

LA TEORIA DELLA PERCEZIONE DE' SUONI
 CONSIDERATA COME BASE ALLA TEORIA DELLA MUSICA
 PER H. HELMOHLTZ.
 Sunto di R. F.

Il bel libro dell' Helmholtz sulla percezione del suono fu pubblicato già da tre anni; ma, che io mi sappia, non ne parlò ancora alcun giornale italiano. Ne ho letto qualche riassunto in francese, che lasciava troppo a desiderare, ma è pregevolissimo il riassunto che ne pubblicò il Soret nell'anno 1863 degli *Archives des Scienc. Phys.*: che si stampano a Ginevra. Ora come fresca novità scientifica questo mio riassunto non si potrebbe più presentare ai lettori del *Nuovo Cimento*; ma ho creduto che riescirà generalmente a que' lettori stessi gradito ed utile il possedere in poche pagine la principale intelajatura di quel libro, ed espresso ben chiaramente ciò che vi è di singolarmente nuovo e diverso, relativamente a ciò che d'acustica è stato finora scritto ne' trattati. Perchè non si tratta mica di una memoria comune di fisica; si tratta di un di quei lavori che escono di rado, e che presentano i lavori dell' Autore insieme a tutto il rimanente dei lavori più antichi, e a tutti i dati istorici relativi allo stesso soggetto, in modo tale che decide alfine la ordinaria scienza scolastica a modificarsi, e la generalità dei dotti ad entrare in vie nuove di ricerche, le quali da lungo tempo eran note sì, ma a pochissimi.

La teoria dell' Helmholtz avrà nell' avvenire una grande

influenza sulla teoria della musica, ma per ora non avrà molti lettori fra quelli che non sono nè fisici, nè matematici. In questo riassunto, spesso un poco liberamente tracciato, io non mi dirigo specialmente a' dotti, bensì a' chi poco sa di Fisica, e che conosce le prime nozioni della musica; nulladimeno il mio riassunto sarà, forse, utile anche ad un Fisico che non abbia potuto leggere quel libro tedesco.

§ 1.° I suoni possono differire fra di loro in tre cose: nel grado di *acutezza*, nell'*intensità*, e nel *metallo*. Questa terza qualità sarà per alcuni riguardi meglio indicata dalla parola *colore*, abbenchè questa parola non esprima ancora con bastante chiarezza ciò che rende un suono più o meno buono ossia più o meno gradevole, musicalmente parlando. La *nota*, ossia il posto che un dato suono occupa nella scala, è determinata in Fisica dal numero, e la intensità dall'ampiezza, delle vibrazioni eseguibili dal corpo sonoro nella unità di tempo; ma da che dipenda quel *colore*, ne' trattati di Fisica per ora conosciuti non è detto, o solo appena accennato in modo incerto e confuso; e disgraziatamente quei libri sono anche in maggior difetto in non poche altre questioni pure di acustica, come per es. nella spiegazione dei suoni di Tartini, e ne' criterii per giudicare degli accordi consonanti o dissonanti, e tacciano di cose troppo fondamentali per le teorie, e che perciò non dovrebbero lasciarsi a sola cognizione di pochi.

Il moto di un corpo qualunque è perfettamente conosciuto quando è nota la forma della curva che egli percorrere; e quando dati che siano i successivi tempi decorsi dal primo istante del moto, si possono indicare esattamente i differenti luoghi della curva, ne' quali quel corpo si è dovuto successivamente trovare. Per la stessa ragione il moto oscillatorio di un corpo sonoro è parimente conosciuto quando è nota la sua *curva di oscillazione*. L' esempio seguente ci chiarirà cosa è quella curva, e come si può ottenerla disegnata.

Immaginiamoci un pendolo che oscilli rimanendo sempre, come ordinariamente accade, nello stesso piano verticale, e

che porti nel suo estremo inferiore una leggiera matita con la punta rivolta orizzontalmente: accanto a quel piano verticale e in un simil piano vicino, scorra dall'alto in basso, o viceversa, un foglio di carta su cui la matita possa leggermente segnare; e si muova quel foglio uniformemente con velocità conosciuta, descrivendo per esempio un centimetro ogni minuto secondo. Se il pendolo stesse fermo e si muovesse il foglio solamente, vi rimarrebbe descritta una linea retta AB; e se fosse il pendolo in moto e il foglio stesse fermo, vi avremmo disegnata una sola lineetta orizzontale lunga quanto la *amplitudine* di oscillazione del pendolo; ma se il pendolo e il foglio si muovono contemporaneamente, il risultato della esperienza sarà evidentemente una linea *sinuosa* così detta a zig-zag, e simmetricamente disposta da un lato e dall'altro della linea verticale anzidetta, e sarà in generale come nella Figura 1. Tav. III.

Se ci immaginiamo quel foglio staccato e steso sul piano della pagina, la linea AB sarà quella che fu verticalmente tracciata, e che era parallela all'asta del pendolo in riposo; le mezze sinuosità $a_1 a_1$, $a_2 a_2$, saranno tutte uguali fra di loro, e le distanze massime o_1 , o_2 della curva dell'asse, o linea AB, corrisponderanno alla metà dell'*amplitudine di oscillazione*; chiamando così, per brevità, la maggior distanza alla quale il corpo oscillante (o per meglio dire il punto che in quel corpo si considera) trascorre dalla sua naturale posizione di quiete, ossia dalla linea di riposo AB.

La durata di una sola oscillazione, e quindi il numero delle sinuosità in un dato tempo, si avrà misurando in AB la lunghezza compresa in una intera sinuosità della curva; e la *legge della oscillazione*, ossia del modo periodico col quale variano coi tempi le distanze del pendolo dalla sua posizione di riposo, si dedurrà dalla forma della curva stessa di vibrazione, ossia di oscillazione come la si voglia chiamare.

È noto ancora che nel caso di un pendolo, ossia di una oscillazione pendolare, vi è una regola per disegnare facilmente quella curva; quando però sia nota la distanza o_1 , ossia quando sia nota la *amplitudine di oscillazione*, e quando sia pure conosciuta la durata della oscillazione stessa, la

quale durata farà conoscere la grandezza $a a_1$ da comprendersi dalle sinuosità, quando sarà conosciuta la velocità da supporre al foglio su cui sarà poi da immaginarsi che sia stata descritta la curva come nella già descritta esperienza.

La regola è questa: si descriva un circolo col raggio o A che è l'amplitudine di oscillazione, fig. 2, e se ne prolunghi da un lato indefinitamente un diametro A o B, per rappresentare così la linea AB della fig. 1; e poi partendo da A si prenda su questa ultima linea la grandezza che indica la durata della oscillazione, e si divida questa in un dato qualunque numero di parti uguali p. es. in dodici, ed ugualmente in dodici parti si divida la circonferenza di quel circolo, e si tirino sulla linea AB le altezze, ossia le normali partendo appunto da quelle divisioni. Ciò fatto noi potremo segnare dodici punti di quella curva prendendo quelle altezze sulla AB rivolte dalla stessa parte, e rispettivamente uguali alle altezze sul circolo che hanno lo stesso numero di ordine. Così per punti si troverà ben presto disegnata la curva di vibrazione pendolare.

Di tali curve pendolari se ne possono immaginare e costruire quante se ne vuole, differentissime però fra di loro; in simil modo come possiamo tracciare una infinità di circoli di raggio diverso, e di ellissi pure differenti fra di loro variando le grandezze od i rapporti fra i loro diametri. Per tracciare una curva pendolare basterà scegliere sulla linea di riposo AB la grandezza costante $a a_1$ che si vuol compresa da una sinuosità, e la massima distanza costante a cui si vuol che ascenda o discenda la stessa sinuosità da un lato e dall'altro della linea di riposo. Tutte però quelle curve saranno comprese in una legge comune, la quale, per noi, è bastantemente ed esattamente definita dall'anzidetto metodo col quale si posson disegnare. Questi dettagli sono molto elementari, ma sono indispensabili per la chiara intelligenza della teoria.

Come ognun vede la sinuosità della curva di oscillazione pendolare è regolarissima e simmetrica; ma in generale la curva di oscillazione di un corpo sonoro può essere molto più complicata, e bizzarra nelle sinuosità; così, per esem-

pio, la curva della fig. 3. rappresenta la curva di oscillazione di una corda di violino attaccata dall'arco; ossia è la curva che la corda potrebbe disegnare qualora con lei fosse ripetuta la esperienza che descrivemmo nel caso del pendolo. (Fig. 3.)

§ 2.^o Ciò premesso, le seguenti osservazioni danno, per la nostra teoria, una grande importanza alla curva di oscillazione pendolare. Abbiansi due di queste curve 1, 2, fig. 4. che differiscano fra di loro e per la amplitudine e per la durata della vibrazione; e disegniamole l'una sotto dell'altra, parallelamente. Noi potremo benissimo supporre che siano esse realmente le curve che, nel modo anzidetto, possono essere descritte da corpi sonori, le di cui oscillazioni siano pendolari; e la esperienza ci afferma che saremo nel vero, se quei corpi, o strumenti, sono *diapason* ossia *coristi*. Ora disegniamone una terza, 3, (fig. 4.) in modo che tirando una linea qualunque perpendicolare alle tre linee rette od *assi* che indicano (come AB nella fig. 1.) le posizioni di riposo dei tre corpi vibranti, la differenza fra le altezze $a b$ ed $a' b'$ delle due curve 1 e 2, sia uguale alla altezza corrispondente della curva 3, ossia a $b'' a''$, quando le due altezze nelle curve 1 e 2 sono rivolte in senso opposto, e segnando $b'' a''$ al disopra o al disotto del suo asse, ma sempre dalla stessa parte in cui si trova la maggiore delle due altezze $b a$ ed $a' b'$. E quando accadrà che queste due ultime altezze saranno rivolte dalla stessa parte, p. es. in $\alpha \beta$, e $\beta' \alpha'$, l'altezza corrispondente $\alpha'' \beta''$ nella 3.^a si segnerà dal loro lato, e si farà $\alpha'' \beta''$ uguale alla somma e non alla differenza di quelle prime due; cioè si farà $\alpha'' \beta''$ lunga quanto $\alpha \beta$ aumentata di $\alpha' \beta'$.

Per tirar corto abbiansi pure un numero qualunque 1, 2, 3, di curve pendolari, e potremo sempre far con tutte loro ciò che abbiamo fatto su due soltanto, ed ottenere così una nuova curva che chiameremo la curva *composta* da tutte quelle prime pendolari. Tutto ciò è chiaro, ma abbisogna introdurci un'altra condizione di più, che in seguito diverrà per noi assai significativa ed importante; tal condi-

zione è la seguente. Non scelgansi a caso le durate di oscillazione di quelle curve, ma facciasi in modo che presa per punto di partenza, o per unità, la maggiore di esse, le altre ne siano sempre esattamente o la metà o il *terzo*, o la *quarta* parte e via dicendo. Così fissata dappprincipio per una prima curva la grandezza sottesa da una delle sue sinuosità, rimarranno le altre corrispondenti grandezze determinate di per sé nelle altre curve; e non vi rimarrà da disporre che delle diverse loro corrispondenti ampiezze di oscillazione, e del modo di collocazione delle curve le une sotto le altre, sempre però stando parallele le loro linee di riposo. Ben intesa questa semplice operazione grafica, la fisica matematica ci dirà esser sempre possibile fare la sua operazione inversa. Vale a dire che, data una curva *N* qualunque di oscillazione di un corpo elastico, ossia di uno strumento sonoro qualunque, potremo sempre scegliendo *in quel modo*, e sotto quelle dette condizioni, un opportuno numero di curve pendolari, opportunamente disposte le une sotto le altre, (come dianzi facemmo per arrivare a caso ad un'altra curva *composta*) rifare esattamente la stessa curva *composta N* col mezzo di quella operazione grafica già indicata. E la Fisica matematica dice altresì che non vi sarà che un sol sistema di curve pendolari atto a riprodurre in tal modo la *N*; vale a dire che trovato quel sistema la più piccola variazione recata, per esempio all'ampiezza di oscillazione, pur anche in una sola di quelle curve pendolari, condurrebbe necessariamente ad una curva composta diversa dalla *N*. Tali semplici cognizioni, qualora fossero espresse con una forma matematica generale, ci enuncerebbero ad un teorema di Fourier celebre nell'analisi algebrica.

Con un mezzo grafico, cioè con una semplice maniera di disegnare una curva, e senza far uso di alcun teorema o dettato qualunque di geometria, siamo arrivati chiaramente all'enunciato del fatto precedente; cioè abbiamo inteso come un movimento oscillatorio qualunque rimane teoricamente decomposto in tanti movimenti oscillatorii pendolari, i quali (come è il caso del pendolo) in natura sono i più semplici di tutti. Or noi seguireremo per dimostrare che nella perce-

zione del suono si opera dall' orecchio una decomposizione di un dato suono, in tanti altri suoni parziali, analoga perfettamente all' anzidetta decomposizione : e così avremo distinti nella mente due diversi ordini di fatti, i quali avranno una perfetta somiglianza di oggi.

§. 3.^o Un suono , una nota musicale emessa in generale o dalla voce, o da uno strumento, non è semplice per noi; vale a dire che veramente non sentiamo una nota sola musicale , ma sibbene diverse insieme ; succede però che sulla più grave, perchè generalmente essa è molto più intensa delle altre , portiamo abitualmente tutta la nostra attenzione , e chiamiamo col di lei nome musicale tutto l' intero suono composto . Di un suono composto , diconsi suoni parziali tutti i suoni che lo compongono, i quali dunque sono semplici ; e fra questi il più grave di tutti si dice *primario* o *fondamentale*. Non vi è che un solo caso nel quale il suono dello strumento è composto da un solo suono, vale a dire che è semplice , ed è quando la curva di oscillazione nello strumento è pendolare ; così ad esempio la curva di oscillazione di un *corista*, è pendolare, quando almeno l'urto qualunque che lo ha scosso non è stato troppo violento , o che non si osservano le oscillazioni nel primo tempo della eccitazione, e non è possibile nel suono di un *corista* distinguere altra nota che la sua fondamentale.

La serie dei suoni parziali di un dato qualunque suono composto, salendo dal grave all' acuto, segue una legge esattamente determinata , qualunque sia lo strumento , ed è la seguente. Partendo dalla nota primaria scriviamo tutte le note ottenibili *duplicando*, *triplicando*, *quadruplicando*, e così di seguito, il numero delle sue oscillazioni. Così ad esempio il *corista* da un *la* facendo circa 250 oscillazioni al secondo, e il *corista* ha un solo suono semplice ; ma se quel *la* è dato da un altro strumento , nel suono composto potrà esservi il *la* di 250, e poi tutte od alcune delle note che corrispondano ai numeri di oscillazione 500, 750, 1000 e via dicendo . Così le note semplici che compongono un suono composto il più ricco di suoni parziali , seguono la serie dei numeri 1 ,

2, 3, 4, 5, . . . , nei numeri delle oscillazioni ; ossia le durate delle oscillazioni dei suoni parziali sono o la metà, o il terzo, o il quarto della durata del suono primario, e così via dicendo. Questa legge è la stessa di quella che passa fra la durata dell'oscillazioni pendolari che formano la oscillazione composta. Per indicare le note senza caratteri di musica, indicheremo con do^1 il do in chiave di basso del secondo spazio, e con do^2 la sua ottava, e via dicendo, ed egualmente per tutte le altre note ; e le note che si hanno scendendo dal do^1 alle più gravi si indicheranno scrivendo sotto il loro nome il numero d'ordine, e non più sopra ; così un 2 scritto sopra dirà che la nota è compresa fra il do^2 , e il do^3 . Ciò posto se la nota primaria è il do^1 , il suono sarà composto da tutte o da alcune delle note che sono comprese nella serie indefinita seguente :

do^1 ,	do^2 ,	sol^3 ,	do^3 ,	mi^3 ,	sol^3 ,	si^3 ,	do^4 ,	re^4 ,	mi^4 ,	ecc.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

che è detta dei *suoni armonici* ; abbenchè gli accordi che vi si posson fare suonando la prima della serie con una delle altre siano consonanti solo per i primi numeri della serie . Nei suoni composti è variabile il numero dei suoni parziali, e di questi è immensamente variabile la intensità relativa ; si può dir solo che pe' suoni musicali propriamente detti il suono primario predomina sopra tutti gli altri, che sono tanto più deboli , quanto è maggiore il loro intervallo dal fondamentale. Nella tromba però i suoni parziali più acuti si conservano assai forti, il che dà al suono la stridente chiarezza che distingue quello strumento. A seconda degli strumenti e delle voci diverse, varia l'*impasto*, o ciò che vorremo chiamare il *metallo*, o il *colore*; onde si distingue ad esempio il suono della voce umana, da quello di un violino o di un flauto.

Così un movimento oscillatorio , e regolarmente periodico, ma con una legge qualunque, ossia al quale appartiene una curva di oscillazione qualunque , e che rappresenta un suono composto, e trasmesso per comunicazione di movimento

da particella a particella d'aria, conservando la stessa legge, fino al nostro orecchio, da noi è percepito nel suo complesso non già, ma come decomposto in una tal serie di suoni, ossia di oscillazioni pendolari, che corrisponde esattamente a quell'unico e semplice modo nel quale si può decomporre una legge di oscillazione qualunque, secondo quella costruzione grafica che abbiamo descritta; ossia secondo che dice l'analisi algebrica, nella applicazione delle invariabili e comuni leggi del moto, al caso delle oscillazioni dei corpi. Infine, le diverse note parziali che per noi comporgono un suono qualunque, generalmente non sono per così dire emesse separatamente dal corpo sonoro, il quale solo in alcuni casi particolari si divide in parti distinte, ciascuna delle quali emette un suono diverso; ma è il nostro orecchio che mirabilmente decompone quel suono in quel dato modo. Tal legge della nostra percezione auditiva fu enunciata la prima volta dall'Ohm. La verifica sperimentale di quella legge, richiede adunque che si determini per un dato suono la sua curva di oscillazione; e poi graficamente, se si può e se vuolsi, o col mezzo del calcolo, si determini il sistema di curve pendolari che ne rappresenta la geometrica decomposizione; questa sarà la prima parte di quella verifica. Quindi, per la seconda parte, si determinino per mezzo dell'orecchio e nelle intensità relative e ne' gradi che occupano musicalmente (per avere dall'esperienza le durate di oscillazione) i suoni semplici che formano il suono composto. Sì l'una che l'altra analisi del dato suono composto devono accordarsi fra di loro e devono coincidere nei loro parziali risultati. Vale a dire che il sistema dei suoni parziali dall'orecchio così determinato, deve corrispondere precisamente a quell'anzidetto sistema di curve pendolari. Così se per esempio si vedrà che la curva di oscillazione è pendolare, non dovrà l'orecchio sentire in quella massa di suono, che una nota sola; e se la curva di oscillazione sarà scomponibile in due sole pendolari, l'una delle quali abbia le sue sinuosità di ampiezza doppia delle sinuosità dell'altra curva pendolare, allora l'orecchio dovrà nella massa sonora distinguere due note sole, e all'ottava; e se in quest'ultimo esempio la nota più acuta sarà intensa

la metà della più grave e fondamentale, la ampiezza di oscillazione relativa alla curva pendolare che corrisponde al suono più acuto, dovrà essere la metà dell'ampiezza di oscillazione relativa alla prima curva pendolare; ossia che le sinuosità di una di queste curve saranno alte la metà delle sinuosità dell'altra curva; e così via dicendo. E tali relazioni sono appunto confermate dall'esperienza, per quanto può esser possibile in valutazioni di intensità di un genere così delicato. Anzi avverto che io stesso sono sceso a questi dettagli per chiarire bene le cose, non perchè simili verificazioni siano di lor natura generalmente attuabili in un modo assolutamente rigoroso.

Qui non descriveremo i varii mezzi che ha la Fisica per la determinazione della curva di oscillazione, perchè il lettore li conoscerà leggendo ordinarii trattati di Fisica, e meglio ancora alcuni lavori originali pubblicati or non sono molti anni da alcuni Fisici in Germania ed in Francia; e non li descriveremo anche perchè tali dettagli poco importano per lo scopo di questo sunto. Ma a talun lettore più educato alla musica, che agl'artificii della fisica ed al calcolo, può interessare l'avere un'idea del metodo che si deve tenere per avvezzare l'orecchio all'*analisi auditiva* di un suono; giacchè anche fra valenti maestri di musica sarà facile trovare chi senta parlare per la prima volta di suoni che accompagnano sempre una nota musicale; come anche fra i fisiologi non sarà facilissimo trovare chi ammetta in piena coscienza, la legge di Ohm; perchè è difficile che in fisiologia si abbia come nella Fisica-matematica molta abitudine di considerare le decomposizioni dei movimenti, che pur regolano, in ultima analisi, ogni fenomeno naturale.

§ 4.^o L'orecchio ha incontestabilmente la proprietà di analizzare; onde noi possiamo nella massa totale della sensazione auditiva, fissare la nostra attenzione sopra quello o quell'altro suono o rumore che sia, come quando molte persone parlano o cantano insieme, o quando suona un'orchestra. L'occhio non l'ha; perchè in un raggio di luce natu-

rale vediamo bianco, e non partitamente tutti i colori semplici. Ma abitualmente non usiamo quel potere analitico, quando uno strumento solo suona una melodia, o canta una voce sola; eppure non è difficile educar meglio l'orecchio. La corda di un'arpa o di un piano-forte dà sempre l'ottava superiore del suono primario, e per distinguerla dovremo prepararci con pazienza l'orecchio, percotendo leggermente una corda e subito dopo con più forza la sua ottava bassa; e per tutti i primi suoni della serie de' suoni *parziali* potremo fare quell'esercizio. Ma col numero d'ordine aumenta la debolezza di que' suoni talchè presto non sono più discernibili; e poi ne' più de' suoni composti mancano molti suoni di quella serie, ciò che dà alle diverse voci e a diversi strumenti un colore differente. Vero è che siamo anche ajutati a distinguere i varii strumenti, da certi diversi rumori che accompagnano i loro suoni; come il fremito e il fischio dell'aria negli strumenti a fiato, o della corda del violino di un cattivo suonatore, ma l'effetto di simili rumori non deve esser confuso con l'impasto o *colore* di suono proprio di un dato strumento (1).

Ma per aiutare l'orecchio si approfitta di un fatto ben noto nella fisica. Quando un corpo suona, il suo moto oscillatorio si comunica per l'aria e per i sostegni ai corpi vicini, che oscillano anch'essi se sono in condizioni da poter fare la stessa nota primaria del suono eccitante. Se, per esempio, è sollevato lo smorzatojo del piano-forte e poi si canta una nota, è certo che lo strumento risponderà debolmente sì, ma con quella nota, perchè vibrerà quella corda che era accordata all'unissono della nota cantata. Tale comunicazione di movimento si può osservare assai comunemente quando le oscillazioni non sono così rapide da poter produrre una sensazione auditiva. Ognun sa che se di due pendoli vicini, perfettamente uguali e che possano oscillare paralellamente fra loro, l'uno soltanto si mette in moto,

(1) Rumore è ciò che non è musicalmente determinabile, e non dà sensazione musicale ciò che non ha legge regolare e costante di oscillazione, o che esce fuor dei limiti de' suoni gravi od acuti della musica.

l'altro dopo non molto tempo visibilmente oscilla esso pure ; perchè quando il primo pendolo si muove verso la destra urta l'aria, e questa comunica il suo moto al secondo pendolo, e lo eccita a muoversi pure verso la destra ; ma la velocità del primo verso destra a poco a poco manca , cosicchè il secondo lasciato libero a sè, comincia a ritornare verso la posizione di prima, cioè a muoversi a sinistra ; ma questi allora per ritornare a sinistra approfitta della velocità che avrebbe avuta da sè naturalmente, quand' anche il primo fosse rimasto fermo, ed approfitta della velocità che gli è impressa dal primo pendolo che appunto ritorna contemporaneamente verso la sinistra ; quando poi il primo, è già scorso assai, e di nuovo è per fermarsi e tornare a destra, il secondo pendolo pure si ferma e si rivolge a destra ; perchè i due pendoli essendo uguali mettono lo stesso tempo per fare una oscillazione, grande o piccola che sia , purchè non troppo grande. Così lo stesso giuoco di dianzi si va ripetendo, e il secondo pendolo imita il primo, ma con minor forza, ossia con minore ampiezza di oscillazione, perchè il suo moto si fa con quel poco che il primo pendolo gli manda per l'aria.

Se le durate di oscillazione non fossero le stesse per i due pendoli, potrebbe accadere che il secondo già spinto a destra, nel riedere a sinistra si trovasse col suo moto in opposizione al primo pendolo che ritornerebbe a destra ; e così nel secondo pendolo potrebbe esser distrutto il moto precedentemente eccitato ; e il primo pendolo non porrebbe visibilmente in moto il secondo ; se però le durate anzidette differiranno infinitamente poco fra di loro una certa benchè minore comunicazione di moto avrebbe luogo ; perchè per un certo tratto di tempo, o, per meglio dire, in certi tratti di tempo, i due pendoli si troveranno sufficientemente d'accordo nell'oscillare nello stesso senso. Così se si prendono due pendoli fatti con palline di piombo e fili di quasi ugual lunghezza, e se si sollevano e poi si lasciano andare dalla stessa parte, si vedrà che per un poco andranno d'accordo e poi si troveranno andar l'uno di quà e l'altro di là, poi, dopo un poco di tempo, di nuovo si troveranno d'accordo, e così di seguito .

Volevamo dire che il moto oscillatorio di un corpo sonoro, può non solo farne risuonare un altro che sia esattamente accordato all'unissono con lui, ma può, benchè più debolmente, influire per qualche cosa sulla vibrazione di un corpo anche quando tale accordo lascia a desiderare. Proseguendo con siffatti schiarimenti si dimostrerebbe ancora che un suono composto, cioè che nasce da una legge di oscillazione qualunque, può eccitare il moto vibratorio in un corpo sonoro qualunque, purchè sia accordato all'unissono di uno de' suoni parziali, nei quali nel modo anzidetto si può decomporre quel primo suono. Del resto la nostra esperienza col piano-forte si può rifare in molti casi, e variare con altri strumenti. Col piano-forte si può fare una bella esperienza che dimostra il colore diverso delle vocali, e così qual'è la causa principale per cui si distingue, p. es., l'A dall'O, e via dicendo. Tenendo sollevato lo smorzatojo, si canta forte una vocale di faccia alle corde, e si sente subito l'istrumento rifare la vocale stessa, perchè il suono composto che forma la vocale ~~ma~~ per l'appunto eccitate a vibrare le singole corde che corrispondono al sistema dei suoni parziali nei quali esso è, o graficamente, o dal calcolo, o dall'orecchio, decomponibile. Si deve però aggiungere che da noi son distinte le vocali l'una dall'altra, non solo per il diverso impasto o colore musicale del suono, ma anche da certi particolari rumori che le accompagnano, il che ha specialmente luogo per la vocale l; ciò fa sì che noi riconosciamo le vocali anche parlando a voce bassissima, e ci possiamo intendere senza emettere suoni decisi. L'Helmholtz si trattiene a lungo su questo argomento, ed ha immaginato un apparecchio composto di varie parti, ciascuna delle quali emette suoni semplici di varie intensità, che opportunamente regolate rendono suonando insieme chiaramente tutte le vocali (1).

Il mezzo più utile per ajutare l'orecchio è quello fornito dai risuonatori dell'Helmholtz, che sono utili in virtù del narrato fenomeno della comunicazione dei movimenti vibratorii. Sono delle sfere vuote di vetro che possono, pe' suoni

(1) Questo apparecchio è compreso nel Catalogo di Koenig.

gravi, essere all' incirca come que' palloncini che si adoprano per moderare la luce dei lumi negli appartamenti, ed anzi hanno come quelli due aperture, una delle quali però è ordinariamente più piccola; ma l'altra poi, che gli sta di contro, è ridotta ad un piccolo foro sul quale si applica l'orecchio dell'esperimentatore. Le dimensioni di ogni risuonatore sono regolate per una sol nota; onde è necessario averne molti. Quando si ascolta così una nota, essa non è rinforzata, se non è quella del risuonatore; e se poco ne differisce, un rinforzo si sente, e se poi è quella esatta il rinforzo è così intenso, che non lascia alcuna incertezza. Tali risuonatori sono ora molto ricercati dai Professori di fisica.

Se il suono è composto, ma contiene la nota del risuonatore come tuono parziale, solamente essa è dal risuonatore rinforzata, e per avere un orecchio turato, e l'altro aperto per una sola nota, si sentono meno gli altri suoni parziali, e così diventa facile distinguere quell'uno solo. Il Koenig inventò certi piccoli apparecchi nei quali il vibrare di una fiamma reso visibile anche a grande uditorio, supplisce alla sensazione auditiva, per lo studio dei suoni parziali coi risuonatori, e per molte altre elegantissime esperienze (1). Ecco dunque alcuni dei molti e delicati mezzi che la fisica adopera per giudicare la esattezza della legge di Ohm.

Simili esperienze hanno per la musica un grande vantaggio, che è la eccellente educazione che per esse potremmo dare all'orecchio; e diciamo all'orecchio pel modo comune di esprimersi, perchè in sostanza un orecchio non può ordinariamente differire da un altro che per la maggiore o minore sensibilità; di modo che un suono debolissimo potrà forse esser ancora ascoltato da una persona, e da un'altra no; ma per ragione consimile che una vista acutissima non solo non basta, ma non è indispensabile per formare un buon scultore, o un buon pittore, così non basta un orecchio finissimo per formare ciò che si chiama ordinariamente *un buon orecchio*, che significa solo che la persona che l'ha è in grado di giudicare bene musicalmente di certe consonanze

(1) Koenig, Paris.

o dissonanze; il che, come ora vedremo, richiede che l'orecchio siasi o naturalmente da se o ricorrendo ad artifici, per le diverse ordinarie circostanze della vita, educato bene in tali apprezzamenti, e siasi infine in quella persona sviluppato più o meno il *sentimento musicale*. Nella musica si devono distinguere due parti, l'una delle quali vedremo che è soggetta a leggi fisiche e matematiche invariabili; e nella natura delle cose è che un trattato di armonia debba partir da quelle leggi, piuttosto che essere solo una raccolta di esempi; l'altra parte riguarda la sola estetica, ed è relativa a un ordine di idee e di fatti che dipendono sì dal genio musicale, ma in alto grado ancora dallo spirito del secolo, che ama tal modo più o meno strano di eccitazione, e che disgraziatamente può esser cieco per quella bellezza artistica che si rivela naturalmente ad un animo non falsamente prevenuto, e dopo una buona e semplice educazione musicale.

La legge di Ohm, e le anzidette considerazioni sulla comunicazione dei movimenti vibratorii fra i corpi elastici, ci fa credere, se non certo, almeno probabilissimo che nell'orecchio vi siano tanti corpi elastici distinti, in comunicazione con distinti filamenti nervosi e ognuno dei quali sia accordato per vibrare all'unissono con un suono determinato; e sospetta l'Helmholtz che le fibre di Corti vi tengano nell'orecchio luogo delle corde in un piano-forte. Quelle fibre son circa 3000, e però in numero sufficiente per ottenere una gradazione insensibile di suoni; perchè quand'anche l'orecchio non fosse colpito da un suono che non fosse esattamente all'unissono per nessuna di quelle fibre, esso, secondo quello che già dicemmo, scuoterebbe almeno le due fibre fra i di cui suoni proprii entrerebbe come termine medio quel suono dato, e vi avrebbe sempre continuità nella serie dei suoni percepibili. E così la legge di Ohm sarebbe soddisfatta perchè un suono composto non agirebbe su tutti gli organi che nell'orecchio corrispondono a diversi suoni, ma solamente su quelli corrispondenti a suoni parziali.

I suoni parziali formano adunque l'*impasto* di un qualunque suono composto e gli danno quella proprietà che noi

chiamammo *metallo*, o meglio *colore* : ma vi sono altri suoni che nascono per la mutua combinazione di due suoni nell'aria e che influiscono per dare alla lor volta un diverso effetto ad un accordo.

§ 5.^o Una particella qualunque di aria, ad una qualunque distanza oscilla con la stessa legge di oscillazione del corpo sonoro; vale a dire che se potesse disegnare, nel modo dianzi narrato, la sua curva di oscillazione, questa curva sarebbe simile a quella descrivibile da quel corpo, od istrumento qualunque; se non che la ampiezza di oscillazione della particella sarebbe minore generalmente di quella che ha luogo all'origine del moto oscillatorio, e di tanto minore, quanto maggiore sarebbe la sua distanza da quell'origine. E, sempre generalmente parlando, il movimento oscillatorio della particella d'aria si farà nella direzione stessa secondo la quale si propaga il suono nel mezzo ambiente.

Se poi in questo mezzo vi sono, non una sola, ma due origini di oscillazione, diverse e distanti comunque fra loro, i due suoni si propagheranno nello stesso mezzo senza turbarsi. Così p. es. gettando una pietra su dell'acqua tranquilla, il luogo percosso diviene il centro di tante anella, alternativamente formate dall'acqua depressa, o sollevata al disopra del livello naturale; ed oscillando le particelle dell'acqua secondo la verticale, uno stesso anello alla stessa distanza dal centro si cangia da se alternativamente in sollevato e in depresso, e propagandosi il moto alle particelle più lontane altre anella successivamente si formano, ma sempre meno pronunziate fino a che divengono appena visibili; e tutto il sistema, persiste fino a che dura la oscillazione della particella primitivamente percossa. Vero è però che in questo caso la oscillazione si compie normalmente alla direzione secondo cui il moto oscillatorio si propaga; pel suono non è così, ma ciò ora per noi poco importa. Se due pietre in due diversi luoghi son gettate nell'acqua, due sistemi di anella si sovrapporranno senza turbarsi. Vogliamo dire che le anella conserveranno la loro forma esattamente circolare, e ciò sarà anche facilmente visibi-

le . Ma non si creda però che la curva di oscillazione di una data particella dell' acqua sia la stessa nei due casi, di due o di una sola origine di vibrazione : infatti potrà darsi che in un dato istante quella particella sia sollecitata a discendere sotto il livello naturale del liquido, dal moto oscillatorio che gli arriva da uno di que' centri , mentre sia sollecitata a salire dal moto che gli arriva dall'altro centro ; allora la particella riceverà un impulso che sarà uguale alla differenza de' due impulsi separatamente dovuti alle due origini , e non si muoverà punto in quell'istante, se quegli impulsi saranno uguali fra loro . In quest' ultimo caso , si dice che in quel dato luogo i due moti oscillatorii *interferiscono* ; così dunque *interferenza* significa che due movimenti oscillatorii si distruggono reciprocamente circa al loro effetto sopra un dato punto o luogo del mezzo in cui si propagano .

Sarà per noi utile anche l' avvertire che quando due sistemi di moti oscillatorii si propagano nello stesso mezzo , avverrà sempre, più o meno, il fenomeno dell' interferenza, o i due moti accadranno d' accordo per aumentare il moto oscillatorio della particella a seconda della posizione di questa e dell' istante considerato ; ma perchè da noi si possa avvertire il fenomeno bisogna che esso persista alcun tempo almeno senza variare, e perciò bisogna che per un certo tempo o costantemente quei due moti si trovino sempre o in opposizione, o sempre d' accordo, e quindi che siano identici e differiscan solo per avere origini diverse .

Così se poniamo ad oscillare i due pendoli descritti nel paragrafo 4.^o in modo che facciano la prima oscillazione d' accordo perfettamente , cioè movendosi ambidue a destra , od ambidue a sinistra, essi si conserveranno sempre in tale accordo, perchè le durate delle loro oscillazioni saranno uguali . E le particelle dell' aria che si troveranno ad esempio nel piano parallelo e vicino ai piani di oscillazione dei due pendoli , si porranno od oscillare con più forza , che se un sol pendolo oscillasse ; ma se i due pendoli sono stati nel primo istante eccitati a muoversi in direzione opposta , i loro moti saranno in opposizione , e quelle particelle poco o nulla si muoveranno . Se poi le lunghezze di quei pendoli non

fossero perfettamente uguali, di modo che se uno di loro facesse per esempio 100 oscillazioni al minuto l'altro ne facesse 101, quei due pendoli si troveranno in quei due anzidetti casi in perfetto accordo o in perfetta opposizione di moto solo una volta al minuto; e ne' tempi intermedi lo saranno più o meno, e ne avverrà che le particelle d'aria anzidette concepiranno un moto oscillatorio ora debole e crescente, fino ad un certo istante in cui diminuirà da capo fino a diventar debole come prima, per poi ricrescere da capo con la stessa legge, riproducendosi così per intervalli uguali di tempo le stesse fasi di movimento.

Nel caso de' corpi pe' quali le oscillazioni sono così rapide da poter produrre sensazioni auditive, l'orecchio è avvertito del fenomeno di interferenza in quel dato luogo dello spazio ove l'orecchio si trova, dalla cessazione o dall'indebolirsi del suono, perchè in quel luogo stesso l'aria non vibra; e quando i due corpi sonori non fanno rigorosamente lo stesso numero di oscillazioni come nell'ultimo caso citato dei due pendoli, si udirà il suono periodicamente crescere e diminuire, *ondeggiando* relativamente alla sua intensità.

La legge poi di oscillazione della particella di aria nel caso di due suoni si ritrova molto facilmente. Se due, almeno, sono le origini di oscillazione, la particella sarà da una sollecitata a muoversi in un verso, e dall'altra in un altro; cosicchè la particella oscillerà in una direzione intermedia, che la meccanica sa determinare col noto *principio della composizione dei movimenti*. E la curva di oscillazione della particella d'aria si otterrà in una sola, componendo p. es. col metodo grafico del paragrafo 3.º, le due separate curve di oscillazione delle due origini separate; solamente la massima ampiezza di oscillazione sarà in ognuna delle due curve da ridursi minore, per obbedire a quell'anzidetto principio di meccanica. Tutto il sin qui detto in questo paragrafo, costituirebbe il noto principio della *sovrapposizione dei piccoli movimenti*, qualora fosse enunciato sotto forma più generale e scientifica.

Ora, le cose stando esattamente come le abbiamo narrate, si capisce subito che la decomposizione in curve pen-

dolari, della curva di oscillazione della particella di aria scossa da due origini diverse, deve condurre a tante curve pendolari che si sarebbero ugualmente ottenute, nè più nè meno, decomponendo parimente in curve pendolari separatamente quei due suoni composti.

Ma non sempre sarà così: infatti il calcolo ci dice che tal semplicità non può verificarsi che nel caso in cui le ampiezze di oscillazione delle due origini sono immensamente piccole; ed in vero i moti oscillatorii che hanno luogo nei nostri strumenti sono piccoli sì, ma non poi di una piccolezza per così dire matematica, perchè sono sensibili, e talvolta assai. Ma lo stesso calcolo, fatto dall'Helmholtz, dice che qualora le oscillazioni nel mezzo ambiente siano, come realmente è il caso in natura, piccole, ma non così come il matematico può supporle, ma tali infine da eccitare nel nostro orecchio una chiara sensazione, la curva di oscillazione della particella di aria scossa contemporaneamente da due origini diverse sarà scomponibile in due serie di oscillazioni pendolari, ossia di suoni parziali: la prima serie sarà precisamente quella di cui si parlò dianzi, che rappresenta la somma dei suoni parziali dei due separati suoni composti; la seconda serie di curve di oscillazione pendolari, rappresenterà tanti nuovi suoni semplici, chiamati di *combinazione*, perchè non apparterranno, come suoni parziali, nè all'uno nè all'altro di que' primi suoni composti. E questi suoni di combinazione si divideranno in due classi; l'una sarà dei suoni che si possono ottenere sommando assieme, a due a due, il numero delle oscillazioni in un secondo di un suono qualunque parziale di uno di quei due composti, col numero delle oscillazioni in ugual tempo appartenenti ad un altro qualunque suono parziale dell'altro suono composto. L'altra classe si formerà in simil modo, ma prendendo la differenza e non la somma di quei due numeri.

Così la composizione nell'aria di due suoni, fa nascere generalmente due nuove classi di suoni non dati nè dall'uno nè dall'altro strumento; l'una per *sommazione*, di suoni più acuti, l'altra per *differenza*, di suoni più gravi di ambedue quei suoni primarii.

Generalmente un suono non è semplice, esso è formato da una tal data serie di suoni parziali, e fra questi il più grave, il primo della serie, e più forte assai di tutti gli altri, predomina per dare il nome musicale, e gli altri influiscono secondariamente per dare il colore al suono composto, ma possono però dare dei sensibili suoni di combinazione. E sono chiamati suoni di *combinazione di primo ordine*, quelli di combinazione fra un suono parziale di uno dei due composti e gli altri suoni parziali dell'altro suono composto; e suoni di *combinazione di terzo ordine* quelli prodotti dalla combinazione di suoni di combinazione di primo ordine coi suoni parziali dei due *primarii* suoni composti, e via dicendo. Ma in pratica non sono da considerarsi generalmente i suoni di *sommazione*, e solo possono esser sensibili i suoni *per differenza* dovuti ai suoni semplici fondamentali, dei due suoni primarii,

Tali ultimi suoni facilmente si ascoltano quando i suoni fondamentali dei due primarii sono compresi nella stessa ottava; perchè allora si sente facilmente una nota più grave dei due suoni separati primarii (composti o semplici che siano). Nei trattati un'esperienza simile si fa con due tubi da organo, ma la spiegazione che se ne dà è falsa, eppure è già un pezzo che l' Helmholtz diede la spiegazione vera, e che svelò il troppo grave errore dell'antica. Diede l' Helmholtz diverse tavole de' suoni per differenza nel caso degli ordinarii intervalli musicali, e qui ne faremo un cenno, supponendo semplici i due suoni primarii e fermandoci ai soli suoni di primo ordine.

Un suono di combinazione per differenza è prodotto da due note all'*ottava* ed è all'unissono colla più grave di quelle; e per due note alla *quinta* è all'*ottava bassa* parimente colla più grave di quelle; e per due note alla *quarta* ne è la *duodecima bassa*, in simil modo contata;

per la *terza maggiore* ne è la *doppia ottava bassa*;
per la *terza minore*, la *doppia ottava bassa*, della *terza maggiore bassa della nota primaria più grave* (1);

(1) Così l'accordo di terza *mi sol*, che si scrive nelle righe in chiave

per la *sesta maggiore*, la *quinta bassa*, della nota primaria più grave ;

per la *sesta minore*, la *sesta maggiore bassa*, contata come la precedente quinta .

I suoni di combinazione per differenza formano coi suoni primarii degli intervalli armonici, nei quali i primarii stessi figurano da suoni più acuti. Nel piano forte è difficile l'ascoltare i suoni di combinazione perchè i suoni primarii indeboliscono rapidamente, ma si ascoltano bene col violino o con la fisarmonica.

Al contrario i suoni di combinazione per sommazione formerebbero coi suoni primarii degl'intervalli nei quali questi ultimi figurerebbero da suoni più gravi, e spesso tali intervalli sarebbero dissonanti. Già lo dicemmo che tali suoni per sommazione sono deboli generalmente, ma si distinguono con la fisarmonica o con la *sirena polifona*, la quale perciò dà le terze e la sesta minore molto disaggraviati. Ecco i primi e più forti suoni di sommazione, relativamente alla più alta nota dell'accordo.

L'intervallo di *ottava* dà per sommazione la *quinta superiore*;

l'intervallo di *quinta*, dà in simil modo la *sesta maggiore*;

la *quarta*, dà la *settima diminuita*;

la *sesta maggiore*, dà la *sesta minore* ;

la *terza maggiore*, la *settima diminuita*;

la *terza minore*, dà la nota compresa fra la *settima* e la *settima diminuita* ;

la *sesta minore*, dà la nota compresa fra la *sesta maggiore* e la *minore* .

Così nella fisarmonica e nella sirena si vede perchè la *quarta* fa l'effetto di un mediocre accordo di *settima*.

Qui però è d'uopo fare una importante avvertenza; ed

di *sol*, dà per combinazione il *do*, che è l'ottava bassa del *do* che in chiave di basso si scrive nello spazio fra le righe.

è che i suoni di *combinazione* sono generalmente deboli ed incerti, nel caso in cui le due origini sonore sono separate nel loro meccanismo, come quando cantano due voci umane o suonano due strumenti affatto separati fra di loro; ma nel caso opposto, come per esempio nella fisarmonica, può avvenire che nella oscillazione della particella d'aria scossa regolarmente dai due suoni primarii si verifichi una certa condizione, che il calcolo dimostra favorevole alla produzione dei suoni di combinazione.

Ognuno prevede a quanta ricchezza di suoni si deve porre attenzione in un accordo, che sia pur anche di sole due note; e quanto aiuto dalle esposte cose possa già trarne un compositore, ed anche il mediocre dilettante di musica che sappia le prime regole dell'armonia; e come in ogni caso si potrà tener conto esattamente del genere de' diversi strumenti musicali, cioè de' suoni parziali a loro proprii.

Fin qui noi esaminammo le cose da un punto di vista analitico ed sperimentale, e spero che mi avrà inteso e mi intenderà sempre, anche il lettore che sa poco di fisica, ma che sa meglio di musica. Ora devo far ben chiaramente la seguente avvertenza. I fenomeni narrati, cioè i *suoni parziali* e le *interferenze* e i *suoni di combinazione*, esistono, per così dire, nell'aria; voglio dire che ad ognuno di quei fenomeni segnalati dal nostro orecchio corrisponde come causa immediata un determinato modo o legge di oscillazione dell'aria; e ciò è così vero che tal diverso modo di vibrare nell'aria può, con apparecchi ben noti in fisica, esser messo in evidenza e studiato senza riferirsi alla sensazione del suono. Ma ora andiamo a ragionar di fenomeni accusati pure dal nostro orecchio, vale a dire che sono eccitati da moti vibratorii dell'aria, ma a' quali partitamente non corrisponde nell'aria un dato special modo di oscillazione, e che solo dall'orecchio possono essere studiati, perchè avvengono nell'orecchio stesso; vale a dire perchè nel modo di costruzione di quest'organo trovansi le loro principali ragioni, non solo di essere avvertiti ma di generarsi.

Prima di tutto avvertiamo che l'orecchio colpito da due suoni contemporaneamente, può udire talvolta un terzo suo-

no, anch'è molto forte, e che non si possa confondere nè coll' uno nè coll' altro de' suoni primarii, composti o semplici che siano; e che nulladimeno studiandolo si riconosca che non sia un suono di combinazione e neppure un suono parziale, e che perciò non abbia la sua ragione speciale di essere nelle leggi di oscillazione di quei due suoni, e non abbia infine un modo di oscillazione nell' aria che gli appartenga come causa immediata. In questo caso tal suono si produce nell' orecchio, ed è l' orecchio che fa da corpo sonoro, e che non è soltanto l' organo che ci avverte di un dato modo oscillatorio. Tal cosa non ci deve sorprendere; perchè l' orecchio è composto esso pure di corpi elastici di forme determinate, ed in condizioni molto complicate ma analoghe a quelle di qualunque corpo elastico, eccitato che sia dalle vibrazioni esteriori.

E la struttura dell' orecchio deve anche esser presa in considerazione circa all' intensità del suono, relativamente alle diverse note musicali; perchè l' orecchio nostro non è mica atto a sentirle tutte egualmente. Ed a persuadercene l' Helmholtz osserva che quando si fa col mantice della solita soffieria che si usa nei corsi suonare la sirena, dappprincipio il disco della sirena gira lento e fa suoni gravi ma debolissimi, che poi via via si rinforzano a misura che divengono acuti. Da che proviene ciò? La soffieria non imprime all' aria una maggior quantità di forza viva pe' suoni acuti che pei gravi; perchè in ambi i casi, dal principio alla fine dell' esperienza si può fare che la velocità con la quale l' aria esce dalla soffieria non varii menomamente; e se vero è che ruotando il disco con velocità maggiore nel caso dei suoni acuti, che ne' gravi, gli attriti, ossia le perdite di forza viva, non sono uguali in ambo i casi, è vero altresì che ciò non potrebbe che scemare pei suoni acuti la quantità di forza viva fornita dalla soffieria in ciascun istante; e così è forza concludere che la causa di tale differenza nella intensità del suono è nell' orecchio, il quale è più sensibile pe' suoni acuti che per i gravi. Tale sensibilità per alcune persone arriva a segno tale, che dai suoni molto acuti hanno dolorose sensazioni.

Ma or noi studieremo un fenomeno molto più importante

e conosciuto col nome dei *battimenti*, la di cui causa è pure nel modo di costruzione dell' orecchio.

§. 6. Ognun sa che se in generale, assieme ad una nota, con un istrumento qualunque si accoppiano successivamente tutte le altre note della scala ne risultano degli accordi di due note i quali ci riescono più o meno aggradevoli, e che perciò si classano in *consonanze* più o meno perfette, e in *dissonanze*. Per studiare bene tal diversità di effetti sul nostro orecchio, cominciamo dal fare uso di suoni semplici, perchè non hanno suoni parziali, ossia la di cui serie di suoni parziali è ridotta ad un solo, al fondamentale. Il modo più semplice e facile per avere suoni semplici è quello di adoprare dei *coristi*, ossia *diapason*; quando il corista non è eccitato con troppa violenza, o quando è già passato alcun istante dopo l'urto, il suono del corista è pressochè intieramente privo di suoni parziali; e per rendere più puro il suono si può tenergli accanto un risuonatore, il quale vibrando all'unissono del suono fondamentale concorre efficacemente a rendere insensibile ogni traccia d'altro suono. Così noi possiamo con più *coristi*, e con due per volta, comporre successivamente gli accordi di *ottava*, di *settima*, di *sesta*, e via dicendo di *terza maggiore*, e *minore*, e studiar persino gl' intervalli minori di *mezzo tuono*. Cominciamo dai suoni perfettamente uguali, cioè con due coristi all'unissono; in tal caso non sopraggiunge alcun fenomeno straordinario; sentiamo che il suono con due coristi è più forte che con un solo, e nulla più: ma prendiamone due quasi all'unissono, e non perfettamente accordati, oppure facciamo calare uno di que' due primi, appiccicandovi sopra un poco di cera; e ne risulterà facilmente una dissonanza, una sensazione spiacevole; ma quello che voglio particolarmente rimarcare, è che il nostro orecchio sarà distintamente colpito da una serie di piccoli colpi o *battiti*, che chiameremo *battimenti*, che si succederanno più o meno rapidamente l'un l'altro, a seconda del grado di acutezza dei due coristi, e del loro piccolo intervallo nella scala.

È nota la relazione che passa fra il numero di quei bat-

timenti, e i numeri delle vibrazioni pendolari dei nostri coristi, o di que' due strumenti qualunque che vorremo adoperare. Un *va e vieni*, o, come nel pendolo, l'intero moto che il corpo oscillante fa scorrendo per esempio a destra, e poi a sinistra ritornando al luogo di partenza, si chiama, come ben si sa, una *oscillazione*, o *vibrazione doppia*; ciò posto, la relazione cercata si enuncia così: *il numero dei battimenti, in un tempo dato, è uguale alla differenza fra i numeri delle vibrazioni doppie che sono separatamente relativi ai due suoni, nello stesso tempo.*

Per quella esperienza invece dei coristi l'Helmholtz suggerisce anche due tubi da organo chiusi, posti l'uno accanto all'altro sulla stessa soffieria, e consiglia di modificare un poco la nota di uno avvicinando la mano all'imboccatura. Allora si cominciano a sentire dei *battili* che meglio che battiti, si dovrebbero, come fa Helmholtz, chiamare *ondate*; perchè non sono veramente colpi secchi, ma gradati rinforzi e gradate diminuzioni di intensità totale di suono, che si compiono in spazii di tempi bastantemente lunghi per destare l'idea di vere *ondate sonore* (1). Ma a misura che la differenza fra le note dei due tubi aumenta, aumenta pure in proporzione il numero e la brevità di tali specie di *ondate*, ed allora gli si conviene meglio il nome di *battimenti*. Quando tali *ondate* o *battimenti* non sono più di sei al secondo, l'orecchio le segue e si contano facilmente, ma se la differenza di acutezza dei due suoni è di circa *mezzo tuono*, allora se ne fanno circa più di venti al secondo e non vi è mezzo di contarli più col solo orecchio. Fino a che l'accordo è nella sua intensità *ondeggiente*, vale a dire quando le *ondate* son lente, il loro effetto non è spiacevole, anzi è talvolta ricercato; e negli organi e nella fisarmonica si fanno dei registri per produrle; ma crescendo il loro numero cangia per noi il loro effetto complessivo, ed un suono rapidamente *ondeggiante* riesce *disaggradevole e stridente* ed abbiamo ben chiara la sensazione della *dissonanza*.

(1) Vedi più sopra dove si parla di due pendoli.

Se l'orecchio si è avvezzato alle lenti ondate, non potrà certo contarle, quando, per l'intervallo di mezzo tuono, saranno divenute maggiori di trenta al secondo, ma seguirà ancora a percepire l'intervallo, benchè piccolissimo, che separerà i *battimenti* l'un dall'altro; e nel leggiero *fremito* prodotto dai due suoni contemporanei, anche in una prima e facile ascoltazione, e senza ricorrere a più adatti artifizii sperimentali, avremo chiara l'idea che nel fenomeno non verrà fisicamente ad introdursi in modo successivo variazione in altro che nel crescente numero dei battimenti.

Continuando dal *mezzo tuono* ad aumentare l'intervallo fra i due suoni semplici, i battimenti aumentano sì di numero, ma divengono meno sensibili e perciò l'accordo riesce sempre meno disagiata e stridente, e tende a sparire l'effetto che noi indichiamo colla parola dissonanza.

Abbiamo detto solamente che la dissonanza *tende* a sparire, perchè in realtà essa dipende dal fenomeno dei *battimenti*, ed i battimenti sensibili non son prodotti che da suoni il di cui intervallo è inferiore almeno alla terza maggiore; ma anche quando i suoni sono semplici, e che sono distanti comunque fra di loro, possono esservi dei battimenti sensibili (benchè in generale meno sensibili di quelli di cui ora è stata questione) prodotti dai suoni di combinazione che nascono dai suoni primarii.

Così dunque concludiamo che due suoni molto vicini fra di loro producono il fenomeno delle ondate, che si cangiano in *battimenti* e che rendono disagiata l'accordo quando sono rapidissimi e intensi; ma che al di là di un certo limite nella grandezza dell'intervallo musicale fra i due suoni semplici, i battimenti che essi direttamente possono dare non si senton più, e l'accordo non è disagiata e stridente.

Tale è la descrizione genuina del fenomeno; vediamo ora a quali conseguenze ci può condurre.

§. 7. Prima di tutto osserveremo che quando due movimenti oscillatorii arrivano al nostro orecchio, e che sono perfettamente uguali, vale a dire della stessa intensità e dello stes-

so valor musicale, possono produrre anche per il nostro orecchio il fenomeno delle interferenze narrato in un precedente paragrafo quando siano costantemente in opposizione fra di loro; cioè la particella d'aria che è a contatto col nostro orecchio non oscillerà, e l'orecchio non udrà alcun suono. Ma se quei due suoni si trovano invece sempre d'accordo per far oscillare quella particella nelle stesse alternative direzioni, allora l'orecchio avrà una sensazione molto più forte che se udisse un solo di quei suoni. Quando i due suoni di poco differiscono ma non sono eguali nell'oscillazioni, e sono ad esempio, nel caso di que' due pendoli sopra menzionati, de' quali, ad esempio, l'uno fa cento e l'altro centuna oscillazioni al secondo, egli è evidente che l'ondeggiamento di intensità nel suono è causato da ciò che le oscillazioni delle due origini sonore talora sì e talora no si trovano in opposizione nel nostro orecchio, onde talora interferiscono fra di loro, e talora aumentano la sensazione auditiva. Ma in questo genere di fatti dobbiamo sempre tener conto della legge di Ohm e di tutte le sue conseguenze; e perciò l'interferire di que' due dati suoni semplici eguali, dobbiamo ritenere che avvenga nel filamento nervoso o in quell'organo, qualunque egli sia, particolare che è nell'orecchio destinato a que' suoni stessi, e che entrerà quindi in oscillazione, o no, a seconda che gli impulsi che contemporaneamente riceverà da que' due suoni saranno uguali ed opposti fra di loro, o nello stesso senso. Se poi que' due suoni di diversa origine non saranno esattamente eguali ma avranno ad esempio quella piccola già accennata differenza, allora que' due suoni continueranno (per così poca differenza) ad agire contemporaneamente su quello stesso filamento nervoso e lo indurranno alternativamente in quiete e in moto, e produrranno nella sensazione quel tale ondeggiamento di intensità.

È poi facile persuadersi che se uno dei suoni fa cento oscillazioni al secondo e l'altro centuna, posto che niuna causa eccezionale turbi la loro regolarità dell'oscillazione, si troveranno d'accordo una sol volta al secondo, e vi sarà un *massimo* al secondo di intensità nella sensazione auditiva; e se differiranno di due oscillazioni al secondo invece che di una, vi saranno due *massimi* ossia due *ondate* di suono al secondo; e

così via dicendo si troverà che il numero delle *ondate* al secondo sarà uguale alla differenza fra i numeri delle oscillazioni che nel secondo, son fatte da due corpi sonori; il che spiega il già descritto fenomeno dei *battimenti*. Ma la spiegazione qui data implica necessariamente che il fenomeno debba cessare quando i due suoni non possan più eccitare gli stessi filamenti nervosi, ossia quando è considerevole il loro intervallo; ed è infatti ciò che succede, e che dà così una grandissima probabilità all'ipotesi che l'orecchio sia in quel determinato modo conformato.

Ma tempi addietro, e tutt'oggi negl'ordinari corsi di fisica, non si analizzò così bene il fenomeno dei battimenti. Per que' corsi basta ad eccitare un suono che l'orecchio sia colpito da una serie di urti od impulsi egualmente distanti fra di loro, e che non siano circa minori di 15 o 20 al secondo; ma l'orecchio nostro è molto più artificiosamente e perfettamente conformato di quello che non si è forse creduto fin qui, e non sono così semplici e, per così dire, volgari le condizioni che egli esige nei moti oscillatorii per darci la sensazione di suono. Infatti noi possiamo agevolmente cogli artifici narrati precedentemente aumentare il numero dei battimenti da uno a dieci, ed a quaranta e più al secondo, ma giammai ne avremo una nuova sensazione di suono; ed arriveremo fino a non aver più la percezione del fremito che costituisce un rapido battimento; ma nulladimeno non vi sarà nuovo suono da essi prodotto, solo il suono sarà ingrato e stridente, egli non farà che acquistare il carattere della *dissonanza*. E così è falsa la spiegazione dei suoni di Tartini che si trova nei trattati; que'suoni sono di *combinazione* per *differenza*. Inutile sarebbe l'insistere per dimostrare che quand'anche quella spiegazione dei trattati quadrasse per spiegare i suoni di *combinazione* per *differenza*, gli resterebbe poi come ostacolo insuperabile la spiegazione de' suoni di *combinazione* per *sommazione*.

La parola *dissonanza* indica adunque la dispiacevole sensazione che noi proviamo quando uno di quegli organi del nostro orecchio, che sono destinati ciascuno ad una nota particolare, è eccitato contemporaneamente da due note assai vicine fra di loro, l'una delle quali può anche essere esattamente la

propria nota di quell'organo; e la sensazione è spiacevole perchè in quell'organo allora periodicamente e ad intervalli piccolissimi di tempo i movimenti vibratorii, o le eccitazioni comunque prodotte dai due suoni, talora si distruggono, e talora aumentansi reciprocamente; di modo che l'organo è colpito da una serie di impulsi staccati e rapidissimi. E che in quest'ultimo caso la sensazione debba essere spiacevole, ce lo afferma in molti altri casi la esperienza. Così se noi con un piccolo corpo qualunque premiamo in modo continuo e leggermente sopra l'estremità di un dito, non sentiamo alcun dolore; e neppure se premiamo a tratti o con leggieri colpi, ma lentamente; ma se con un apparecchio o con un artificio qualunque facciamo che i colpi o battiti, siano leggieri sì, ma rapidi, allora la sensazione diventa dolorosa e insopportabile. Una luce continua anche discretamente forte non dà noia all'occhio, ma non così se essa è intermittente. Una debolissima macchinetta elettro-magnetica può dare una scossa pressochè insensibile, ma se essa è posta in azione per dare una serie rapida di tali scosse, succede nel paziente all'indifferenza il dolore.

Quando le due note assai vicine fra di loro non sono emesse contemporaneamente dallo strumento, ma si succedono ad intervalli più o meno rapidi come nel *trillo*, allora l'effetto dipende, almeno in gran parte, dalla rapidità colla quale si estingue il suono nell'orecchio. Certo è che nell'orecchio non vi possono essere parti con una lunga persistenza di vibrazione, perchè ciò sarebbe incomodo e genererebbe confusione, come quando si tiene sollevato sempre lo smorzatoio del pianoforte; ma nei trilli possiamo fare otto o dieci colpi al secondo, e se il primo tasto toccato non ha perduto assai della sua forza quando suona il seguente, i due suoni si confondono, e trattandosi di un intervallo di mezzo tuono vi ha dissonanza, e l'effetto è perciò spiacevole. Se i trilli non sono belli e chiari che negli acuti e non nei bassi, la colpa non è degli istrumenti; infatti nella fisarmonica il meccanismo è uguale per tutte le note; ma è che nell'orecchio i suoni più gravi persistono più lungamente dei suoni più acuti. Nel pianoforte, dove il suono si estingue presto, le volate ed i trilli si fanno discretamente anche nei bassi. Anche questi ultimi fatti dimostrano sempre più che nell'orec-

chio debbono esservi differenti organi, da porsi in vibrazione separatamente, da' differenti suoni.

§. 8. Dunque per produrre una dissonanza con due suoni semplici è necessario che il loro intervallo musicale sia piccolo; non però piccolissimo, come quando sono quasi all'unissono, perchè allora non si ha sensazione disagiata ma solo si ascolta un suono periodicamente ondeggiante. Infatti percotendo un tasto qualunque di un piano-forte bene accordato, si sente tale ondeggiare di suono, perchè è impossibile che le tre corde del tasto siano matematicamente all'unissono; solo se l'ondeggiamento è molto rapido esse sono troppo poco accordate.

Quando i due suoni non sono semplici allora i battimenti si potranno avere fra i suoni primarii ed i secondarii di ciascun suono, così potranno esservi dissonanze anche per un intervallo qualunque maggiore della terza minore; ma perchè vi sia realmente dissonanza, ossia sensazione spiacevole, bisogna che siano forti i suoni secondarii. Oltre a ciò potranno aversi delle dissonanze cagionate dai suoni di combinazione; ma noi ora prenderemo in considerazione i battimenti prodotti fra i suoni parziali dei due suoni dell'accordo. Scriviamo parallelamente i due suoni composti nel caso dell'ottava di *do*, e supponendo che sia completo il numero indefinito dei suoni secondarii

$$\begin{array}{cccccccc}
 & & & & & & b & \\
 1.^o & do^1, & do^2, & sol^2, & do^3, & mi^3, & sol^3, & si^3, & do^4, \\
 2.^o & & do^2, & & do^3, & & sol^3, & & do^4.
 \end{array}$$

Evidentemente tutte le note del secondo suono, che è il più acuto, coincidono esattamente con quelle di rango pari del suono più grave. Siccome poi ci possiamo limitare per il caso ordinario, a considerare i battimenti prodotti dai suoni parziali, essendochè i suoni parziali di ordine superiore sono sempre più deboli di quelli prossimi al suono fondamentale, così nell'ottava giusta, coincidendo i primi suoni parziali non vi saranno battimenti, e perciò non vi sarà dissonanza. Ma se l'ottava non è giusta, il suono parziale *do*² fondamentale del suono più acuto,

non sarà più esattamente il *do*², che è il secondo suono parziale del suono più grave, e vi sarà dissonanza; e l'accordatore si serve di tal dissonanza per accordare l'ottava giusta, giacchè i suoni in generale non sono semplici; adunque per la pratica potremo dire che l'ottava è una consonanza che è definita dall'orecchio col mezzo dei battimenti che sono prodotti dalla sua alterazione, fra il secondo suono parziale della nota più grave, e la nota fondamentale del suono più acuto. L'ottava esatta non ha battimenti: è una *consonanza perfetta*. Scriviamo l'intervallo di *dodicesima*.

- | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------|
| 1. ^o | <i>do</i> ¹ , | <i>do</i> ² , | <i>sol</i> ² , | <i>do</i> ³ , | <i>mi</i> ³ , | <i>sol</i> ³ , | ecc. |
| 2. ^o | | | <i>sol</i> ¹ , | | | <i>sol</i> ² , | ecc. |

Anche ora le note parziali del suono più grave coincidono con quelle del più acuto, e perciò la *dodicesima* sarà una *consonanza perfetta* essa pure come la ottava; alterandola un poco si vede che si avranno battimenti, e perciò dissonanza, fra la terza nota parziale del suono più grave, e la fondamentale del più acuto. Per definirla l'orecchio si servirà dunque di quella dissonanza, che però sarà meno sensibile che nel caso dell'*ottava*, perchè prodotta da una nota parziale più elevata nella serie, e perciò più debole, ordinariamente. Così l'orecchio trova maggior difficoltà a definir la *dodicesima*, che a definir l'*ottava*.

Per la *quinta* avremo:

- | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------|
| 1. ^o | <i>do</i> ¹ , | <i>do</i> ² , | <i>sol</i> ² , | <i>do</i> ³ , | <i>mi</i> ³ , | <i>sol</i> ³ , | ecc. |
| 2. ^o | | <i>sol</i> ¹ , | <i>sol</i> ² , | | | | ecc., |

e così vediamo che l'alterazione della quinta produce dissonanza fra la terza nota parziale del suono più grave, e la seconda del suono più acuto. Siccome si trascurano le note parziali più acute, si può dire che anche per la quinta la consonanza è pura da battimenti, e che perciò è buona, ma sempre meno definibile dall'orecchio, che nel caso dell'*ottava*.

Per la *quarta* avremo:

- | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. ^o | <i>do</i> ¹ , | <i>do</i> ² , | <i>sol</i> ² , | <i>do</i> ³ , | <i>mi</i> ³ , |
| 2. ^o | <i>fa</i> ¹ , | <i>fa</i> ² , | <i>do</i> ³ , | | |

e sarà l'intervallo definito da ciò che una sua alterazione introduce una dissonanza, ossia dei battimenti, fra la quarta nota parziale del suono più grave e la terza del suono più acuto; ma queste note sono già assai elevate nella serie dei suoni parziali, e perciò l'orecchio potrà meno apprezzare l'intervallo di *quarta* che negli intervalli precedenti.

Per gli altri intervalli che nella teoria della musica si considerano più o meno consonanti, cioè per la *sesta maggiore*, e per le *terze maggiori o minori*, e via dicendo, risulta dal precedente modo di analisi, che sono sempre più difficilmente definibili dall'orecchio, ed infatti è così. Dobbiamo però avvertire che abbiamo sempre considerate le *quinte* e *quarte* ecc. pure; vale a dire che abbiamo qui adottata la scala così detta *naturale*, che precede storicamente la scala così detta *temperata*, sulla quale si compone oggidì ogni opera musicale. Così, per esempio, il *re* che si scrive immediatamente sotto le righe in chiave di *sol* è ottenuto con 293 e un terzo, oscillazioni al secondo, ed ha per la sua quinta superiore, il *la*, per il quale si richiedono 440 oscillazioni al secondo; ora queste due note hanno a comune un tuono parziale, che è l'ottava alta dell'anzidetto *la* e che si ottiene con 880 oscillazioni. Ma nella scala temperata quel *re* è ottenuto con 293 e due terzi, oscillazioni al secondo, onde a quel suo anzidetto suono parziale si competono non 880 ma 881 oscillazioni; e così dunque rimangono vicini due suoni parziali l'uno di 880 e l'altro di 881 oscillazioni che daranno un' *ondata*, o battimento, al secondo; mentre prima coincidevano (1); ciò è noto ai costruttori di organo che si servono appunto di quelle ondate per accordare il loro strumento.

L' *Helmholtz* chiama consonanze assolute le più perfette di tutte, cioè quelle in cui i suoni parziali che formano il suono composto più acuto si ritrovano tutti nella serie dei suoni parziali del suono più grave; e sono l' *ottava*, la *dodicesima*, la *doppia ottava*, e via dicendo tutti i suoni della serie indicata più sopra. Per la *quinta* e la *quarta* tal completa coinci-

(1) Quest' esempio dell' *Helmholtz*, richiede che l' accordatura sia fatta secondo il corista che dà 440 oscillazioni al secondo; ma il *la* del corista francese che è il *la* della terza corda del violino, ne fa 455 solamente.

denza non succede, e perciò si chiamano *consonanze perfette* solamente. E per la *sesta maggiore* e la *terza maggiore*, tale coincidenza è anche minore che nel caso precedente, e sono chiamate *consonanze medie*.

La *terza minore* e la *sesta minore* sarebbero poi consonanze imperfette, e generalmente non si possono accordare in uno strumento giudicandole solo fra di loro; perchè nei suoni di un buon *impasto*, ossia di un buon *colore*, ossia di un buon *metallo*, mancano spesso i suoni parziali che dovrebbero produrre i battimenti, o le *ondate*, che servirebbero all'orecchio per determinar l'intervallo; cosicchè una piccola alterazione dell'intervallo lascierebbe incerto l'orecchio. Nell'armonia queste consonanze sono necessarie, per completare negli accordi la *sesta maggiore* e la *terza maggiore* con l'*ottava* o con la *quinta*.

Noi qui vediamo che aumentando di un' *ottava* l'intervallo della *quinta*, o quello della *terza maggiore*, si passa alla *dodicesima* e alla *decima maggiore*, e perciò le consonanze riescono assai migliori. Ma sempre col nostro *metodo* si vedrebbe ancora che l'aumento di un' *ottava* nell'intervallo di *quarta* o di *sesta maggiore*, o di *terza minore* peggiorerebbe la consonanza.

Uno stesso intervallo poi può non esser ugualmente buono per tutte le gradazioni dal grave all'acuto; e ciò ha luogo per le consonanze medie, che riescon peggiori pei suoni gravi, mentre che per i suoni acuti i battimenti che le accompagnano riescono assai meno sensibili all'orecchio. E già vediamo chiaramente che se nei battimenti sta la ragione della dissonanza, questa deve esser diversa per l'orecchio, a seconda del numero e della forza di quei primi: or dunque trasportando di un *ottava* un intervallo dato, si raddoppiano i numeri delle oscillazioni a ciascun suono, e perciò si raddoppia la differenza loro, ossia il numero dei battimenti, o delle *ondate*, e perciò la differenza deve essere più o meno sentita dall'orecchie.

§ 9. Il desiderio di chiarezza ha fatto sì che noi abbiamo fatto fin qui astrazione dai battimenti, che possono nascere dai suoni di combinazione, e perciò dalle dissonanze che possono generarsi anche quando due suoni sono semplici e distanti fra di loro. Ma i suoni per *differenza* di primo ordine, che sono

più forti di quelli per *somme*, sono sempre troppo lontani dai suoni primarii, e così non posson produrre dissonanze che nel solo caso di suoni composti. In quest' ultimo caso vi saranno molti suoni per differenze, prodotti dal combinarsi assieme i suoni parziali dei suoni composti che formano l'accordo; ma il calcolo dimostra che i battimenti che ne nasceranno saranno precisamente uguali a quelli naturalmente prodotti, da quei suoni parziali, nel modo che già abbiamo narrato. Così i suoni di combinazione per *differenza* e di primo ordine non fanno che aumentare la intensità della dissonanza.

Se i suoni dell'accordo sono semplici non possono produrre di per sè soli dei battimenti, se non è piccolo il loro intervallo; ma i suoni di combinazione, di ordine superiore al primo, e che nascono direttamente da quei due suoni primarii, possono produrre dei battimenti che aiutino l'orecchio a determinare l'intervallo musicale. Il caso dell'ottava sarà il più facile, vale a dire, che per effetto dei suoni di combinazione si potranno udire dei battimenti, alterando un poco l'intervallo; ma per la quinta sarà difficile definire in tal modo l'intervallo, col solo soccorso dei battimenti prodotti da suoni di combinazione, se i suoni primarii non sono molto forti e sostenuti. Per la quarta tal difficoltà sarà più grande, e per la terza maggiore poi sarà quella determinazione pressochè impossibile. E quando due suoni semplici saranno alla *terza maggiore* non si avranno battimenti, non si produrrà dissonanza alcuna alterando alcun poco il loro intervallo, perchè non saranno sensibili nè i battimenti per suoni di combinazione, nè quelli già studiati per i suoni parziali; e l'orecchio mancherà di aiuto per trovare l'intervallo giusto. Perciò la terza maggiore, prodotta da due suoni semplici sembrerà *strana* ad un orecchio ben educato nella musica.

§ 10.^o Se si faranno accordi di tre suoni, è naturale che si avranno consonanze solamente quando saranno consonanti i suoni presi due a due; e così, secondo quello che già abbiamo detto per due suoni, si troverà che gli accordi del *modo maggiore* o del *modo minore* :

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. <i>Do, mi, sol,</i> | 2. <i>Do, mi^b, sol,</i> |
| 3. <i>Do, fa, la,</i> | 4. <i>Do, fa, la^b,</i> |
| 5. <i>Do, mi^b, la^b,</i> | 6. <i>Do, mi, la,</i> |

saranno consonanti. Ma i loro *rivolti* non saranno tutti ugualmente buone consonanze; perchè le *terze* e *seste minori* sono, come già vedemmo, inferiori nel grado di consonanza alle *maggiori*; ed alla lor volta le *terze* e *seste maggiori* sono meno consonanti della *quarta* e della *quinta*. Gli accordi fondamentali 1 e 2, del modo *maggiore* e *minore*, contengono ciascuno una quinta, una terza maggiore ed una minore, ma nondimeno non sono uguali in consonanza; perchè nell'accordo minore i suoni fondamentali introducono dei suoni di *combinazione* per *differenza* che sono stranieri all'accordo, e che danno anche dei battimenti, mentre che nell'accordo maggiore quei suoni non sono che l'ottava dei suoni fondamentali. Così rimane spiegata la diversità di effetto dei due modi musicali, e così si possono pure trovare le migliori posizioni che si può dare ad un accordo nei limiti superiori ad una ottava.

Terminerò qui questo riassunto del libro dell'Helmholtz; per ora bastandomi di aver espote le basi sperimentali e teoriche dalle quali, come ognun vede, si può sicuramente partire per formare una teoria della musica. Quel libro ha una ultima parte che è principalmente ricca di cognizioni sulla storia della musica, e dove si parla della formazione delle differenti scale nelle diverse epoche storiche, e pei diversi popoli, fino alla moderna *tonalità*; e vi si dà ragione di alcune delle più ordinarie regole dell'armonia. Darò poi un riassunto di quell'ultima parte, tanto più che nei riassunti che ho menzionati non se n'è parlato che poco o nulla.

