SUL TELEFONO DI GRAHAM BELL

Conferenza fatta nella Società degli Ingegneri e degli Industriali DI TORINO

nella seduta del 2 febbraio 1878

dell'Ingegnere Professore GALILEO FERRARIS

Un benevolo voto del nostro Comitato stabilì che in questa adunanza io intrattenessi 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 particene dell'aria, dei quali quelle sono la conseguenza, e dire che

il suono è l'effetto di una successione di oscillazioni delle particene 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, 0, se vogliamo, gli spostamenti di una particella di quest'aria, od ancora la sua velocità, e tracciamo una linea *A B C D E F...* (fig. 1). Questa ci mostrerà in un colpo d'occhio tutta la serie di stati, per cui quell'aria va passando. Or bene, ogniqualvolta questa linea presenta punti massimi e punti minimi *A, B, C, D..* così vicini, che i segmenti *ab, be, 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 *AB C D E, E F G HI,* 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 *AB C D...,* 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 *B D'* delle ordinate, vede l'*ampiezza* delle oscillazioni; l'orecchio sente l'*intensità* del suono. L'occhio vede la differenza *A E* 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 *A E.*

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 *a a a...* (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 *b b b b*.... 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 rappresentata da una curva diversa da a a a... e da b b b..., da una curva c c c..., che si può disegnare sommando algebricamente le ordinate delle due prime. Ai due suoni a *a a... e b b b...* se ne può aggiungere 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 né più semplice nò più complesso di quelli con 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 sé 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 sentì 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 imprestito 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 fina, 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 accorgiamo, 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

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

« ove T è il tempo periodico, t il tempo, α una costante « arbitraria, la *fase,* ed y lo spostamento di un punto vi- « brante dalla sua posizione di equilibrio, oppure la ve- « locità, 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 *pen-* « *dotare,* 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 rap- « presentati 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; cosicché 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 spazi successivi percorsi dalla porzioncella di superficie. Nemmeno l'orecchio non sa fare questa misura, ma vi supplisce in parte ricono-

scendo 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:

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

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. 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 *a a a a....*, *b b b b.....*, identicità a quelle segnate colle medesime lettere nella figura 3: ma la linea *b b b b...* 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' c'... e quella della linea c c c c ... 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 comporle, 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 UH grande edifizio, 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 costituita 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 punta

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.* Or bene 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'intiera membrana è paragonabile ad un'arpa composta di una infinità di corde parallele, di lunghezze diverse, 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 cavalietti 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,* riceva 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 della sensazione, che comunica con quelle fibre per mezzo di filamenti nervosi diversi, sentirà quali di esse sieno in moto. Conchiudo: 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 piano-forte 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 sé. Ma arriva essa al piano-forte? Il piano-forte la scompone, la anatomizza. Voi sentirete, riprodotta dal piano, la medesima nota colla sua tempera; ma se fate atten-

zione, vi accorgerete che il suono che vi viene dallo stromento è partito da parecchie corde: ciascuna di queste ha preso per sé 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'accorgerete 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 artifizio 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 artifizialmente, 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, *0* 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 sé 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 sono le stesse per tutte le voci e che sono indipendenti dall'altezza del suono fondamentale, alle quali HELMHOLTZ diede il nome di suoni *vocaboli.* Stando alle determinazioni di HELMHOLTZ, esse sono le seguenti:

Per la vocale *Zl,* 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.*

Il suono corrispondente alla vocale *O è* b_1. Se passando per *Oa* e per *Ao,* si va gradatamele dall'O alla A, la bocca si apre sempre più e il tono della cavità boccale sale di una ottava, fino a è,. 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 sé 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_z 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 allungano e si atteggiano a mo' di tubo, cosicché 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 *1;* 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 una 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 b *b* nella fig. 6, ohe 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 perché 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 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 straterello d'aria che occupasse il suo posto. A quelli dei 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 membrana 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 le proprietà di una calamità: esercita a distanza le stesse attrazioni e le stesse ripulsioni, che sarebbero esercitate da una calamità 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 appena che la corrente è cessata. Se finalmente il nucleo è un cilindro di acciaio già magnetizzato, se il nucleo è una calamità permanente, per tutto il tempo per cui dura la corrente, il suo stato magnetico riesce accresciuto od affievolito, secondochè la calamità 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

$$M = k\ i.$$

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

$$M\,d\,s = k\,i\,d\,s.$$

Secondo fatto. — Si abbia ancora una calamita collocata sull'asse di una spirale isolata, ed in faccia ad uno dei 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 calamità. L'esperienza mostra, che per questo atto nasce nella spirale una corrente di verso contrario a quello che produrrebbe un aumento di attrazione; la quale corrente dura finché 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 finché continua il moto di allontanamento. Queste correnti prodotte col movimento del pezzo di ferro in faccia alle calamite 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 dimostrar loro razionalmente, deducendolo come corollario dal principio della conservazione dell'energia, il quale oggidì governa tutta la scienza della materia. Supponiamo infatti d'avvicinare il ferro alla calamita facendogli 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 l'avvicinamento, una corrente indotta, il lavoro fatto dall'attrazione della calamita nella esperienza sarebbe nullo, giacché 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 *hi* nella intensità dell'attrazione, così il lavoro positivo sarà minore del negativo, e la differenza sarà

$$k\,i\,d\,s.$$

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

$$h\,r\,i^2\,d\,t.$$

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

$$k\,i\,d\,s = h\,r\,i^2\,d\,t,$$

da cui

$$i = \frac{k}{h}\,\frac{1}{r}\,\frac{d\,s}{d\,t}.$$

Questi due fatti bastarono a GRAHAM BELL per fare che i movimenti alternativi della lastrina *b b* 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 *b b* (fig. 6) sta, coll'asse perpendicolare sul centro della medesima, una calamita cilindrica *a a; e* l'estremità di questa più vicina alla lastrina vibrante è collocata entro ad una spirale *c c* 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 *b b* prenderà un moto oscillatorio; la sua parte

centrale si avanzerà 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 *a a* ed alla spirale di filo di rame isolato *c c;* 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

$$i = \frac{k}{h}\,\frac{1}{r}\,\frac{d\,s}{d\,t},$$

e quindi è anch'essa una funzione periodica del tempo. Ora nel circuito di questa corrente è anche la spirale *c c* 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 calamità, 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 ossia dalla funzione *hi* 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 una onda sonora di forma definita dalla funzione

$$s' = \frac{k^2}{h} \frac{1}{r} \frac{d\,s}{d\,t}.$$

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

$$s = a\,sen\,\frac{2\,\pi}{T}\left(t + \alpha\right) + b\,sen\,\frac{4\,\pi}{T}\left(t + \beta\right)$$
$$+ c\,sen\,\frac{6\,\pi}{T}\left(t + \gamma\right) + \ldots;$$

si ricava dall'ultima relazione:

$$s' = \frac{k^2}{h\,r}\,\frac{2\,\pi}{T}\left[a\,sen\,\frac{2\,\pi}{T}\left(t + \alpha + \frac{T}{4}\right)\right.$$
$$+ 2\,b\,sen\,\frac{4\,\pi}{T}\left(t + \beta + \frac{T}{8}\right)$$
$$\left. + 3\,c\,sen\,\frac{6\,\pi}{T}\left(t + \gamma + \frac{T}{12}\right) + \ldots\right].$$

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 strumento dev'essere convenientemente proporzionato; esso è soggetto alla regola generale, con cui voglionsi 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 costrutti abilissimamente dal cav. Maroni, ingegnere capo dei telegrafi dell'Alta Italia, che pel primo fra noi riuscì, valendosi di sole descrizioni incomplete, a costrurre 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 gli 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 perché riesce minore la massa del ferro vibrante e quindi l'induzione; in secondo luogo perché la lastrina troppo leggera e flessibile prende moti troppo ampii e può urtare la calamita ogni qualvolta le si invia un suono troppo intenso. — L'ingegnere Maroni mi mostrò diverse lastrine, 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 lastrine molto più sottili, veri fogli di carta (*).

Essendo minime le forze che debbono mettere in moto le lastrine, 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 lastrine di una sottile vernice, o meglio di uno strato di nickel deposto galvanicamente. Ma bisogna evitare di dare a questi strati pretettori grossezze eccedenti il bisogno ; sopratutto quando si adoperi il nickel, il quale non solo aumenta la massa, ma accresce in grande misura la rigidezza della lastrina.

(*) La trasmissione telefonica è possibile anche con lastre di ferro molto grosse, o con lastre di altri metalli, od anche con un telefono ricevente, privo di lastrina. Ma questi fatti, facili a spiegarsi, sono secondarii e non costituiscono il modo ordinario di funzionare del telefono.

Quest'effetto è evidentemente tanto più temibile quanto più la lastrina è grossa; il cav. Maroni riconobbe infatti che le lastrine 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 esprimente il valore di s' figurano bensì tutti i termini della serie trigonometrica esprimente il valore di s, ma i coefficienti, che in questa stanno fra loro come $a: b: c: \ldots$, in quella stanno invece fra loro come $a: 2\,b: 3\,c: \ldots$ 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 *botte à musique* differisce dal suono di un piano-forte 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. Or bene, fatevi trasmettere col telefono il suono flautato di una canna d'organo di legno, e questo vi sembrerà prodotto da un cornetto di ottone ad ancia ;

fatevi trasmettere il suono di un piano-forte, e sentirete una *botte 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 di 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, cosi 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 areostato, 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, giacché 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,, giacché col diminuire l'ampiezza delle oscillazioni di una lastra scema l'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 (*).

Testé io affermai di avere trasmesso col telefono la voce e le parole anche interponendo nel circuito resistenze enormi, di 1000, di 2000, e, cogli strumenti del Maroni, di 9000 o di 10,000 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 ordinarii 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 ordinarii, si sente, come notò pel primo il PREECE, e come verificarono quanti fecero poi l'esperimento, un picchiare continuo come di gragnuola su' vetri, che toglie

(*) 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, ma non distruggere, i fatti che abbiamo asserito.

ogni possibilità di servirsi dello strumento pella trasmissione della voce. Io stesso ebbi occasione di constatare la 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 variai in molti modi l'esperimento. Sostituii al tasto MORSE una soneria elettrica ordinaria, e con un telefono collocato su di un circuito vicino sentii distintamente tutti i colpi del martello, benché nel locale ove era collocata la soneria non esistesse alcun telefono. Sostituii alla soneria una sirena elettrica cosicché 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 (*).

(*) 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, che io immaginai nello scorso mese di dicembre, 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 in una stazione *A* un telefono *F;* in 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

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

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

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

risulta

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

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 quelli 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' :* purché questi termini sieno i preponderanti, la vocale rimane la stessa; così non disturba l'esperienza l'alterazione de' 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.

che ciò non si possa, per ora, asserire: non ne abbiamo bisogno, perché fra questi ve n'ha di quelli che colla massima sicurezza, e con una rapidità maggiore di quella della parola, *stampano* i telegrammi. Ma qualunque sieno 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 sieno 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 sé. 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 veder 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.

RELAZIONE

del socio Ingegnere OTTAVIO MORENO

SULLO SCOPIO DI UNA LOCOMOTIVA

avvenuto l'11 dicembre 1877 sulla rete delle Ferrovie Meridionali fra le stazioni di Quaderna e di Castel S. Pietro.

Letta nell'adunanza 25 febbraio 1878.

NB. Nelle sale della Società trovasi esposta la fotografia della locomotiva dopo l'esplosione.

La locomotiva scoppiata era a tre sale accoppiate, ed in servizio da 16 anni.

Dall'esame de' frammenti del corpo cilindrico s'ha ragione di ritenere che lo scoppio sia dovuto all'assottigliamento di una lamiera, nel senso longitudinale accresciutosi molto rapidamente dopo l'ultima riparazione generale della caldaia, forse aiutato da un qualche difetto di saldatura.

Le acque del tronco Bologna-Ancona formano depositi calcari.

Lo scoppio presentò i seguenti fenomeni: si ruppe il corpo cilindrico alla parte centrale inferiore. Porzione degli anelli estremi rimasero bensì attaccati rispettivamente all'involucro esterno del focolaio e della camera-fumo, ma piegandosi sotto l'enorme pressione del vapore dell'acqua, quella posteriore ruppe non solo il bilanciere trasversale delle molle, ma inoltre comunicò alle fianchate un tale urto che da questo fu riportato, per mezzo delle