

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCXIII.

1916

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXV.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1916

Matematica applicata. — *Della volgarizzazione ed applicazione della fisica-matematica in medicina* (1). Nota II del prof. S. SALAGHI, presentata dal Socio A. RUFFINI.

Dopo la Nota pubblicata nel 1912 in questi Rendiconti della r. Accademia dei Lincei (2), ho proseguito nell'opera di volgarizzazione della fisica-matematica ad uso dei medici. Allora mi ero occupato delle applicazioni della idrodinamica alla circolazione del sangue (*emodinamica*). Questa volta ho reso in forma intelligibile ai medici un problema di acustica fisiologica, che io per primo ho trattato: *Delle vibrazioni sonore in rapporto con la conformazione dell'organo dell'udito nell'uomo*. Per farmi intendere, però, non ho potuto, come è naturale, conservare il linguaggio proprio dei matematici; ma ho usato alcune espressioni che, se non corrispondono interamente alla tecnica matematica, pure servono a rendere chiaro ai profani il significato di certe formule. A rettificazione per i cultori delle matematiche, credo ora opportuno di dare un cenno della base teorica del mio lavoro.

Nello svolgimento del tema ebbi a guida principalmente i due elementi essenziali di ogni movimento: forza viva e resistenza. Sotto tale aspetto non erano ancora stati studiati gli argomenti di acustica fisiologica.

Rispetto alla energia cinetica dei corpi vibranti, poco finora si sapeva di positivo. Nell'espone una sua teoria della audizione, lo Kuile, è vero, aveva mostrato che questa energia, a parità di altre condizioni, doveva ritenersi eguale indistintamente per i suoni acuti e per i gravi (3). Egli però aveva considerato unicamente l'energia totale posseduta dal corpo vibrante. Rimaneva tuttora da conoscersi il lato più importante per la fisiologia dell'udito, cioè quanta parte della energia totale venga emessa individualmente dalle vibrazioni: in altri termini, la modalità nell'estrinsecarsi della energia. È presumibile che essa varii secondo la frequenza delle vibrazioni stesse, tenuto

(1) Lavoro fatto nel laboratorio di terapia fisica della r. Università di Bologna.

(2) Rendiconti della r. Accademia dei Lincei, classe di scienze fisiche matematiche e naturali, vol. XXI, serie 5ª, 2º sem., fasc. 1º, luglio 1912.

(3) L'energia è il quadrato del prodotto di  $n$  (numero delle vibrazioni) per  $A$  (loro ampiezza): è  $n^2 A^2$ . Sussiste, per es., l'eguaglianza

$$Kn^2 A^2 = K 64 n^2 \times \frac{A^2}{64},$$

benchè il tono, che è raffigurato nel secondo membro della equazione, sia di tre ottave più alto del tono a cui si riferisce il primo membro. Il variare dei toni non ha dunque influenza.

presente il modo con cui queste si susseguono. Da principio hanno la massima ampiezza ed energia; poi vanno a mano a mano indebolendosi, finchè cessano. Il loro estinguersi graduale dalla parte degli acuti, nell'unità di tempo, si compie con moltissime oscillazioni di piccola ampiezza iniziale; dalla parte dei bassi con poche oscillazioni, ma dotate di notevole ampiezza e durata. L'ampiezza iniziale è l'inversa della frequenza.

Per verificare l'esattezza di questa ipotesi, ricorsi al metodo sperimentale, che nel caso presente era la via migliore da seguire per i medici. Feci a tal fine costruire un nuovo modello di sonometro (1). I tipi ordinari non potevano soddisfare alle condizioni richieste dalle esperienze. In quell'istrumento v'è di speciale che la forza con cui sono percosse le singole corde metalliche, accordate a toni acuti o a gravi, è costante. Inoltre lo smorzamento dei suoni vi è ottenuto e graduato per mezzo di pesi, che scendono sulle corde appena percosse: essi rappresentano la resistenza che conviene opporre per fermarne la vibrazione (2).

Dalle esperienze istituitevi è risultato che, a scendere dai toni acuti verso ai gravi, l'energia che viene emessa individualmente dalle vibrazioni di fronte all'ostacolo offerto dai pesi, vale a dire il lavoro che possono compiere, ad ogni nuova ottava si raddoppia (3). Crescerebbe dunque, dagli acuti ai gravi, in progressione geometrica di ragione due; o almeno ne mostra la tendenza. Secondo la stessa progressione geometrica di ragione due cresce, già si sa, di ottava in ottava pure la frequenza delle vibrazioni. La progressione però vi procede in verso contrario, ossia sale dai gravi agli acuti. Le due funzioni (frequenza e valore cinetico individuale) delle vibrazioni sono dunque tra loro inversamente proporzionali.

Da queste esperienze resta giustificata la distinzione, già da noi intraveduta, tra l'energia *totale* delle vibrazioni prese collettivamente e quella parte di energia che *individualmente* possono sviluppare contro una data resistenza. La prima, secondo la dimostrazione di ter Kuile, è costante per ogni grado ed ottava della scala. La seconda, che rappresenta (per dir così) la modalità nell'estrinsecarsi della energia, varia, secondo le nostre esperienze, in ragione inversa della altezza dei toni. Da ora in avanti, per brevità, come energia delle vibrazioni intenderemo quella che esse emettono individualmente. Questo intanto è un primo elemento qui acquisito per lo svolgimento del tema.

(1) S. Salaghi, *Nuovo sonometro per lo studio di fenomeni acustici*. Gazzetta degli ospedali e delle cliniche, n. 132, an. 1914.

(2) Il meccanismo per la percussione delle corde metalliche vi è fatto sul principio di quello che è usato nei pianoforti. Viene così esso pure a partecipare dell'alto grado di perfezionamento a cui è giunta la costruzione di simili istrumenti.

(3) S. Salaghi, *Sullo smorzamento dei suoni di differente altezza* (studio sperimentale, con 3 figure). Bullettino delle scienze mediche, n. 12, an. 1914.

Il secondo quesito proposto allo studio era di esaminare la perdita di carico a cui vanno soggette le vibrazioni acustiche a cagione della resistenza che incontrano nell'organo dell'udito nell'uomo. Prima però di venire a questa parte, è necessario di dare qualche cenno di anatomia, ciò che farò in calce<sup>(1)</sup>. Di più v'è da determinare la specie della spirale che descrive il tubo ad asse spirale costituente la chiocciola umana.

Esaminando i preparati di chiocciola umana, che si trovano nel Museo anatomico dell'Università di Bologna, osservai che, a partire dal vertice della chiocciola (polo della spirale), la distanza tra le spire ad ogni giro si raddoppia. Con questo dato anatomico esaminai le diverse spirali: spirale di

(<sup>1</sup>) L'apparecchio periferico del senso dell'udito si trova nell'orecchio interno, racchiuso entro la chiocciola (fig. 1). Questa è costituita da un tubo osseo ritorto a forma

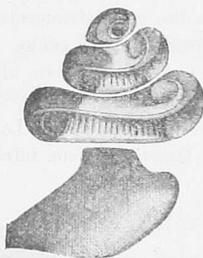


FIG. 1. — La chiocciola umana aperta. — Figura pittorica  
(SAPPAY)

di spirale. Vi si considera una base nella parte più espansa ed un apice all'altra estremità assottigliata. Il tubo, lungo il suo decorso, è diviso in due canali simmetrici da un setto in parte osseo, in parte membranoso (*membrana basilare*). Sopra la parte membranosa del setto è disteso, allineato a mo' di tastiera seguendo l'andamento delle spire, l'organo senziante periferico (del Corti), a cui fanno capo le fibre terminali del nervo addetto al senso dell'udito (*nervo cocleare*). Ambedue i canali ossei simmetrici, al loro inizio dalla base della chiocciola, hanno una apertura rivestita di membrana flessibile e sono ripieni di liquido, detto labirintico. Queste due aperture rivestite di membrana, chiamate finestra rotonda e finestra ovale, sono le uniche parti cedevoli del sistema. Le vibrazioni sonore, dopo avere percorso l'orecchio esterno ed il medio, colpiscono una di quelle membrane agitando il liquido interno. Esso è libero di spostarsi in grazia alla controapertura che si trova, di là dal setto, nell'altro canale. Il moto vibratorio deve quindi farsi strada attraverso il setto membranoso ed il soprappostovi organo del Corti, il quale ne resta scosso e stimolato. Onde ha origine l'impressione sensoriale periferica dei suoni.

Il setto membranoso, membrana basilare, è di struttura fibrillare. Le fibre che sono disposte nel senso trasverso sono molto robuste, tese come corde. Secondo la teoria originaria dell'Helmholtz, esse funzionerebbero a guisa di tanti risuonatori per l'analisi dei suoni. La membrana sostiene inoltre il carico dell'organo del Corti e, insieme, le sue parti di

Archimede, parabolica, logaritmica (detta di Cartesio), iperbolica; e potei dedurre che il tubo osseo cocleare segue l'andamento della spirale logaritmica, o almeno ne mostra la tendenza. Questa spirale in coordinate polari è espressa da

$$(I) \quad \rho = e^{a\omega}.$$

Data la condizione  $\rho_2 - \rho_1 = 2$ ,  $\rho_3 - \rho_2 = 4$  ecc., si ha  $a = 0,11$ ,  $e^a = 1,116$ . L'equazione diventa

$$(II) \quad \rho = \{1,116\}^\omega.$$

sostegno. Per tutto ciò prevale ora tra gli scrittori l'opinione che essa realmente sia troppo resistente per vibrare sotto l'azione delle onde sonore; vibrerebbero invece altre parti sovrastanti, restando essa immobile. Senza entrare nel dibattito, mi basta di rilevare il fatto che il mezzo di propagazione delle onde sonore dall'una all'altra apertura o finestra del tubo cocleare, attraverso il setto, è, relativamente, molto resistente. Non è come il caso in cui si trattasse semplicemente di un liquido.

Avvertasi che il tubo osseo cocleare, originato alla base dell'organo, a livello delle due finestre, non passa subito a formare i giri cocleari visibili nella fig. 1. Per un certo tratto decorre celato sotto altre parti (promontorio). La curva che allora descrive è dolce e, da principio, irregolare (fig. 2). Questa porzione iniziale, lunga mm. 9, fu descritta per

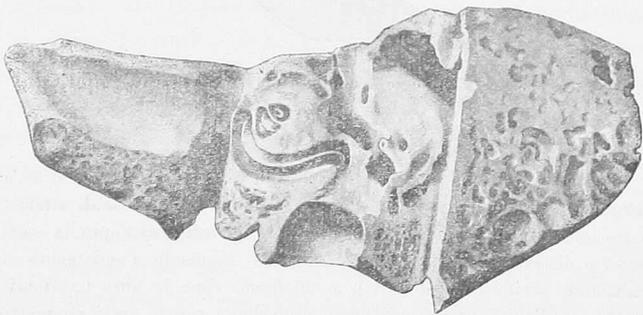


FIG. 2. — Decorso della porzione sigmoidea del canale osseo cocleare.  
Ingrandimento due volte dal vero (Ruffini)

La porzione sigmoidea si trova distesa circa nel centro del preparato, ove se ne distingue bene la forma ad S italiana. Nella prima parte a destra forma un gomito, in cui la curva spirale va in verso contrario al suo andamento regolare. Nel resto del decorso a sinistra la curvatura è molto lieve in confronto di quella dei giri cocleari visibili al disopra della sua estremità a sinistra.

la prima volta, nel 1902, dal prof. A. Ruffini, attuale direttore dell'Istituto di istologia e fisiologia generale nella Università di Bologna, a da lui distinta col nome di *porzione sigmoidea* per la sua forma ad S italiana [A. Ruffini, *La cassa del timpano, il labirinto osseo ed il fondo del condotto auditivo interno nell'uomo adulto*. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie, Bd. LXXI, H. 3 (1902). Il lavoro vi fu pubblicato in italiano].

In questo caso, procedendo in direzione del polo, il raggio vettore, la lunghezza delle spire, il raggio di curvatura variano da spira a spira in progressione geometrica di ragione  $\frac{1}{2}$ ; di ragione 2, all'opposto, la curvatura.

È da osservare che la chiocciola non rappresenta una figura piana, ma è un corpo a forma di cono. Il tubo osseo cocleare, procedendo dalla base della chiocciola al vertice, descrive una spirale che potrebbe chiamarsi *conica-logaritmica*. La vera spirale logaritmica ne è la proiezione nel piano. In conseguenza l'equazione (II) si trasforma in

$$(III) \quad \rho \sin \alpha = \{ 1,116 \}^{\omega},$$

in cui  $\alpha$  è l'angolo di apertura del cono. Assumendo come dati della chiocciola umana, per l'altezza, mm. 4, per il diametro della base mm. 8, e come origine delle coordinate il vertice del cono, l'angolo  $\alpha$  risulta di  $45^{\circ}$ . Siccome  $\sin 45^{\circ} = 0,707$ ,  $\frac{1}{\sin 45^{\circ}} = 1,414$ , l'equazione precedente diviene

$$(IV) \quad \rho = 1,414 \{ 1,116 \}^{\omega},$$

in cui ai valori iniziali della equazione (II) si è aggiunto un fattore costante (1).

Chimica fisica. — *Ricerche sulla velocità di scissione del lattosio per azione del « fermento bulgaro »* (\*). Nota I di G. QUAGLIARIELLO e C. VENTURA, presentata dal Corrispondente FILIPPO BOTTAZZI.

È noto che il « fermento bulgaro » ha la proprietà di invertire lo zucchero di latte, e di trasformare poi i due prodotti di scissione (glicosio e galattosio) in acido lattico, con formazione contemporanea di tracce di acidi succinico, acetico e formico. Ora noi abbiamo voluto studiare la velocità con cui la detta trasformazione avviene.

Le ricerche sono state fatte sul latte, sul siero di latte e su soluzione pura di lattosio. In quest'ultimo caso lo zucchero era sciolto in liquido di Ringer contenente 1 % di peptone, aggiunto per offrire ai bacilli un opportuno terreno di cultura

Per seguire la velocità di trasformazione dello zucchero, ci siamo serviti del metodo titrimetrico. Il latte, o il siero di latte, o la soluzione di lattosio, distribuiti in tubi da saggio, venivano opportunamente sterilizzati,

(1) S. Salgghi, *La teoria della spirale logaritmica applicata all'apparecchio cocleare*. Archivio italiano di otologia, rinologia e laringologia, 1916, fasc. 1°.

(\*) Ricerche eseguite nell'Istituto di fisiologia della r. Università di Napoli.