme diverse.

Che questa analisi fatta dall'organo uditivo non sia dovuta ad un lavoro mentale, non era facile a dimostrarsi, e non fa stupire che OHM abbia dovuto sostenere una polemica con SEEBEK, la quale diventò celebre. Ma la dimostrazione fu fatta dall'HELMHOLTZ; questi ne aveva bisogno; egli voleva farne il piedestallo di un grande edificio, e non esitò a spendere anni a raccogliere prove, l'esposizione delle quali occupa tutta la prima metà del suo grande libro, del suo poema, io direi, *Die Lehre von den Tonempfindungen*. Siccome i miei colleghi capiranno che tale dimostrazione non può essere data qui, così mi permetteranno, che io li inviti a credere senz'altro, e a tener per prova sufficiente l'autorità di un grande nome.

Se poi questa scelta della *sinusoide*, che l'orecchio fa, per considerarla come forma *semplice* a preferenza di ogni altra, per esempio di quella formata da una linea spezzata, come quella disegnata nella figura 4, parrà, come deve a prima giunta parere, strana, io spero che la sorpresa diminuirà subito, se io farò notar loro una cosa, che ai meccanici è famigliare. Se, dato un sistema di punti materiali, che si tengono in posizione di equilibrio stabile per mezzo di forze mutue, noi ne spostiamo uno per un tratto piccolissimo; qualunque sia la natura delle forze mutue esercitate dai diversi punti materiali su quello, che si è spostato, la forza, che si svilupperà in grazia dello spostamento, e che tenderà a ricondurre il punto nella posizione primitiva, è proporzionale allo spostamento. Questa forza è una funzione dello spostamento, la quale si annulla quando lo spostamento è nullo; svolta adunque in serie col teorema di MACLAURIN ha per primo termine quello che contiene la variabile alla prima potenza; se questa variabile ha valori piccolissimi, quel primo termine si può considerare solo: quindi l'asserto precedente. Ciascun punto materiale, in questa condizione, si muove come se fosse attratto verso un centro fisso con una forza proporzionale alla distanza da questo. Le piccole oscillazioni, che esso fa, sono facili a studiarsi, e tutti sappiamo: sono *oscillazioni pendolari*. Orbene, la sensazione di un suono è dovuta ad una trasmissione di moto, che si fa dall'organo uditivo al cervello per mezzo di nervi: è dovuta a moti impressi a parti dell'organo e da queste comunicati a nervi che terminano in esse. Secondo la sagacissima analisi di HELMHOLTZ, le parti vibranti dell'orecchio, le quali comunicano i moti alle estremità nervose, sono le fibre trasversali della membrana *basilaris*, che è una di quelle che costituiscono la parete separante le due *rampe* della *chiocciola*, nella quale parete si diffondono innumerevoli estremità nervose. Quella membrana ha la forma di un triangolo isoscele allungatissimo ed è tesa soltanto nella direzione parallela alla base, trasversalmente.

Quindi è che se noi immaginiamo di quella membrana una esile striscia trasversale, compresa fra due rette parallele alla base, quella striscia potrà vibrare quasi indipendentemente dalle parti vicine, come una corda tesa; così l'intera membrana è paragonabile ad un'arpa composta di una infinità di corde parallele, di lunghezze di-

verse, varianti in modo continuo da un massimo uguale alla base del triangolo, fino a zero.

Sono queste fibre trasversali, elastiche, che vibrano sotto l'azione delle oscillazioni comunicate dall'esterno al liquido che riempie tutto il *labirinto*, e che per mezzo degli *organi del Corti* (piccoli cavalletti che si appoggiano sulla membrana *basilaris*, ed hanno il vertice in vicinanza delle cellule in cui fan capo i nervi) comunicano il moto al centro nervoso. Ma comunque la cosa succeda, sono parti elastiche, che, spostate pochissimo dalla loro posizione di equilibrio, si pongono in vibrazione: esse adunque debbono vibrare *pendolarmente*. E queste parti elastiche sono immerse in un fluido, a cui si comunicano dall'esterno i moti vibratorii; esse ricevono dal fluido vibrante, moti che si possono studiare colle regole della meccanica razionale. Questa mostrerebbe che il corpo immerso nel fluido si mette in movimento *per influenza*, o non vi si mette, secondochè scomponendo il moto del fluido in moti pendolari col metodo di FOURIER, si trova fra questi moti pendolari quello che quel corpo può prendere, oppure non lo si trova. Dunque, dato che il liquido, che riempie l'orecchio interno, ed in cui è immersa la membrana *basilaris*, riceve un moto oscillatorio qualunque, le diverse fibre di quella membrana si metteranno, o non si metteranno in moto, secondochè troveranno o non troveranno nel moto del fluido quel moto pendolare, che loro conviene. E il centro delle sensazioni, che comunica con quelle fibre per mezzo di filamenti nervosi diversi, sente quali di esse sieno in moto. Concludo: l'orecchio sceglie e scevera i moti pendolari per questo semplice fatto, che sono pendolari le piccole vibrazioni dei corpi leggermente spostati dalla loro posizione di equilibrio stabile.

Possiamo osservare il medesimo fenomeno prodursi in proporzioni diverse, ma identico nella sostanza, in uno strumento inanimato. Cantiamo o suoniamo una nota in vicinanza di un pianoforte aperto, di cui si sia abbassato il pedale. La nota, per sua natura, è semplice: è dovuta ad un'onda di forma ordinariamente diversa dalla sinusoidale, ma non per questo non è un tutto *uno*, che sta da sè. Ma arriva essa al pianoforte? Il pianoforte la scompone, la anatomizza. Voi sentirete, riprodotta dal piano, la medesima nota colla sua tempera; ma se fate attenzione, vi accorgete, che il suono, che vi viene dallo strumento, è partito da parecchie corde: ciascuna di queste ha preso per sè un moto pendolare. Dite A, il piano-forte dirà anche esso A; ma questa vocale partirà da diverse parti della serie delle corde; dite E, e sentirete E; ma v'accorgete facilmente che in questo E v'è qualche cosa che vi viene da sinistra, e qualche cosa che vi viene da destra, che nel suono che ricevete v'è qualche cosa, che è prodotto dalle corde più lunghe e qualche cosa che vi è mandato dalle corde più brevi. Se voi esaminaste più da vicino il fenomeno potreste riconoscere che ciascuna corda dà un suono pendolare, od un sistema di pochi suoni pendolari. Il piano-forte ha forse fatto un artificio di calcolo? Conosce forse la formola di FOURIER?

Riassumo: l'orecchio sente in un suono tre cose: la escursione massima del corpo vibrante, la durata della oscillazione, e le oscillazioni pendolari, che, sovrapposte, costituiscono l'oscillazione data. L'ampiezza determina l'intensità del suono, la durata del periodo determina l'altezza del suono, le altezze e le intensità dei suoni pendolari componenti determinano la *tempera* od il *metallo* del suono.

Un suono veramente musicale non è mai semplice; esso è tanto più *pieno* quanto più è ricco di armonici intensi; esso è più o meno *armonioso* a seconda dall'altezza degli armonici predominanti. Una bella voce umana è un vero accordo; ed un accordo non è che un suono di tempera fatta artificialmente, e più pieno che il solo suono fondamentale. L'affinità delle note è misurata dal numero degli armonici comuni.

Una vocale differisce da un'altra per i suoni che in essa accompagnano il suono più basso o *fondamentale*. Questo è prodotto dalla laringe, quelli sono dovuti alla risonanza della cavità della bocca. HELMHOLTZ trovò, che bastano a

caratterizzare una vocale uno od al più due suoni armonici, uno nelle vocali A, O ed U, per le quali la bocca, assume, per l'abbassamento della lingua, la forma di un imbuto o di una cavità arrotondata; due per le altre vocali, nel pronunziare le quali la lingua si innalza e lascia tra sè ed il palato uno spazio stretto tubolare, formante come un collo di bottiglia alla cavità posteriore, più ampia, della bocca. Questi armonici caratteristici delle diverse vocali sono quelli più vicini a certe note fisse, che son le stesse per tutte le voci e che sono indipendenti dall'altezza del suono fondamentale, alle quali HELMHOLTZ diede il nome di suoni *vocabili*. Stando alle determinazioni di HELMHOLTZ, esse sono le seguenti:

Per la vocale U, nel pronunziare la quale la bocca forma una cavità ampia in grazia dell'abbassamento della lingua, e le labbra lasciano tra loro una minima apertura, il suono proprio della bocca è il più basso, è f_1 .

Il suono corrispondente alla vocale O è b_1 .

Se passando per Oa e Ao si va gradatamente dall'O alla A, la bocca si apre sempre più e il tono della cavità boccale sale di una ottava, fino a b_2 . Se da A si passa ad Ae, ad E, ad I, le labbra si tirano indietro e si aprono, la lingua si alza lasciando tra sè ed il palato uno stretto canale; mentre lo spazio immediatamente sovrastante alla glottide si allarga. La cavità boccale ha allora, come si disse, la forma di una bottiglia con lungo collo, ed ha due suoni proprii corrispondenti l'uno al ventre della bottiglia e l'altro al collo. Questi suoni sono per la vocale Ae il d_2 ed il g_3 , per la vocale E il f_1 ed il b_3 , e per la vocale I circa il f (come per la U) ed il d_1 . Le vocali Ö ed Ü (EU ed U francesi) differiscono dall'E e dall'I perciò che, pronunziandole, le labbra si atteggianno a mo' di tubo, cosicchè esse formano un prolungamento dello stretto canale che corrisponde all'E ed all'I. Per queste vocali è perciò cambiato soltanto il suono del collo; esso è più basso che nella E e nella I: è cis_3 e g_3 fino ad as_3 come in Ae. I suoni più bassi rimangono f_1 ed f .

Se i miei colleghi mi hanno seguito fin qui, io spero di poter dare loro un'idea chiara dell'apparecchio che forma l'oggetto di questa conferenza.

Per trasmettere a distanza i suoni articolati sono necessarie due cose: 1° Un corpo, a cui col suono si possa imprimere un movimento identico, o poco diverso da quello che definisce l'onda sonora; 2° un mezzo per fare che da questo movimento, avvenuto in un sito, ne nasca a distanza un altro *formato dei medesimi movimenti pendolari*.

Nel telefono del Bell il corpo che riceve il movimento dall'aria vibrante è una lastrina circolare di ferro dolce tenuta su tutta la sua periferia in mezzo a due anelli di legno: la si vede in *bb* nella figura 6, che rappresenta una sezione dell'apparecchio fatta con un piano passante pel suo asse di figura. È sottilissima: a seconda degli usi che si vogliono fare del telefono, ha grossezze comprese fra un decimo e due decimi di millimetro. Leggera come è, flessibile perchè ricotta, essa ubbidisce prontamente al minimo sforzo che si eserciti sulla sua parte mediana, e appena cessata la forza che la mise in moto si ferma in un tempo brevissimo. Se l'aria che le sta davanti subisce variazioni periodiche di pressione, la sua porzione mediana si muove alternativamente in un verso e nel verso opposto. Così se ad essa arriva un'onda sonora, la sua parte centrale prende un moto oscillatorio che, tranne per l'ampiezza che è minore, non differisce da quello che piglierebbe uno strattello d'aria che occupasse il suo posto. A quelli de' miei uditori, i quali hanno avuto occasione di assistere ad alcuno di quei brillanti esperimenti colle fiamme manometriche, che da qualche anno si ripetono in tutti i pubblici corsi di acustica, posso dire: la lastrina vibra (fatta astrazione dall'ampiezza del movimento) come la lastrina di gomma elastica delle capsule manometriche. A chi conosce gli apparecchi grafici, con cui i fisici sogliono tracciare le vibrazioni sonore, potrei dire: la lastrina vibra come la membrana del fonautografo di SCOTT. Che la vibrazione della lastrina abbia molto prossimamente la forma di quella

che corrisponde al suono, con cui la si mette in moto, non sarebbe facile dimostrare teoricamente, *a priori*; ma sarà dimostrato sperimentalmente, *a posteriori*, dal perfetto accordo dei fatti colle nostre previsioni.

Il mezzo per fare che il movimento impresso a questa lastrina, primo mobile del congegno, ne provochi a distanza un altro composto delle medesime oscillazioni pendolari, fu trovato da GRAHAM BELL nelle proprietà delle correnti elettriche indotte colle calamite. Per far capire la possibilità della cosa, mi basta richiamare alla loro memoria due fatti sperimentali, che tutti hanno avuto occasione di vedere.

Primo fatto. Se in una spirale di filo metallico isolato si trasmette una corrente elettrica, la spirale acquista la proprietà di una calamita: esercita a distanza le stesse attrazioni e le stesse ripulsioni che sarebbero esercitate da una calamita rettilinea posta sul suo asse col polo nord a sinistra e col polo sud a destra della corrente. La destra e la sinistra di una corrente sono, per una nota convenzione, quelle di un osservatore che stesse adagiato sul filo così che la corrente percorresse il suo corpo dai piedi alla testa, e che guardasse verso l'interno della spirale. Se dentro alla spirale è collocato un cilindro, un *nucleo* di ferro dolce, questo ferro diventa veramente magnetizzato, e presenta i poli nella posizione, che si è detto, per tutto il tempo, per cui dura la corrente; ritorna allo stato naturale appenachè la corrente è cessata. Se finalmente il nucleo è un cilindro di acciaio già magnetizzato, se il nucleo è una calamita permanente, per tutto il tempo per cui dura la corrente, il suo stato magnetico riesce accresciuto od affievolito, secondochè la calamita equivalente alla spirale percorsa dalla corrente è orientata come essa, oppure in verso opposto. In faccia ad una delle estremità del nucleo, e ad una determinata distanza dalla medesima, sia collocato un pezzo di ferro; in grazia della corrente trasmessa nella spirale nasce tra esso ed il nucleo una forza attrattiva, o se il nucleo è permanentemente magnetizzato, la forza attrattiva, che esso esercita sul pezzo di ferro dolce, aumenta di una certa quantità positiva o negativa M . Questa attrazione, o questa variazione dell'attrazione, è legata alla intensità della corrente da leggi complicate quando questa è molto grande, ma per deboli correnti le è sensibilmente proporzionale. Tale è la legge che risulta dalle classiche esperienze di LENZ, e che porta il nome di questo fisico. Detta k una costante, ed i l'intensità della corrente, è

$$M = ki.$$

Se il pezzo di ferro dolce si avvicina al nucleo di uno spazio infinitamente piccolo ds , questa attrazione dovuta alla corrente fa un lavoro uguale a

$$Mds = kids.$$

Secondo fatto. Si abbia ancora una calamita collocata sull'asse di una spirale isolata, ed in faccia ad uno de' suoi poli sia collocato un pezzo di ferro: il tutto come precedentemente. Ma invece di far passare nella spirale una corrente, in virtù della quale varii l'attrazione della calamita sul pezzo di ferro, si uniscano semplicemente insieme i due capi della spirale, e si avvicini rapidamente il ferro alla calamita. L'esperienza mostra, che per quest'atto nasce nella spirale una corrente di verso contrario a quello che produrrebbe un aumento di attrazione; la quale corrente dura finchè dura il movimento del ferro, e cessa con questo. Se invece di avvicinare, si allontana il ferro dalla calamita, nella spirale nasce una corrente di verso contrario a quello della precedente, la quale dura finchè continua il moto di allontanamento. Queste correnti prodotte col movimento del pezzo di ferro in faccia alla calamita appartengono alla classe di quelle, a cui i fisici danno il nome di *correnti indotte*. L'intensità loro è legata alla velocità del movimento, da cui sono generate, dalla più semplice delle relazioni: le è proporzionale. È questo un fatto sperimentale; ma io lo posso dimostrare loro razionalmente, deducendolo come corollario dal principio della conservazione dell'energia, il quale oggidì governa tutta la scienza della materia. Supponiamo infatti di avvicinare il ferro alla calamita facendo-

gli percorrere uno spazio ds nel tempo infinitamente breve dt , e ciò tenendo chiuso il circuito, cioè tenendo uniti metallicamente insieme i due capi della spirale: poi supponiamo di ricondurre il ferro nella sua posizione primitiva, ma tenendo aperto il circuito, tenendo cioè separati i due capi della spirale. Se non vi fosse, durante lo avvicinamento, una corrente indotta, il lavoro fatto dalla attrazione della calamita nella esperienza sarebbe nullo, giacchè il lavoro positivo fatto durante l'avvicinamento sarebbe uguale, in valore assoluto, al lavoro negativo fatto durante l'allontanamento. Ma siccome v'è una corrente indotta di una certa intensità i , la quale produce una diminuzione ki nella intensità dell'attrazione, così il lavoro positivo sarà minore del negativo, e la differenza sarà:

$$kids.$$

Questo è il lavoro che si è dovuto spendere per produrre i due movimenti; quale ne è l'effetto? Esso produsse una corrente di intensità i , e questa sviluppò nel circuito una quantità di calore che, per la nota legge di JOULE, è proporzionale ad i^2 ed alla resistenza r del circuito.

L'equivalente meccanico di questa quantità di calore si può esprimere, dicendo h una costante, con

$$hri^2dt.$$

Ma il lavoro speso ed il calore prodotto debbono essere equivalenti, dunque:

$$kids = hri^2dt.$$

da cui

$$i = \frac{k}{h} \frac{1}{r} \frac{ds}{dt}.$$

Questi due fatti bastarono a GRAHAM BELL per fare che i movimenti alternativi della lastrina bb del telefono, della quale abbiamo parlato, potessero provocare nell'altra stazione, in un'altra lastrina di ferro, movimenti periodici composti colle medesime oscillazioni pendolari. In faccia alla lastrina bb (fig. 6) sta, coll'asse perpendicolare sul centro della medesima, una calamita cilindrica aa ; e l'estremità di questa più vicina alla lastrina vibrante è collocata entro ad una spirale cc di filo di rame isolato. Le estremità di questa spirale, per mezzo di due fili metallici d, d' , comunicano con due morsetti e, e' . A questi si attaccano due fili di linea, oppure, se le due stazioni sono lontane, un filo di linea ed un filo a terra; il filo od i fili di linea si uniscono, nell'altra stazione, ad uno strumento identico. Tutte le parti dell'apparecchio sono contenute, come mostra la figura, in un involucro di legno, presentante la forma di un semplice manubrio con un piccolo imbuto g . La fig. 7 mostra l'aspetto esterno dell'intero apparecchio. Esso funziona come trasmettitore o come ricevitore: per trasmettere si porta l'imbuto davanti alla bocca, a piccola distanza dalla medesima; per ricevere si applica l'imbuto contro l'orecchio.

Supponiamo che in faccia al telefono trasmettitore si produca un suono; per le alternative di aumenti e di diminuzioni della pressione dell'aria sulla sua faccia esterna la lastrina bb prenderà un moto oscillatorio: la sua parte centrale si avvanzerà ad ogni aumento di pressione e retrocederà ad ogni diminuzione di pressione; e siccome, secondo quel che si è detto, essa si ferma quasi istantaneamente appena è cessata la forza che la pose in moto, così in ogni istante essa avrà uno spostamento s proporzionale alla variazione della pressione. La distanza s del centro della lastrina dalla sua posizione di riposo è una funzione periodica del tempo, la quale definisce la forma dell'onda sonora mandata al telefono mittente. Ma la lastrina è affacciata alla calamita aa ed alla spirale di filo di rame isolato cc ; dunque, per quel che si disse, il suo movimento fa nascere in questa una corrente, la cui intensità i è legata allo spostamento s dalla relazione

$$i = \frac{k}{h} \frac{1}{r} \frac{ds}{dt}.$$

e quindi è anch'essa una funzione periodica del tempo.

Ora nel circuito di questa corrente è anche la spirale *cc* del telefono situato nell'altra stazione, il quale deve funzionare come ricevitore; la corrente variabile produce, nella calamita formante il nucleo di questa spirale, variazioni periodiche della intensità dello stato magnetico, onde nascono variazioni periodiche nella intensità dell'attrazione, che la calamita esercita sulla lastrina che le sta affacciata. Egli è chiaro che questo variare periodico della intensità dell'attrazione esercitata sulla lastrina, deve produrre in questa i moti stessi, che vi sarebbero prodotti da una periodica variazione della pressione dell'aria: un aumento di attrazione fa avvicinare il centro della lastrina alla calamita, come farebbe un aumento di pressione avvenuto sull'altra faccia di essa; una diminuzione di attrazione fa che la lastrina si allontani dalla calamita, come farebbe una diminuzione sopravvenuta nella pressione dell'aria. In grazia della corrente variabile, adunque, la lastrina si muove, come si muoverebbe per effetto di un'onda sonora, la cui forma fosse definita dalla funzione *M*, ossia dalla funzione *ki* del tempo. Ricordando il valore di *i* dato poc'anzi, diremo anche, che la lastrina del telefono ricevente prende il moto che le sarebbe comunicato da un'onda sonora di forma definita dalla funzione

$$s' = \frac{k^2}{h} \frac{1}{r} \frac{ds}{dt}$$

Ora vedesi, che quest'onda è bensì in generale diversa dalla *s*, ma che essa consta delle medesime onde elementari. Se infatti si ha

$$s = a \sin \frac{2\pi}{T}(t + \alpha) + b \sin \frac{4\pi}{T}(t + \beta) + c \sin \frac{6\pi}{T}(t + \gamma) + \dots$$

si ricava dall'ultima relazione

$$s' = \frac{k^2}{hr} \frac{2\pi}{T} \left(a \sin \frac{2\pi}{T} \left(t + \alpha + \frac{T}{4} \right) + 2b \sin \frac{4\pi}{T} \left(t + \beta + \frac{T}{8} \right) + 3c \sin \frac{6\pi}{T} \left(t + \gamma + \frac{T}{12} \right) + \dots \right)$$

Dunque il movimento impresso all'aria dalla lastrina del telefono ricevente deve produrre nell'orecchio prossimamente la stessa sensazione, che vi produrrebbe il suono, con cui si è posta in moto la lastrina del telefono mittente.

Egli è ciò che l'esperienza dimostra in modo sorprendente: non solo tutte le inflessioni della voce di chi parla, ma le tempere, che distinguono le voci delle diverse persone, sono riprodotte così da far credere che la persona che parla sia essa stessa nello strumento, che teniamo all'orecchio, e soltanto sia separata da noi da qualche sottile parete, che ne affievolisca la voce. Non solo voi potete, cantando, mandare ad una persona lontana la magia delle note, ma, declamando, voi potete commuovere, e far palpitare con voi un amico lontano centinaia, e chissà, migliaia di chilometri. Nel valore di *s'* scritto qui sopra, figura la resistenza *r* al denominatore, ed i suoni ricevuti sono, come è naturale, tanto più deboli, quanto maggiore è la lunghezza del filo, con cui i due telefoni sono riuniti; ma non tanto che frapponendo nel circuito, con *rocchetti di resistenza*, resistenze equivalenti a mille e più chilometri di filo telegrafico normale (di 4 millimetri di diametro), non si riesca tuttavia a sentire distintamente, da un capo all'altro di questa linea formidabile, tutte le parole. Per superare grandi resistenze lo stromento dev'essere convenientemente proporzionato; esso è soggetto alla regola generale, con cui vogliono proporzionare tutti gli apparecchi elettrici: la resistenza del filo, con cui è fatta la spirale, dev'essere tanto maggiore, quanto è maggiore la resistenza della linea. Io ebbi occasione di sperimentare coi telefoni costruiti abilissimamente dal cav. Maroni, ingegnere capo dei telegrafi dell'Alta Italia, che pel primo, fra noi, riuscì, valendosi di sole descrizioni incomplete, a costruire apparecchi soddisfacenti. Quei telefoni erano proporzionati colla regola, che io ho detto, ed avevano una spirale di filo sottilissimo e

lungo così da presentare una resistenza di ben diciassette chilometri di filo telegrafico normale, circa otto volte e mezza quella presentata dalla spirale dell'apparecchio che noi abbiamo sotto agli occhi. Con quei telefoni i suoni si sentivano maravigliosamente intensi anche quando si ponevano nel circuito nove corpi umani, quando cioè una porzione della linea era costituita da nove persone che si davano la mano.

La grossezza della lastrina è della massima importanza, e vuole essere diversa a seconda degli usi, a cui il telefono si destina. Troppo grossa, la lastrina cede difficilmente alle variazioni di pressione dell'aria, ed alle variazioni della forza attrattiva della calamita; troppo sottile, essa rende l'apparecchio troppo delicato: in primo luogo perchè riesce minore la massa di ferro vibrante e quindi l'induzione; in secondo luogo perchè la lastrina troppo leggera e flessibile prende moti troppo ampi e può urtare la calamita ogniqualvolta le si invia un suono troppo intenso. L'ingegnere Maroni mi mostrò diverse lastre, che egli adopera con buoni risultati in casi diversi. Quelle, che gli servono quando il telefono è adoperato nel modo ordinario, cioè per trasmettere suoni prodotti in faccia all'imbuto, non servirebbero ugualmente bene quando si volessero col telefono trasmettere suoni prodotti a distanza, per esempio quando si volesse trasmettere il suono di una orchestra od il canto di un coro. Servono invece bene a quest'uso lastre molto più sottili, veri fogli di carta.

Essendo minime le forze, che debbono mettere in moto le lastre, queste debbono essere perfettamente pulite, onde evitare di dover porre in moto masse non magnetiche, epperò inattive. Il minimo straterello di ruggine basta ad affievolire notevolmente i suoni trasmessi. Perciò si coprono le lastre di una sottile vernice, o meglio di uno strato di nickel deposto galvanicamente. Ma bisogna evitare di dare a questi strati protettori grossezze eccedenti il bisogno; soprattutto quando si adoperi il nickel, il quale non solo aumenta la massa, ma accresce in grande misura la rigidità della lastrina. Quest'effetto è evidentemente tanto più temibile quanto più la lastrina è grossa; il cav. Maroni riconobbe infatti che le lastre dovevano essere assai più sottili quando erano protette col nickel che quando erano scoperte.

Ho detto: i movimenti impressi all'aria dalla lastrina vibrante del telefono ricevente producono nell'orecchio *prossimamente* l'impressione, che vi sarebbe prodotta dal suono, con cui si è posta in moto la lastrina del telefono mittente; prossimamente, non esattamente. Che la tempera dei suoni trasmessi col telefono debba riuscire alquanto alterata, e come debba essere alterata, ci è detto dalla stessa teoria, che io ho abbozzato, dello strumento. Nella serie esprime il valore di *s'* figurano bensì tutti i termini della serie trigonometrica esprime il valore di *s*, ma i coefficienti, che in questa stanno fra loro come *a:b:c...*, in quella stanno invece fra loro come *a:2b:3c...* I suoni elementari più acuti hanno adunque, rispetto ai suoni elementari più gravi, rispetto al suono fondamentale, una intensità più grande nel suono ricevuto per mezzo del telefono, che nel suono ricevuto direttamente. Ora si sa, che la presenza di armonici acuti intensi produce una tempera mordente, penetrante, metallica; i suoni di uno strumento ad ancia o di una tromba, così squillanti e penetranti, differiscono dal suono di un flauto, dal suono di una canna d'organo di legno, dal suono di un diapason, così dolci e molli, per questo soltanto, che contengono armonici acuti di grande intensità. Il suono di una *boite à musique* differisce dal suono di un pianoforte per la maggiore importanza che in esso hanno gli armonici acuti; il suono di un martello, che batte su di una incudine, si distingue da quello prodotto battendo le mani per la maggiore intensità, che in quello hanno i suoni elementari di piccola lunghezza d'onda. Orbene, fatevi trasmettere col telefono il suono flautato d'una canna d'organo di legno, e questo vi sembrerà prodotto da un cornetto di ottone ad ancia; fatevi trasmettere il suono di un pianoforte, e sentirete una *boite à musique*; fate battere le mani in faccia al telefono mittente, e sentirete

col telefono ricevente il rumore di un piccolo martello, che percuote una incudine. Tutti coloro che provano per la prima volta il telefono, restano colpiti da questa leggera alterazione della tempera, per cui il suono prende qualche cosa di metallico; e, quasi istintivamente, si spiegano il fatto dicendo: nulla di più naturale, è una lastra metallica quella che vibra..... Ebbene, a parer mio, questa spiegazione del fatto, così ovvia, non regge; la lastrina non vibra per la propria elasticità, è una lastrina ricotta, dolcissima, e, percossa con un corpo duro, rende un suono che non è più metallico di quello dato da un pezzetto di latta battuto nel medesimo modo. Una esperienza semplicissima ed altrettanto concludente viene in appoggio della mia opinione; aumentate, con un reostato, la resistenza del circuito, e sentirete la notata alterazione della tempera farsi più e più marcata. Ora, giusta la teoria che io ho svolto, ciò è evidente, giacchè i suoni bassi, che sono i più affievoliti dal telefono, debbono spegnersi più rapidamente coll' aumentare della resistenza. — Se la metallicità del suono fosse invece dovuta all'essere metallica la lastra vibrante, essa dovrebbe essere tanto meno sentita quanto meno è intenso il suono, giacchè col diminuire l'ampiezza delle oscillazioni di una lastra, scema la intensità degli armonici acuti.

Il telefono rinforza i suoni elementari acuti rispetto ai suoni elementari più bassi ed al fondamentale; senza che io lo dica, nasce dalle cose dette, che anche il suono fondamentale, quello che determina l'altezza del suono complesso, è tanto meglio trasmesso, quanto più è acuto. Vedano nella serie, che esprime il valore di s' , il fattore $\frac{2\pi}{T}$ fuori della parentesi, il quale è tanto più grande, quanto è minore il periodo T . Dunque la voce di un soprano è trasmessa più volentieri che quella di un basso: bisogna dire che il telefono non ha affatto cattivo gusto (1).

Testè io affermai di avere trasmesso col telefono la voce e le parole anche interponendo nel circuito resistenze enormi, di 1000, di 2000, e, con gli strumenti del Maroni, di 9000 o di 10000 chilometri. Erano queste resistenze fatte con spirali di filo perfettamente isolato, e perciò le nominate esperienze non dicono nulla sulla massima distanza, a cui si potrebbe trasmettere la parola su vere linee telegrafiche, ove oltre alla resistenza v'hanno numerosissime derivazioni. Tuttavia non è permesso dubitare, che la trasmissione non si possa fare tra due città, su linee lunghe alcune centinaia di chilometri, come si fa cogli ordinari telegrafi. Diventerà il telefono il telegrafo dell'avvenire? L'avvenire lo dirà; attualmente però, colla struttura che ha lo strumento, v'ha una circostanza, che ne limita notevolmente l'applicabilità. L'apparecchio attuale del BELL ha un difetto, che risulta dalla sua stessa squisitezza, la quale consiste nel poter operare per effetto di correnti estremamente deboli. Quando il filo di linea è collocato in vicinanza di altri fili telegrafici, le correnti, che si trasmettono in questi, producono sulla linea del telefono correnti di induzione, per cui col telefono si sentono con grande forza tutti i colpi del tasto Morse o tutte le emissioni di corrente del trasmettitore di Hugues. Se in vicinanza del filo del telefono v'hanno parecchie linee servite da telegrafi ordinari, si sente, come notò per primo il PREECE, e come verificarono quanti fecero poi l'esperimento, un picchiare continuo come di gragnuola su' vetri, che toglie ogni possibilità di servirsi dello strumento pella trasmissione della voce. Io stesso ebbi occasione di constatare l'intensità di questi effetti di induzione pur operando sulla brevissima linea (di 50 metri) che avevo impiantato, per provare lo strumento, nel gabinetto di fisica del Museo Industriale. Anzi varia i in molti

(1) In un esame più completo dei fenomeni, che avvengono nel telefono, bisognerebbe tener conto del tempo necessario alle correnti indotte per prodursi e per scomparire. È questa una circostanza, che nuoce più alla trasmissione de' suoni acuti, che a quella de' suoni bassi. Ma non sarebbe difficile vedere, che la sua influenza sulla intensità de' suoni trasmessi può modificare, non distruggere i fatti, che abbiamo asserito.

modi l'esperimento. Sostituii al tasto Morse una soneria elettrica ordinaria, e con un telefono collocato su d'un circuito vicino sentii distintamente tutti i colpi del martello, benchè nel locale ove era collocata la soneria non esistesse alcun telefono. Sostituii alla soneria una sirena elettrica, cosicchè si avesse nel circuito una successione di correnti frequenti come le vibrazioni corrispondenti ad un suono musicale, e col telefono collocato sul circuito vicino ne sentii fortissimo, con tutti i suoi caratteri, il suono. Per ultimo riuscii a trasmettere la parola da un telefono posto su di una linea ad un altro telefono posto su di una linea vicina, e che col primo non comunicava metallicamente in nessuna maniera (*).

L'inconveniente è grave, ma non vuol essere esagerato; non è infatti improbabile che si trovi modo di rendere lo strumento meno delicato, e tale da non funzionare se non per effetto di correnti di notevole intensità. Allora i fenomeni di induzione potranno farsi insensibili.

Sostituirà allora il telefono gli attuali telegrafi? Io credo che ciò non si possa, per ora, asserire: non ne abbiamo bisogno, poichè fra questi ve n'ha di quelli, che colla massima sicurezza, e con una rapidità maggiore di quella della parola, *sua. pavo* i telegrammi. Ma qualunque siano per essere i perfezionamenti futuri, qualunque abbiano da essere le applicazioni della invenzione, sulla quale noi ci siamo intrattenuti, pare a me che queste questioni siano adesso non solo oziose, ma indecorose. Un trovato scientifico, come un lavoro artistico, ha in se stesso i caratteri, che lo debbono far apprezzare, e la sua importanza, la sua bellezza, il suo diritto alla nostra considerazione sono indipendenti dalla utilità pratica, che quel trovato o quell'opera possono avere. Quando, contemplando un prodotto della scienza od un'opera d'arte, noi sentiamo in noi quella soddisfazione che ci fa dire: Bello! — quel prodotto, o quell'opera sono utili in sè. Chi nelle ricerche scientifiche avesse sempre in mira le applicazioni, non troverebbe mai nulla; e chi, nel giudicare dell'importanza di una scoperta, non sapesse vedere altro che l'utilità, che essa può avere, proverebbe di non avere gustato mai la vera gioia del sapere. Tale almeno è il mio modo di sentire.

(*) Da alcuni esperimenti fatti in questo modo si può dedurre una dimostrazione, a parer mio, concludente quanto semplice, del principio di Helmholtz sulla indipendenza della tempera dei suoni dalle fasi dei suoni componenti, e di questa dimostrazione feci l'oggetto di una *Nota* che fu letta alla *Accademia delle Scienze* nella seduta del 27 gennaio ultimo scorso.

L'esperienza, da cui io ricavo questa dimostrazione, è la seguente. Dispongo (fig. 13) in una stazione A un telefono F; in

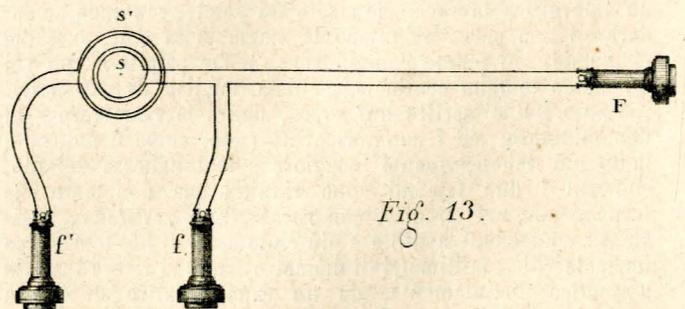


Fig. 13.

un'altra stazione B dispongo due spirali isolate s ed s' collocate una dentro l'altra come nei rocchetti d'induzione, e due telefoni identici f ed f' . Per mezzo di due fili di linea collocati fra le due stazioni formo un circuito comprendente il telefono F, il telefono f , e la spirale interna s . Formo nella stazione B un altro circuito composto della spirale esterna s' e del telefono f' . Posso così, stando nella stazione B, sentire un suono prodotto nella stazione A, sia col telefono f posto nel circuito del telefono mittente F, sia col telefono f' posto in un altro circuito ed operante soltanto

per induzione; e posso paragonare i due suoni ricevuti nelle due maniere. Questi due suoni corrispondono ad onde le cui forme sono definite dalle formole, che esprimono in funzione del tempo le intensità i ed i' delle correnti periodiche, per effetto delle quali funzionano i due telefoni riceventi f ed f' . Ora i' è indotta da i , e si ha perciò, dicendo h una costante,

$$i' = -h \frac{di}{dt};$$

quindi se si ha

$$i = a \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T}(t+\alpha) + b \operatorname{sen} \frac{4\pi}{T}(t+\beta) + c \operatorname{sen} \frac{6\pi}{T}(t+\gamma) + \dots,$$

risulta

$$i' = -h \frac{2\pi}{T} \left\{ a \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} \left(t + \alpha + \frac{T}{4} \right) + 2b \operatorname{sen} \frac{4\pi}{T} \left(t + \beta + \frac{T}{8} \right) + 3c \operatorname{sen} \frac{6\pi}{T} \left(t + \gamma + \frac{T}{12} \right) + \dots \right\}.$$

Dunque i suoni ricevuti col telefono f' , per induzione, contengono i medesimi suoni elementari che costituiscono i suoni trasmessi direttamente e ricevuti col telefono f , ma *colle fasi cambiate*. Si può così, paragonando i due suoni, vedere se la variazione delle fasi abbia qualche influenza sulla tempera. I suoni che si prestano meglio a queste ricerche, sono quegli stessi su cui sperimentò HELMHOLTZ, quelli delle vocali. Per caratterizzare una vocale, bastano due od al più tre termini della serie i , e quindi della serie i' : purchè questi termini siano i preponderanti, la vocale rimane la stessa; così non disturba l'esperienza l'alterazione dei coefficienti a , b , c ... L'esperienza riesce concludentissima, tutte le vocali cantate nella stazione A in faccia al telefono F furono indovinate e sentite identiche coi due telefoni f ed f' .

Nella serie i' i coefficienti dei termini successivi sono moltiplicati per 2, 3, 4...; dunque nei suoni ricevuti per induzione, gli armonici acuti debbono predominare più che nei suoni ricevuti per trasmissione diretta. Questo fatto fu constatato in molte maniere.

MECCANICA APPLICATA

LE TRASMISSIONI DEL MOTO PER MEZZO DI FUNI DI CANAPA

I.

La Società degli Ingegneri Meccanici inglesi si è occupata ultimamente del modo di trasmettere la forza motrice servendosi di funi di canapa. Il signor Durie, di Manchester, vi ha letto un'elaborata memoria, la quale diede luogo ad una importante discussione.

Trattasi di un sistema di trasmissione ancora poco conosciuto in Italia, molto adoperato in Inghilterra e in America, e che più recentemente si è pure diffuso in Svizzera e nel nord della Francia.

È da una ventina d'anni che parecchi ingegneri studiano ai mezzi meccanici più vantaggiosi per la trasmissione della forza dalle macchine motrici agli alberi destinati a muovere le diverse macchine operatrici di un qualsiasi stabilimento.

Il sistema più generalmente in uso fino al giorno d'oggi è stato sempre una combinazione più o meno bene studiata di alberi orizzontali in ferro con ruote dentate o piane o coniche, e con alberi verticali se trattasi di dare il moto ad uno stabilimento di più piani.

Ma queste trasmissioni sono state sempre l'oggetto di molte critiche. Si dice che gli alberi e le ruote costano assai, e vogliono muri e sostegni considerevolmente massicci e dispendiosi molto; assorbono molta parte di forza motrice in resistenze passive; danno luogo a scosse e rumori

poco aggradevoli; a tremiti inevitabili, tosto o tardi dannosi; a spese di manutenzione considerevoli, a forzate sospensioni del lavoro, ecc.

Non crediamo sia il caso di perderci a confutare siffatte obiezioni, le quali a dir vero non hanno alcuna gravità, semprechè si tratti di trasmissioni bene studiate, e costruite a dovere. Le trasmissioni per mezzo di ruote dentate non danno luogo a difficoltà della natura di quelle ora indicate; soltanto esigono una costruzione intelligente ed una accuratezza alla quale non si dà assolutamente alcuna importanza dai nostri mestieranti.

Le trasmissioni per mezzo di cinghie furono fino a questi ultimi anni limitate ai casi di piccole forze. Ma da qualche tempo si manifestò una certa tendenza a servirsene per forze sempre più ragguardevoli; numerose e svariate applicazioni si sono già fatte con ottimo successo; si arrivò perfino a servirsene a mettere in moto il carrello dei grandi laminatoi, e si ammette che siansi avuti risultati egualmente soddisfacenti.

Quando si ha da trasmettere una forza considerevole direttamente presa dall'albero motore non sono più le cinghie di cuoio quelle che possono dare un risultato pratico; ne sono ostacoli la larghezza che alle medesime dovrebbero dare, e la difficoltà di evitare lo scorrimento, non meno che la spesa elevata di primo acquisto e di manutenzione.

Allo scopo di evitare questi inconvenienti si pensò dagli ingegneri inglesi a sostituire alle cinghie di cuoio un certo numero di corde di canapa fra loro parallele, ed è appunto sul particolare di codesto sistema di trasmettere il moto, e sui risultati ottenuti, che intendiamo brevemente discorrere.

II.

La disposizione più generalmente adottata è quella di applicare le corde al volante della macchina motrice; alla corona del volante è fatta per ciò una serie di gole tutte uguali e parallele nelle quali si vengono ad adagiare le funi. Queste gole, di cui il numero e le dimensioni variano evidentemente secondo la grandezza della forza motrice ed il diametro della fune, sono fatte a cuneo, con angolo di 40° ; della stessa forma sono per l'ordinario le gole della puleggia condotta. Un angolo troppo ottuso favorisce lo scorrimento delle funi; un angolo troppo acuto è causa di un inconveniente opposto, ossia la fune rimane incastrata. Sembra un particolare da nulla, eppure dalla forma delle gole dipende l'economia della forza motrice, e più ancora la durata delle funi.

Occorre appena di far notare, e d'altronde la figura 14 il dimostra chiaramente, che le funi non toccano il fondo della gola, ma debbono solo appoggiarsi sui fianchi.

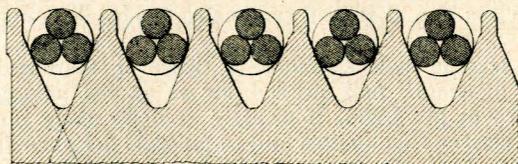


Fig. 14.

Del resto le funi sono fatte di canapa di prima qualità, a lunghi filamenti, e debbono essere ben torte; il loro diametro varia da 35 a 60 mm. a seconda della forza da trasmettere; e le intrecciature d'unione vogliono essere fatte con molta cura e per una grande lunghezza affinché il diametro della fune nei tratti riuniti non riesca sensibilmente superiore a quello normale di tutta la fune; così per es. in una fune del diametro di 52 mm. l'intrecciatura dei capi non deve estendersi meno di tre metri.

La durata delle funi, purchè soggette a sforzi moderati su cui fra poco ritorneremo, è bastantemente lunga; se ne citano alcune le quali avrebbero durato dieci anni, e vuolsi che sia da 3 a 5 anni la loro durata media.

Per non forzarne troppo il grado di resistenza, e non moltiplicarne oltre misura il numero, è conveniente di farle

camminare a grande velocità. Le velocità finora adottate sono fra i 15 e i 30 metri per minuto secondo; ma più generalmente si resta al disotto dei 20 metri. Non sempre la velocità della macchina motrice e il diametro del volante permettono di raggiungere una così grande velocità; si ricorre allora ad un albero secondario di trasformazione della velocità, ed è su questo e sull'albero di trasmissione che si calettano le puleggie a gola e si accavalciano le funi.

Ciò che è essenziale di mantenere è la giusta proporzione fra il diametro delle puleggie e quello delle funi, per diminuire le resistenze, e perchè tutte le fibre abbiano eguale tensione; diversamente la durata delle funi è troppo breve; epperò si ammette che il diametro delle puleggie non debba essere inferiore a trenta volte il diametro della fune.

Il sistema di trasmissione con funi di canape permette una qualche latitudine nella distanza tra l'albero motore e quello a cui il moto è trasmesso. Si hanno esempi molteplici di distanze comprese fra 6 e 18 metri, alle quali si sono sempre ottenuti buoni risultati.

Dicemmo più sopra che le funi devono essere sottoposte a sforzi moderati, perchè bastantemente lunga ne sia la durata. A meglio precisare il precetto, diremo che per quanto piccola sia la distanza delle due puleggie, la fune non deve essere tesa tanto da avvicinarsi sensibilmente alla linea retta, chè diversamente l'usura sarebbe molto rapida, e le rotture assai frequenti. Convieni inoltre, quand'è possibile, porre il tratto condotto al disopra, e il conduttore al disotto, perchè il primo che è sempre meno teso contorna il volante e la puleggia per una maggiore lunghezza, ed aumenta così la superficie d'aderenza. Nel caso contrario la fune abbandona più presto la gola, e la superficie di aderenza è notevolmente minore.

Volendo sostituire le funi di canapa agli ingranaggi, se la velocità dell'albero motore è sufficiente, vi si inalbera un volante con corona fatta a gole, od anche si applicano al volante primitivo dei segmenti di corona incavata a gole. Che se la velocità non è sufficiente, o non vi è nella fossa per il volante la larghezza sufficiente, si ricorre ad un albero sussidiario.

III.

Si citano come ottimi esempi di trasmissioni per mezzo di funi di canapa:

1. Lo stabilimento di filatura e tessitura di A. ed I. Nicolle a Dundée. Una macchina a vapore orizzontale, con cilindri ad alta e bassa pressione, sviluppa una forza indicata di 400 a 425 cavalli-vapore facendo 43 giri al minuto. Il volante ha il diametro di m. 6,705, e la sua corona ha la larghezza di m. 4,473; essa riceve 18 funi del diametro di 52 mm. La velocità del volante alla periferia è di m. 15,08 per minuto secondo. La tensione sostenuta da ogni singola fune è di circa chg. 8,40 per centimetro quadr. di sezione effettiva.

Il piano terreno dello stabilimento riceve il movimento per mezzo di cinque funi accavalcate su di una puleggia del diametro di m. 2,286. Il primo e secondo piano sono comandati ciascuno da quattro funi su puleggie del diametro di m. 1,676. La tessitura che è dall'altra parte della macchina a vapore è mossa da cinque funi su puleggia del diametro di m. 2,286.

Lo stabilimento è in moto dal mese di giugno 1870.

2. Lo stabilimento di filatura e tessitura di Howrah a Calcutta. Due macchine a vapore con cilindri ad alta e bassa pressione muovono un albero solo che porta un volante del diametro di m. 8,534, e del peso di 57 tonnellate. La sua corona ha una larghezza di m. 4,752, e presenta ventidue gole per funi di 56 mm. di diametro. I motori hanno la forza indicata di 800 cavalli-vapore; il volante fa 40 giri al minuto, e la velocità circonferenziale è di m. 17,86 per minuto secondo. La tensione di ogni fune è di chg. 9,53 per cent. quadrato di sezione effettiva.

I diversi alberi di trasmissione sono disposti fra loro parallelamente; quelli verso il mezzo sono messi direttamente in moto dalle funi del volante, e gli altri per mezzo di funi di rimando messe in movimento dai primi. Tutte queste

funi e rispettive puleggie si trovano in una specie di corridoio lungo quanto tutta la fabbrica, e si ha così con funi di canapa una riproduzione in piccola scala di ciò che sono le trasmissioni a grandi distanze con funi di ferro.

3. Lo stabilimento di filatura e tessitura del *jute* di Samnugyar ha presso a poco le stesse disposizioni; quattro macchine motrici coniugate ad un solo albero motore hanno complessivamente una forza indicata di 1000 cavalli-vapore. Il volante, del diametro di m. 8,534, ha una corona della larghezza di 2 m. con 25 gole per funi di 52 mm. di diametro. Esso fa 43 giri per minuto; la velocità alla periferia è di m. 19,20 per minuto secondo, ed ogni fune può avere a sostenere lo sforzo di chg. 11,05 per cent. quadrato di sezione effettiva.

4. In altro stabilimento più recentemente costruito, una macchina orizzontale ad alta e bassa pressione della forza indicata di 35 cavalli-vapore trasmette il movimento per mezzo di 14 funi di 56 mm. di diametro. Il volante ha il diametro di m. 6,705, e la larghezza alla corona di m. 1,114. Esso fa 45 giri al minuto; a velocità alla periferia è quindi di m. 15,79 al secondo e la tensione delle funi è di chg. 10,42 per cent. quadrato.

5. È pure proposta ad esempio una filatura di cotone in Inghilterra, che nel 1875 cambiò le trasmissioni ad ingranaggi in quelle a funi di canapa. La forza motrice è di 300 cavalli indicati; il volante ha il diametro di m. 6,705 con 12 funi di 50 mm. La forza è trasmessa a destra ed a sinistra a 9 metri di distanza. La velocità circonferenziale del volante è di m. 17,78 per secondo; la tensione delle funi di chg. 8,42 per centimetro quadrato di sezione. Le funi di canapa hanno costato 1825 lire; se si fosse dovuto trasmettere la stessa forza con cinghie di cuoio, sarebbe fatta una spesa di 7 mila lire.

IV.

Non è senza interesse un po' di paragone tra il sistema di trasmettere il moto per mezzo delle funi di canapa, e gli altri due sistemi delle cinghie e delle ruote dentate.

Anzitutto è evidente che le funi di canapa hanno gli stessi vantaggi inerenti all'impiego delle cinghie di cuoio; vuolsi anzi che per la minore tensione alla quale le funi lavorano, e per la maggiore elasticità, la trasmissione del moto avvenga in modo ancor più regolare. Ma il precipuo loro vantaggio deriva dacchè ad eguale larghezza di corona delle puleggie la forza possibile ad essere trasmessa con funi di canapa è sensibilmente maggiore. Comprendesi di fatti che funi di canapa serrate a cuneo fra le guancie laterali di una puleggia a gola acquistino una aderenza ben più considerevole di quella che potrebbe avere una cinghia di cuoio la quale abbracci la corona a superficie liscia e necessariamente convessa di una puleggia ordinaria.

Il signor Durie nella sua memoria ci dà questo risultato pratico, da lui personalmente trovato. Una fune di canapa di 52 millimetri di diametro, moventesi colla velocità di 15^m,24 per minuto secondo, trasmette lo stesso lavoro di una cinghia della lunghezza di 10 cent. la quale cammini colla stessa velocità. In queste condizioni egli giudica che la pressione esercitata dalla fune sulla puleggia debba essere quattro volte quella esercitata dalla cinghia di cuoio. Suppongasì infatti di avere una cinghia di cuoio della larghezza di 10 cent. accavalcata su di una puleggia di 1^m,50 di diametro. La superficie di contatto o di aderenza sarà $0,75 \times 3,14 \times 0,10 = 0,235$. Mentre invece per una fune di canapa del diametro di 52 mm. che praticamente aderisce per 13 mm. su ciascun lato della gola, quella superficie non sarà che $0,75 \times 3,14 \times 0,026 = 0,0612$ ossia presso a poco quattro volte minore.

Con una trasmissione per mezzo di funi di canapa si può inoltre molto facilmente suddividere la forza motrice; la stessa cosa potrebbe in vero ottenersi colle cinghie di cuoio, se invece di prendere la forza direttamente sul volante per mezzo di una cinghia sola, la si ricevesse da più puleggie calettate su di un albero motore ausiliario.

La spesa di primo impianto è sensibilmente maggiore volendosi impiegare le funi di canapa; a motivo del mag-

gior peso che deve avere la corona delle puleggie a più gole; essa è accresciuta della metà, od anche dei due terzi. Al contrario le spese di manutenzione sono minime per confessione degli industriali che le adoperano, ed a forze uguali da trasmettere, le funi di canapa costano appena il terzo delle cinghie di cuoio.

Quanto alle resistenze passive dei due sistemi, sarebbe pure interessante poter fare esperimenti comparativi. Le scuole e le esercitazioni di meccanica applicata si sono istituite anche per questo; ma dal dire al fare vi è sempre una *soluzione di continuità*. Pare ad ogni modo che non vi sia divario molto sensibile.

In conclusione, ed a malgrado del prezzo molto più elevato delle trasmissioni con funi di canapa, queste presentano comprovati vantaggi sulle cinghie di cuoio, soprattutto per grandi forze.

Che se facciamo il paragone col sistema di trasmissione ad ingranaggi si giunge pure ad una stessa conclusione; essendochè è fuori dubbio che a motivo della loro elasticità e leggerezza e della debole tensione, le funi di canapa sono eminentemente adatte ad attuire le scosse che provengono dalle subitanee variazioni del lavoro delle diverse macchine operatrici, e che perciò i pericoli di rotture sono grandemente diminuiti. E per la suddivisione immediata della forza motrice, se mai venisse a rompersi una fune, una sola parte dello stabilimento dovrà rimanere ferma e per poco tempo.

Tuttavia non può negarsi che anche il sistema delle funi di canapa ha i suoi inconvenienti, come la necessità dell'impiegare certi volanti con corone di larghezze enormi, e per es. della larghezza di 2 metri per un lavoro di mille cavalli indicati, e la necessità di far passare a grande velocità tante funi attraverso il locale ove la macchina a vapore si trova.

Oltrechè converrebbe qui d'avere risultati comparativi un po' precisi sulla quantità di forza motrice assorbita dalle resistenze passive sia nelle trasmissioni con funi di canapa, sia nelle trasmissioni per ingranaggi. E questi dati non ci sono. Si dice bensì da tutti che le resistenze passive nelle trasmissioni con funi sono molto minori, ma non sembra che queste asserzioni siano poi comprovate dai fatti. Parrebbe al contrario da una esperienza precisa dataci dal signor Durie, che la forza assorbita sia presso a poco la stessa. In una officina inglese si è soppresso un albero verticale che trasmetteva la forza di 400 cavalli indicati, comandato da ruote coniche, e vi furono sostituite due cinghie di cuoio della larghezza di 560 e 685 mm. le quali camminavano colla velocità di 15^m,24 al secondo. La forza assorbita dalle resistenze passive fu trovata sensibilmente la stessa. Abbiamo detto d'altronde che le funi di canapa e le cinghie di cuoio consumano presso a poco la stessa forza. Non pare dunque vi sia quel vantaggio, che generalmente si dice tanto più ove si consideri che quell'albero verticale erasi tolto, perchè le ruote dentate funzionavano male.

Sulla spesa di primo impianto per trasmissione a tutta un'officina col mezzo di funi di canapa mancano pure ragguagli precisi.

Non pare tuttavia improbabile che sia minore di quella per ingranaggi tenuto conto del minore sviluppo di alberi, la qual cosa sarà tanto più vera sempre che si tratti di stabilimenti a più piani, nei quali si potrà fare a meno degli alberi verticali. Ma per gli stabilimenti a pian terreno vi è da notare che se si sopprime l'albero longitudinale e le ruote coniche le quali comunicano il movimento agli alberi trasversali, l'economia è resa dubbia dalla moltitudine di puleggie a gola necessarie per le stazioni di rimando e da un vero labirinto di funi. Citiamo ad esempio lo stabilimento di Howrah a Calcutta, di cui si disse più sopra che è munito di 28 puleggie a gola per muovere 48 alberi secondari e che richiede non meno di 2600 m. di funi. Certamente questo genere di trasmissioni trova la sua ragion d'essere nelle Indie inglesi e in quei paesi dove per la mancanza di officine meccaniche le trasmissioni per ingranaggio diventano molto costose e possono pure mancare gli operai per le occorrenti riparazioni. Ma può darsi be-

nissimo che anche tra noi sianvi casi in cui il sistema di trasmissione e suddivisione della forza motrice possa per mezzo di funi di canapa rendere utili servigi.

IDRAULICA PRATICA

IL PULSOMETRO DI HALL.

I.

È una pompa nella quale il sollevamento dell'acqua ha luogo per mezzo dell'azione diretta del vapore, cioè senza l'intermezzo di stantuffi, di aste motrici e di altri congegni in movimento. Unici organi in moto le solite valvole. Il sistema avrebbe in questo alcuna cosa di analogo cogli iniettori ed eiettori a vapore, sebbene il principio sul quale il pulsometro è basato sia un po' meno complesso, dipendendo soltanto dal vuoto che produce la condensazione del vapore quando arriva a contatto dell'acqua; oltrechè il nome stesso di pulsometro indica assai chiaramente che l'azione ha luogo per mezzo di una successione di periodi, ossia non è di una continuità assoluta. Più che un iniettore direi il pulsometro una pompa a vapore con due corpi di tromba a stantuffo fluido, a semplice effetto.

Del resto il pulsometro di Hall è la ripetizione dello stesso principio della tromba leggendaria a fuoco di Savery, immaginata 179 anni sono, collo scopo di prosciugare le miniere nella contea di York, e che secondo l'inventore avrebbe dovuto alzare l'acqua a 500 e 1000 piedi d'altezza. Se non che le speranze dell'inventore non essendosi allora realizzate, il principio della tromba di Savery, per quanto semplice e pratico, fu lasciato nell'oblio.

La forma del pulsometro (fig. 15-19) presenta quel carattere di semplicità e di originalità quasi primitiva che gli americani sono usi dare alle cose loro. Consta di due camere A aventi internamente ed esternamente la forma di due fiaschi, vicinissimi fra loro, in modo che si toccano. Superiormente i due colli si ricurvano alquanto l'uno verso l'altro, finchè si ricongiungono all'estremità superiore, in S, in un unico tubo che è quello di arrivo del vapore nell'apparecchio. Precisamente dove il tubo di arrivo del vapore si biforca nei due colli del pulsometro, vi è una valvola a palla che chiude completamente or l'uno or l'altro dei due colli, nè può rimanere in equilibrio stabile frammezzo ai due. Codesta sfera di bronzo giacendo pel suo peso sull'imboccatura d'una delle due camere, lascia libero l'ingresso al vapore nell'altra camera; ma leggermente spostata, prende a girare sullo spigolo di intersezione delle due imboccature, e cade sulla seconda, lasciando aperta al vapore la prima. Il movimento di questa valvola succede automaticamente, in virtù di una contropressione interna, che si desta a periodi e di cui vedremo tra poco il motivo.

Il tubo di aspirazione dell'acqua che è verticale e si innesta alla parte inferiore nel bel mezzo dell'apparecchio, trovasi in comunicazione colle due camere anzidette; ma questa comunicazione ha luogo col mezzo di una valvola di aspirazione per caduna camera (fig. 16); sono valvole a palla, che ricadono per il loro peso sulla propria sede, chiudendo la luce, semprechè non siano forzate a rimanere sollevate da una pressione inferiore all'atmosferica che si manifesta nella camera pulsometrica. Inoltre l'esperienza ha pure dimostrato la necessità di applicare una terza valvola nel tubo di aspirazione immediatamente sotto alle valvole aspiranti delle due camere pulsometriche. Questa disposizione trovasi indicata nella fig. 19, della quale parleremo in seguito.

Infine il tubo di sollevamento, ossia il tubo premente, dipartesi verticalmente da una specie di cassetto detto di evacuazione, di forma triangolare, (fig. 18 e 15) posto al di dietro dell'apparecchio tra le due camere del pulsometro; codesto cassetto trovasi in comunicazione con entrambi le camere come si vede dalla fig. 15 e in esso giuoca una valvola, anch'essa a palla, la quale chiude la bocca di scarico ora dell'una ed ora dell'altra camera, con moto alterno, identico a quello della valvoletta superiore del vapore.

Infine nello spazio tra i due colli incurvati delle camere pulsometriche è fusa d'un pezzo coll'apparecchio una camera d'aria globulare B che è in comunicazione col tubo aspirante per mezzo d'una enfiatura (fig. 17) alla parte posteriore dell'apparecchio. Come il nome stesso lo dice, codesta camera contiene dell'aria destinata a fare da cuscino elastico, mentre l'acqua sale con impeto dal tubo di aspirazione a riempire il vuoto della camera pulsometrica prodottovi dalla condensazione del vapore.

Verso la parte superiore delle due camere pulsometriche è fissata a vite una valvoletta atmosferica V (fig. 17); la quale si apre di per se stessa ad ogni pulsione, tostochè un certo grado di vuoto siasi formato nella camera pulsometrica e vi lascia penetrare un po' d'aria. La corsa di codeste due valvolette, e conseguentemente il volume d'aria da immettersi in ogni pulsazione può essere regolata a piacimento per mezzo di una madre vite.

Sarebbe difficile immaginare un apparecchio più semplice, e meglio congegnato per occupare poco spazio. Leggero e compatto, esso ci offre l'esempio d'un sol pezzo di fondita dei più difficili ad ottenere. Le stesse valvole di aspirazione debbono essere introdotte e chiuse nella forma del pulsometro, e vi si insediano da loro stesse.

II.

La spiegazione del modo di funzionare del pulsometro è molto semplice. Trovandosi attaccati all'apparecchio i due tubi di aspirazione e di sollevamento, e quello del vapore, si riempiono d'acqua le due camere del pulsometro, ed esso è pronto a funzionare. Si apre la chiave del vapore che può essere prodotto da qualsiasi generatore, ed a seconda della posizione accidentale della valvola, che può essere, ad esempio, rimasta sulla camera di destra, il vapore incomincia ad entrare nel collo della camera di sinistra che trova aperta, spingendo l'acqua che vi trova ad abbassarsi, a spostare la valvola di ritenuta, ed a salire nel tubo di sollevamento ad un'altezza corrispondente al grado di pressione del vapore che giunge dalla caldaia.

Il vapore entrando nel pulsometro non comunica da principio che colla ristretta superficie dell'acqua che è nel collo della camera di sinistra, epperò non vi si condensa che in esigua quantità; quando invece scacciatane l'acqua esso ha già occupato la parte enfiata della camera, allora non può a meno di condensarvisi tutto, e nella contropressione della camera di destra, spostata la valvola del vapore, ha chiuso l'adito alla camera di sinistra; e la valvoletta atmosferica della camera di sinistra si è tosto aperta. Incomincia allora ad entrare il vapore nella camera di destra. La valvola a palla del tubo di sollevamento è già volata all'opposta sede; e la camera di destra a sua volta si sta vuotando d'acqua. Mentre incomincia codesto periodo nella camera di destra, analogamente a quello della camera a sinistra, l'acqua dal fondo di questa, per la valvola di aspirazione, sale violentemente sospinta dalla pressione atmosferica nella camera stessa, e comprime sopra di sè quel poco d'aria che vi è penetrata per mezzo della valvoletta atmosferica, che si raccoglie alla parte superiore della camera, e spegne così gradatamente la forza viva concepita dall'acqua nel salire. La pressione istantanea che allora si esercita dal disotto, dovuta alla forza viva dell'acqua che sale ed alla tensione dell'aria che fa da cuscino elastico nella camera d'aria, è quella che determina la valvola a palla del vapore a passare automaticamente nell'opposta sede; dopochè ricomincia per la camera di sinistra un secondo periodo identico al primo ora descritto.

Per tal modo col pulsometro si aspira l'acqua o qualsiasi altro liquido da una profondità che dipende dal grado di vuoto, formato dalla condensazione del vapore, e si solleva ad una altezza che dipende dalla pressione del vapore.

III.

Rimuovendo una piastra avvitata al pulsometro si possono visitare le tre valvole di aspirazione ed occorrendo cambiarle.

In alcune disposizioni, massime quando non si fa uso di

valvole a palla, si hanno due distinte valvole di ritenuta, una per camera, a vece di una sola palla che va dall'una all'altra sede; e ad ogni modo anche queste valvole possono venire controllate e cambiate nello stesso modo delle aspiranti.

Le valvole possono essere fatte anche di gomma, di legno, o di piombo per il caso in cui si debbono sollevare acidi od altri liquidi corrosivi. Quando è il caso di adoperare valvole di caoutchouc allora si fanno a battente (fig. 19), e lavorano con eguale perfezione, e possono essere cambiate in pochi minuti. Le valvole di caoutchouc sono da preferirsi sempre che vogliasi evitato ogni rumore, quando non è troppo alta la temperatura del vapore, e nei casi in cui il liquido da elevare è di natura corrosiva, o contiene materie estranee. Quando vogliasi invece pulsare olio, acque sabbiose, sciroppo, catrame o qualsiasi altro liquido denso e consistente, conviene servirsi delle valvole a palla.

Vi sono pulsometri che lavorarono diversi mesi senza interruzione ad elevare acqua contenente molta sabbia e ciò nonostante le valvole a palla chiudevano sempre ermeticamente.

Il suo impiego torna perciò utilissimo nei lavori di prosciugamento per fondazioni delle pile e spalle dei ponti, non avendo bisogno di alcun imbasamento, potendosi anzi tenere sospeso in aria mediante una fune. Per questo è pure comodissimo nella escavazione dei pozzi di gallerie, potendosi sospendere a qualsivoglia altezza, ad una carrucola a catena, ed abbassare a misura del procedere dei lavori senza difficoltà, non essendovi bisogno dei soliti ritegni di appoggio, perchè non vi sono organi in movimento.

Anche per il sollevamento dell'acqua ad uso di irrigazione il pulsometro può essere utilmente impiegato, non richiedendo nè fondazione nè tetto, bastando appenderlo ad un albero o posarlo sulla riva di una roggia o di un fiume; per avere l'occorrente vapore basterà condurre sul luogo la stessa locomobile che serve alla trebbiatura del grano.

Il pulsometro può essere parimente impiegato in tutti gli stabilimenti industriali i quali hanno bisogno di sollevare liquidi da un piano all'altro. Gli alberghi, gli stabilimenti di bagni, le cartiere, le filande, le fabbriche di panni, le tintorie, le fabbriche di zucchero, e via dicendo, possono pure trovarvi il loro utile.

Inoltre per la facilità colla quale si può servire per il pulsometro di una qualsiasi caldaia portatile, codesto apparecchio con opportuno corredo di tubi può farsi servire a spegnere gli incendi. Ed ha sulle pompe a stantuffo e su quelle a forza centrifuga il vantaggio di poter entrare immediatamente in funzione, ancorchè da mesi ed anni non siasi più adoperato, mentre le altre macchine hanno d'uopo d'essere protette dalla ruggine e mantenute in istato di continuo funzionamento.

Laonde a proteggere efficacemente dal fuoco un pubblico stabilimento, un teatro, un museo, una biblioteca, una fabbrica industriale, una casa colonica basterà stabilire una volta per sempre un conveniente sistema di tubulatura metallica che corrisponda ad uno o più pulsometri con rubinetti d'acqua nei diversi piani dell'edificio. Mediante una o più caldaie portatili, di quelle a rapida produzione di vapore, si potrà in meno di sette minuti aver mezzo di sollevare anche ai punti più elevati, enormi masse d'acqua col solo aprirsi di un rubinetto.

Infine nelle stazioni ferroviarie il pulsometro può funzionare da piccolo cavallo per l'alimentazione delle locomotive, in qualsiasi punto della linea, ove sia messo in comunicazione con un pozzo o con un fiume; basterà che la locomotiva sostenga un istante per completare il suo deposito di acqua, valendosi del suo vapore.

IV.

I pulsometri si fanno di diverse dimensioni dal numero 0 che dà una portata di 40 litri al minuto a 6 metri di altezza con una pressione di vapore non meno di un'atmosfera; al numero 13 la cui portata è di 8 mila litri al minuto. L'altezza massima di sollevamento che si può raggiungere a quanto pare è di 30 metri; ma dovendosi operare ad altezze di più che 25 metri si collocano due o tre

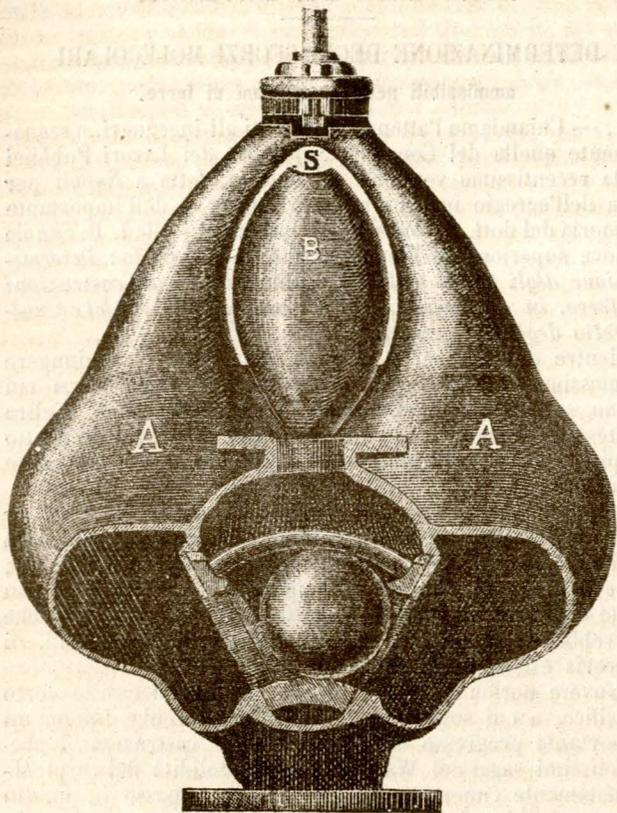


Fig. 15

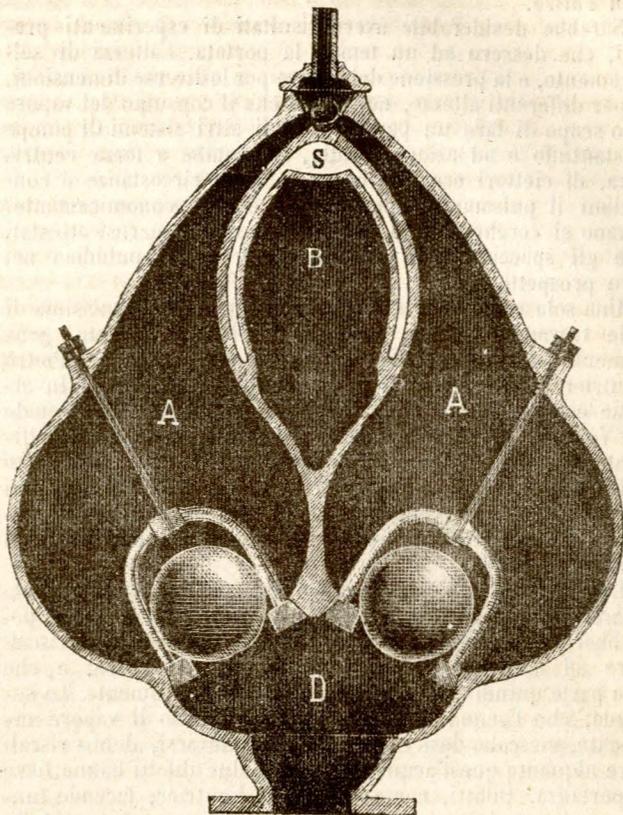


Fig. 16

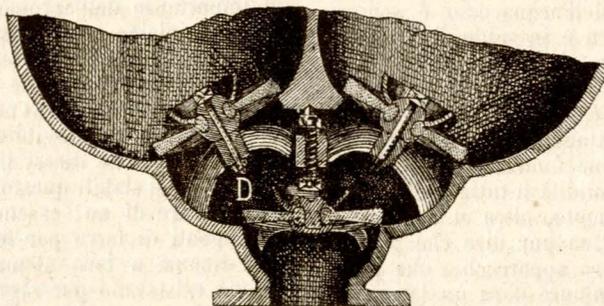


Fig. 19

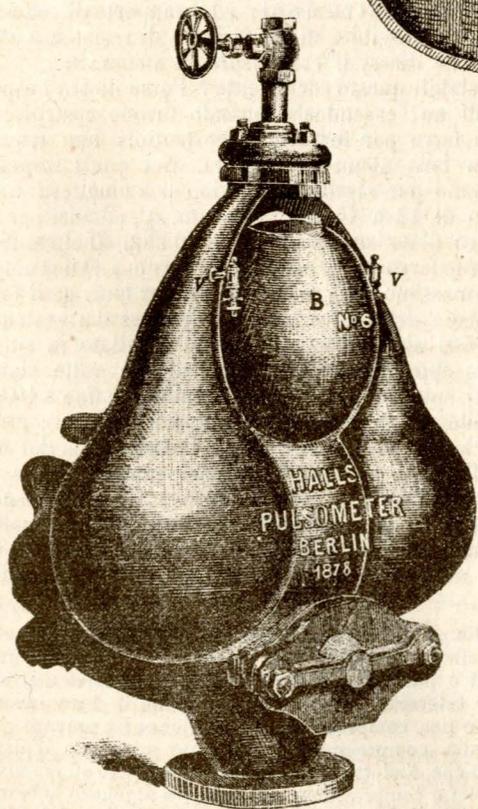


Fig. 17

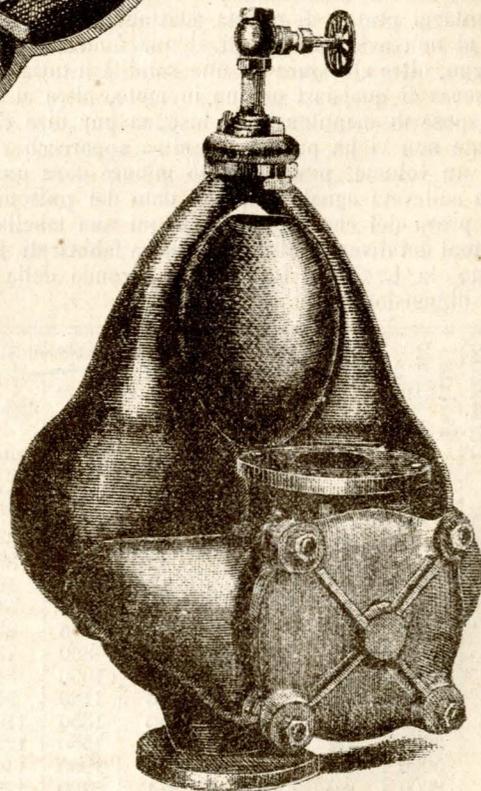


Fig. 18

pulsometri sovrapposti in modo che si consegnino l'acqua l'un l'altro.

Sarebbe desiderabile avere risultati di esperimenti precisi, che dessero ad un tempo la portata, l'altezza di sollevamento, e la pressione del vapore per le diverse dimensioni, e per differenti altezze, non meno che il consumo del vapore allo scopo di fare un paragone cogli altri sistemi di pompe a stantuffo e ad azione diretta, di trombe a forza centrifuga, di eiettori ecc., e vedere in quali circostanze e condizioni il pulsometro operi meglio e più economicamente. Invano si cercherebbero codesti dati nei numerosi attestati che gli spacciatori di pulsometri offrono al pubblico nei loro prospetti.

Una sola esperienza abbastanza completa e degnissima di fede trovammo in una memoria dell'Istituto Veneto, gentilmente inviataci dal suo egregio autore, l'ingegnere Pietro Fautrier, e che siamo lieti di potere qui riportare. In alcune esperienze che l'ing. Fautrier poté fare nell'arsenale di Venezia, coll'autorizzazione del Ministero e coll'intelligente concorso delle autorità locali, su di un pulsometro del num. 4, si sono impiegati in un'ora 108 chilogrammi di vapore alla pressione media di atmosfere 3,4 per elevare a 15 metri 30492 litri d'acqua della laguna; ossia 508 litri per minuto.

La memoria dell'ing. Fautrier fermasi un istante a dimostrare insussistenti due obiezioni che al pulsometro si potrebbero rivolgere. La prima è che il vapore debba riscaldare ad ogni pulsazione le pareti del pulsometro, e che una parte quindi del vapore si condensi inutilmente. La seconda, che l'acqua di condensazione di tutto il vapore impiegato, mescolandosi coll'acqua da sollevarsi, debba riscaldare alquanto quest'acqua. Or questi due difetti hanno lieve importanza. Difatti, come osserva il Fautrier, facendo funzionare un pulsometro si osserva che la temperatura delle pareti metalliche esterne va gradatamente aumentando fino a che siasi raggiunta una temperatura di regime che è alquanto elevata, e che poi rimane costante. E quanto all'accrescimento della temperatura dell'acqua esso è sempre così piccolo, che nessun termometro è in grado di rivelarlo.

Non crediamo che il pulsometro sia teoricamente ed in ogni caso preferibile alle trombe a vapore ad azione diretta, massime se a condensazione; ma è certo che il pulsometro ha vantaggi pratici di pronta adattabilità in ogni caso; ed oltre al non aver bisogno di alcuna fondazione e di alcun sostegno, oltre all'essere di una solidità a tutta prova, oltre all'assenza di qualsiasi organo in moto, oltre al non richiedere spese di manutenzione, bisogna pur dire che presentemente non vi ha pompa, od altro apparecchio che possa sotto un volume, peso, e costo minore dare un lavoro in acqua sollevata eguale a quello dato dal pulsometro.

In prova del che aggiungiamo qui una tabella delle dimensioni dei diversi pulsometri finora fabbricati, i cui prezzi variano da L. 200 a L. 13000 a seconda della portata e delle dimensioni.

Numero del PULSOMETRO	Portata per minuto in litri	DIAMETRI DEL TUBO			DIMENSIONI DEL PULSOMETRO		
		del vapore mm.	aspirante mm.	premente mm.	Altezza mm.	Lunghezza mm.	Larghezza mm.
0	40	6	28	23	330	240	165
1	60	10	34	28	380	280	210
2	85	10	42	34	435	330	240
3	150	13	52	42	500	390	280
4	400	13	64	52	575	460	330
5	500	20	76	64	680	540	375
6	700	20	90	76	780	630	430
7	900	26	106	90	890	730	500
8	1100	32	126	106	1050	840	560
9	1500	40	150	126	1180	950	650
10	2000	46	182	150	1350	1100	730
11	3000	52	226	182	1550	1250	850
12	5000	65	284	226	1900	1460	900
13	8000	80	354	284	2300	1750	1100

G. S.

RESISTENZA DEI MATERIALI

DETERMINAZIONE DEGLI SFORZI MOLECOLARI

ammissibili nelle costruzioni di ferro.

1. — Chiamiamo l'attenzione di tutti gli ingegneri, e segnatamente quella del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulla recentissima versione dal tedesco, fatta a Napoli per cura dell'egregio ingegnere Giulio Emery, dell'importante memoria del dott. E. Winkler, professore alla I. R. Scuola tecnica superiore di Vienna, e che ha per titolo: *Determinazione degli sforzi molecolari ammissibili nelle costruzioni di ferro, in conformità degli esperimenti del Wöhler sull'effetto degli sforzi ripetuti.*

Mentre da una parte si pone gran cura a raggiungere la massima esattezza nella determinazione degli sforzi cui vanno soggette le diverse parti di una costruzione, d'altra parte si procede in modo un po' troppo sommario ed affatto empirico nella scelta dello sforzo specifico a cui cimentare il materiale.

Intanto la incertezza che regna sulla scelta del grado di sicurezza, rende spesso illusoria ogni finezza ed ogni cura così nei particolari di costruzione come nelle calcolazioni; e se il grado di stabilità è troppo alto, si rinuncia ad una certa economia di materiale; e se riesce inferiore a ciò che dovrebbe, si compiono costruzioni soverchiamente esili, di precaria esistenza, di breve durata.

L'aver norme certe per fissare nei diversi casi lo sforzo specifico, a cui sottoporre il materiale, sarebbe dunque un importante progresso della scienza delle costruzioni. I pregevolissimi saggi del Wöhler, sulla solidità dei corpi alternatamente cimentati, furono un primo passo in questo senso, ed il professore Winkler, nella Memoria voltata in italiano dall'egregio ingegnere Emery, pensò di far tesoro di quei saggi e di valersene a meglio precisare le dimensioni delle varie membrature di qualsiasi costruzione di ferro.

L'importanza dell'argomento è grande assai e bisognerà che camminiamo passo passo sulle pedate dell'autore.

2. — Gli ingegneri presero sempre le mosse finora da uno sforzo specifico ammissibile ritenuto costante per ogni dato genere di costruzioni; ed il rapporto di codesto sforzo specifico ammissibile al coefficiente di resistenza alla rottura, è ciò che dicesi il *coefficiente di sicurezza*.

Ma come si stabilì questo coefficiente? Forse dietro l'esperienza? Pare di no; essendochè quando furono costruiti i primi ponti di ferro per ferrovie, i costruttori non trovarono dinanzi a loro alcun precedente. Nei ponti *sospesi*, che già esistevano per strade ordinarie, si ammetteva uno sforzo massimo di 12 a 16 chg. per mm. q., ed anzi per le gomene di ferro filato andavasi fino a 20 chg. ed oltre. Nei ponti *rigidi* per le ferrovie, si scese per puro intuito (*) ad uno sforzo massimo di 7 a 9 chilogr. per mm. q. E tale è ancora la media delle cifre adottate sin'oggi dai costruttori, sebbene essi abbiano ripetutamente oscillato in su e in giù nei loro apprezzamenti, sebbene alcune volte siano diventati arditi spingendo lo sforzo ammissibile fino a 10 ed anche a 13 chilogr. per mm. q., e poi per il terrore prodotto da qualche disastro, forse affatto indipendente dal lavoro del metallo, si scendesse all'eccesso opposto.

Fra i ponti metallici più antichi, il maggior sforzo specifico si riscontrò adottato nel ponte tubolare Britannia colla portata di 140 metri, costruito da Stephenson nel 1846 (8^{chgs}, 85 per mm. q.); nel ponte sul Trent, presso New-Wark, della

(*) Non crediamo esattissimo il dire che siasi disceso per puro intuito ad un minore coefficiente di resistenza. Un certo qual ragionamento si è pur fatto. Nei ponti sospesi, il ferro non resisteva che per estensione; nei ponti a travate, il ferro lavora per estensione e per compressione. L'esperienza ha provato che la resistenza alla compressione è alquanto minore, e d'altra parte si è visto che l'adottare una stessa cifra per lo sforzo massimo di estensione e compressione, semplificava alquanto le teorie ed i calcoli. Il dire adunque che tutto questo è *puro intuito* ci pare un po' troppo, sebbene l'intuito vi abbia avuta molta parte.

Nota della Direzione.

portata di 79 m., costruito da Cubitt nel 1851 (8^{chs}, 50 per mm. q.); e nel ponte sul Reno presso Magonza, della portata di 105 m., costruito da Gerber nel 1857 (8^{chs}, 20 per mm. q.). È anzi probabile che in seguito al cresciuto peso delle locomotive, questi ed altri ponti presso a poco della stessa età, si trovino presentemente assoggettati a lavorare sotto uno sforzo specifico più elevato.

Ecco alcuni coefficienti usuali, prescritti per lo sforzo specifico nei ponti di ferro per ferrovie:

	Chg. per mm. q.
<i>Inghilterra</i> , usuale nelle cose governative:	
Trazione 5 tonn. per poll. quadrato.	7,90
Compressione 4 » »	6,30
<i>Francia</i> , usuale per trazione e compressione.	6,00
<i>Prussia</i> , usuale 10 mila zoll-pfund per poll. quadr.	7,30
<i>Austria</i> , ordinanza del 1870	8,00
<i>America</i> , usuale da 10 a 12 mila libbre per poll. quadr.	7,03 a 8,44
» massima tensione ammessa dapprima nel ferro forgiato dei ponti di Schiffkorn	15,70

In Italia, non abbiamo regolamenti speciali in vigore sull'oggetto. Le condizioni di resistenza dei ponti sono prescritte nei capitolati d'appalto, i quali sono sottoposti alla approvazione del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici.

Non è certamente il caso di pensare ad una essenziale modificazione dei coefficienti attualmente in uso; poichè le costruzioni esistenti non hanno dimostrato alterazioni nocive dovute a troppo forte fatica; e d'altra parte se si raddoppiassero gli sforzi usuali sarebbe pressochè raggiunto il limite d'elasticità, mentre non bisogna dimenticare la possibilità di circostanze in cui si producano sforzi accidentali quasi doppi di quelli previsti. È però facile di riconoscere come alcune condizioni importanti fossero dapprima trascurate, ed in parte lo siano tuttora. Così: 1° la questione delle connessioni articolate, o delle giunture chiodate e rigide lasciano ancora molta incertezza nei risultati della teoria, e un largo campo aperto all'esperimento; — 2° la presa in considerazione degli urti ha luogo finora in modo poco soddisfacente, mentre è evidente che nei ponti l'influenza loro è molto diversa secondo l'ampiezza della portata, ed il rapporto del peso proprio al carico accidentale; — 3° la velocità del carico, anche quando non avvengano urti, se non ha influenza nei ponti di maggiore ampiezza, pure in quelli di portate piccolissime (inferiori a metri 10), nelle travi trasversali, nelle rotaie, ecc., aumenta considerevolmente gli sforzi calcolati in base alle sole leggi statiche, essendo provato che una velocità di 18 metri basta talvolta ad accrescerli del 25 0/0 circa; — 4° lo spostamento della pressione sugli assi delle ruote, con aumento di pressione persino del 100 0/0 per locomotive a tre assi secondo i saggi di Weber e relativa diminuzione sugli altri, può dar luogo ad un accrescimento dello sforzo specifico variabile dal 70 all'1 0/0 per luci o portate variabili da 3 a 40 metri; — 5° infine la resistenza tanto minore quanto più spesso si rinnova il carico, secondo gli esperimenti di Wöhler dimostra che il carico accidentale merita maggior considerazione del peso permanente; ed il primo rispetto al secondo è tanto maggiore quanto minore è la portata.

Per tutti questi motivi appare cosa assolutamente ingiustificabile lo adoperare uno stesso coefficiente di sicurezza indistintamente per ogni sorta di portate. Ciò tuttavia è stato generalmente praticato ed è inconcepibile come tuttora si pratici.

3. — Primo a stabilire dati più conformi ai fatti è stato il Gerber, il quale eseguiva i calcoli in modo che il peso proprio della trave aggiunto al triplo del carico accidentale dovesse cimentare il ferro fino al limite di elasticità, ossia in ragione di 16 chilog. per mm. q. Secondo questo principio sono stati costruiti molti ponti dallo stabilimento dei costruttori Klett e Comp. di Norimberga.

In America si è applicato alcune volte un procedimento analogo, prendendosi una volta e mezzo, od anche due volte il sovraccarico, ed ammettendo contemporaneamente una

resistenza specifica più elevata. Nei calcoli di membrature soggette ad urti si usa inoltre di aumentare il carico accidentale dal 10 al 30 0/0 o di ritenere altrettanto minore la resistenza specifica limite.

L'ingegnere inglese B. Baker, sebbene valuti in modo alquanto arbitrario l'effetto degli urti, della velocità, dello spostamento nel riparto della pressione sugli assi, e della successione dei sovraccarichi, arriva tuttavia al risultato di far variare la resistenza specifica in rapporto alle portate secondo le seguenti cifre:

Portate	$l = m.$	3	10	20	40	60	80	100
Sovraccar. per metro lin.	$p' = \text{ton.}$	10.8	6.8	4.9	4.3	3.8	3.6	3.3
Resist. specif. per mm. q.	$k = \text{chg.}$	5.35	5.87	6.71	7.35	7.9	7.9	7.9

Il Winkler stesso usa da dieci anni di far variare la resistenza specifica k per i ponti di ferro, secondo la formula:

$$k = \frac{8.70}{1 + 5 \frac{p'}{p} \frac{\sqrt{h}}{l}}$$

dove l ed h rappresentano la portata e l'altezza della trave in metri, p e p' il peso permanente ed il sovraccarico per metro lineare. L'autore dice d'averla stabilita secondo le regole approssimative della resistenza viva, in tal modo che lo sforzo per mm. q. raggiunga la cifra di 8 chil. quando una parte del carico accidentale cada da una piccola altezza. Or questa regola equivale a moltiplicare il sovraccarico per un coefficiente variabile fra 1.13 e 1.60 dipendentemente dai valori di h e di l .

Parecchi altri ingegneri hanno stimato conveniente ammettere un coefficiente di resistenza variabile in qualche modo colla portata. Laissle e Schübler consigliano di adottare 6, 7 ed 8 chilogr. per mm. q. secondoche trattasi di piccole, di mezzane o di grandi portate.

Nel 1869 l'I. R. Ministero austriaco volendo decretare le regole per la sicurezza dei ponti di ferro, consultò l'I. R. Ispettorato generale delle ferrovie, ed il Collegio degli ingegneri ed architetti d'Austria, e compilata una proposta di legge si rivolse alla scuola politecnica di Vienna per averne l'autorevole parere; e i professori Rebhann e Winkler presentavano la loro relazione, nella quale ebbero cura di far ben notare l'insufficienza di quelle norme.

Essi non proponevano alcuno sforzo specifico definito stante la grande diversità dei ferri. Ma consigliavano di adottare tre gradi di sicurezza ossia di fare per i ponti di ferrovia ad es.:

$n =$	6	5.5	5
per portate fino a m.	6.30	19.0	e da 19 in su.

Essi avrebbero proposto ancor più volentieri un grado di sicurezza variante in modo continuo con la portata; ma credettero di far passare più facilmente la proposta, poichè non volentieri si ammettono nelle leggi formole algebriche nè molte cifre. Ma ogni loro sforzo per far valere la scienza rimase del tutto inutile.

4. — I primi esperimenti sull'influenza degli sforzi ripetuti furono eseguiti in Inghilterra dal Fairbairn nel 1849, dapprima sopra travi di ferro fuso della portata di m. 1,40. Sperimentata quale fosse la carica P capace di produrre la rottura immediata, apparve che sotto una carica compresa fra 0,66 P e 0,81 P , la saetta di flessione andava continuamente crescendo durante il primo anno di prova, e poi durante i quattro anni susseguenti tendeva a divenir costante. Sopra travi di portata da 1^m,40 fino a 4^m,30 furono poi applicati ripetuti colpi, tali da flettere le travi solo per la metà della flessione corrispondente alla carica della rottura P ; e dopo circa 4000 colpi seguiva la rottura.

Più importanti sono per noi gli esperimenti che istituì il Fairbairn negli anni 1860 e 1861, sopra una trave in lamiera della portata di m. 6,00 liberamente appoggiata. Una carica producente uno sforzo di 7^{chs},3 per mmq. poté

essere tolta e rimessa 0,6 milioni di volte; quindi un'altra carica che spingeva lo sforzo specifico fino a $9^{ch.}, 14$ venne alternata 0,4 milioni di volte senza che apparissero alterazioni di sorta; ma quando lo sforzo specifico fu portato a $12^{ch.}, 90$ la trave si ruppe dopo 5175 alternative di carico, sebbene sotto un carico fisso essa non si sarebbe rotta se prima lo sforzo specifico non avesse raggiunto i 30 chilogrammi.

Ma gli esperimenti del Wöhler sono i primi che diano mezzo di arrivare a conclusioni concrete.

Già nel 1858 il Wöhler, R. macchinista prussiano, aveva fatto sentire la necessità di esperimenti sull'effetto degli sforzi ripetuti; nel fatto egli aveva di mira in particolare gli assi dei veicoli ferroviari. Dal 1859 al 1870 il Wöhler eseguì in questo senso saggi molto estesi, su diverse specie di lavoro (trazione, flessione in un senso, flessione di prismi giranti sul loro asse). I corpi sottoposti ad esperimenti venivano deformati fra limiti costanti assegnati, sotto sforzi ripetuti con rapida successione. Questi erano prodotti da apparecchi speciali mossi da una macchina a vapore, ed il loro numero si registrava con un contatore.

Da questi esperimenti risultarono le leggi seguenti:

1^a Per sollecitazioni ripetute la rottura è prodotta da uno sforzo minore di quello corrispondente alla carica fissa che cagiona la rottura.

2^a Rimanendo fisso lo sforzo specifico minimo, il numero delle azioni consecutive richiesto a produrre la rottura sarà tanto più grande quanto è minore lo sforzo specifico massimo.

3^a Rimanendo sempre lo stesso lo sforzo specifico massimo, il numero delle sollecitazioni consecutive richiesto a produrre la rottura è tanto più grande quanto è maggiore lo sforzo specifico minimo.

4^a Quando lo sforzo specifico massimo è inferiore a un dato limite, la rottura non avviene mai, qualunque sia il numero delle sollecitazioni. Distingueremo questo sforzo-limite col nome di coefficiente di sollecitabilità.

5^a Il coefficiente di sollecitabilità è tanto più elevato quanto è maggiore lo sforzo specifico minimo.

Gli esperimenti del Wöhler sono stati continuati dal 1871 al 1873 dallo Spangenberg, professore nell'Accademia Industriale di Berlino, ed i risultati ottenuti hanno pienamente confermato le leggi trovate dal Wöhler.

Per quanto pregievoli siano questi esperimenti, osserva il prof. Winkler, pure essi non sono ancora sufficienti alla perfetta soluzione del quesito, relativamente alle costruzioni. Per completarli sarebbero necessarie le seguenti ricerche: 1^o Esperimenti sui ferri adoperati nelle costruzioni; 2^o Esperimenti sulla compressione; 3^o Esperimenti sugli sforzi di taglio; 4^o Esame dell'influenza del tempo trascorso fra le sollecitazioni successive. Negli esperimenti del Wöhler il tempo in parola era brevissimo; pertanto è probabile che il numero delle sollecitazioni necessario a produrre la rottura, e quindi il coefficiente di sollecitabilità, siano modificati alquanto, ove al materiale sia concesso maggior tempo per ritornare alla forma primitiva, oppure lo sforzo massimo persista più a lungo, ecc. Si deve poi dare più valore agli esperimenti eseguiti semplicemente per trazione, o per compressione, che non a quelli eseguiti per flessione, nei quali ultimi, infatti, non è possibile determinare esattamente gli sforzi specifici, e le formole a ciò adoperate dal Wöhler rigorosamente non valgono se non entro i limiti di elasticità.

5. — Ad ogni modo, anche volendosi servire dei risultati sperimentali del Wöhler per determinare le sezioni trasversali delle varie membrature d'una costruzione di ferro, è necessario di tradurre quei risultati in qualche espressione algebrica, secondo una legge, che se non potrà dirsi vera, né di esattezza matematica, sia almeno verosimile, ossia comprenda e riproduca il meglio possibile tutti i risultati degli esperimenti. Al quale intento, se per determinare lo sforzo specifico massimo R_s , cui potrà resistere un solido quando gli sforzi oscillino fra R_i ed R_s , si prendono su due assi ortogonali (fig. 20) le ascisse proporzionali agli sforzi specifici minimi R_i , e le ordinate proporzionali ai

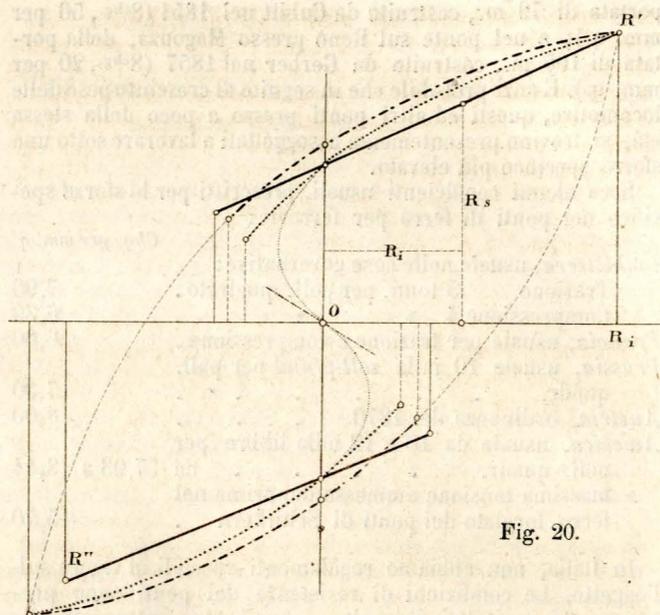


Fig. 20.

corrispondenti sforzi massimi R_s , che dopo un numero infinitamente grande di sollecitazioni appena ne producono la rottura (ossia proporzionali al coefficiente di sollecitabilità) si giunge per caduno degli esperimenti considerati, alla determinazione di un punto. Ciò fatto si osserva che tutti i punti corrispondenti ad uno stesso materiale stanno presso a poco in una linea retta; e si può quindi scrivere approssimativamente la relazione

$$R_s = a + bR_i \quad \dots (1)$$

Con tale espressione si trovano risultati abbastanza conformi agli esperimenti quando si ponga:

	alla estensione		alla compressione	
ferro battuto	$a=0,55R'$	$b=0,45$	$a=0,60R''$	$b=0,40$
acciaio fuso	$a=0,44R'$	$b=0,56$	$a=0,37R''$	$b=0,63$

dove R' e R'' indicano il noto coefficiente di resistenza alla rottura per estensione e compressione rispettivamente, ma per effetto di un carico permanente. È quasi evidente che la legge adottata non può essere la vera; se per i valori negativi di R_i deve valere la stessa legge come per i valori positivi, bisogna che alla linea retta stata ammessa dal Winkler subentri una curva; infatti è evidente che per $R_i = +R'$ deve aversi $R_s = R'$; e per $R_i = -R''$ deve essere pure $R_s = -R''$, le quali condizioni da una linea retta non potrebbero essere soddisfatte se non quando passasse per l'origine delle coordinate, e intanto sarebbe assurdo che per $R_i = 0$ si avesse $R_s = 0$. Nella figura 20 sono pure rappresentate le leggi ammesse dal Gerber (segnata a tratti e punti) e dal Launhardt (segnata a punti rotondi), e pare anche dalle esperienze che la curva del Gerber sia molto più verosimile. Ma fino a che però non sia dato avvicinarsi un po' di più alla vera legge con ulteriori esperimenti, sembra commendevole la maggiore semplicità, specialmente perché così si facilita la diffusione del nuovo modo di calcolo. Quest'ultima condizione, dice il dottor Winkler, non è da trascurarsi, pel caso che si abbia da trattare con autorità ufficiali; chè infatti si dovrebbe porre impegno a fare modificare le disposizioni legali in conformità dei progressi della scienza. Sebbene in Baviera le autorità competenti abbiano adottato il programma elaborato dal signor Gerber in base alla teoria da lui stabilita, la stessa cosa al certo non avverrà si facilmente in tutti i paesi; in Austria al Winkler ed al Rebhann non riuscì neanche di far passare in legge un grado di sicurezza variante colla portata. Queste sole considerazioni mossero il Winkler a porre in campo la nuova regola più semplice accanto a quelle già proposte dal Gerber e dal Launhardt.

6. — Vogliasi ora in base agli esperimenti del Winkler determinare la sezione trasversale delle membrature di una

costruzione adottando un coefficiente di sicurezza $= 1/n$, ossia tale che se gli sforzi i quali sollecitano ogni membratura fossero moltiplicati per n , un numero grandissimo di sollecitazioni basterebbe appena a produrre la rottura.

Dicendo ω la sezione retta del solido in mm. q., T_i la minima tensione e T_s la massima che si produce nel solido considerato si porrà:

$$R_s \omega = n T_s, \quad R_i \omega = n T_i$$

e sostituendo in (1) si trova:

$$\frac{a\omega}{n} = T_s - b T_i \quad \dots (2)$$

Quanto al valore da assumersi per n il Winkler osserva che si giunge a risultati abbastanza uniformi alle costruzioni in ferro sinora eseguite, assumendo per il ferro $n=2,8$; mentre per l'acciaio ammette doversi tuttora imporre un grado di sicurezza alquanto maggiore, facendo $n=3,2$. Si giunge allora per buoni materiali ai seguenti valori circa:

		Ferro battuto	Acciaio fuso
Trazione per mm. q.	$\frac{R'}{n}$	ch.14,00	ch.18,00
Compressione »	$\frac{R''}{n}$	» 12,00	» 22,00

Sostituendo questi numeri nella espressione (2), si trova:

Per il ferro fucinato, nei casi di trazione sola, o di trazione predominante:

$$\omega = \frac{1,82 T_s - 0,82 T_i}{14} \quad \dots (3)$$

Nei casi di compressione sola, o di compressione predominante:

$$\omega = \frac{1,67 T_s - 0,67 T_i}{12} \quad \dots (4)$$

Nei casi di resistenza allo scorrimento trasversale si ottiene il conveniente valore della sezione retta moltiplicando per $\frac{140}{115}$ o circa $\frac{5}{4}$ il valore ricavato dalla formola (3).

In alcuni casi e, per esempio, nel calcolo dei ponti di ferro, può accadere che convenga tener separato l'effetto del carico permanente da quello del sovraccarico accidentale, massime quando si volesse tener conto in qualche modo degli urti. Dicendo allora t_0 la tensione dovuta al solo peso proprio della costruzione, t_s e t_i le tensioni massima e minima dovute all'azione del sovraccarico accidentale, si avrà

$$T_s = t_0 + t_s \quad \text{e} \quad T_i = t_0 - t_i;$$

le espressioni (3) e (4) diventano

$$\omega = \frac{t_0}{14} + \frac{t_s}{7.7} + \frac{t_i}{17} \quad \dots (3')$$

$$\omega = \frac{t_0}{12} + \frac{t_s}{7.2} + \frac{t_i}{18} \quad \dots (4')$$

Occorre ancora avvertire che nel caso in cui il sovraccarico accidentale dia luogo solo a trazione, o solo a compressione, si deve considerare nullo il t_i od il t_s secondoche l'azione di detto sovraccarico è di segno simile o contrario a quello dello sforzo predominante.

7. — Il signor Winkler prende in seguito di mira più particolarmente i ponti di ferro, ed espone un metodo per tener conto dell'aumento relativo del sovraccarico accidentale cagionato dalle scosse.

Allo stato attuale della scienza meccanica, e facendo anche difetto i dati sperimentali, il Winkler osserva doversi limitare ad accoppiare una teoria grossolana ad un apprezzamento sommario.

Considera una trave di lunghezza L che abbia subito la flessione statica normale per effetto di un peso proprio p_0 e di un carico accidentale p per metro lineare. Poi imma-

gina che una porzione sp di quest'ultimo carico cada liberamente sul ponte da una piccola altezza h . Il carico spL cadendo dall'altezza h produce un lavoro rappresentato dall'espressione

$$\frac{\epsilon^2 p^2 L^3 h}{L(p_0 + p)}$$

Ora a produrre per un carico uniforme una saetta di flessione y od un aumento di flessione eguale ad y , essendo E il coefficiente di elasticità ed I il momento d'inerzia della sezione trasversale (supposta uniforme) occorre il lavoro

$$\frac{3072}{125} \frac{EI y^2}{L^3}$$

Eguagliando le due espressioni, si deduce il valore di y .

La saetta s dovuta all'azione statica del solo carico accidentale è

$$s = \frac{5}{384} \frac{pL^4}{EI}$$

donde il rapporto, od aumento relativo per effetto della scossa

$$\gamma = \frac{y}{s} = \sqrt{\frac{240 \epsilon^2 EI h}{(p_0 + p)L}}$$

È ammissibile che gli sforzi specifici si accrescano nello stesso rapporto.

Il Winkler suppone inoltre che la stessa formola sia valida anche nel caso in cui la trave, subendo un'azione parziale di urto, presenti un aumento di flessione sopra una porzione l della sua portata, anzichè sull'intera lunghezza L ; ed indicando con H l'altezza della trave, dimostra che tener conto dell'effetto degli urti equivale ad accrescere di una

frazione μ proporzionale a $\frac{L\sqrt{H}}{l^2}$ il valore dello sforzo t_i

dovuto al sovraccarico accidentale; è così giustificato il procedimento adoperato pure dal Gerber.

Pertanto si è tuttora poco istruiti riguardo al valore da assegnarsi a μ , poichè non si hanno osservazioni sull'accrescimento delle tensioni per gli urti. Il Gerber pone $\mu=0,5$ tanto per i ponti di ferrovia che per quelli di strade ordinarie. Sebbene sia positivo che nei ponti di strade ordinarie le accidentalità della carreggiata possano dar luogo ad urti relativamente altrettanto forti quanto quelli che avvengono nei ponti ferroviarii, pure è da considerarsi che in questi è assai frequente il sovraccarico sull'intero ponte, che generalmente non avviene sui ponti di strade rotabili. Appare dunque che nei ponti di ferrovia la massa urtante è maggior porzione dell'intero sovraccarico introdotto nel calcolo di quanto nol sia nei ponti per strada rotabile. Perciò il Winkler adotta per

Ponti di ferrovia . . .	$\mu=0,3$
» di strada rotabile . . .	$\mu=0,2$

Dietro di ciò risulta che nel caso di costruzioni di ferro lavorato convengono le seguenti formole:

PER PONTI DI FERROVIA

$$\omega = \frac{t_0}{14} + \frac{t_s}{5.9} + \frac{t_i}{13} \quad (\text{trazione sola, o predominante})$$

$$\omega = \frac{t_0}{12} + \frac{t_s}{5.5} + \frac{t_i}{13.8} \quad (\text{compress. sola, o predominante})$$

PER PONTI DI STRADE ORDinarie

$$\omega = \frac{t_0}{14} + \frac{t_s}{6.42} + \frac{t_i}{14} \quad (\text{trazione sola, o predominante})$$

$$\omega = \frac{t_0}{12} + \frac{t_s}{6} + \frac{t_i}{15} \quad (\text{compress. sola, o predominante});$$

occorrono qui egualmente le ulteriori osservazioni fatte nel paragrafo precedente.

Secondo le regole date la differenza tra questo procedimento e quello generalmente usato finora risiede soltanto in ciò, che agli sforzi dovuti al peso della costruzione ed all'effetto positivo e negativo del carico accidentale vengono applicati diversi coefficienti, laddove finora si applicava un solo coefficiente. Adunque, secondo il procedimento esposto, il modo di calcolare non si è venuto a complicare.

Per i pezzi sollecitati in una maniera sola, il processo comunemente usato conduce alle stesse dimensioni che si ricavano dalle susedposte formole, quando allo sforzo specifico normale alla trazione R' si assegnino i seguenti valori:

Ponti di ferrovie

$L = 10^m$	20	40	60	80	100	120	140
$\frac{p_0}{p}$	0,18	0,24	0,42	0,56	0,78	1,03	1,35
R'	6,5	6,65	7,15	7,45	7,95	8,35	8,85

Ponti di strade rotabili.

$L = 10^m$	20	40	60	80	100	120	140
$\frac{p_0}{p}$	0.45	0.70	1.10	1.40	1.80	2.20	3.30
R'	7.70	8.25	9.00	9.40	9.90	10.25	11.0

Questi numeri danno luogo a dimensioni un poco più robuste delle usuali nei ponti di piccola portata, un poco più esili in quelli di grande portata.

Le sezioni trasversali dei pezzi che resistono alternativamente a trazione e compressione, risultano poi, secondo il procedimento esposto, generalmente maggiori di quelle che si sarebbero avute coi metodi anteriori.

Il valore dato a μ pei ponti di ferrovia, si riferisce alle linee a grande velocità ed alle portate non troppo piccole. Quando la velocità si riduce circa a quella media dei veicoli sulle strade rotabili, si può allora far uso dello stesso valore assegnato per dette strade ($\mu=0.2$). Per ferrovie secondarie a moderata velocità (fino a circa 45 chilometri l'ora), basterebbe $\mu=0.25$. Nelle portate piccolissime, conviene aumentare il μ ; si può propriamente moltiplicare il valore di μ , conveniente alle grandi portate, per il coefficiente

$$1 + \frac{v^2}{400L^2},$$

ove v indica la velocità massima in metri al 1". Per $v=18^m$ e per portate di 1^m 2 3 4 5 10 l'aumento rispettivo è 0.8 0.2 0.09 0.05 0.03 0.01

8. — I risultati ottenuti dal Wöhler, conducono anche ad un più preciso concetto circa il sovraccarico da assumersi per base del calcolo statico. Infatti nell'applicare al calcolo le regole ricavate da quegli esperimenti, si dovrà tener conto soltanto dei carichi che realmente si verificano molto spesso, non già di quelli affatto eccezionali. Pei sovraccarichi straordinari, che appena poche volte si possono verificare per la intera durata del ponte, si ha da calcolare secondo le regole convenienti ad un carico permanente, onde generalmente si otterranno sezioni minori di quelle risultanti dalla considerazione di sollecitazioni moltissime volte ripetute.

Così nei ponti di ferrovia non è necessario assumere per sovraccarico un treno composto tutto di locomotive, sol perchè questo caso una volta forse in tempo di guerra si potrebbe verificare; basterà considerare un treno rimorchiato da una locomotiva o due al più.

Nei ponti per strade ordinarie, parimente non è necessario ammettere una completa occupazione con carri tutti molto pesanti; basta invece considerare i carri che dovranno transitare ordinariamente sul ponte in questione, e tra questi tener conto di uno o due carri più pesanti.

Così anche nelle parti da calcolarsi con riguardo alla pressione del vento, non è necessario prendere in considerazione le grandissime pressioni che di rado avvengono.

9. — Infine il Winkler espone, in apposita appendice una rivista critica e comparativa dei vari metodi precedentemente ideati per trar profitto dei risultati sperimentali ottenuti dal Wöhler, con le rispettive proposte di varie

relazioni tra le quantità R_e e R_i . Tali sono i metodi esposti negli scritti di Launhardt, di Weyrauch, di Müller, di Gerber e di Schäffer. L'autore prova come il proprio metodo, il quale è più semplice degli altri, non si scosta maggiormente degli altri dagli attuali dati di esperimento. Egli confida che la semplicità di tale metodo valga a farlo adottare nelle disposizioni regolamentari governative.

La traduzione italiana di questo importante lavoro del Winkler, che, come dicemmo da principio, è dell'egregio ingegnere Giulio Emery, contiene pure alcune brevi note del traduttore, in alcuna delle quali si aiuta il lettore ad arrivare ai risultati algebrici, ed in alcun'altra si aggiungono alcune osservazioni le quali provano che l'ingegnere Emery, non ha fatto una semplice traduzione, ma uno studio intelligente e coscienzioso della memoria di Winkler.

G. S.

BIBLIOGRAFIA

Relazione sul progetto per l'impianto del punto franco e locali di esportazione sul molo San Gennaro in Napoli; col motto « *Est modus in rebus* ». Napoli, 1877.

Il Consiglio Provinciale e la Camera di Commercio di Napoli, in sedute del 24 e del 27 febbraio 1877, avevano deliberato di aprire un pubblico concorso col premio di lire diecimila all'autore del miglior disegno per la costruzione d'un edificio ad uso di *Deposito Franco* sul molo denominato di San Gennaro in quella città.

La Relazione a stampa che avevamo ricevuta era quella del progetto controdistinto dal motto *Est modus in rebus*, e siamo lieti di poter annunziare anche il nome dei loro autori, i signori Ingegneri Luigi Ferrara, Bruno, Guerra, e Carlo Ciappa, essendochè, fra gli undici progetti presentati, la Commissione esaminatrice, nella seduta del 10 dicembre ultimo scorso, conferiva *alla unanimità* il premio di lire diecimila al progetto che aveva appunto per motto l'*Est modus in rebus*.

Avevamo fatto proposito di parlare alquanto estesamente di codesta relazione, nella quale si trovano pure riassunte le migliori notizie sui Depositi franchi già attuati in altre città. Ma poichè sappiamo che il Collegio degli Ingegneri di Napoli sta occupandosi della incisione delle tavole di disegno che alla Relazione originale erano annesse, così crediamo prezzo dell'opera l'attendere anche i disegni, allo scopo di dare ai lettori più utili e precisi ragguagli, e di poter leggere il testo della Relazione della Commissione esaminatrice sul merito di tutti undici i progetti presentati. Ma non possiamo ulteriormente ritardare le nostre congratulazioni ai sullodati Ingegneri per il successo ottenuto.

Furono pure inviate ultimamente in dono alla Direzione dai loro Autori le seguenti opere:

1. Calcolo di stabilità della Cupola del Teatro massimo di Palermo, per G. B. F. Basile, architetto direttore della costruzione, professore nella Regia Università di Palermo.

2. Quale sia il limite fra le Alpi e gli Appennini, dell'avv. Pietro Canepa.

3. Schematische Darstellungen von geodätischen instrumenten, für den Gebrauch der Herren Hörer der Praktischen Geometrie an der K. K. Bergakademie in Leoben, zusammengestellt von Johann Nicolaus Ivanovich.

4. Tavole pel computo metrico approssimato dei muri di sostegno per progetti stradali, dell'Ing. F. Benedetti, V. Direttore dell'Esercizio delle Ferrovie Meridionali a Messina.

5. Le alluvioni. Trattato della natura, acquisizione e divisione degli incrementi fluviali, per Matteo Fiorini, Ing. e Prof. di Geodesia nella R. Università di Bologna.

6. Nuovo scalo galleggiante di Nicolaieff ed altri mezzi di galleggiamento, p. Giulio Melisurgo.

7. Il sistema di fognatura pneumatica applicato alla bonifica della città di Napoli. Considerazioni e proposte, del marchese Gennaro Pepe, ingegnere ordinario del Genio Civile.

8. Statica grafica, sua teoria ed applicazioni per l'Ing. Ferdinando Zucchetti, incaricato dell'insegnamento della Statica grafica presso la R. Scuola di Applicazione degli Ingegneri in Torino.

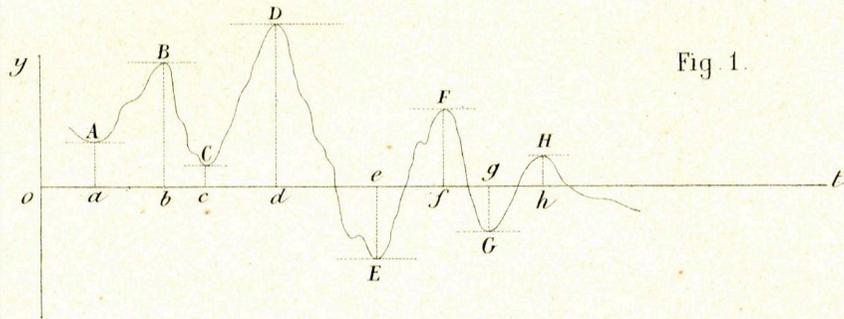


Fig. 1.

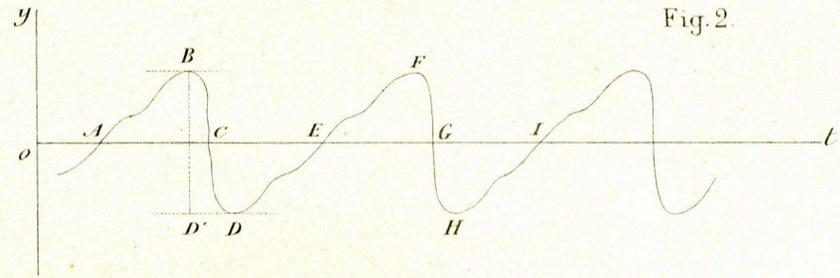


Fig. 2.

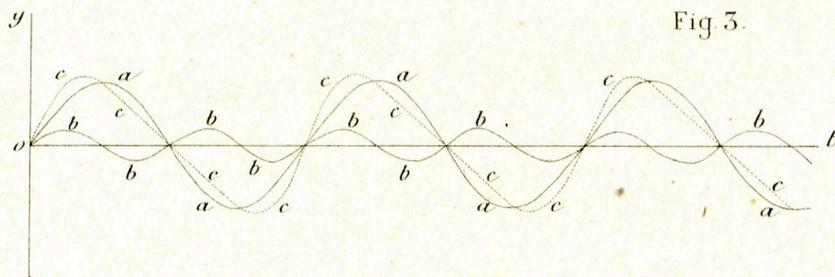


Fig. 3.

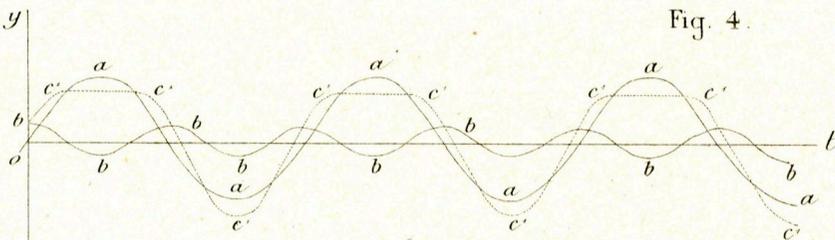


Fig. 4.

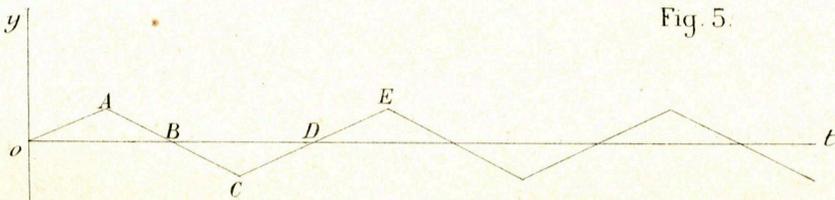


Fig. 5.

Fig. 6.

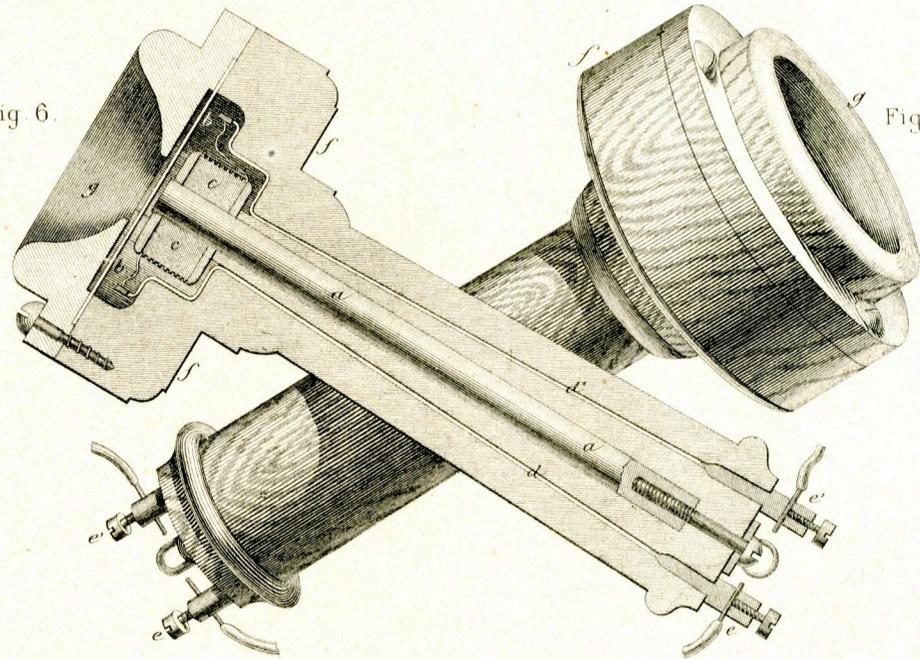


Fig. 7.

CONFERENZA SUL TELEFONO
dell'Ingegnere Galileo Ferraris