PERCEZIONE Uditiva DELLA PAROLA
E DEI SUONI PER SERIE
INTERMITTENTI DI VIBRAZIONI ACUSTICHE.

Nota di ALTOBRANDO TRICCA.

1. — Dall'esame di vari fatti che frequentemente accadono sotto il dominio della comune osservazione, notevole fra tutti la scia luminosa di un tizzoncetto acceso rapidamente mosso nell'oscurità, i fisici hanno potuto da gran tempo stabilire che le immagini visive persistono un certo tempo sulla retina dopo scomparso lo stimolo che le produce.

Savart ¹⁾, nel corso delle sue celebri esperienze con « la ruota dentata » per la ricerca del limite massimo dei suoni percettibili, scoprì che l'analogo fenomeno ha luogo per le percezioni uditive. Avendo egli osservato che un suono incomincia, nel nostro orecchió, ad essere percepito con continuità quando vibrazioni solitarie, separate da intervalli inerti si succedono in numero di 12 al secondo, dedusse che il tempo di persistenza o periodo di eccitazione postuma delle impressioni acustiche sia poco meno di $\frac{1}{12}$ di secondo.

Più recenti ed accurate ricerche quantitative, condotte da sperimentatori quali il Mach ²⁾, l'Exner ³⁾, il Meyer ⁴⁾,... hanno però dimostrato che la durata dell'eccitazione postuma varia secondo l'altezza del suono agente; rivelandosi, in generale, massima per i suoi gravi, minima per quelli acuti.

¹⁾ Savart. — « Note sur la sensibilité de l'organe de l'ouïe ». *Annales de Physique et de Chimie*. 1830. — L'institut. 1839.

²⁾ Mach. — « Sitzber. der Wien. Akad. ». Vol. 51, pag. 142.

³⁾ Exner. — « Exper. Unters. d. (einf.) psych. Prozesse. III. Abhand. Pflüger's Archiv ». Vol. XI. 1875. Pag. 403 e seg.

⁴⁾ A. M. Meyer. — *The American Journal of science*. 3, 147, p. I, 283, 1894.

Il Prof. Luciani ¹⁾, da un'analisi discriminativa dei risultati ottenuti dai diversi investigatori, ha prodotto i dati che qui trascrivo:

pei toni bassi (do_1) è = 0,0395 — 0,0209 di secondo

pei toni alti (do_2) è = 0,055 — 0,0008 »

pei rumori . . . è = 0,016 — 0,002 »

2. — Sull'appoggio di questi studi parve a me possibile che la voce umana ed i suoni musicali potessero essere percepiti nella perfetta loro integrità per serie o gruppi intermittenti di oscillazioni acustiche succedentisi a brevi e regolari intervalli di tempo, durante i quali sia impedito alle onde sonore di raggiungere la membrana timpanica.

La natura assai complessa delle vibrazioni della parola, da una parte, e la possibilità che durante gl'intervalli potessero venir sottratte all'orecchio parte dei suoni vocali indispensabili per la loro totale comprensione, dall'altra, erano però ragioni sufficienti a far porre qualche riserva sulla verità dell'idea enuciata.

Lascio, per il momento, ogni discussione in proposito e passo senz'altro a riferire intorno alle esperienze eseguite per la verifica.

3. — Allo scopo di ottenere agevolmente le volute intermittenze nelle vibrazioni, la voce veniva pronunciata davanti ad un microfono e da questo, attraverso una bobina d'induzione, trasmessa ad un comune ricevitore telefonico, posto a lunga distanza. Il piano di esperienza è indicato schematicamente nella Fig. 1. Nel secondario della bobina, oltre al telefono, trovavasi inserito uno speciale interruttore rotativo I mediante il quale era possibile chiudere ed aprire, per tempi eguali, il circuito di linea un gran numero di volte al secondo, regolabile a volontà dentro limiti sufficientemente lontani.

¹⁾ L. Luciani. — « Fisiologia dell'uomo ».

L'interruttore consisteva essenzialmente in un disco di ottone, dentato alla periferia, fisso ad un asse verticale, anch'esso di ottone, intorno al quale veniva posto in rapida rotazione. Un sottile getto di mercurio cadente verticalmente sui denti funzionava da spazzola. Un capo del circuito era collegato all'asse, l'altro immerso nel serbatoio da cui fluiva il mercurio.

Fig. 1.

Il modo di funzionare di questo apparecchio è ovvio, epperò non v'insisto; dirò solo che tutte le precauzioni costruttive erano prese — e qui lascio i dettagli — perchè le interruzioni risultassero nette, sicuri i contatti.

L'uso della bobina d'induzione era reso necessario dal bisogno di evitare, quale causa perturbatrice, i colpi che si sarebbero avuti al telefono ad ogni contatto ed interruzione qualora interruttore e telefono si fossero trovati direttamente collegati al circuito della pila. Ciò posto ecco brevemente i risultati conseguiti.

4. — Regolando la velocità di rotazione del disco al punto d'avere intervalli della durata di $\frac{1}{10}$ di secondo circa, la voce era già compresa al ricevitore; in tali condizioni però essa presentava uno spiccato carattere di rancedine granulosa: simile a quella di chi, parlando, avesse l'acqua nella gola.

Aumentando via via la velocità di rotazione, la voce diveniva mano a mano più chiara e distinta; in pari tempo andava

abbassandosi d'intensità l'impronta granulosa che le conferiva proprietà acustiche turbolente dapprima, tendenti all'armonioso poi, con intermittenze più frequenti, sino a che, arrivata ad un regime cui corrispondeva per gl'intervalli la durata di qualche $\frac{1}{200}$ o $\frac{1}{25}$, di secondo, i suoni parassitari — li dirò così — erano talmente ridotti da non dare più fastidio all'orecchio.

Il criterio che mi suggerì l'adozione di quel tipo d'interruttore a spazzola liquida fu di evitare il brusio che accade di ascoltare al telefono quando nel suo circuito esistono contatti striscianti. Ho poi trovato superflua tale precauzione poichè un ordinario interruttore intermittente a lamine e spazzola solide rispondeva molto bene allo scopo della ricerca.

Facendo servire come interruttori alcuni relais molto sensibili (Standard, Rowland), comunemente impiegati nei sistemi di telegrafia rapida, azionati da adatti generatori di corrente intermittente, ho potuto constatare che per interruzioni molto frequenti una conversazione telefonica è possibile anche quando la durata dei tempi di contatto veniva ridotta alla metà di quella degl'intervalli.

Dal confronto dei dati avuti nelle presenti esperienze con quelli prodotti dal Luciani, emerge un fatto capitale per la teoria fisiologica del fenomeno, ed è che la voce conserva i sufficienti caratteri d'intelligibilità anche quando le interruzioni superano il tempo per il quale l'orecchio mantiene la percezione residua di ciascuno dei suoni suoi componenti.

Le esperienze hanno ancora provato che rendendo gl'intervalli più grandi di $\frac{1}{10}$ di secondo la voce non cessa del tutto d'essere compressibile: sebbene poco chiara ed assai turbolenta. Per ragioni che esporrò occorre ritenere che in questo caso interviene lo stesso potere integrativo della mente umana per cui si è atti a percepire le parole di un balbuziente o di un bimbo che non abbia imparato a pronunziare tutte le consonanti.

Risultati analoghi si sono avuti sperimentando sui suoni musicali.

5. — Seguono, nel presente e successivo paragrafo, alcune discussioni intese ad illustrare brevemente i fatti osservati.

Nel linguaggio articolato vengono distinti, quali elementi, le vocali e le consonanti; sia le une che le altre hanno parte indispensabile nell'audizione, epperò nessuna di esse può essere totalmente sottratta all'orecchio senza danno della chiara percezione della voce. Le parti che presentano maggiore probabilità di sfuggire durante le interruzioni che si avevano nelle esperienze descritte sono, evidentamente, le consonanti, perchè generalmente più brevi delle vocali.

Difatti, per una voce ordinaria la cui nota fondamentale comprenda 160 vibrazioni nell'unità di tempo, una sillaba abbraccia poco meno di 30 periodi, dei quali una ventina spettano alla vocale, il resto — 8 circa — alla consonante che risulta così, della durata di qualche $\frac{1}{20}$ di secondo. Nelle condizioni di estrema rapidità di pronunzia, corrispondenti ad un regime di 10 sillabe al secondo, oltre cui la voce cesserebbe d'essere intelligibile, compete alle consonanti la durata minima di $\frac{1}{40}$ di secondo.

Ora, perchè si possa esser certi che almeno una parte di ciascuna delle più brevi consonanti arrivi all'orecchio, in un'audizione intermittente della parola, è necessario che la durata degl'intervalli, in cui è preclusa la via di propagazione alle vibrazioni, sia inferiore ad $\frac{1}{40}$ di secondo: eguale ad $\frac{1}{80}$ se si vuole che complessivamente la metà trovi libera la via e vada ad impressionare la membrana del timpano.

Questa osservazione, cui io mi riferivo, avanti di sperimentare, mi dava ragione di pensare che per una velocità di rotazione dell'interruttore corrispondente appunto alla durata di $\frac{1}{80}$ di secondo da parte degl'intervalli, si sarebbe dovuta percepire la voce e che tale percezione si sarebbe dovuta sempre avere per più alte velocità poichè per esse la condizione testè esposta non cessa di sussistere. Il fatto poi constatato, che ciò in realtà ottenevasi molto prima — e cioè ad $\frac{1}{40}$ di secondo — resta, d'altra parte, pienamente giustificato, attesochè deve

ritenersi che sia $\frac{1}{20}$ e non $\frac{1}{40}$ di secondo l'ordine di grandezza del tempo normalmente impiegato alla emissione del più breve suono elementare della voce.

Per i suoni musicali la durata degl'intervalli può estendersi ad $\frac{1}{20}$ di secondo poichè è risaputo che la durata minima di un suono facente parte di una melodia è di $\frac{1}{10}$ circa di detta unità di tempo.

6. — Alla formazione dei suoni perturbatori che accompagnavano la parola concorrono in grado diverso, parecchie cause.

a) In primo luogo l'intermittenza stessa degli stimoli sonori.

È noto, a tal proposito, che il decorso d'una impressione sensoriale specifica non presenta le stesse modalità dello stimolo agente. Supposta costante l'intensità di quest'ultimo, è bene accertato che dall'inizio della sua azione decorre sempre un certo tempo prima che la sensazione raggiunga la sua piena intensità; raggiunto il massimo, secondo una certa curva di accrescimento presenta un periodo più o meno lungo di fissità durante il quale rimane sensibilmente eguale a sè stessa. Cessato lo stimolo la sensazione persiste alquanto ma durante questa fase ha andamento continuamente decrescente sino alla sua totale estinzione.

Ora, se due o più stimoli si succedono l'un dopo l'altro con rapidità tale da dare adito ad una nuova sensazione d'insorgere prima ancora che la precedente sia estinta, vi sarà bene continuità nel fenomeno percettivo, per quella data sensazione, ma non costanza nell'intensità del medesimo, poichè vi è affievolimento delle regioni prossime ed in quelle in cui due percezioni consecutive vengono a fondersi insieme. Si produrranno pertanto falsi battimenti la cui frequenza cresce col numero delle intermittenze che si hanno nell'unità di tempo. Contemporaneamente andrà impicciolendosi la differenza tra le fasi di massima e di minima intensità percettiva sino a divenire affatto trascurabile. Anche questo conformemente ai fatti osservati.

b) Interviene altresì un fenomeno che chiamerò di « *dispersione acustico-fisiologica* » sul quale io desidero richiamare l'attenzione del lettore anche per quella parte che esso ha — come fenomeno per sè stante — nella teoria fisiologica dell'audizione.

Dei molti suoni di cui risulta composta la voce umana: fondamentale ed armonici diversi, non tutti persistono in egual grado nell'organo dell'udito; si è detto nella breve introduzione di questa nota che i primi ad estinguersi sono i suoni acuti, poi, via via, quelli gravi. Questo fatto verificato sperimentando separatamente sui suoni semplici, non cessa di sussistere quanto più suoni agiscono contemporaneamente sul nostro orecchio, dal momento che ciascuno di essi determina una impressione propria in modo indipendente da quelle che altri suoni possano simultaneamente produrre (Helmholtz). Pertanto accadrà, come nel caso della parola, operando per intermittenze, che i suoni gravi faranno relativamente sentire la loro parte predominante su quelli acuti per il più prolungato effetto che essi hanno rispetto a questi ultimi.

Accanto a queste cause perturbatrici di natura psico-fisiologica, altre ve ne sono dipendenti da fatti accidentali, dovuti agli apparecchi impiegati nelle esperienze ed a noti fenomeni elettrici.

c) Allorchè vien chiuso un circuito nel quale trovasi inserita una sorgente di *f. e. m.* variabile in un istante in cui il valore di detta grandezza è diverso da zero, avanti che la corrente raggiunga lo stato di normale regime che le compete, hanno luogo, per un certo periodo — la cui durata oltre che dal valore stesso della *f. e. m.* nell'istante della chiusura, dipende dalle costanti elettromagnetiche del circuito — fenomeni transitorii nella corrente che ne alterano enormemente la forma. Alterazioni di tal genere si producono nelle correnti micro-telefoniche e quindi nelle corrispondenti vibrazioni della lamina vibrante, periodicamente ad ogni nuovo contatto della spazzola con i denti dell'interruttore.

d) Questi contatti striscianti infine diventano sorgente di piccole forze elettromotrici intermittenti di natura termoelettrica, dovute al calore di attrito tra metalli diversi, che contribuiscono, sia pure in grado minimo, ad alterare le deboli correnti telefoniche.

Non è improbabile che altre cause vi concorranno insieme oltre quelle cui si è fatto cenno. Per esempio una pseudo risonanza da parte della membrana del ricevitore, manifestantesi in oscillazioni rapidamente smorzate alla fine di ciascuna interruzione.... In ogni caso però esse avrebbero parte affatto secondaria e quindi non meritevoli di speciale esame.

Le precedenti osservazioni permettono queste

Conclusioni.

I. — La voce umana è percettibile per serie intermittenti di vibrazioni acustiche.

II. — Perchè tale percezione sia chiara e distinta è indispensabile che la durata delle intermittenze non superi la metà del minimo tempo occorrente per la pronunzia del più breve suono elementare della voce.

III. — Perchè le intermittenze rechino il minimo disturbo all'orecchio è necessario che la loro durata non superi il tempo di persistenza di quella dei suoni componenti che possiede in grado minimo tale costante fisiologica.

In una prossima comunicazione riferirò intorno ad alcune ricerche ed esperienze preliminari per un sistema di telefonia multipla cui il presente lavoro ha dato fondamento.

Roma, Istituto Fisico della R. Università.