**SULLE FIGURE ACUSTICHE GENERATE DAI DIAPASON IN UN TUBO
DI VETRO CHIUSO AD UNA ESTREMITÀ; PER A. DE ECCHER.**

III. ⁽¹⁾

*Nuovo metodo per istabilire il numero di vibrazioni della
nota fondamentale e dei toni armonici di un diapason.*

Le esperienze dei due numeri precedenti ci hanno mostrato che il metodo adottato per mettere in vibrazione l'aria nell'interno d'un tubo chiuso ad un'estremità è tale che dalla figura ottenutane si può, conoscendo la temperatura dell'ambiente, dedurne il numero di vibrazioni del suono prodottovi, o viceversa, conoscendo il numero di vibrazioni di detto suono, calcolare la temperatura alla quale fu eseguita l'esperienza.

Un tal metodo, come già fu accennato, lo stimai molto opportuno per determinare facilmente il numero delle vibrazioni corrispondenti ai vari toni armonici d'un diapason; e propriamente per ora mi son limitato a stabilire soltanto il numero di vibrazioni del primo e del secondo tono che un diapason è capace di dare. E per potere fin da principio valutare la bontà di questo sistema, feci eseguire alcune esperienze con diversi diapason da persone che nulla sapevano dello scopo a cui dette esperienze dovevan servire, ed alle quali, avendo mostrato la figura che colla nota fondamentale del diapason si poteva ottenere, avevo solo ingiunto possibilmente di riprodurla. Ebbene; in dodici e più di simili esperienze, nelle quali anche le mezze onde venivano misurate da chi faceva l'esperienza, in modo adunque che io non avessi che i dati per eseguire il calcolo, trovai che il massimo errore commesso fu una sol volta di 6 vibrazioni in più, e che generalmente non superò le 3 vibrazioni, discendendo anche al disotto di questi limiti.

Non occorre dunque una mano pratica nell'esperimentare

(1) *Continuazione e fine*. V. pag. 304.

per poter con simile metodo stabilire con precisione il numero di vibrazioni di un diapason; anzi mi pare che esso permetta di raggiungere una precisione maggiore di molti altri generalmente usati. Colla sirena, per esempio, riesce assai difficile di mantenere per un certo tempo la pressione dell'aria tanto costante da far sì che il suono emesso corrisponda perfettamente a quello del diapason; e solo dopo molte esperienze, prendendo la media fra le migliori, si possono ottenere dei buoni risultati; mentre col metodo accennato prendendo la media di 5 alle 6 esperienze, che si lasciano in breve tempo facilmente eseguire, si è sicuri d'ottenere una precisione anche di frazioni di vibrazione.

Altrettanto dicasi del metodo grafico col quale dovendo munire il diapason d'una punta, si è sicuri che varia le sue vibrazioni, e se ciò non deve essere bisogna convenientemente caricare anche l'altra branca, nonchè il basso delle branche del diapason con delle pallottole di cera, ed occorre poi sempre un suono di confronto per ridurre il diapason all'intonazione di prima. Per cui, astrazione fatta che l'applicazione d'un tal metodo esige un apparecchio speciale, si possono facilmente commettere col medesimo degli errori maggiori anche di una o più vibrazioni.

Così pure volendo adoperare il metodo dei battimenti per stabilire il numero di vibrazioni d'un diapason, occorrono anche in tal caso altri suoni di confronto dati possibilmente da diapason dei quali si conosca già il numero di vibrazioni; apparecchi tutti che pochi Gabinetti di Fisica possono avere a loro disposizione.

Ugualmente costoso sarebbe un fonografo di Scott e Kœnig, e del resto anche con tale apparecchio si commettono assai facilmente degli errori, e ci vuole una mano assai esercitata per poter con questo stabilire il numero di vibrazioni di un diapason.

Certo il metodo più sicuro è quello di adoperare il comparatore di Lissajous; con un poco di pratica nel trattarlo si ottengono con esso i migliori risultati; e si sa che tal metodo di confronto si usa presentemente per accordare i diapason che devono dare il La normale.

Anche il metodo di Felici può dare dei buoni risultati, ma anche per questo occorre avere a propria disposizione un buon

roteggio, che permetta di stabilire con precisione il numero dei giri compiuti dal disco colle fessure in un dato numero di secondi, diversamente si possono commettere degli errori piuttosto rilevanti.

Più semplice però rimane sempre il metodo sopra accennato, e perchè richiede meno costosi apparecchi, bastando un sol tubo di vetro di più di 15 mm. di diametro, ed un po' di limatura di sughero, e perchè è tale da dare dei buoni risultati in mano di un poco pratico e degli eccellenti in mano di un sperimentatore. Ad occhi chiusi, direi quasi, si può accorgersi quando la lunghezza della colonna d'aria vibrante entro il tubo di vetro è ben scelta, e quindi la figura che vi si forma regolare. Si sente in tal caso il suono del diapason rinforzato. Ora, ponendo attenzione di ottenere il massimo di risonanza, spostando convenientemente e leggermente il tappo che chiude una delle aperture del tubo, se anche nel momento in cui si percepisce il massimo rinforzo la figura non è chiarissima (ciocchè dipende generalmente dall'essersi formata più volte la figura, mentre che ad ogni nuova formazione una certa quantità di limatura resta aderente al tubo di vetro) basta, trovata in tal modo la vera lunghezza vibrante, distribuire nuovamente la limatura di sughero, e poi si è sicuri che al primo suono emesso dal diapason si forma una figura chiarissima che nulla lascia a desiderare. Del resto le esperienze che ora verrò citando mostrano chiaramente che, se anche questa lunghezza di colonna d'aria vibrante non è precisa, ma è un po' troppo grande, o troppo piccola, tuttavia la figura si forma con ogni regolarità, in modo da offrire sempre degli ottimi dati per il calcolo. Certo che se la figura si forma appena può presentare delle irregolarità, e si può quindi facilmente trovare un numero di vibrazioni per un diapason abbastanza lontano dal vero.

Del resto, senza usare precauzioni straordinarie, ho riscontrato il numero di vibrazioni di 12 diapason che avevo a mia disposizione, e prendendo per ognuno la media di 4 esperienze, ho ottenuto dei numeri che variavano al più di 0.6, di vibrazione dal numero che portavano inciso. Il massimo errore commesso in queste esperienze si fu di 2 vibrazioni in meno, errore facilmente evitabile.

Infatti, occorre di sovente ripulire l'interno del tubo e distribuirvi quindi della nuova limatura. Se subito dopo si eseguisce un'esperienza è facile che la temperatura interna del tubo sia di qualche frazione di grado maggiore dell'esterna, ed in tal modo che la lunghezza delle mezz'onde trovata appartenga, per esempio, alla temperatura di 25,1, invece che di 25 g. Siccome si calcola lo spazio percorso dal suono in un secondo alla temperatura di 25 g., segnati dai termometri che stanno all'esterno del tubo, può darsi il caso che si divida un tal numero per un numero troppo grande, e quindi diminuisce necessariamente il quoziente, e si ottiene un numero di vibrazioni minore del reale. Infatti ho osservato costantemente che il numero di vibrazioni trovato il più delle volte è di qualche cosa al disotto del vero. Si potrebbe forse collocare dei termometri nell'interno del tubo, sia introducendoveli, e lasciandoli riposare sul fondo, con che impedirebbero in qualche punto la formazione regolare della figura, sia fissandoli in alcuni fori praticati appositamente nel tubo stesso. Ma forse il rimedio potrebbe essere peggiore del male, modificando la loro presenza nell'interno del tubo forse di troppo le condizioni di risonanza. Del resto, se occorre ripulire il tubo, basta lasciarlo per qualche tempo in quiete quando si voglia eseguire un'esperienza di tutta precisione, e si è così sicuri che al momento di adoperarlo la sua temperatura interna è uguale all'esterna.

Non istarò a citare le molte esperienze eseguite per stabilire il numero di vibrazioni corrispondenti alla nota fondamentale di un diapason; basti quanto ho accennato, che cioè nel peggiore dei casi l'errore non fu maggiore di 2 vibrazioni in meno del numero reale. Invece riporterò qualche tavola circa alle esperienze eseguite per stabilire il numero di vibrazioni corrispondenti al secondo tono che è capace di dare un diapason; quando presenta cioè due nodi, uno per branca, situati circa ad un quinto della lunghezza della branca stessa, partendo dalla sua estremità. Per toni così acuti come i toni superiori di un diapason sarebbe quasi impossibile stabilire il numero di vibrazioni colla sirena; l'unico mezzo resterebbe sempre il comparatore di Lissajous. Invece col metodo accennato si ottengono dei risultati pronti e sicuri, e delle figure che sono una magnificenza a vederle.

Descriverò un'esperienza eseguita col secondo tono del diapason Sol 4 di 768 vibrazioni: — Al solito adoperai un tubo lungo oltre un metro e mezzo e di 20 mm. di diametro, chiuso ad una estremità con un tappo movibile a sfregamento per mezzo di un cannello di vetro, e collocai il diapason avanti l'altra apertura del tubo, dopo avere nel medesimo essiccata bene l'aria ed avervi distribuita uniformemente della limatura di sughero. In questo caso, se si colloca al solito l'apertura del tubo dinanzi l'estremità superiore di una delle branche del diapason in modo che detta estremità sporga superiormente di circa un millimetro, si ottiene una figura assai sbiadita, e qualche volta nessuna figura, essendochè quel punto corrisponde all'incirca ad un nodo di vibrazione pel secondo tono armonico del diapason. Invece il massimo d'effetto si ha collocando l'apertura del tubo non dirimpetto all'estremità della branca del diapason, ma circa verso la metà della lunghezza di detta branca, dinanzi cioè presso a poco a quel punto che corrisponde alla metà del ventre di vibrazione della branca del diapason, dove le molecole vibranti hanno il massimo d'elongazione. Dopo aver passeggiato, lentamente spostandolo di millimetro in millimetro, il tappo, trovai una posizione dove il movimento della limatura era molto marcato, e nello stesso tempo si sentiva un rinforzo del suono emesso dal diapason. Distribuita allora uniformemente la limatura nell'interno del tubo, cercai di mantenere costante per circa 30 secondi il suono emesso dal diapason facendo in modo che una volta la branca di questo urtasse leggermente contro il tubo, e rimasi meravigliato della bellissima figura ottenuta. Misurata la lunghezza vibrante la trovai di 1397,2 mm. ed il numero dei nodi di 38. Ogni nodo è costituito dalla limatura distribuita sulla periferia d'un'elissi quasi circolare, e fra l'uno e l'altro si formano chiarissime le strie trasversali, che anzi si propagano fino presso l'elissi, dove si biforciano continuando leggerissime e minute lungo la periferia in modo da congiungersi con quelle delle mezze onde antecedenti o susseguenti. Molte volte una piccolissima quantità di polvere e della più sottile, si distribuisce nell'interno del nodo stesso, formando delle strie finissime e difficilmente numerabili, che raramente si estendono per tutta la larghezza del medesimo; anzi, pare

che queste strie abbiano origine presso la periferia del nodo, senza però essere la continuazione di quelle che la costituiscono, e propriamente presso le parti della periferia collocate a destra ed a sinistra dell'asse longitudinale del tubo, di dove si protendono verso la linea longitudinale di mezzo del nodo, senza generalmente combinare nella propria direzione, ma in certo qual modo alternandosi le une colle altre. Misurata coi metodi già accennati la posizione dei nodi, e quindi la loro distanza rispettiva, trovai che il primo nodo distava 7 mm. dall'apertura del tubo, il secondo dal primo mm. 33,4, ed il terzo dal secondo di mm. 37,5. Dal terzo nodo in poi le distanze variano fra 37,65 e 37,70 e propriamente alternando fra loro trovai 18 volte le distanze di millimetri 37,70 e 15 volte quella di 37,65. Come somma, omessi i 3 primi nodi, si ottiene millimetri 1318,65, che diviso poi per 35, numero delle mezze onde, dà mm. 37,675, come media di lunghezza d'ogni mezz'onda. Misurai quindi direttamente la lunghezza del tratto che corre fra l'apertura ed il terzo nodo, e la trovai di 78 mm. Detratto questo valore dalla lunghezza della colonna d'aria vibrante, e diviso il residuo per 35, numero delle mezze onde, si ottiene una seconda media come valore di una mezz'onda, eguale a millimetri 37,691. La differenza fra le due medie è così piccola da mostrare chiaramente con quanta precisione si formi la figura, e si possa misurare. Come si vede, nel calcolare la media ho omesso il primo quarto d'onda e le due mezz'onde seguenti. I numeri riportati dimostrano che i loro valori non sono precisi, e propriamente si osserva sempre che il primo quarto d'onda, quando la figura è chiarissima, è sempre più piccolo di quel che dovrebbe essere; altrettanto avviene per la seguente mezz'onda, in cui però il divario fra il valore osservato ed il valore teorico va scemando, e così pure per la seconda mezz'onda, dove però la differenza arriva raramente ad oltrepassare i 2 mm. Dalla seconda mezz'onda in poi, si può ritenere il valore delle altre come regolare, con differenze al massimo di 1 mm. Volendo si potrebbe omettere anche la terza mezz'onda, giacchè adoperando i toni superiori d'un diapason, che sono generalmente molto acuti, rimane sempre un numero sufficiente di mezze onde sulle quali si può prendere una

media, ammenochè il tubo non sia troppo corto. Ho contato anche il numero di strie trasversali fra nodo e nodo, e sullo spazio di 24 mm. ne ho trovate dalle 25 alle 28.

Nelle tavole che seguono, per non aumentare i dati oltre il bisogno, ho creduto bene di dare soltanto la media delle singole lunghezze trovate per il primo quarto d'onda e le due seguenti mezz'onde, e lo stesso spazio misurato direttamente, e così pure di dare soltanto la media calcolata col dividere lo spazio rimanente pel numero delle mezze onde; sempre però che detta media non differisse di oltre un decimo di millimetro da quella ottenuta col misurare direttamente tutte le mezze onde.

Ritornando all'esperienza, la temperatura alla quale fu eseguita si fu di 27.° 12 centigradi per la quale si trova una velocità di propagazione del suono eguale.

$$V = V_0 \sqrt{1 + \alpha t}$$

$$V = 332.8 \sqrt{1 + (27.° 12) 0.003665} = 348947.^{mm}$$

Dividendo ora per il doppio della media trovata per la lunghezza di mezz'onda, si ottiene 4628. 2 numero di vibrazioni corrispondenti al secondo tono del diapason Mi 4 di 768 vibrazioni intere. Un suono come si vede più acuto già dei suoni usati generalmente nell'orchestra. Se dividiamo ora 2628. 2 per 768, otteniamo 6,02, il che vuol dire che il secondo tono armonico del diapason Mi 4 compie sei volte e due centesimi più di vibrazioni che non il primo. Helmholtz (1) nella sua rinomata opera sopra le percezioni sonore dice che il secondo tono d'un diapason compie dalle 5.8 alle 6.5 volte più di vibrazioni del primo. Il numero dunque da me trovato rimane nei limiti accennati da Helmholtz.

Ma passiamo ad altre esperienze; incominciando da quelle eseguite con due diapason entrambi Do 4, di cui uno lo chiameremo N. I e l'altro N. II. Si sa che due diapason perfettamente all'unisono possono dare, anzi generalmente danno toni armonici differenti, fatto che sta a provare come nessuna legge regoli il rapporto fra il numero di vibrazioni del primo e del

(1) Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen Braunschweig, p. 121.

secondo tono d'un diapason. Ora questi due diapason Do 4 hanno realmente i loro secondi toni differenti, e propriamente il tono del diapason N. I è più acuto di quello del diapason N. II. La differenza fra il loro numero di vibrazioni però, non essendo molto grande, facendo risuonare i due diapason assieme danno luogo a dei marcatissimi battimenti che producono un' impressione pressochè dolorosa. Stando alle esperienze di Helmholtz (1), che fissa per il massimo di dissonanza un numero di 33 battimenti circa, ammettendo adunque che la cattiva impressione prodotta dai battimenti vada crescendo fino a 33 circa per minuto secondo, e quindi scemi nuovamente fin verso i 66, e dai 66 fino a 132, sia successivamente appena percettibile, avevo conchiuso che i detti due toni dei diapason Do 4 dessero appunto fra di loro 33 battimenti circa; tanto più che facendo in modo con della cera di diminuire il numero di vibrazioni del N. I o del N. II, con che o si diminuisce la differenza fra il loro numero di vibrazioni, e quindi il numero dei battimenti, ovvero nel secondo caso s' aumenta, l' impressione dolorosa alquanto si modifica, restando sempre al massimo quando i diapason danno senz'altro il loro secondo tono. Dei tentativi per numerare i battimenti, e per istabilire colla sirena il numero di vibrazioni dei detti toni armonici, e calcolare quindi il numero dei battimenti, diedero dei risultati poco soddisfacenti. In questa occasione ho avuto campo di rimarcare con un' intensità straordinaria i toni di sottrazione prodotti dal suono della sirena, e dal secondo tono del diapason, e non potendo mettere la sirena all'unisono col tono del diapason ho ottenuto dei risultati abbastanza soddisfacenti operando in questo modo. Ho regolato il suono della sirena in modo che il primo tono di sottrazione fra il suono emesso dalla medesima ed il secondo tono del diapason fosse all'unisono col suono d' un altro diapason, del che giudicavo coll'orecchio ponendo attenzione ai battimenti. Conoscendo allora il numero di vibrazioni di questo diapason, e contando il numero di vibrazioni del suono emesso dalla sirena, sommando avevo il numero di vibrazioni del secondo tono del

(1) Helmholtz. Die Lehre von den Tonempfindungen. Braunschweig, pag. 257-258.

diapason N. 1 e N. 2 e prendendo la differenza fra loro, il numero dei battimenti, che nelle esperienze eseguite variò fra 31 e 42. Ma come un simile modo d'esperimentare richiede straordinaria attenzione e lungo tempo, benchè possa esercitandovisi dare dei discreti risultati in modo da poter credere, che prendendo la media di molte esperienze l'errore non supererà certo i due battimenti per secondo, non ho creduto d'insistervi, e di qui citare le esperienze eseguite, visto che col metodo di cui ci occupiamo si ottengono risultati più pronti e più sicuri. Ho voluto soltanto avere un criterio di più per persuadermi dei buoni risultati del metodo in discorso. Per decidere dunque sul numero di battimenti dei due secondi toni dei diapason Do 4 N. 1 e N. 2 stabilii per ognuno il numero delle vibrazioni di detti toni.

Ecco i risultati di sei esperienze:

TAVOLA I.

*Diapason Do 4 N. I N. II di 512 vibrazioni intere
Tubo di vetro di 20 mm. di diametro — Nell' interno del tubo limatura di sughero.*

Diapason N. I N. II	Lunghezza vibrante in mm.	Numero dei nodi	Lunghezza dei primi $\frac{3}{4}$ d' onda	Media della lunghezza di mezza onda	Temperatura in centigradi	Velocità di propagazione del suono corrispondente	N. vibrazioni al secondo
Do I	1346	25	112 — 548 — 554 1214	5566..	261	348351 mm.	31289
Do II	14285	26	251 — 505 — 564 132	56375	261	,	30895
Nell' interno del tubo seme di licopodio.							
Do I	1466	27	20 — 535 — 555 129	55712	261	348351 mm.	312646
Do II	14255	26	21 — 52 — 57 129	56369	261	,	308948
Tubo di 30 mm. di diametro. Nell' interno di esso limatura di sughero.							
Do I	1466	27	195 — 54 — 555 130	557083	261	348351 mm.	312657
Do II	1427	26	25 — 51 — 55 130	56391	261	,	308870

Se ora prendiamo la media dei numeri ottenuti avremo per il diapason Do 4 N. I, 3127 2 vibrazioni e per il diapason Do 4 N. II 3089 3 e facendo la differenza fra i due numeri, abbiamo 37 9 vibrazioni, il che equivale a 38 battimenti circa al minuto secondo.

Segue ora un'altra serie d'esperienze eseguite coi diapason Do 3, Do 4 N. I e N. II, Mi 4, Sol 4 per istabilire il numero di vibrazioni del loro secondo tono. Come fu già accennato in queste esperienze, la quinta colonna contiene la media dei due numeri, uno dato dalla misurazione diretta della distanza del terzo nodo dall'apertura del tubo, l'altro dalla somma dei singoli valori del primo quarto d'onda e delle due mezze onde seguenti. La sesta colonna poi contiene il valore di mezza onda ottenuto col dividere lo spazio fra il terzo nodo ed il tappo pel numero delle mezze onde che contiene.

TAVOLA II. A.

Diapason Do 3, Do 4 N. 1 e N. 2. Tubo di vetro di 20 mm. di diametro per le due prime e di 30 mm. per la terza esperienza.

Do 3 di 256 vibrazioni Esperienza	Lunghezza vibrante in mm	Nom. Nodi	Valore dei primi $\frac{s}{4}$ di onda in mm	Media Lun- ghezza $\frac{1}{4}$ onda in mm	Temperatura Cent.	Velocità Suono rispettiva	N. vibrazioni al secondo	Media N. V delle tre esperienze	Rapporto N. vibraz. 1 e 2 Tono	Spazio in cui si contano le strie in mm	N. strie in detto spazio	OSSERVAZIONI
I	1455	14	256	109	26.8	348774	1599.8			55.5	43	Fig. belliss., con ten- denza alla formaz. delle strie interm.
II	1448.5	14	249.5	109	26.8	348774	1599.8	1589.86	6.21	50	40	Figura bella cs.
III	1458.3	14	259.5	108.981	26.8	348774	1600			57	43	Figura bella cs.
Do 4 N. 1 di 512 vibrazioni												
I	1470	27	131	55.779	26.8	348774	3126.3		6.10	33	24	Figura chiara
II	1461.2	27	123	55.762			3127.3	3126.4				Figura discreta
III	1465	27	126	55.791			3125.7			30	24	Figura chiara
Do 4 N. II di 512 vibrazioni												
I	1428.8	26	130	56.469	26.8	348774	3088.1			34	29	Figura bella
II	1424.2	26	126.2	56.434			3090.1	3089.4	6.03	33	27	Figura chiarissima
III	1424.2	26	126.2	56.434			3090.1			33	28	Il suono si rinforza sensibilmente.

TAVOLA II. B.
*Diapason Mi 4, Sol 4. — Tubo di 20 mm. di diametro per le due prime e di 30 mm.
 per la terza esperienza.*

Mi 4 di 640 vibrazioni	Esperienza N.	Longhezza vibrante in mm	N. Nodi	Valore primi % di onda in mm	Media. Longhezza 1/2 onda in mm	Temperatura Centigradi	Velocità suono rispettiva in mm	N. Vibrazioni al secondo	Media N. vibrazioni delle 3 esper.	Rapporto N. vibraz. Tono I e II	Spazio in cui si copiano le stive	Loro numero	OSSERVAZIONI
I	I	1468	34	94	44 32	27 12	348917	3936 7					Fig. buona. Però le strie si contano male
II	II	1388 5	32	103	44 32	27 12		3936 7	3937 26	6 15	25	20	Figura bella
III	III	1384 6	32	100	44 3			3938 4			25	18	Figura chiarissima
Sol 4 di 768 vibrazioni													
I	I	1450	39	93	37 692	27 12	348917	4628 2			14	12	Figura bella
II	II	1395	38	76	37 680			4629 7	4629	6 02	20	25	Figura stupenda
III	III	1397 2	38	77 9	37 694			4628 2			24	27	Figura stupenda

Come si vede dalle tavole surriferite le differenze fra i tre valori ottenuti per il numero di vibrazioni del secondo tono del diapason non superano mai le due vibrazioni al secondo sopra 3000 alle 4700 vibrazioni. Volendo prendere la media d'un numero ancora maggiore d'esperienze si potrà andar sicuri che l'errore supererà pochi decimi di vibrazione. Per esempio possiamo prendere la media fra il numero di vibrazioni riportato nella prima tavola per i Do 4 N. I e N. II ed il numero di vibrazioni della seconda tavola, ed avremo 3126 8 numero di vibrazioni per il Do N. I, e 3089 33 numero di vibrazioni per il Do N. II, e come differenza 37 45 che ci sta a rappresentare il numero dei battimenti. Come rapporto poi fra il numero di vibrazioni del secondo tono rispetto al primo abbiamo per il Do N. I 6 10 e per il Do N. II 6 03. Tanto questi valori, come i valori di rapporto ottenuti per gli altri diapason stanno fra i limiti assegnati da Helmholtz.

Come conclusione, mi pare che le poche esperienze citate bastino a mostrare chiaramente la bontà del metodo proposto per istabilire con facilità il numero di vibrazioni d'un diapason, e dei suoi toni armonici.

IV.

Sulle figure acustiche generate dai diapason nei tubi aperti a tutte due le estremità.

Nei numeri antecedenti ho accennato alle esperienze che si possono istituire coi tubi aperti da una parte e chiusi dall'altra, ed alle loro applicazioni, specialmente per determinare il numero di vibrazioni della nota fondamentale d'un diapason e dei suoi toni armonici. Nello stesso tempo le figure che si formano entro questi tubi ci mostrano chiaramente, e le leggi di risonanza, e, quello che più importa, il modo di vibrare dell'aria entro i medesimi.

Infatti abbiamo veduto come la colonna d'aria rinchiusa nel tubo non si metta in vibrazione che quando la sua lunghezza equivalga ad un numero dispari di quarti d'onda del suono prodotto alla sua imboccatura, e nello stesso tempo la forma-

zione delle strie trasversali ci avverte che il movimento dell'aria non è un semplice movimento di rarefazioni e condensazioni periodiche intorno ai nodi, ma assume invece una forma affatto speciale, rivelataci dalle strie, e sulla quale, per non fare delle teorie inutili, m'astengo per ora da qualunque osservazione, finchè una nuova serie d'esperienze, già incominciate, mi avrà fornito dei dati su cui basare con maggior fondamento una spiegazione.

Si affaccia naturale la domanda se non sarà possibile collo stesso metodo di analizzare le leggi di risonanza per i tubi aperti, ed il modo di vibrare dell'aria nei medesimi. L'esperienza risponde affermativamente; anzi, ci mostra di nuovo delle stupende figure, rispetto alle quali vale quanto ho già detto nei numeri precedenti riguardo alle figure acustiche generate nei tubi chiusi; e che quindi ora ometto per brevità. Mi limiterò a descrivere un'esperienza, e riporterò in seguito in una tavola i risultati delle esperienze fino ad ora eseguite, per mostrare come anche con un tubo aperto si possa facilmente stabilire il numero di vibrazioni di un diapason o di uno dei suoi toni armonici, oppure la temperatura dell'ambiente nel quale si eseguisce l'esperienza. Nello stesso tempo i dati contenuti in queste tavole serviranno di prova per la validità delle leggi di risonanza nei tubi aperti fino ad ora conosciute.

Per decidere subito con una esperienza, se anche con un tubo aperto alle due estremità fosse possibile ottenere delle figure analoghe a quelle ottenute per i tubi chiusi, calcolai per la temperatura dell'ambiente, nel quale volevo eseguire l'esperienza, la lunghezza d'onda corrispondente al suono emesso da un diapason, Do 4 di 512 vibrazioni intere. Presi quindi un tubo di vetro e lo tagliai in modo che la sua lunghezza corrispondesse a 3 mezze onde del tono del diapason; e nel suo interno vi sparsi al solito della limatura di sughero ben essicata, non in troppa quantità, e distribuita uniformemente sulle sue pareti. Collocatolo quindi con una delle estremità aperte avanti una delle branche del diapason, nella posizione che abbiamo veduto essere la più favorevole, cavai dal diapason la sua nota fondamentale, e tosto la limatura di sughero si dispose in modo da presentare tre nodi e le strie trasversali. Tuttavia la figura

non era chiarissima; raccorcii allora il tubo di circa 3 mm. e ridispostolo come prima, strofinato il diapason ottenni una bellissima figura. Le strie trasversali si mostrano chiare partendo da entrambe le estremità per un tratto di 4 ai 5 c. m. venendo verso la metà del tubo, si fanno quindi più fitte e vanno a finire al solito sulla periferia d'un elisse allungata nel senso longitudinale del tubo, che involge i nodi, situati ciascuno a $\frac{1}{6}$ meno pochi millimetri della lunghezza del tubo partendo dalle estremità. Nel mezzo del medesimo poi si trova il terzo nodo, e le strie trasversali si estendono naturalmente anche fra questo e i due accennati, tanto chiare da poter essere con facilità contate sopra uno spazio di 100 mm. Ho provato allora a raccorcire nuovamente il tubo tagliandone circa un centimetro ed ottenni appena appena un'idea di figura. Continuai ad accorcire il tubo e non mi fu possibile di constatare alcun movimento nella limatura contenutavi.

Di centimetro in centimetro ridussi il tubo ad avere presso a poco $\frac{2}{3}$ della lunghezza di prima, e rimarcai nuovamente un accenno di figura. Ridottolo ai $\frac{2}{5}$ precisi ottenni la figura chiarissima. Di nuovo, partendo dalle estremità, si contano le strie trasversali, e ad un quarto della lunghezza presente del tubo da ciascuna di quelle, si riscontrano i nodi ad elisse, e fra questi si estendono nuovamente chiarissime le strie trasversali. Chiudendo con un tappo l'estremità del tubo, sia nel caso antecedente che in questo caso, non si riesce a constatare il menomo movimento nella limatura di sughero. Proseguì a tagliare il tubo, e di nuovo la figura sparì e ricomparì quando si trovò ridotto a metà della sua ultima lunghezza. Si osserva ora un nodo chiarissimo sulla metà del tubo, e le strie pure chiarissime fino alle estremità. Ridotto nuovamente alla metà della sua lunghezza non presenta più alcuna figura, chiudendolo però con un tappo ad una estremità si forma un nodo presso la medesima, e le strie si stendono fin verso l'apertura del tubo.

L'esperienza ci mostra dunque chiaramente constatate le leggi di risonanza per i tubi aperti, solo che nel tempo istesso ci dice, che il movimento dell'aria nei medesimi non è tanto semplice quanto generalmente si suppone, generando esso, come nei tubi chiusi, le strie trasversali. Nelle tavole delle esperienze

trovansi pochi dati rispetto a queste ultime, perchè, come ho già accennato, ho intenzione di farle oggetto di speciali ricerche.

Per eseguire poi le esperienze che seguono ho cercato di potermi valere dello stesso tubo, variandone a seconda dei casi la lunghezza. A tale scopo ho formato un tubo addizionale di cartoncino di circa 30 centim. di lunghezza, in modo da poterlo far scorrere a sfregamento sopra il tubo di vetro, e variarne così la lunghezza. Con quest'artifizio si può bensì valersi dello stesso tubo per molte esperienze, ma convien rinunziare a una delle parti estreme della figura, che rimane coperta dal cartoncino. Siccome in qualche caso occorre di usufruire anche i dati offerti da questa parte della figura, così ho approntato dei pezzi di tubo di vetro, di diametro eguale a quello che serve alle esperienze, lunghi dagli 8 fino ai 28 centim. e questi pezzi poi annesso a seconda dei casi al tubo principale, per mezzo d'altri tubi di cartoncino lunghi soltanto 5 centim.

Nelle esperienze che seguono però mi sono valso del tubo di cartoncino, per cui in qualche punto mancano i dati relativi alla parte della figura formatasi sotto il medesimo, oppure sono muniti di un segno d'interrogazione.

TAVOLA I.

Tubo di vetro di 20 mm. di diametro interno, aperto alle due estremità, da allungarsi per mezzo di un tubo di cartoncino.

Tono fondamentale del Diapason	Esperienza N.	Lunghezza vi- brante in mm.	NUMERO DEI NODI E LORO DISTANZA IN mm. L'ultimo valore non segna un nuovo Nodo ma la distanza dell'ultimo dall'altra apertura del tubo.									Media della lunghezza di $\frac{1}{4}$ onda in mm	Temperatura cent.	Velocità relativa del suono in mm	N. di vibrazioni al secondo	OSSERVAZIONI
			1	2	3	4	5	6	7	8	9					
Mi 3 di 320 vibrazioni	I	1630 269	545	545	3 270							545 15	27	345877 568	319 9	Bene
	II	1632 268 8	545 2	545 2	271 5							545 2	"	"	319 9	Belle strie mag- giorconinterm.
Sol 3 di 384 vibrazioni	I	1812 223	454	454	3 454 27 227							454 15	"	"	384	Bella figura
	II	1810 223 5	454 1	454 5	454 27 222 4							454 3	"	"	383 9	"
Do 4 di 512 vibrazioni	I	1700 168 3	339 8	340 6	341	340 8	168 3					340 8	"	"	511 8	Buona figura
	II	1696 165	340	340 5	341	340 7	168					340 73	"	"	511 9	Strie chiare con qualche interm.

TAVOLA II.

Tubo di vetro di 20 mm. di diametro interno, aperto alle due estremità, da allungarsi per mezzo di un tubo di cartoncino.

Tono fondamentale del Diapason	Esperienza N.	Lunghezza vi- brante in mm.	NUMERO DEI NODI E LORO DISTANZA IN mm.									Media della lunghez- za di $\frac{1}{2}$ onda in mm.	Temperatura cent.	Velocità relativa del suono	Numero di vibrazioni	OSSERVAZIONI
			1	2	3	4	5	6	7	8	9					
Mi 4 di 640	I	1623 5	130	271 6	272 6	272 5	272 3	272 4				272 5	25 8	348178 688	638 8	
Vibrazioni	II	1625	130	271 5	272	272 4	272 4	272				272 2	.	.	639 5	Belle strie Nodi chiari
Sol 4 di 768	I	1579 2	109	226	226 5	227	227	226 5	226 5			226 7	.	.	767 9	Belliss. figura
Vibrazioni	II	1811 5	112 2	226	226 6	226 8	226 7	226 8	226 8	?		226 7 4	.	.	767 7	Bene
Do 5 di 1024	I	1522	80	189 3	169 9	170	170 5	170 5	170 1	170	169 9	170 1	.	.	1024 4	Bone
Vibrazioni	II	1693 35 79		169 2	169 9	170 2	170 5	170 5	170 5	170 4	170 1	170 15	.	.	1023 1	Bene. Su 70mm Strie 38. Si ve- dono strie inter.

TAVOLA III.

Tubo di vetro di 20 mm. di diametro interno, aperto alle due estremità, da allungarsi per mezzo di un tubo di cartoncino.

Secondo tono del Diapason	Esperienza N.	N. Nodi	Media $\lambda/2$ calcolata su 25 $\lambda/2$ in mm	Temperatura cent.	Velocità relativa del suono	N. vibrazioni al secondo	OSSERVAZIONI
Do 4 N. I di 512 vibrazioni equivalente a 3127 vibrazioni	I	29	55 73	26 3	348468 22	3126 3	Strie chiare
	II	30	55 7	•	•	3128 0	Bene. Nodi chiari ad e- lisse.
Do 4 N. II di 512 vibrazioni equivalente a 3089 vibrazioni	I	30	56 5	•	•	3089 2	Bene
	II	30	56 45	•	•	3086 5	•

Come si vede dalle tavole delle esperienze, si può anche con un tubo aperto stabilire facilmente il numero di vibrazioni corrispondenti alla nota fondamentale di un diapason, ed ai suoi toni armonici, e con eguale facilità si possono ripetere tutte le esperienze eseguite coi tubi chiusi.

Anche per i tubi aperti poi otteniamo sempre i nodi ad elisse, che tanto difficilmente si hanno col solito metodo di Kundt, quando la lunghezza della colonna d'aria vibrante equivale ad un numero intero di mezz'onde.

Essi si formano però tanto più facilmente quanto più acuto è il suono, per cui si ottengono sempre nelle figure generate dai toni armonici, mentre per note piuttosto basse si possono anche avere i nodi come nelle solite figure di Kundt.

Nel suo lavoro poi, di cui ho parlato al Numero 1 di queste notizie, il Prof. Kundt esprime l'idea che si formino i nodi ad elisse quando l'intensità del suono è piccola, o la superficie che comunica il movimento alla colonna d'aria è di diametro

alquanto minore di quello della medesima, e veramente i risultati da me ottenuti possono concordare co' suoi, giacchè si formano appunto i nodi ad elisse più facilmente quando il suono è acuto, per cui le molecole vibrano entro limiti più ristretti, ed inoltre la branca del diapason, per quanto possa esser grande, e trovarsi vicina al tubo di vetro, tuttavia non può mai chiuderne perfettamente l'apertura come il tappo nelle esperienze di Kundt.

V.

Diversi metodi per istudiare la formazione delle strie trasversali.

Ho accennato nei numeri precedenti ad altri metodi coi quali intendo studiare più da vicino la formazione delle strie trasversali per poterne scoprire la causa che le genera, e la legge che ne regola la formazione. Intendo ora di citare alcuni di questi metodi, e di render conto di qualche esperienza eseguita coi medesimi.

Voleudo avere un suono costante, che comunicandosi all'aria rinchiusa entro un tubo mantenesse a lungo il movimento della limatura di sughero che va distribuendosi in strie trasversali, ricorsi alle canne d'organo aperte. Presi adunque uno dei soliti tubi di vetro lunghi un metro e $\frac{1}{2}$, e di 20 o 30 mm. di diametro, e chiusolo al solito ad una delle sue estremità con un tappo a sfregamento, movibile per mezzo d'un cannello di vetro, dopo aver distribuita nel suo interno una certa quantità di limatura di sughero, lo collocai innanzi l'apertura d'una canna d'organo aperta; facendo quindi con un mantice a pressione costante risuonare la canna d'organo, passeggiando il tappo di sughero, cercai la posizione più favorevole perchè la limatura si movesse, e potesse dar luogo ad una chiara figura. Infatti ottenni la solita distribuzione della limatura, le strie trasversali ed i nodi. Nello stesso tempo si rimarca che tante volte la figura si forma meglio introducendo il tubo di vetro nella canna d'organo per un tratto maggiore o minore a seconda dei casi. Anzi per ogni canna d'organo vi son diverse posizioni nelle quali la figura si forma con una precisione straordinaria, colla diffe-

renza però che il numero dei nodi varia, mentre si rimarca facilmente anche all'orecchio una variazione nel suono emesso dalla canna. Specialmente l'ottava della fondamentale della canna d'organo è in grado di dare delle bellissime figure.

Per esempio presi una canna d'organo Do 4 di 512 vibrazioni, e feci in modo che desse il suo secondo tono (Do 4 di 1024 vibraz.). Vi introdussi per 70 mm. un tubo di vetro lungo 1879 mm. di 26 di diametro. Variando la posizione del tappo ottenni una bellissima figura coi nodi ad elisse limitando la lunghezza vibrante a 1820 mm. Nel tempo stesso contai nell'interno 12 nodi. Continuando ad avanzare il tappo la lunghezza delle $\frac{1}{2}$ onde contenute fra due nodi varia, e varia pure il suono dato dalla canna, e se più ancora s'avanza scema anche il numero dei nodi. Riducendo la colonna d'aria vibrante a 1470 mm. si ottengono 10 nodi. Nel caso antecedente, la lunghezza di $\frac{1}{2}$ onda era circa di 160 mm. e nel presente di 159. Si vede adunque che detta lunghezza corrisponde veramente al secondo suono emesso dalla canna, e che solo resta modificata entro limiti ristretti dalla presenza del tubo di vetro che fa pure variare di poco l'acutezza del suono. Si vede pure che per aver la figura importa che l'estremità aperta del tubo si trovi possibilmente al posto d'un nodo dove avvengono le condensazioni e le rarefazioni dell'aria. Infatti introducendo il tubo per 142 mm. si ottiene dalla canna un'altro suono di cui la lunghezza di $\frac{1}{2}$ onda corrisponde a circa 100 mm. e che viene ad essere adunque la dodicesima del tono fondamentale che appunto nella metà della canna presenta un nodo.

In tale posizione, regolando l'intensità dell'aria del maniche e la posizione del tappo di sughero, si ottiene anche una nota forse un pochino più bassa della fondamentale della canna d'organo di cui la lunghezza di mezz'onda equivale a circa 340 mm. Spostando di poco il tappo, e soffiando con più energia nella canna d'organo si ottiene una figura con 24 nodi dove in media la lunghezza di $\frac{1}{2}$ onda equivale a 56 mm. che quindi corrisponde all'ottava della dodicesima. Ad ogni spostamento del tappo si può modificare la figura ottenuta, e così pure coll'introdurre più o meno il tubo nelle canne d'organo. Naturalmente in certe posizioni il suono corrisponde a

quello che darebbe per se stessa la canna, ed in allora si può dalla figura che si forma dedurre la posizione dei nodi, ed il numero di vibrazioni corrispondente al suono da essa emesso. Esistono però modi più diretti per ottenere questi risultati.

Tralascio quindi di citare altre esperienze, e come ho già detto, mi sono valso di questo metodo per poter avere per lungo tempo la polvere in movimento durante la formazione delle strie trasversali, e poterne quindi più facilmente scoprire la legge di formazione, avendo qui in mio potere di mantenere costante l'intensità del suono, e variarne entro certi limiti l'acutezza. Aggiungerò in proposito ancora un fatto che m'accadde di osservare. Qualche volta le strie dopo essersi formate chiarissime, mantenendosi fra di loro parallele, e costituendo nell'interno del tubo come dei diaframmi di 4 a 5 mm. d'altezza, compiono un movimento periodico d'avvicinarsi da ambo i lati ad un nodo e quindi successivamente d'allontanarsi.

In un'altra maniera mi son servito delle canne d'organo per mettere in vibrazione l'aria nell'interno di un tubo. Ho preso delle canne d'organo di Koenig che servono a mostrare per mezzo delle fiamme manometriche la posizione dei nodi e dei ventri di vibrazione, e dopo averne levate le capsule nelle quali si introduce il gas, v'adattai dei tubi di legno che chiudessero l'apertura con una membrana, e servissero d'imboccatura per il tubo di vetro. Anche con questo modo s'ottengono delle figure, ma il movimento della limatura di sughero è meno energico che nel caso precedente, e quindi questo metodo potrà servire per altre ricerche, ma si presta meno bene per le esperienze di cui ora si tratta.

Ricorsi invece, per potere avere un movimento assai energico nella limatura di sughero, alle canne d'organo a linguetta, e specialmente mi son valso d'una canna d'organo a linguetta battente, di cui il tubo di risonanza s'apre a cono, ed in questo introdussi al solito, per un tratto più o meno lungo, il tubo di vetro. Ottenni in tal modo un movimento assai energico della limatura e delle marcatissime figure. Mi riuscì più volte di mantenere le strie, sotto forma di diaframmi, perfettamente immobili per oltre 15 minuti, tanto da poter eseguire le misure le più esatte. Ma come mi riservo di raccogliere in una speciale

memoria tutti i risultati che concorrono alla spiegazione del fenomeno della formazione di dette strie, così continuerò in queste notizie ad accennare soltanto i diversi metodi usati in queste ricerche.

In una memoria di Kundt, sopra le lastre d'aria vibranti, trovasi già descritto un metodo analogo a quello adoperato nelle sue antecedenti esperienze, per mettere in vibrazione l'aria rinchiusa fra due superficie di vetro parallele. Ho eseguito io pure molte esperienze con delle lastre di vetro quadrate di 40 centim. e 25 cm. di lato, e con delle lastre circolari di 40 cm. di diametro, disposte in modo da limitare a volontà delle lastre d'aria ad orlo aperto e ad orlo chiuso. Nel centro della lastra superiore di ciascun paio trovasi praticato un foro di 16 mm. di diametro, al quale è fissato un tubo in ottone dello stesso diametro, lungo 97 mm. Mi sono poi preparato una serie di tubi di vetro, muniti ad una estremità d'un piccolo tappo di sughero di 15 mm. di diametro, ed accordati in modo da arrivare, partendo da un Sol di 1636 vibrazioni, e progredendo per mezzi toni, secondo la scala temperata, fino al La diesis due ottave più acuto; ed ho quindi analizzato sulle differenti lastre l'effetto prodotto dal tono fondamentale e dai toni armonici di detti tubi. E senza stare a descrivere per ora la forma delle belle figure ottenute in tal modo colla limatura disposta uniformemente fra le lastre di vetro collocate a maggiore o minor distanza fra di loro, dirò soltanto che sono pochi i casi in cui non s'ottenga nessuna figura, ma che esistono però dei toni speciali ai quali lo strato d'aria fra le due lastre di vetro risponde con un massimo di risonanza, e ad ognuno dei quali poi corrisponde una propria figura; mentre passando gradatamente da un suono all'altro si possono seguire le successive trasformazioni d'una figura in un'altra. Anche qui la limatura di sughero presenta delle bellissime strie, che correndo parallele fra di loro, costituiscono le diverse figure; e quindi ho seguito con speciale attenzione anche la formazione di queste strie, persuaso che la causa che le genera sia la stessa che determina la formazione di quelle dei tubi di vetro.

Un altro fenomeno che può avere dell'analogia colle strie

trasversali presentate dalla limatura di sughero, e che mi sono proposto di studiare più d'avvicino, si è quello presentato dalle solite lastre di metallo, quando invece di cospargerle con della polvere si cuoprono con uno strato sottile di sabbia fine, mescolata con una certa quantità di acqua gommata. Si sa che in tal modo questa poltiglia, nel portarsi che fa sulle linee nodali, si dispone in altrettante ramificazioni più o meno parallele fra loro che partono dalle medesime, e qualche volta mi è occorso di osservare come le ramificazioni d'una linea nodale possono andare a congiungersi con quelle della linea nodale più vicina.

Ho seguito per ultimo la formazione di queste strie trasversali nelle canne d'organo di vetro. Il Dr. Kundt ha già mostrato come nell'interno d'una canna d'organo si possa, o colla polvere di lycopodio o meglio ancora coll'acido silicico ottenere delle diverse figure a seconda del tono emesso dalla medesima. Si presta meglio all'esperienza la solita limatura di sughero, le figure che si ottengono sia nelle canne d'organo aperte come nelle chiuse, sono tanto chiare, che io mi valgo sempre nelle lezioni di questo metodo per mostrare nel modo più semplice e più chiaro le leggi di vibrazioni dell'aria nelle canne d'organo. Comprimeo fortemente l'aria in una pera di Natterer riuscii a cavare da una canna d'organo di vetro lunga un metro, e di 12 mm. di diametro fin 13 differenti toni, e per ciascuno di essi più o meno chiara la figura corrispondente.

Anzi ho rimarcato che per i toni più acuti le strie si formano su tutta la lunghezza della canna d'organo, benchè in modo meno sentito nei luoghi che corrispondono ai punti nodali del suono emesso. È interessante poi vedere il passaggio di una in un'altra figura, ed a seconda che il tono va facendosi più basso vedere la limatura vibrare nei punti nodali di prima, e viceversa.

Ho ripetuto poi anche tutte le esperienze eseguite da Kundt colle fiamme introdotte nelle canne d'organo, sui risultati delle quali egli aveva creduto opportuno di fondare la spiegazione delle strie trasversali facendole dipendere dal concorso dei toni armonici, senza però voler dare a questo suo modo di

vedere il valore di una teoria, anzi riconoscendo le grandi difficoltà che si incontrano nel cercare la loro legge di formazione, e la causa da cui dipendono.

Ed io pure, per non creare delle inutili teorie, mi limito ad accennare per ora ai mezzi che mi paiono i più adatti per una simile ricerca, nella quale ogni nuova esperienza è un passo in avanti per giungere alla spiegazione finale.

VI.

Suoni prodotti da un tubo di gomma.

Volendo eseguire in lezione delle esperienze colla sirena di Helmholtz, e desiderando tenerla piuttosto discosta dal mantice che le somministrava l'aria, sia per essere meno disturbato dal movimento del medesimo, come per poter più facilmente avere una pressione d'aria costante, mi sono valso d'un tubo di gomma, che per ovviare all'inconveniente avesse a chiudere la sortita all'aria nelle piegature, portava nello interno una spirale di ferro, come certi tubi di macchine pneumatiche. Ma rimasi non poco meravigliato sentendo come la sirena emetteva un suono ancor prima di essersi messa in regolare movimento. Tale suono proveniva dal tubo stesso. Infatti mi sono fatto a soffiare fortemente per un'apertura del medesimo lasciando l'altra aperta, e potei meglio persuadermi, che veramente il suono veniva dal tubo. Ma non sempre il tubo emette un suono. Il pezzo sul quale ho sperimentato è lungo due metri. Se ora collocandosi sopra un rialzo si lascia penzolare e si soffia per una delle sue estremità, o non si sente alcun suono, od un suono molto debole, a seconda che il tubo è stato di frequente adoperato o meno.

I tubi logori suonano più facilmente in questo caso. Se si dispone orizzontalmente il tubo l'effetto è il medesimo. Se però emette un suono, e si fa in modo di raccorcirlo col premere le sue parti le une contro le altre, e per farlo in tutta la lunghezza del tubo converrebbe essere in più individui; ma basta anche in qualche tratto, specialmente verso l'estremità del me-

desimo; e vi si risoffia entro non si sente più alcun suono. Se invece si stira il tubo, il suono ricompare, e si fa più intenso. Dico il suono; ma il tubo è in grado di dare molti suoni. Ne ho rimarcati fin 20 e più, dai toni acutissimi fino alle belle note basse del flauto. Meglio che collo stirarlo si ottiene l'effetto col avvolgerlo, col ripiegare sopra se stesso. Generalmente o l'avvolgo come un serpente al mio braccio, o intorno ad un cilindro di legno di diametro anche minore. Quanto maggiore è il numero dei avvolgimenti più facilmente si ottengono dei suoni, ed in numero maggiore, e con maggiore intensità. Ma per ottenere già molti suoni basta avvolgere l'estremità opposta a quella per dove si soffia che è sempre quella che più contribuisce alla formazione del fenomeno. Ravvolgendolo al braccio e soffiandovi con tutta forza ottengo un suono acutissimo più di quello dell'ottavino, ed assai forte e penetrante, e per la naturale diminuzione nella pressione e quantità d'aria emessa col soffio al primo suono succedono rapidamente altri suoni sempre discendenti, di cui è difficile stabilirne l'intervallo musicale, in modo che si ottiene l'effetto di una grande scalata discendente prodotta per i suoni più acuti da un ottavino, e per i seguenti da un flauto. Infatti le ultime note sono dolcissime come quelle di un eccellente flauto ben suonato. Come ho già detto ne ho contati certo fin 20 di questi suoni che rapidamente si seguono; ma difficilmente si riesce a contarli con precisione, perchè l'unico mezzo per tenerli nella loro purezza è sempre quello di soffiare fortemente nel tubo, e quindi per necessità la pressione dell'aria diminuisce rapidamente, e non riesce possibile di rallentare la scalata.

Ho provato a dirigere per entro il tubo l'aria d'un grosso mantice, ma la serie dei suoni che s'ottiene è molto limitata. Per aver poi una pressione ancor maggiore mi sono valso dell'aria fortemente condensata entro una pera di Natterer, ma il getto d'aria riesce troppo piccolo e quindi il tubo risuona assai male. Come mezzo più sicuro e più adatto rimane sempre il soffio.

L'esperienze citate mostrano già chiaramente come il suono si formi dal rompersi dell'aria contro i giri della spirale, in

modo analogo a quello con cui si forma il suono nelle canne d'organo, col rompersi dell'aria contro uno spigolo acuto. In tal modo si ottiene a seconda della pressione una serie di suoni dai più acuti fino ai più bassi, mentre il tubo della canna d'organo non fa che rinforzarne qualcuno di preferenza. Per questo nel nostro caso il tubo suona quando è stirato o meglio r avvolto, perchè più facilmente l'aria può rompersi contro le singole spire, mentrechè se il tubo è compresso sopra se stesso, queste premono le une sulle altre, e danno all'interno un aspetto quasi liscio, per cui l'aria attraversandolo non può generare dei suoni. È naturale poi che anche qui, come nelle canne di organo, il tubo eserciti un'influenza per risonanza; questa influenza però non è tanto marcata come nel caso delle canne di organo. Ho praticato un taglio sulla metà del tubo, in modo che ripiegandolo poi, si potesse facilmente ottenere, che o le labbra del taglio combaciassero, ed allora si aveva il solito tubo di 2 m. di lunghezza, oppure s'aprissero in modo d'avere due tubi, ciascuno della lunghezza di un metro. Soffiando ora con tutta forza attraverso di questa metà si ottengono realmente due o tre suoni più acuti ancora di quelli che si ottengono col tubo intero. A questi segue poi la solita scalata, e si finisce coi medesimi toni bassi e dolcissimi. Tuttavia, il timbro in complesso si modifica alquanto, tutti i suoni prendono maggior forza, ed astrazione fatta dai toni più acuti, che per se stessi riescono assai penetranti, i toni seguenti perdono un poco della loro dolcezza, mentre gli ultimi si modificano pochissimo, e solo diventano alquanto più intensi. Ho praticato in seguito un altro taglio ad un quarto della lunghezza prima del tubo. Anche in questo caso si ottengono uno o due toni ancora più acuti che nel caso precedente, quindi la solita scalata, alcuni toni della quale prendono un timbro aspro e troppo penetrante. Anche i toni bassi, che pur sempre si ottengono, perdono molto della loro dolcezza. Quando il tubo non è molto lungo; per esempio in quest'ultimo caso, alcuni suoni si ottengono facilmente anche aspirando l'aria. Se si raccorcia di troppo il tubo, difficilmente si cavano i suoni.

L'estensione del fischio nelle diverse persone non è certo la medesima; tuttavia per avere un'idea dell'acutezza ed esten-

sione di questi suoni, dirò che i più acuti difficilmente può cavarli un bravo fischiatore, ed i più bassi corrispondono appunto ai più bassi del fischio, colla differenza che tutti in generale questi suoni hanno un carattere più dolce e più gradevole, e tanto più quanto è più lungo il tubo. Secondo la sua lunghezza però qualcuno dei suoni emessi somiglia assai a quel fischio penetrante che si può ottenere coll'adattare due dita alla bocca e quindi soffiare fortemente. Si vede adunque che la risonanza del tubo entra essenzialmente nella formazione del fenomeno. Per quel tanto che posso giudicare col mio orecchio, i toni acuti si seguono ad intervalli di mezzi toni, quindi di toni interi, e per qualcuno dei bassi mi è parso rimarcare un intervallo di terza. È certo che alcuni dei suoni emessi sono di una dolcezza sorprendente, e senza pretendere che un simile modo di generare il suono possa trovare una applicazione negli strumenti musicali, dirò che con un po' di esercizio si riesce a cavare dal tubo delle discrete melodie.

A proposito del fischio poi mi permetto d'aggiungere ancora una cosa; mi valgo sovente del medesimo per far sentire con tutta chiarezza i toni di sottrazione. Il migliore metodo è di far tenere a qualcuno fischando una nota continua, piuttosto acuta e quindi, partendosi dall'unisono, eseguire una scala discendente, sia per mezzi toni, sia per toni interi, e subito dopo la scala ascendente per ritornare all'unisono. Quando si eseguisce la scala discendente si sente chiarissima la scala ascendente dei toni di sottrazione, e quando si eseguisce la scala ascendente si rimarca la discendente di questi toni.