

Man B70/18

18

REALE ACCADEMIA D'ITALIA

MEMORIE DELLA CLASSE
DI SCIENZE FISICHE, MATEMATICHE E NATURALI
VOLUME VI.

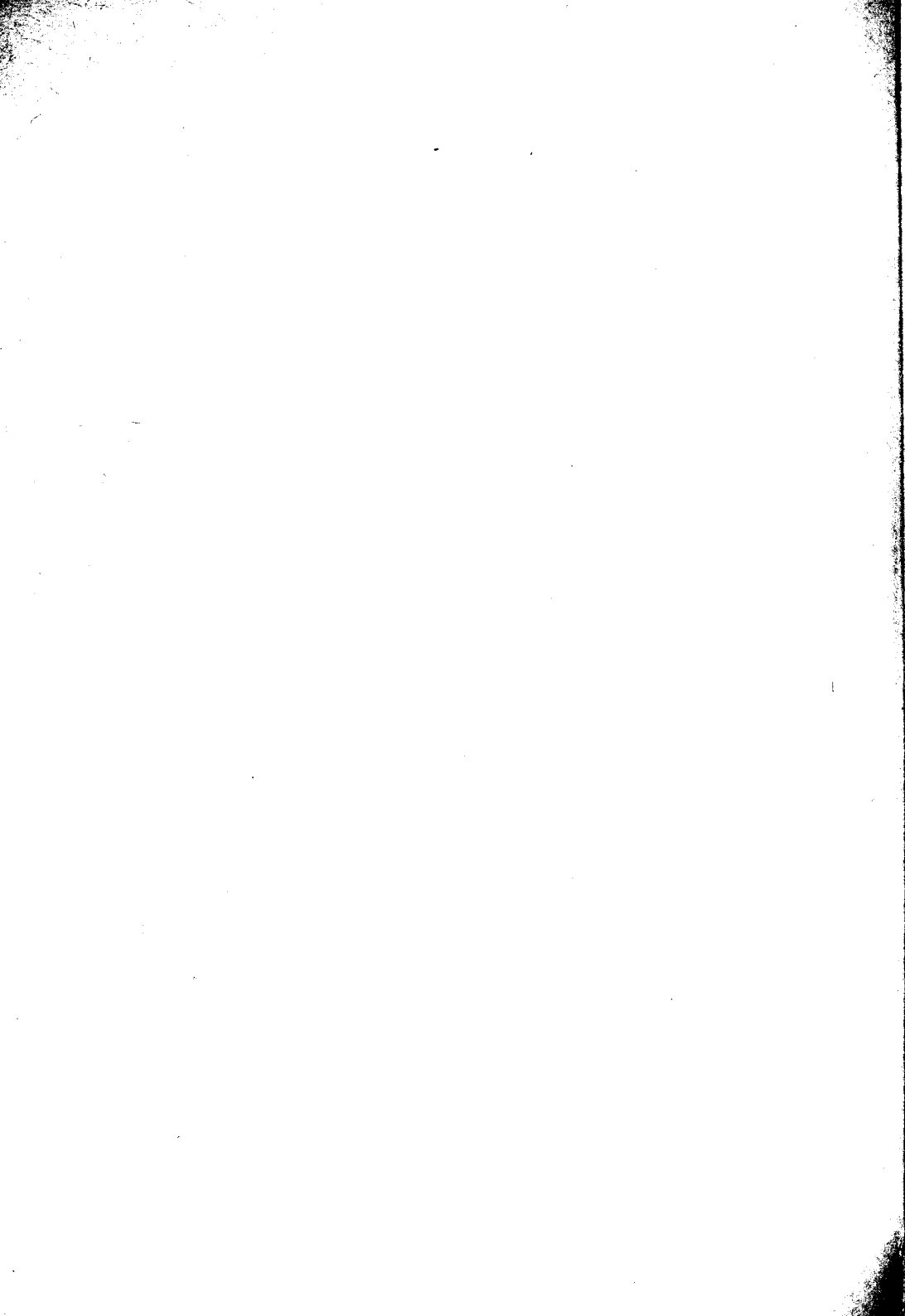
ESTRATTO N. 2.

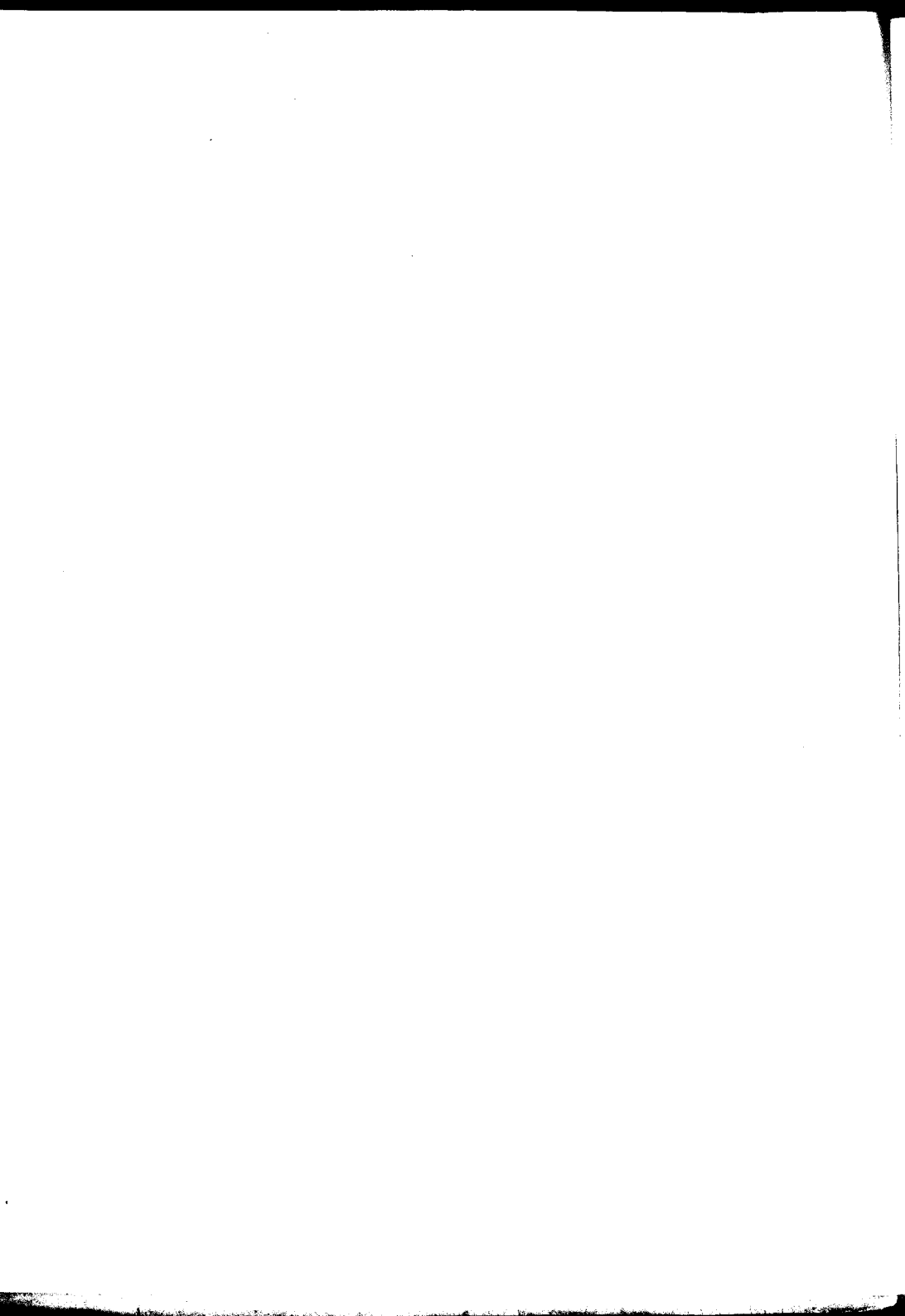
AGOSTINO GEMELLI O. F. M. E GIUSEPPINA PASTORI

Ricerche elettroacustiche sopra il
“Timbro di voce”, nel linguaggio
parlato



ROMA
REALE ACCADEMIA D'ITALIA
1934-XIII





REALE ACCADEMIA D'ITALIA

MEMORIE DELLA CLASSE
DI SCIENZE FISICHE, MATEMATICHE E NATURALI
VOLUME VI.

ESTRATTO N. 2.

AGOSTINO GEMELLI O. F. M. E GIUSEPPINA PASTORI

Ricerche elettroacustiche sopra il
“Timbro di voce „ nel linguaggio
parlato

ROMA
REALE ACCADEMIA D'ITALIA
1934-XIII

RICERCHE ELETTROACUSTICHE SOPRA IL "TIMBRO DI VOCE" NEL LINGUAGGIO PARLATO

Memoria di AGOSTINO GEMELLI O. F. M. E GIUSEPPINA PASTORI (*)

RIASSUNTO. — Proseguendo le ricerche già compiute applicando il metodo elettroacustico allo studio del linguaggio umano, abbiamo ricercato quali sono i fattori del timbro di voce, inteso questo in senso psicofisiologico, ossia come quel complesso di elementi grazie ai quali (indipendentemente dal fonema pronunciato, dalla frequenza e dalla intensità delle onde acustiche costituenti i fonemi) noi possiamo costantemente riconoscere una voce e distinguersela dalle altre.

Questi fattori sono più numerosi nelle vocali; in numero minore si hanno nelle consonanti sonore; mentre mancano in talune consonanti sorde (spiranti).

Tali fattori, grazie ai quali noi possiamo riconoscere una voce e distinguersela, sono costituiti da: a) deviazioni delle frequenze fondamentali di ogni vocale tipica dalla loro frequenza media; b) variazioni numeriche e rapporti reciproci di ampiezza e di fase delle armoniche (tra le quali hanno maggiore importanza la prima e quelle di ordine superiore alla decima); c) variazioni individuali, sia qualitative che quantitative, minime e continue della struttura delle oscillazioni cicliche costituenti ogni vocale o semivocale. Naturalmente si tratta di variazioni che non alterano le caratteristiche fondamentali dei fonemi.

I. - OGGETTO DELLA PRESENTE RICERCA.

Nelle ricerche sulla struttura del linguaggio, che da alcuni anni eseguiamo mediante i metodi dell'elettroacustica, siamo riusciti a mettere in evidenza gli elementi strutturali dei fonemi e le modificazioni profonde che essi subiscono quando fanno parte dell'ordinario linguaggio (1). I metodi dell'elettroacustica sono senza confronto più fini e più adeguati

(*) Presentata nell'Adunanza del 9 marzo 1934-XII dall'Accademico FILIPPO BOTTAZZI.

(1) (Cfr.: GEMELLI e PASTORI, *Quelques recherches sur la nature des voyelles*, « Revue d'Acoustique », vol. 11, fasc. 3 (1933), 169-188; *Elektrische Analyse der*

a simili ricerche degli altri metodi di analisi (sia grafici che acustici) sin qui usati ⁽¹⁾; grazie a questa maggiore finezza, che può attestare una maggiore fedeltà di riproduzione, siamo riusciti a determinare le caratteristiche individuali del linguaggio; problema quanto mai interessante, che sin qui, data la relativa grossolanità dei metodi impiegati, era rimasto presso che insoluto, o tutt'al più era oggetto di discussioni teoriche partenti da punti di vista inconciliabili. Ci siamo proposti cioè di determinare in che cosa consista il *timbro di voce*, inteso come quel complesso di caratteri, grazie ai quali (indipendentemente dall'altezza e dall'intensità dei suoni) noi riconosciamo le singole voci; in altre parole ci siamo proposti di determinare che cos'è il *timbro* della voce umana considerato dal *punto di vista psicofisiologico*.

I suoni emessi da ogni singolo apparato vocale umano possiedono un proprio timbro; lo dimostra la comune esperienza quotidiana: quando (per la distanza o a causa delle sovrapposizioni di altri suoni o rumori) sono eliminati o coperti alcuni elementi caratteristici propri della voce di ciascun individuo, ciò che rimane ci permette di riconoscere i singoli suoni come aventi un valore significativo, ma non è possibile riconoscere a quali persone appartengono; la soppressione di molti elementi caratteristici della voce umana avveniva anche con i vecchi metodi di riproduzione (telefoni, altoparlanti, grammofoni), con i quali, a causa della loro non completa fedeltà di riproduzione, non era possibile riconoscere a chi apparteneva la voce. Oggi possiamo sperimentalmente sopprimere in tutto o in parte gli elementi differenziali delle voci, mediante i filtri elettrici. Questi elementi differenziali sono così caratteristici, che noi possiamo riconoscere le singole voci, anche allorchè si inverte il senso di rotazione del disco grammofonico o del film sonoro ⁽²⁾ che serve alla riproduzione del linguaggio. In questo caso, pur alterandosi profondamente i fonemi e le voci stesse, così che essi perdono ogni significato in quanto non sono rico-

Sprache. — II: *Untersuchungen über die Gestaltung der Wörter und Phrasen*, «Psychol. Forschung», vol. 18, f. 3-4 (1933), pagg. 191-217; *Analyse électrique du langage*, I: *Recherches sur la nature des voyelles*, «Arch. Néer. de Phonétique Expér.», vol. X (1934), pagg. 1-29; *Ricerche elettroacustiche del timbro della voce umana* (nota preventiva), «Atti Pont. Acc. Nuovi Lincei», anno 87, 1 sess., gennaio 1934, pagg. 30-39.

⁽¹⁾ Vedasi la nostra Nota: *I metodi dell'elettroacustica nello studio del linguaggio*, «Archivio italiano di Psicologia» (in corso di pubblicazione).

⁽²⁾ Si tratta di una esperienza classica eseguita già da tempo da HERMANN e ripetuta recentemente. Cfr. BONACINI, *Audizioni fonografiche invertite e loro significato*, «Arch. di Fisiologia», 26, 1 (1928), pagg. 28-43. Noi l'abbiamo ripetuta aggiungendo la trascrizione grafica, mediante l'oscillografo, dei suoni riprodotti ed invertiti. Su queste esperienze avremo occasione di ritornare con nuovi dati di fatto.

noseiuti, tuttavia le voci conservano ancora alcune caratteristiche individuali, così che è possibile riconoscere a quali persone appartengono.

Poichè ogni suono, per complesso che sia, è determinato da fenomeni periodici (onde acustiche), e poichè ogni fenomeno periodico, se non è semplice, è scomponibile in maniera univoca in una somma o in una « serie » di fenomeni pendolari, così, *fisicamente*, è ovvio che il « timbro » dei suoni non può essere determinato se non da tre ordini di fattori: *a*) numero, intensità e frequenza assoluta dei toni semplici componenti; *b*) intensità relativa dei toni stessi; *c*) rapporto tra le fasi di questi. Per conseguenza anche il « timbro di voce » deve essere espresso, fisicamente, da differenze, anche minime, del numero, della ampiezza, della frequenza, dei rapporti reciproci di fase di quei fenomeni oscillatori semplici onde risulta costituito ogni fenomeno oscillatorio ciclico capace di produrre un suono.

Il procedimento più spedito, per mettere in evidenza tali differenze, sembrerebbe quello di far emettere da diversi soggetti la stessa nota con la stessa intensità; riprodurla graficamente, scinderla in toni semplici mediante l'analisi algebrica o strumentale; confrontare tra loro i risultati delle analisi; frequenza e ampiezza del tono fondamentale saranno, per definizione, uguali; ma il numero, l'ampiezza, la fase delle armoniche dovranno variare; ciascuna di tali varianti costituirà un elemento del timbro di voce.

Ma l'apparato fonatorio è uno strumento assai complesso ed è soggetto a variazioni continue nella forma, nel volume delle singole cavità, nella densità e nella tensione delle pareti, nella pressione dell'aria contenutavi; sopra tutto esso è soggetto a profonde variazioni per cause fisiologiche e psichiche; si aggiunga, come altra causa di variazioni, la differenza individuale di capacità di aggiustamento dell'organo vocale nell'emissione dei suoni. Dal giuoco di tutte queste cause deriva la quasi impossibilità di far ripetere un suono agli stessi soggetti, per il numero necessario di volte, nelle stesse identiche condizioni di fonazione; perciò non è possibile condurre l'esperimento secondo un procedimento così semplice (1). Già il fatto di richiedere ad un soggetto l'emissione di una data nota, con una data in-

(1) Un buon espediente è quello di registrare i suoni della voce con il disco fonografico ovvero con il film e poi esaminare con l'oscillografo ovvero riprodurre fonicamente questi suoni quando occorre. Ci siamo serviti di questo artificio per alcune esperienze che descriveremo in altra memoria; qui occorreva eliminare ogni passaggio non strettamente necessario: perciò non abbiamo registrato mediante il disco fonografico o il film sonoro; abbiamo registrato direttamente con l'oscillografo per metterci con certezza al riparo da ogni possibile causa di perturbazione della registrazione; poichè si trattava di mettere in evidenza fenomeni che, come vedremo, sono assai tenui.

tensità, lo pone in condizioni anomale, diverse da quelle psicofisiologiche in cui si trova quando parla spontaneamente; l'esperienza ci ha anzi dimostrato che, quando per necessità il soggetto emette la voce nei modi non normali, ad esempio elevandone molto il tono, ovvero forzandone l'intensità, la voce stessa si altera tanto da divenire più difficilmente riconoscibile; in questi casi si perdono o si attenuano quegli elementi individuali che costituiscono il timbro di voce e per i quali riconosciamo una data voce; e sono quelli appunto che noi ci proponiamo di studiare.

Vi è poi una difficoltà ancora più grave: la voce risulta, come ognuno sa, di suoni e di rumori (le vocali e le semivocali sono suoni complessi; le consonanti sorde, rumori); ognuno sa anche che noi non possiamo emettere un *suono* che sia completamente privo di *vocalità*.

Ora, se si emette uno di questi suoni (una vocale pura, o intermedia, o una consonante sonora) le caratteristiche fisiche che costituiscono quel suono emesso da quella determinata persona sono di due ordini: le une sono proprie di ciascun fonema; grazie ad esse noi distinguiamo quel fonema tra altri fonemi e lo riconosciamo come un « segno » che ha una funzione « significativa » nel linguaggio ⁽¹⁾; le altre servono per riconoscere la persona che ha emesso quel fonema; entro certi limiti infatti riconosciamo una persona dalla sua voce ⁽²⁾. Ma, quando emettiamo un suono, fosse questo anche un suono inarticolato o l'imitazione del suono di uno strumento, la vocalità, pur attenuandosi, non scompare; il suono che si emette comprende sempre alcuni elementi individuali propri del soggetto che parla ed altri elementi che sono propri del fonema pronunciato ⁽³⁾.

(1) Cfr.: BÜHLER, *Die Axiomatik der Sprachwissenschaften*, « Kantstudien », V. XXXVIII, fasc. 1-2, pag. 20.

(2) È bene ricordare che alcuni studiosi si sono posti sulla via di determinare i rapporti che vi sono tra la voce e la personalità; le prime osservazioni furono del BILANCIONI, *Primo contributo alla questione della voce umana in rapporto al temperamento e alla costituzione*, « Atti XIX Congresso Società di Laringologia », Perugia, ottobre 1922. Più recenti ricerche hanno fatto: H. HERZOG, *Stimme und Persönlichkeit*, « Zeitschr. f. Psychol. », Bd. 130, pag. 300, e PEAR, *Voice and Personality*, London, 1931; ma le ricerche sono ancora ad uno stadio incerto e piuttosto vago di un puro riconoscimento acustico, mentre sarebbe opportuno condurle sul terreno di una ricerca oggettiva come i metodi elettroacustici permettono di fare, confrontando oggettivamente tra loro le varie voci umane.

(3) Fa eccezione la spirante sonora tipica della lingua italiana *v*; questa, a giudicare dalla curva oscillografica perfettamente pendolare, corrisponderebbe ad un tono semplice, prodotto da una vibrazione di forma sinusoidale; se si fa pronunciare la *v* a diverse persone, se ne ottengono sempre curve pendolari che, differendo tra loro solo in frequenza ed ampiezza, non in forma, corrispondono a toni semplici, e quindi fisicamente non hanno caratteristiche qualificabili come elementi del timbro.

Perciò appunto tutti i suoni della voce normale (fatta la eccezione indicata per la *v*)⁽¹⁾ sono rappresentati graficamente, mediante i metodi elettroacustici, da curve complesse, in parte periodiche e in parte no, costituite da elementi propri dei singoli fonemi e da elementi propri dei singoli soggetti, dei quali si è raccolta la voce.

Per tutte queste ragioni, abbiamo ritenuto di studiare questi elementi propri delle singole voci, ricercandoli negli oscillogrammi dei fonemi pronunciati da diversi soggetti in determinate e costanti condizioni. Anzichè, dunque, richiedere ai nostri soggetti l'emissione di suoni determinati *a priori* (suoni che, sebbene risultanti di oscillazioni semplici di determinata frequenza e ampiezza, sarebbero stati completamente estranei al linguaggio vivo, e quindi inadatti alla nostra ricerca) abbiamo scelto come materiale di studio il linguaggio normale, raccogliendo (con la tecnica elettroacustica da noi descritta in altre pubblicazioni⁽²⁾), gli oscillogrammi di vocali, sillabe, parole e anche intere frasi, che i nostri soggetti pronunciavano con lo stesso tono e con la stessa intensità di voce come nel loro linguaggio ordinario.

Per questa via siamo riusciti, sia mediante l'analisi meccanica sia mediante il calcolo, a sceverare, nelle curve raccolte mediante i metodi elettroacustici, gli elementi propri della voce dei singoli soggetti dagli altri elementi che costituiscono il linguaggio parlato.

Il nostro materiale di studio è quindi costituito principalmente da oscillogrammi di vocali, parole, frasi, emesse da soggetti da noi scelti con cura ed istruiti per l'emissione di voce in condizioni costanti di esperimento.

Per isolare da questi oscillogrammi gli elementi propri della voce di ciascun soggetto, bisognava in primo luogo eliminare quelli corrispondenti all'altezza della voce stessa (esattamente calcolabile sugli oscillogrammi in base alla frequenza delle onde cicliche) e all'ampiezza globale delle vibrazioni stesse. Inoltre si dovevano eliminare gli elementi propri del « fonema » pronunciato. Quest'ultima eliminazione, la sola che offrisse vere difficoltà, ci fu possibile grazie alle ricerche precedenti sulla struttura dei fonemi.

Eliminati così, grazie all'esame comparativo di numerosi oscillogrammi, tutti i caratteri di altezza, di intensità, di vocalità, dei suoni costituenti il linguaggio parlato, abbiamo potuto studiare e determinare quali sono gli elementi propri della voce di ciascun soggetto; ossia abbiamo potuto, nei nostri oscillogrammi, *leggere* quegli elementi che corrispondono ai fenomeni fisici che l'orecchio scevera e che permettono a chi ascolta di distinguere

(1) Cfr.: la nota (3) a pag. 68.

(2) *Comunicazione preventiva su di un nuovo metodo per lo studio dei suoni della voce*, « Boll. Soc. it. di Biologia », vol. VI, f. 3 (1931), pagg. 215-216. Vedasi anche il lavoro già citato: *I metodi dell'elettroacustica nello studio del linguaggio*.

una determinata voce, indipendentemente dall'altezza e dall'intensità del suono emesso e dal fonema pronunziato.

Questo procedimento ci ha condotto a riconoscere, tra gli altri, alcuni elementi propri di ciascuna voce, consistenti in variazioni successive, graduali e minime, dei suoni del linguaggio, variazioni accertabili in piccole frazioni di secondo e che hanno un caratteristico comportamento individuale. Proprio la estrema sensibilità del metodo elettroacustico ci ha permesso di registrare ed individuare tali elementi.

Per maggior chiarezza conviene precisare i termini tecnici con i quali indicheremo questi elementi: riserviamo il nome di *timbro* al complesso delle caratteristiche individuali per le quali distinguiamo una determinata voce da ogni altra; e quello di *carattere specifico* al complesso delle caratteristiche proprie di ciascun fonema ⁽¹⁾.

Le nostre ricerche si limitano a soggetti italiani; ma si estendono a soggetti di regioni diverse e perciò aventi differenze profonde di pronunzia; ciò legittima la illazione che le nostre conclusioni abbiano un carattere generale.

(¹) Alcuni autori chiamano *timbro delle vocali* il complesso dei toni necessari per determinare le vocali stesse, indipendentemente dalle caratteristiche individuali della voce che parla (cfr. ad es.: GRAMMONT, *Traité de Phonétique*. Paris, Delagrave, 1933, pag. 86).

Per designare questo complesso di toni, venne introdotto nella fonetica e nella fisiologia l'uso di vari termini, ciascuno dei quali venne proposto da singoli autori con una particolare determinazione del significato e ciò in relazione con la teoria con la quale ciascuno di questi autori spiegava l'origine dei suoni della voce. Perciò ciascuno di tali termini venne dapprima usato in una delle teorie classiche sulla natura delle vocali; in seguito però gli stessi termini vennero usati non solo in un senso più generico di quello originale, ma anche così diverso che alcuni di essi divennero, nell'uso, sinonimi. Gli autori tedeschi hanno usato *Eigenton*, *Formant*, oppure *Formantgebiet*; i francesi *vocalle*; LUCIANI ha usato: *tono specifico*, equivalente ad *Eigenton*. Ma a noi sembra che nessuno di questi termini sia proprio, dato che, a determinare una vocale, non basta nè il rinforzo di una armonica o di una zona di armoniche (teorie del *momento relativo*), nè l'aggiunta di un tono o di un gruppo di toni di determinate altezze indipendenti dal tono fondamentale (teorie del *momento assoluto*); occorre invece (come abbiamo dimostrato nelle citate pubblicazioni) qualche cosa di diverso e di caratteristico per ciascuna vocale; e cioè: alcuni rapporti di intensità e di altezza tra sopratoni e tono fondamentale; alcuni spostamenti di fase; ecc. Perciò noi preferiamo parlare, anziché di « *tono specifico* », di « *carattere specifico* » delle singole vocali. Poichè le ricerche analoghe sulle consonanti sonore (che saranno pubblicate tra breve) confermano che la stessa legge governa la formazione di questi fonemi, così riteniamo che il termine di « *carattere specifico* » possa, in linea generale, essere utilmente sostituito a quelli di « *formante* » e di « *tono specifico* ».

Dobbiamo notare ancora che abbiamo cercato di isolare gli elementi del timbro di voce per tutte le categorie di fonemi: vocali, semivocali, consonanti; abbiamo isolati tali elementi in maggior copia dalle vocali; in numero minore dalle consonanti sonore; in numero esiguo da alcune consonanti vere; abbiamo poi riscontrato che altre consonanti vere non ne contengono. Ciò era prevedibile, poichè le vocali hanno funzione di fonemi essenziali; sono suoni complessi e di durata considerevole; mentre le consonanti non hanno, nel linguaggio, se non funzioni accessorie.

Prendiamo ora successivamente in considerazione i tre gruppi di fonemi.

II. — ELEMENTI DEL TIMBRO DI VOCE NELLE VOCALI.

La voce che parla nel tono normale della conversazione è ben lungi dal possedere quella uniformità del tono fondamentale che facilmente si raggiunge dai soggetti esercitati, ai quali si dia per « compito »⁽¹⁾ la emissione

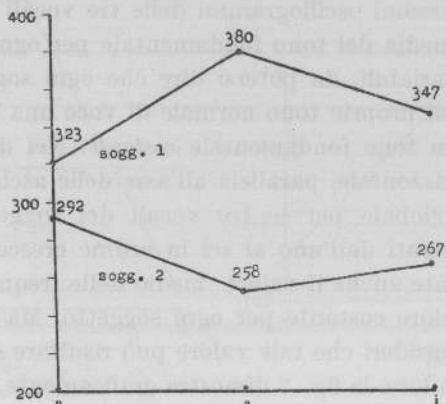


Fig. 1. — Frequenze medie (in cicli/se-
condo) delle vocali toniche di parole
bisillabe piane.

di un dato fonema sopra un determinato tono. La voce che parla ha bensì un suo tono normale e costante; ma non si tratta di una costanza fisicamente intesa come invariabilità della frequenza di una oscillazione fondamentale: ciò che è costante per ogni voce è la media delle frequenze fondamentali, continuamente soggette, nei successivi tempuscoli, a variazioni dipendenti dal fonema pronunciato. Lo dimostra una semplice esperienza: abbiamo studiato⁽²⁾ cento oscillogrammi di parole bisillabe piane, emesse da quattro soggetti sul proprio tono normale di voce; calcolando le frequenze cicliche per ognuna delle vocali tipiche, sia ove cada su di esse

⁽¹⁾ *Compito* in senso psicologico; è l'*Aufgabe* degli autori tedeschi.

⁽²⁾ Cfr.: GEMELLI e PASTORI, *La durata minima delle vocali necessaria alla loro percezione*, « Arch. di Fisiologia », XXXIII, 3 (1934), pagg. 440-452.

l'accento tonico della parola, sia ove si tratti di vocali atone. Ne è risultato che il tono normale di ogni soggetto, cioè il tono medio su cui esso emette i fonemi di maggior durata (le vocali) è determinato da valori diversi; cioè ogni soggetto, oltre che possedere un suo tono globale di voce, possiede toni propri per la *u*, per la *a*, per la *i*. La fig. 1 presenta, come esempio, il confronto tra due voci maschili basato sulle frequenze medie individuali delle tre vocali tipiche. Ne risulta un primo carattere differenziale, che verosimilmente viene utilizzato nel riconoscimento del soggetto che parla.

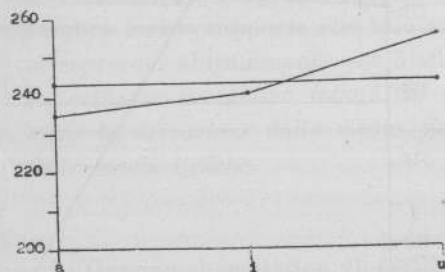
Abbiamo esteso questa esperienza a dieci soggetti, ossia a sei voci maschili e quattro femminili, utilizzando gli oscillogrammi di vocali isolate, emesse sul tono normale di ogni voce.

La fig. 2 riunisce sei diagrammi relativi a voci maschili, le cui frequenze medie fondamentali sono rispettivamente: 243; 309; 317; 324; 394; 480 cicli/secondo. Queste frequenze medie fondamentali risultano dall'esame di moltissimi oscillogrammi delle tre vocali tipiche (*a*, *i*, *u*) ⁽¹⁾. Ma la frequenza media del tono fondamentale per ogni vocale risulta da valori così poco variabili, da potersi dire che ogni soggetto, che emetta spontaneamente sul proprio tono normale di voce una data vocale tipica, la emette sopra un tono fondamentale *costante*. Nei diagrammi della figura 2, la linea orizzontale, parallela all'asse delle ascisse, rappresenta la frequenza media globale per le tre vocali del soggetto considerato. I soggetti sono numerati dall'uno al sei in ordine crescente di tale valore medio. Naturalmente anche il valore medio delle frequenze globali per le tre vocali è un valore costante per ogni soggetto. Ma ciò ha ben scarso significato, se si consideri che tale valore può risultare da tre cifre poco o molto disparate tra loro: la fig. 2 dimostra graficamente, per ogni soggetto, come si scosti dalla media globale la frequenza media fondamentale di ognuna delle tre vocali tipiche: essa raggiunge valori massimi per la *i* in cinque casi su sei e valori minimi per la *u* in quattro casi su sei; per la *a* può assumere valori intermedi o valori minimi. Nel complesso, la curva delle deviazioni culmina sulla *i* cinque volte su sei; ma nel suo andamento generale si somiglia solo in tre dei sei casi in esame. La fig. 3 dimostra in modo analogo la deviazione dalla media globale delle frequenze medie fondamentali per quattro voci femminili. Ciascuna delle quattro curve culmina sulla *i*; ma il loro andamento generale si ripete solo in due casi: sogg. 7 e sogg. 10: e si tratta di una deviazione analoga intorno ad una media diversa; rispettivamente 516 e 703 cicli/secondo.

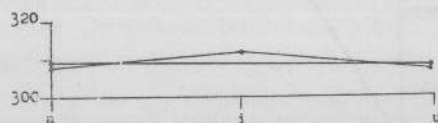
Il confronto poi tra la fig. 2 e la fig. 3 dimostra che uno stesso tipo di deviazione può ripetersi in voci maschili e femminili, aventi frequenze

⁽¹⁾ Sul valore delle vocali tipiche (*a*, *i*, *u*), in confronto alle intermedie (*e*, *o*) si confrontino le Note sulla natura delle vocali, citate a pag. 65 e 66.

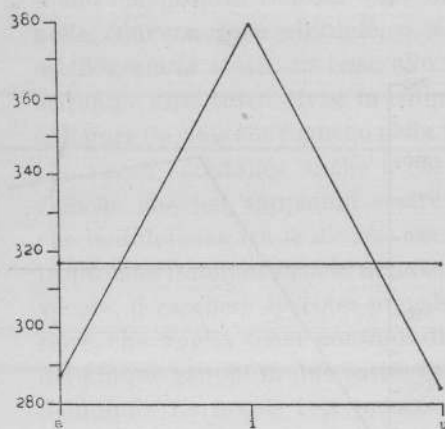
medie molto dissimili: come si vede dalle curve dei soggetti 6, 7, 10 e dei soggetti 3, 4, 5, 9. Poichè l'esame di numerosissimi oscillogrammi di parole



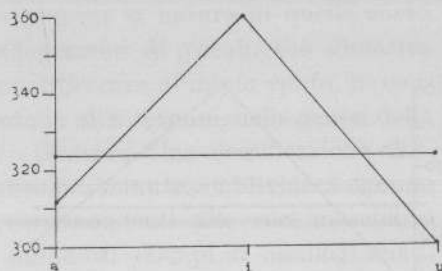
Sogg. 1.



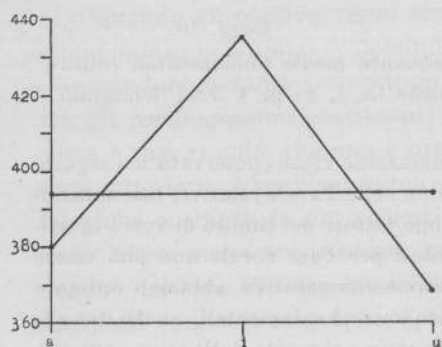
Sogg. 2.



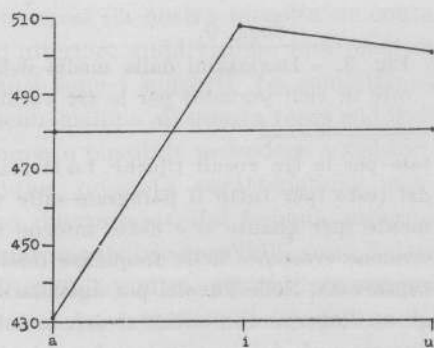
Sogg. 3.



Sogg. 4.



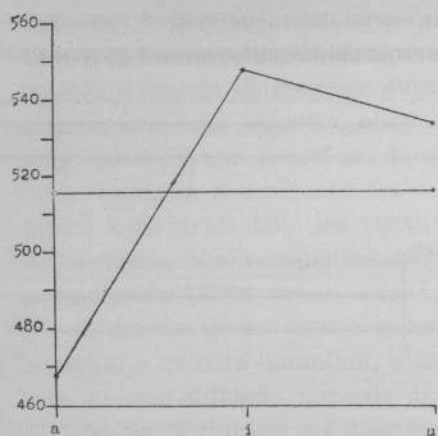
Sogg. 5.



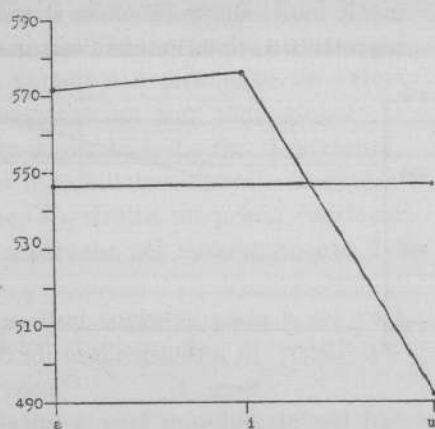
Sogg. 6.

Fig. 2. — Deviazioni dalla media delle frequenze medie fondamentali (misurate in cicli/secondo) per le tre vocali tipiche (a, i, u) in 6 voci maschili⁽¹⁾.

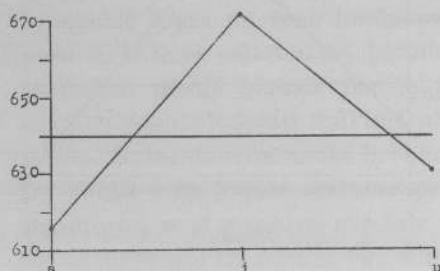
⁽¹⁾ La numerazione dei soggetti è puramente convenzionale. Per comodità li abbiamo numerati seguendo l'ordine crescente della frequenza media fonamen-



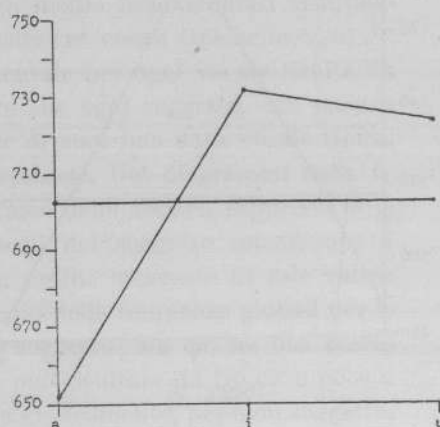
Sogg. 7.



Sogg. 8.



Sogg. 9.



Sogg. 10.

Fig. 3. - Deviazioni dalla media delle frequenze medie fondamentali (misurate in cicli/secondo) per le tre vocali tipiche (a, i, u) in 4 voci femminili.

tale per le tre vocali tipiche. La stessa numerazione viene conservata nel seguito del testo (per tutto il paragrafo sulle vocali) e nelle Tavole relative; ma naturalmente (per quanto si è detto intorno al primo fattore del timbro di voce) la successione crescente delle frequenze fondamentali per ogni vocale non può essere conservata. Nelle Tavole, per agevolarne l'esame comparativo, abbiamo ordinato gli oscillogrammi in ordine crescente delle frequenze fondamentali, anche dove la numerazione dei soggetti (per le ragioni dette sopra) si scosta dalla serie naturale. È importante ricordare che ogni frequenza fondamentale è calcolata (onde raggiungere una buona approssimazione) non su brevi tratti di oscillogrammi, bensì su oscillogrammi originali contenenti lunghe serie di cicli, e dai quali furon ritagliati i campioni riprodotti nelle Tavole. Nel confronto tra gli oscillogrammi delle Tavole e i diagrammi di analisi nel testo non v'è possibilità di equivoco, purchè si ponga mente al numero del soggetto e specialmente alla frequenza fondamentale che caratterizza ogni curva.

e di frasi ci ha permesso di rilevare che questa variabilità dei toni fondamentali delle vocali tipiche si ripete, come carattere individuale, quando le vocali stesse vengano pronunziate nelle parole del linguaggio ordinario, sembra logico supporre che tale variabilità rientri tra gli elementi di cui ci serviamo abitualmente per distinguere le singole voci: *c'iene così messo in evidenza un primo fattore del « timbro di voce », che possiamo definire come la deviazione dalla media globale delle frequenze medie fondamentali delle vocali tipiche.*

* * *

Quando si registrino gli oscillogrammi di vocali italiane pronunziate, nelle stesse condizioni ambientali, da diversi soggetti i quali parlino ciascuno col proprio tono di voce normale, con la normale intensità, come nella conversazione abituale, e si vogliano poi classificare in gruppi gli oscillogrammi stessi, in base alle loro somiglianze morfologiche, essi riusciranno anzi tutto divisi in cinque gruppi, corrispondenti alle cinque vocali pure (le sole che figurino nella nostra lingua); divisione naturale questa, che riesce spontanea anche a chi non conosca la natura di quelle curve cicliche che noi sappiamo essere oscillogrammi di vocali. Ciò dimostra che le differenze tra le diverse voci sono differenze di minor conto, in confronto alle differenze tra le diverse vocali; in altri termini, nella genesi della vocale, il *carattere specifico* prevale sul « timbro ». Una classificazione ulteriore, che voglia tener conto di differenze più minute, suddividerà ognuno dei cinque gruppi in due sottogruppi, corrispondenti alle voci maschili e femminili. Le tavole I-X presentano numerosi esempi di oscillogrammi, suddivisi nei cinque gruppi delle vocali italiane e nei dieci sottogruppi delle voci maschili e femminili.

Quando gli oscillogrammi sono numerosi (la nostra raccolta ne conta ormai molte centinaia) è possibile un'ulteriore suddivisione morfologica; essa conduce a tanti sottogruppi quanti sono i soggetti. La somiglianza tra gli oscillogrammi costituenti ciascun gruppo di questa terza suddivisione è così grande, che non è praticamente possibile procedere a suddivisioni ulteriori. L'oscillogramma, dunque, presenta caratteristiche morfologiche costanti; le più salienti sono determinate dal fonema pronunziato; altre, meno appariscenti, ma chiaramente riconoscibili, sono determinate dal tipo di voce (maschile o femminile); altre, più fini, ma sempre rilevabili con certezza, sono determinate da fattori individuali, variabili da soggetto a soggetto, ma costanti per ciascun soggetto. Le prime si potrebbero designare complessivamente come *carattere specifico* del fonema, inteso nel senso definito nella nota a pag. 70; le seconde, determinate dal tipo di voce, e segnatamente dall'acutezza o dalla gravità della voce (ossia dalla maggiore o minor frequenza delle oscillazioni fondamentali) formeranno pure oggetto di altra ricerca particolare. Le ultime infine, ossia le

più minute, sono le caratteristiche individuali di ciascun soggetto; quelle che qui esaminiamo, come ulteriori elementi del timbro di voce.

Esse emergono già semplicemente dall'esame morfologico comparativo delle singole curve, pur che si astragga dalla somiglianza che ad esse proviene dal *carattere specifico* ⁽¹⁾ della vocale pronunciata.

La tavola I riunisce gli oscillogrammi della vocale *i* pronunciata da sei voci maschili, ciascuna sul proprio tono normale, come nel linguaggio ordinario. Le singole altezze di voce sono controllate dalla frequenza in cicli/secondo del tono fondamentale, calcolata sugli oscillogrammi, ove il tempo è segnato in millesimi di secondo (*Sigma*) ⁽²⁾.

Il « profilo » ciclico di questa vocale risulta dal sovrapporsi, alle oscillazioni di grande ampiezza, di piccole oscillazioni di frequenza elevata. Le variazioni individuali, rilevabili dal semplice esame morfologico, riguardano, oltre la frequenza del ciclo e la sua ampiezza globale, il numero delle grandi cuspidi e la distribuzione delle piccole cuspidi. Infatti ogni ciclo comprende una sola grande cuspidi per i soggetti 5 e 6; due per i soggetti 2, 3, 4; tre per il soggetto 1; dunque il numero delle grandi oscillazioni diminuisce con l'elevarsi del tono di voce.

Le piccole cuspidi (corrispondenti alle oscillazioni di alta frequenza) sono uniformemente distribuite nelle curve 5 e 6; mentre nelle curve 1, 2, 3, 4, scompaiono quasi del tutto in brevi tratti, evidentemente a cagione di battimenti o interferenze.

La tavola II riunisce gli oscillogrammi della stessa vocale *i* pronunciata, sempre sul proprio tono normale, da quattro voci femminili, le cui frequenze fondamentali sono calcolate come sopra.

Il « profilo » della vocale è più costante che nelle voci maschili, per il fatto che qui ogni ciclo comprende una sola grande oscillazione. Le varianti individuali consistono: 1° nella diversa ampiezza relativa delle piccole oscillazioni di alta frequenza rispetto alle oscillazioni fondamentali; 2° nel diverso grado di uniformità nei cicli successivi di ogni curva; uniformità massima per i soggetti 7 e 9; variabilità massima per il soggetto 10; comportamento intermedio per il soggetto 8.

La tavola III riunisce gli oscillogrammi delle sei voci maschili (degli stessi soggetti studiati nella tavola I) che pronunciano la vocale « *u* ». Il « profilo » del ciclo di questa vocale è semplicissimo, bastando a determinarlo un'onda fondamentale con una o due armoniche. In ogni ciclo si contano due sole grandi cuspidi per le curve 4, 5 e 6, mentre se ne contano tre per le curve 1, 2, 3. Tuttavia, anche confrontando tra loro le curve 1 e 3, dove la frequenza del ciclo differisce di pochissimo e il numero delle

⁽¹⁾ Cfr. la definizione di carattere specifico a pag. 70.

⁽²⁾ Sulla valutazione delle frequenze fondamentali, si veda la nota ⁽¹⁾ a pag. 73 e 74.

grandi cuspidi è uguale, è possibile scorgere una differenza morfologica del profilo, differenza che troverà la sua spiegazione (per mezzo dell'analisi algebrica delle curve) negli spostamenti reciproci di fase tra le componenti sinusoidali.

La tavola IV contiene gli oscillogrammi della *u* delle quattro voci femminili, già studiate per la *i*. Curve periodiche, in cui il profilo del ciclo varia dalla semplicità massima, quasi sinusoidale, del soggetto 10, alla relativa complessità del soggetto 9, passando per gradi intermedi, rappresentati dalle curve 7 e 8. La massima semplicità del profilo del ciclo verificabile nella curva 10, è evidentemente dovuta a ciò: che le armoniche, se pur sono presenti, hanno valori di ampiezza quasi trascurabili rispetto alla fondamentale.

Sebbene la massima semplicità del profilo si verifichi per la voce più acuta, la variazione individuale dalla massima semplicità alla massima complessità non è in alcun modo parallela alla frequenza del tono fondamentale; quindi si tratta di un carattere schiettamente individuale, appartenente al timbro di voce.

Il profilo tipico dei cicli oscillografici raggiunge la massima complessità per la vocale *a*, la quale è, anche acusticamente, la più complessa ⁽¹⁾.

Essa ha la caratteristica di possedere dei soprtoni di frequenza pari (o vicina), a quattro, cinque, sei, sette volte la frequenza fondamentale, e di ampiezza notevolmente maggiore di quella della fondamentale stessa. Lo spostamento reciproco di fase determina uno smorzamento periodico di queste onde parziali, che nell'oscillogramma si rileva costantemente con la discesa scalare delle grandi cuspidi. Tale smorzamento periodico è più costante che non sia il numero dei grandi soprtoni e il rapporto di frequenza tra questi e il fondamentale.

La tavola V riunisce gli oscillogrammi della vocale *a* per le sei voci maschili, disposte in ordine di frequenza fondamentale. La complessità del profilo ha una variazione individuale indipendente dall'altezza tonale di voce, poichè, sebbene la massima semplicità corrisponda alla voce più grave, la complessità massima non corrisponde alla voce più acuta. Il confronto tra voci di tono così poco discosto da potersi considerare ugualmente gravi, come i soggetti 2 e 4, dimostra con somma evidenza che l'oscillogramma permette di determinare oggettivamente che tra quelle due voci vi sono alcune differenze minime, indipendenti dalla altezza della emissione dei suoni e dal loro volume, differenze che l'udito rapidamente coglie e utilizza per distinguere voci egualmente gravi e robuste; l'analisi armonica metterà ancor meglio in evidenza questi caratteri.

⁽¹⁾ Una possibile interpretazione di questa maggiore complessità è prospettata nella nostra Nota: *Quelques recherches sur la nature des voyelles*, « Revue d'Acoustique », vol. II, f. 3 (1933), pagg. 169-188.

La tavola VI raccoglie le curve dell'*a* delle quattro voci femminili. Le variazioni individuali, rilevabili dal confronto delle curve 8 e 9 tra loro e con le curve 7 e 10, sono invece appena percettibili tra queste ultime due; tuttavia l'analisi armonica riesce a dimostrarne sicuramente alcune.

Nello studio delle vocali intermedie *o* ed *e* si hanno oscillogrammi meno tipici; le differenze individuali sono più profonde; l'esame delle tavole VII, VIII, IX, X dimostra che tali differenze non hanno rapporto alcuno con il tono fondamentale; l'analisi armonica dimostra poi ancor meglio che queste due vocali subiscono variazioni individuali maggiori delle tre vocali tipiche; probabilmente perchè, anche nella lingua italiana, che ammette solo vocali pure, la *e* e la *o* (che si pronunziano aperte e chiuse a seconda delle parole), sono suoni meno costanti delle vocali tipiche e,

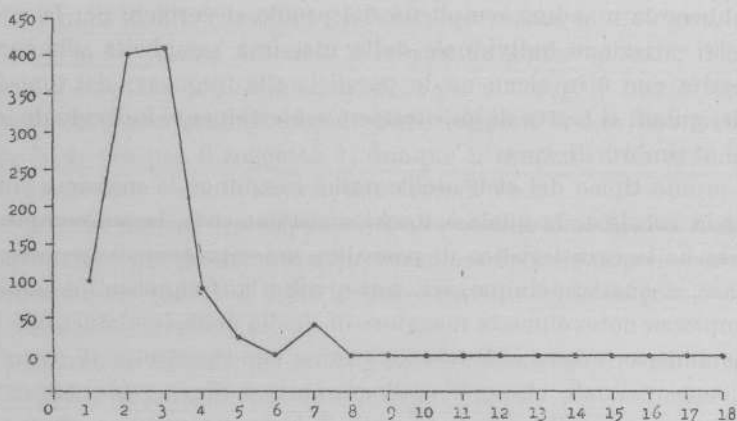


Fig. 4. — Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « i ». Voce maschile.

Sogg. 1. — (Freq. fond. = 240 cicli/sec.).

più di queste, subiscono l'influenza inevitabile delle abitudini dialettali regionali del soggetto che parla.

Tutti questi elementi del timbro, abbozzati semplicemente dall'esame morfologico delle curve, possono essere determinati con precisione per mezzo dell'analisi armonica.

Infatti le curve sin qui descritte, e contenute nelle tavole I-X, essendo cicliche, si prestano all'analisi armonica, che le scompone in maniera univoca in curve pendolari. Abbiamo dimostrato, nelle nostre Memorie già citate sulle vocali⁽¹⁾, che l'analisi meccanica e l'elettromeccanica non

(1) Cfr. la nota (1) a pagg. 65-66. Numerosi sono i metodi automatici di analisi oggi in uso e proposti da vari autori; tra questi, senza dubbio, i metodi elettromeccanici sono di gran lunga superiori. Ricordiamo tra i più recenti quello di C. F. SACIA, di GRÜTZMACHER, di J. DIEBITSCH e H. ZUHRT, di M. I. I. CELLERIER e numerosi altri.

colgono tutti gli elementi della vocale del normale linguaggio: trascurano le eventuali disarmoniche, le componenti incostanti, e — sopra tutto — trascurano la variabilità quantitativa degli elementi costantemente presenti. L'analisi meccanica e l'elettromeccanica non danno che *alcuni elementi* del fonema. Analogamente esse possono dare *alcuni elementi* del timbro: e precisamente quelli riguardanti l'ampiezza relativa delle armoniche costanti. In questo caso, trattandosi d'analizzare un gran numero di oscillogrammi, ci siamo serviti di un metodo di analisi elettromeccanica delle curve per la determinazione di tali elementi ⁽¹⁾.

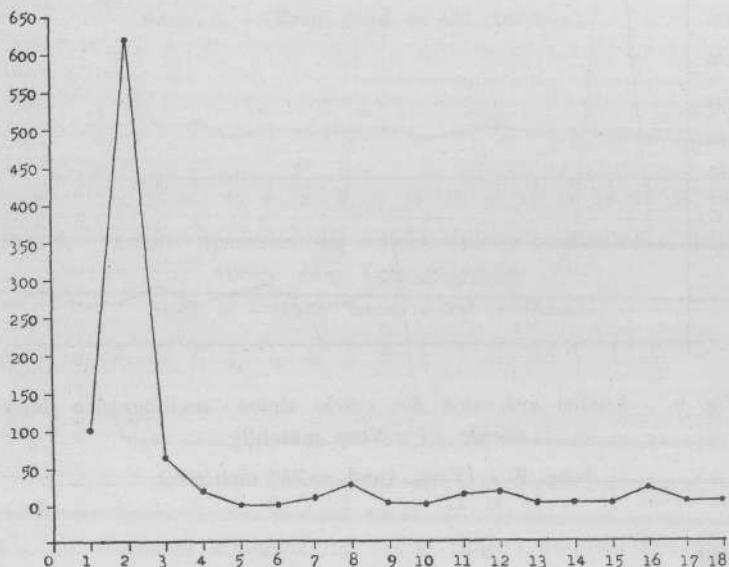


Fig. 5. — Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « i ». Voce maschile.

Sogg. 2. — (Freq. fond. = 312 cicli/sec.).

⁽¹⁾ Il metodo elettro-meccanico di analisi da noi prescelto è stato ideato dal dott. DIETSCH; esso rappresenta un notevole perfezionamento in confronto dei metodi noti e già da tempo descritti. Nel caso nostro esso ha il vantaggio, come quello di SACIA, di permettere di fare l'analisi della curva oscillografica, e non già direttamente del suono di voce (come, ad esempio, con il metodo di GRÜTZMACHER); nel nostro caso questo carattere del metodo di DIETSCH ha grande importanza, in quanto permette di accertare con un metodo obiettivo come il suono è emesso e sopra tutto di fare il confronto degli oscillogrammi dei vari suoni presi in esame. La descrizione del metodo, al quale abbiamo potuto in questi ultimi tempi apportare qualche miglioramento, sarà oggetto di una ulteriore Memoria (Vedasi: *I metodi dell'elettroacustica*, già citata).

I risultati delle analisi armoniche degli oscillogrammi riprodotti nelle tavole I-X, sono esposti graficamente nelle figg. 4-71.

In tutti questi diagrammi sono poste sulle ascisse le frequenze delle armoniche, quando la frequenza dell'onda fondamentale sia convenzio-

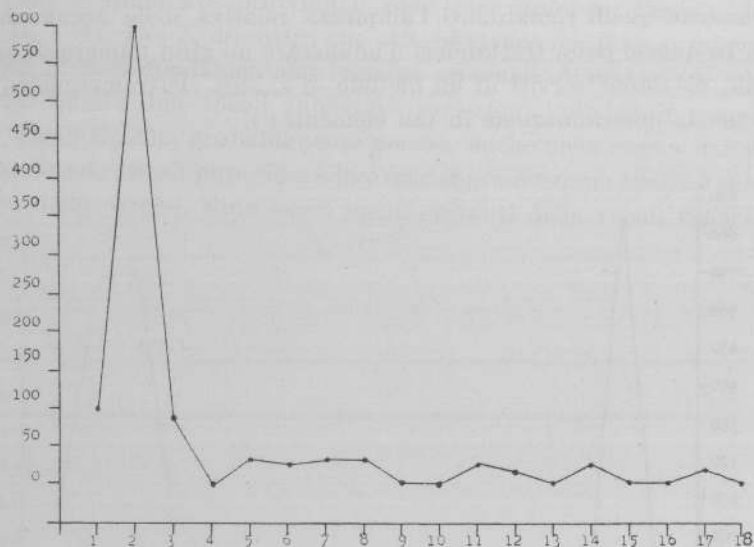


Fig. 6. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «i». Voce maschile.

Sogg. 3. - (Freq. fond. = 380 cicli/sec.).

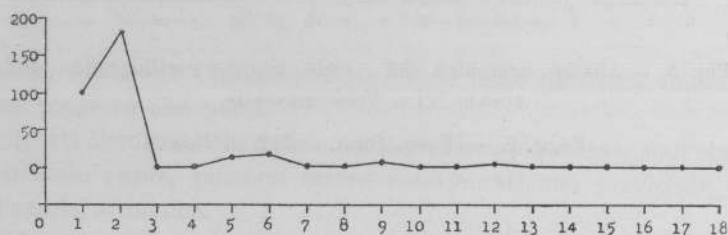


Fig. 7. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «i». Voce maschile.

Sogg. 4. - (Freq. fond. = 360 cicli/sec.).

nalmente fatta uguale ad uno; sulle ordinate le ampiezze delle armoniche, quando l'ampiezza della fondamentale sia convenzionalmente fatta uguale a 100.

Convien considerare, anche qui, per ogni vocale, i sottogruppi delle voci maschili (soggetti 1-6) e delle voci femminili (soggetti 7-10): gruppi

omogenei rispetto all'altezza e al volume di voce, dai quali emergono meglio le differenze di timbro.

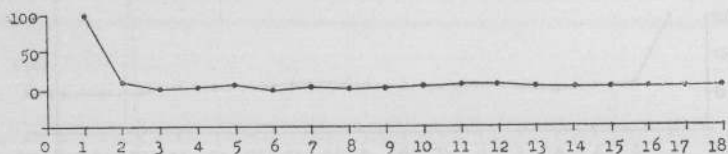


Fig. 8. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « i ». Voce maschile.

Sogg. 5. - (Freq. fond. = 435 cicli/sec.).

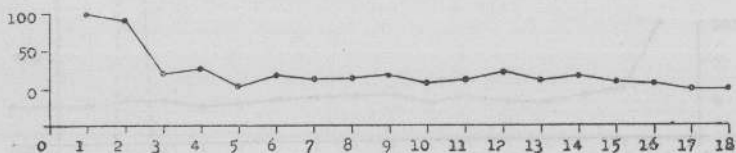


Fig. 9. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « i ». Voce maschile.

Sogg. 6. - (Freq. fond. = 508 cicli/sec.).

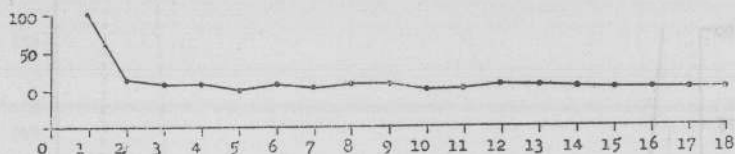


Fig. 10. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « i ». Voce femminile.

Sogg. 7. - (Freq. fond. = 548 cicli/sec.).

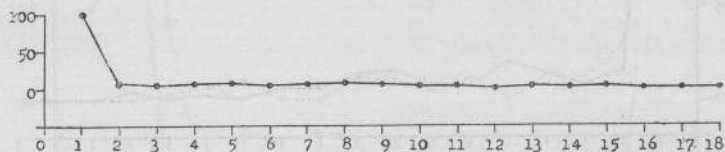


Fig. 11. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « i ». Voce femminile.

Sogg. 8. - (Freq. fond. = 576 cicli/sec.).

La costanza dei toni alti nella genesi della vocale *i* (vocale simile acusticamente al grido) determina una prima differenza tra le voci acute e le gravi: nelle voci gravi la curva delle ampiezze relative si eleva dalla fondamentale alla prima armonica (fig. 4, 5, 6, 7); nelle voci acute la curva

invece si abbassa (figg. 8, 9, 10, 11, 12, 13). Tuttavia, sebbene alcune curve delle voci maschili siano simili tra loro, non se ne trovano neppure due sovrapponibili: il comportamento della seconda armonica è ben diverso

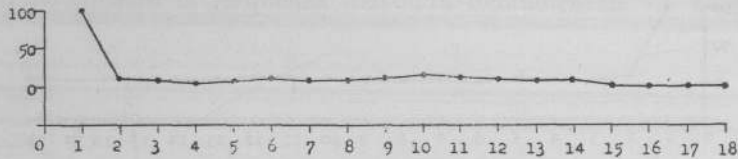


Fig. 12. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «i». Voce femminile.

Sogg. 9. - (Freq. fond. = 672 cicli/sec.).

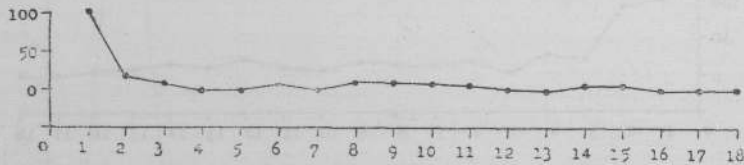


Fig. 13. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «i». Voce femminile.

Sogg. 10. - (Freq. fond. = 732 cicli/sec.).

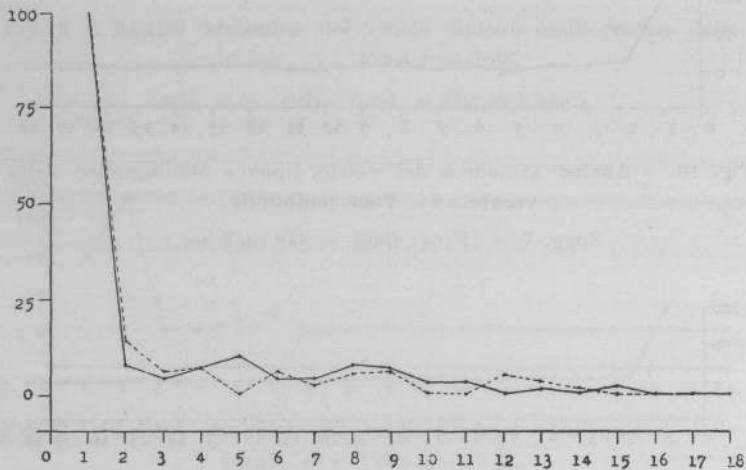


Fig. 14.

Voc. «i».

— Sogg. 8. - Freq. fond. = 576 cicli/sec.

---- Sogg. 7. - Freq. fond. = 548 cicli/sec.

per il sogg. 1 e per il sogg. 2; le armoniche di grado elevato (frequenze pari a 15, 16, 18 volte la fondamentale) appaiono solo in alcune curve e non in altre. Il confronto tra due voci di tono fondamentale vicino è parti-

colarmente istruttivo, perchè rivela differenze che non possono essere causate dal tono di voce. Le figg. 14, 15, 16 ne offrono alcuni esempi ⁽¹⁾.

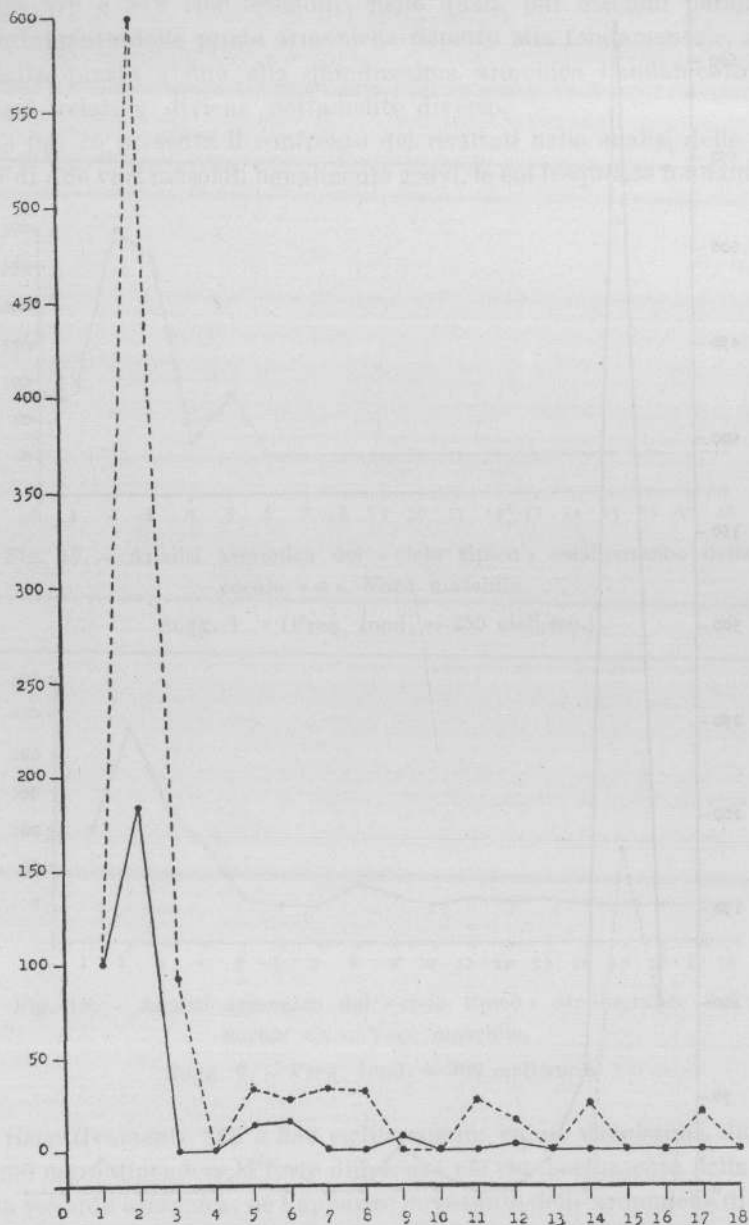


Fig. 15. - Voc. «i».

— Sogg. 4. - Freq. fond. = 360 cicli/sec.

- - - Sogg. 3. - Freq. fond. = 380 cicli/sec.

⁽¹⁾ Qui occorre per le ordinate una scala che permetta il rilievo di piccole differenze. Si tratta sempre di ampiezze *relative*, rapportate alla fondamentale.

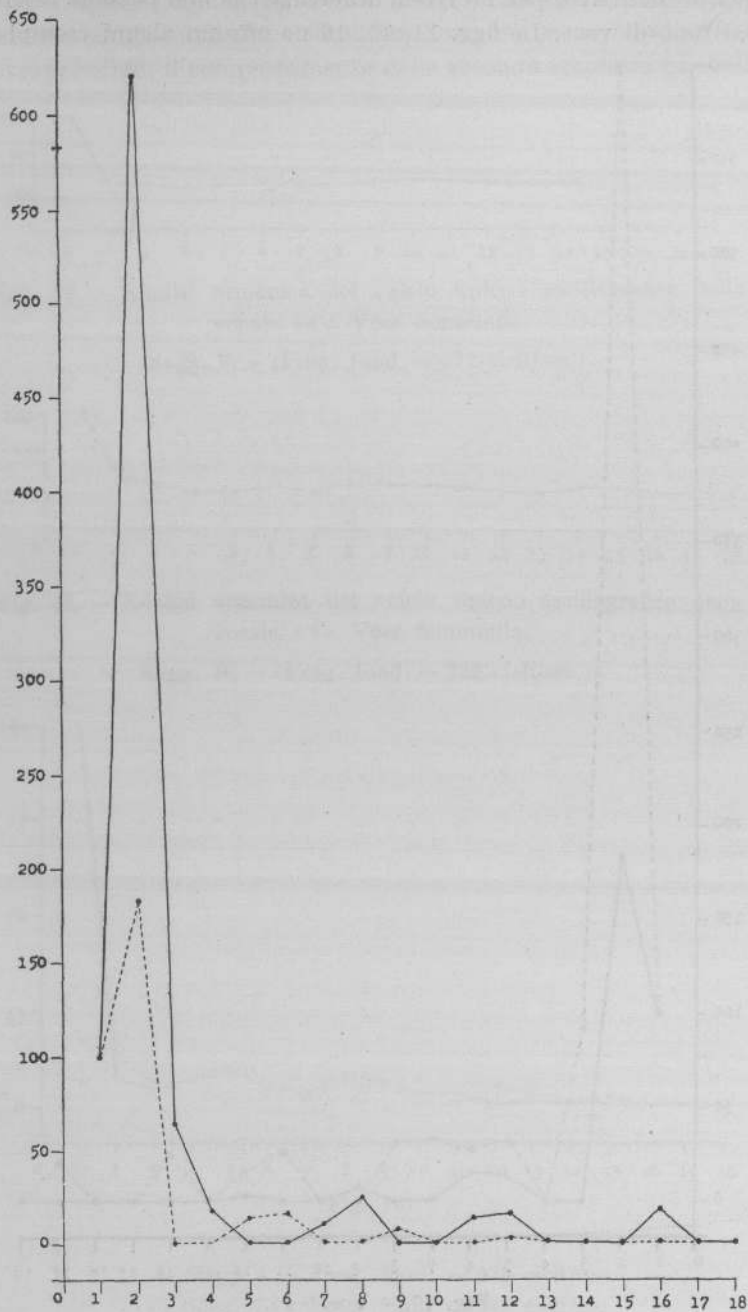


Fig. 16. - Voc. « i ».

— Sogg. 2. - Freq. fond. = 312 cicli/sec.

--- Sogg. 4. - Freq. fond. = 360 cicli/sec.

Mediante la fig. 14 si possono confrontare le analisi delle curve cicliche della *i* di due voci femminili, di altezza poco diversa (frequenza fondamentale 576 e 548 cicli/secondo), nelle quali, pur essendo parallelo il comportamento delle prime armoniche rispetto alla fondamentale, a partire dalla quarta e fino alla quindicesima armonica l'andamento delle ampiezze relative diviene nettamente diverso.

La fig. 15 presenta il confronto dei risultati delle analisi delle curve della *i* di due voci maschili ugualmente gravi, le cui frequenze fondamentali

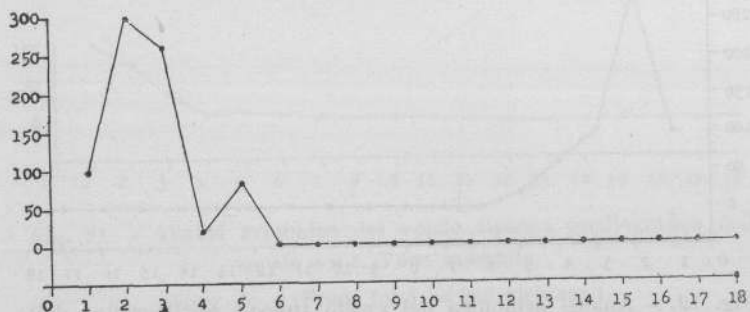


Fig. 17. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « u ». Voce maschile.

Sogg. 1. - (Freq. fond. = 255 cicli/sec.).

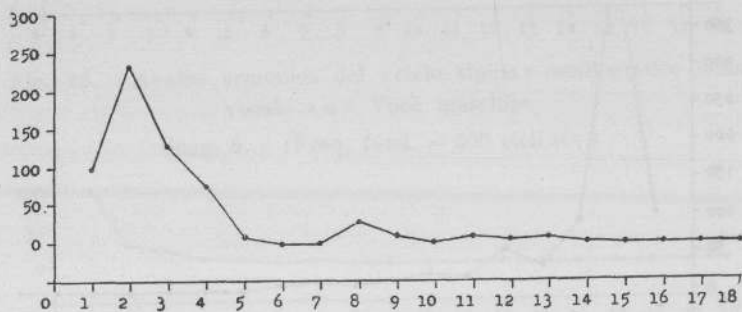


Fig. 18. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « u ». Voce maschile.

Sogg. 2. - Freq. fond. = 308 cicli/sec.).

sono rispettivamente 360 e 380 cicli/secondo: valori vicinissimi, dai quali non può certo dipendere la forte differenza nel comportamento della prima e della seconda armonica, nè l'apparire incostante delle armoniche di ordine elevato, di cui una delle voci, quella del soggetto 3, è molto più ricca dell'altra.

Nella fig. 16 si confrontano la *i* della voce maschile considerata prima (freq. fond. = 360 c/s) con quella di altra voce maschile di poco più grave (freq. fond. = 312 c/s). Anche qui l'ampiezza relativa dell'ottava è pro-

fondamente diversa per le due voci; e diversa è la ricchezza delle armoniche di ordine elevato. Dall'esame analitico delle curve della *i* si può dunque dedurre che *l'ampiezza relativa dell'ottava della fondamentale e la ricchezza di piccole armoniche di frequenze elevate sono caratteri individuali, ossia elementi del timbro di voce.*

Le analisi delle curve cicliche della vocale *u* confermano, sia per le voci maschili che per le voci femminili, il carattere di relativa sempli-

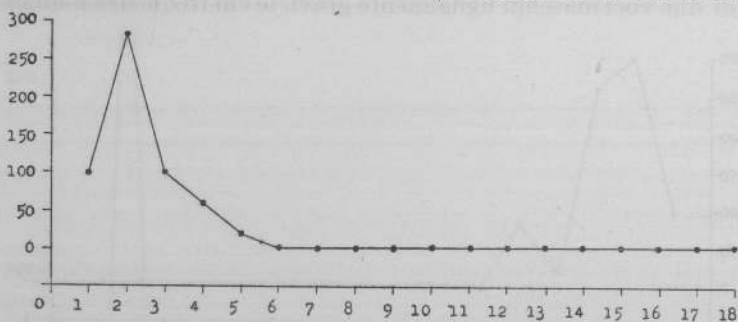


Fig. 19. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «u». Voce maschile.

Sogg. 3. - (Freq. fond. = 284 cicli/sec.).

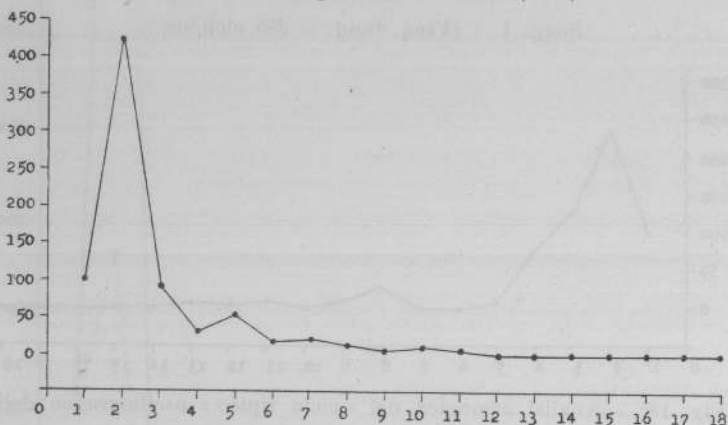


Fig. 20. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «u». Voce maschile.

Sogg. 4. - (Freq. fond. = 300 cicli/sec.).

cià già rilevato dall'esame morfologico. Tuttavia le differenze individuali non mancano; e le curve delle analisi dei due sottogruppi, riprodotte nelle figg. 17-22 per le voci maschili e 23-26 per le voci femminili, lo dimostrano meglio di qualsiasi descrizione.

Ancor meglio lo dimostra l'esame comparativo di voci simili per altezza e intensità, le cui analisi sono rappresentate graficamente nelle figg. 27-31.

Nel diagramma riprodotto nella fig. 27 si tratta di due voci maschili: la differenza di altezza, sebbene piccola, si coglie ad orecchio; l'intensità invece sembra, acusticamente, uguale. L'analisi dimostra il diverso andamento delle ampiezze relative delle armoniche, dalla prima alla quarta. Notevole in particolare l'ampiezza della seconda armonica (pari quasi alla prima) nel soggetto 1, che non ha riscontro in alcun altro dei soggetti presi in esame. Evidentemente si tratta di un elemento non necessario alla formazione della vocale; quindi di un elemento del timbro.

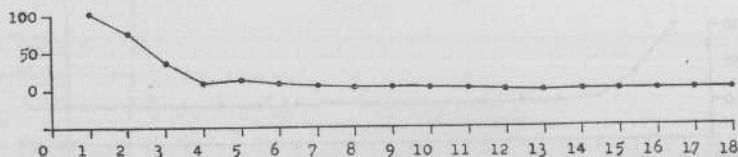


Fig. 21. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « u ». Voce maschile.

Sogg. 5. - (Freq. fond. = 368 cicli/sec.).

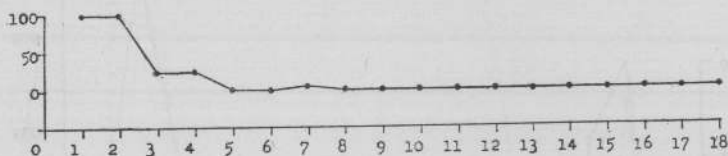


Fig. 22. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « u ». Voce maschile.

Sogg. 6. - (Freq. fond. = 500 cicli/sec.).

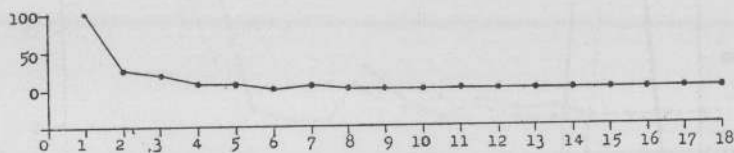


Fig. 23. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « u ». Voce femminile.

Sogg. 7. - (Freq. fond. = 533 cicli/sec.).

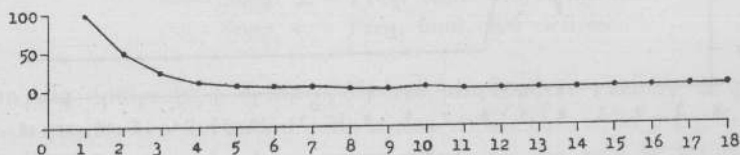


Fig. 24. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « u ». Voce femminile.

Sogg. 8. - (Freq. fond. = 492 cicli/sec.).

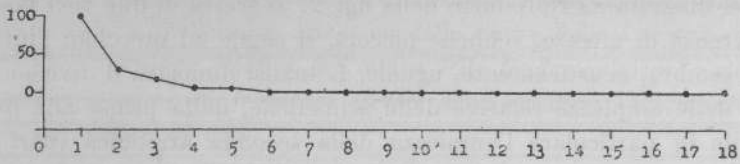


Fig. 25. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « u ». Voce femminile.

Sogg. 9. - (Freq. fond. = 631 cicli/sec.)

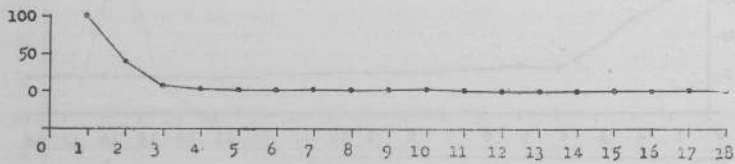


Fig. 26. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « u ». Voce femminile.

Sogg. 10. - (Freq. fond. = 724 cicli/sec.)

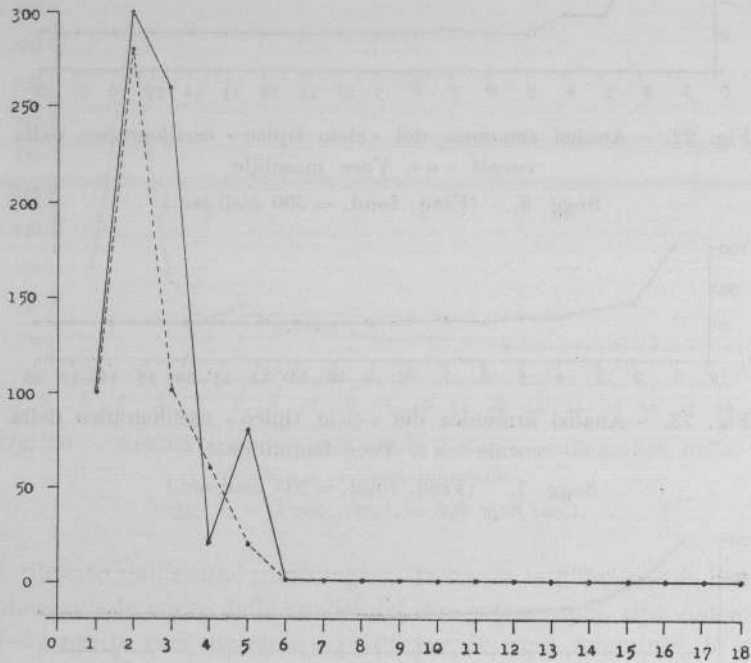


Fig. 27.

Voc. « u ».

— Sogg. 1. - Freq. fond. = 255 cicli/sec.

--- Sogg. 3. - Freq. fond. = 284 cicli/sec.

Nella fig. 28 si confrontano i diagrammi di due voci maschili, la cui frequenza fondamentale è vicinissima. Le due voci si distinguono bene, ad orecchio, sebbene l'altezza e l'intensità siano sensibilmente uguali. Anche qui l'andamento della curva delle intensità relative delle armoniche, dalla

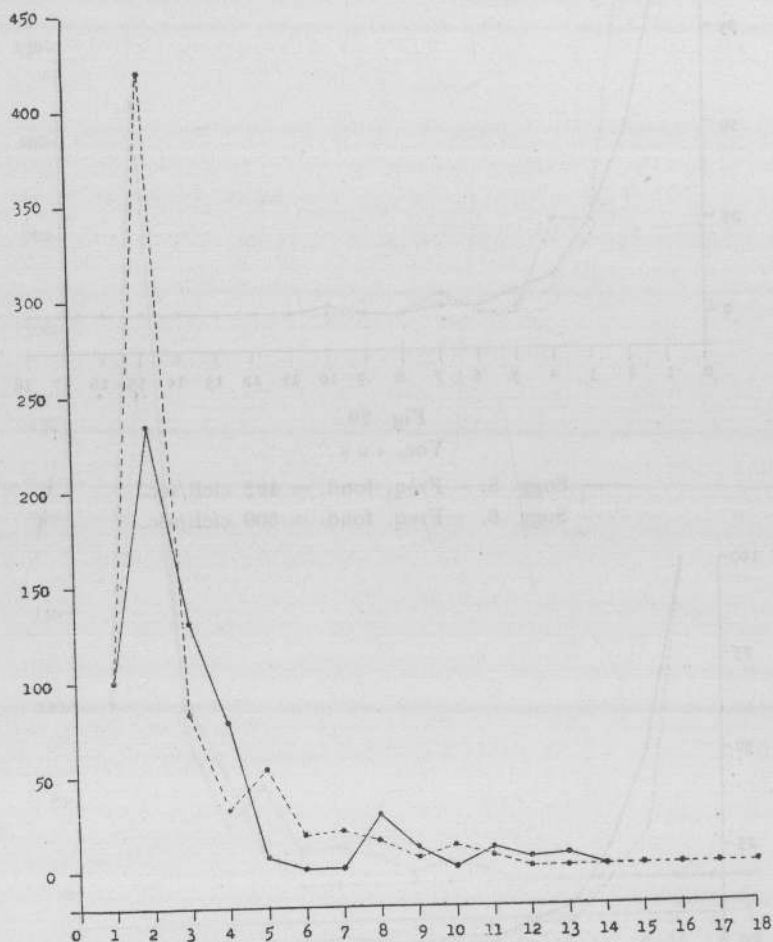


Fig. 28.

Voc. « u ».

— Sogg. 2. — Freq. fond. 308 cicli/sec.

--- Sogg. 4. — Freq. fond. 300 cicli/sec.

prima alla dodicesima, è tanto diverso, da rendere ragione di quella diversità qualitativa del suono della stessa vocale che, nella percezione acustica delle due voci, ha forse maggior valore che non le minime differenze di altezza e di intensità.

Nella fig. 29 sono poste a confronto due voci di altezza sensibilmente pari, ma di tipo diverso: una voce femminile (sogg. 8) e una voce maschile

(sogg. 6). Il diagramma dimostra che, in questo caso, l'ampiezza relativa della prima armonica è inferiore a quella della fondamentale (circa metà)

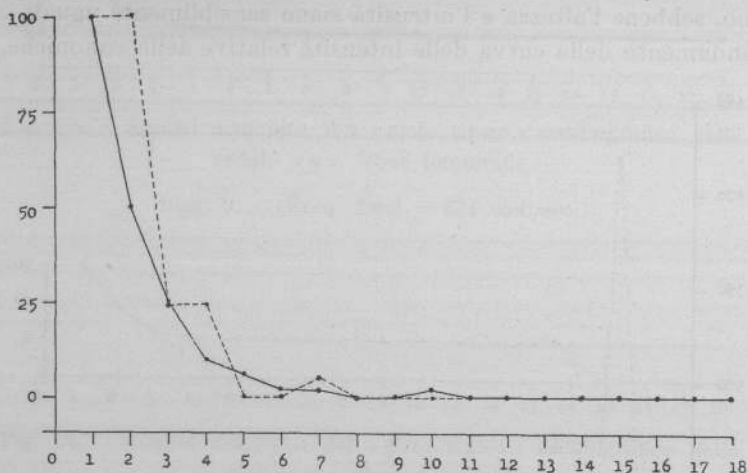


Fig. 29.

Voc. « u ».

— Sogg. 8. — Freq. fond. = 492 cicli/sec.
 - - - Sogg. 6. — Freq. fond. = 500 cicli/sec.

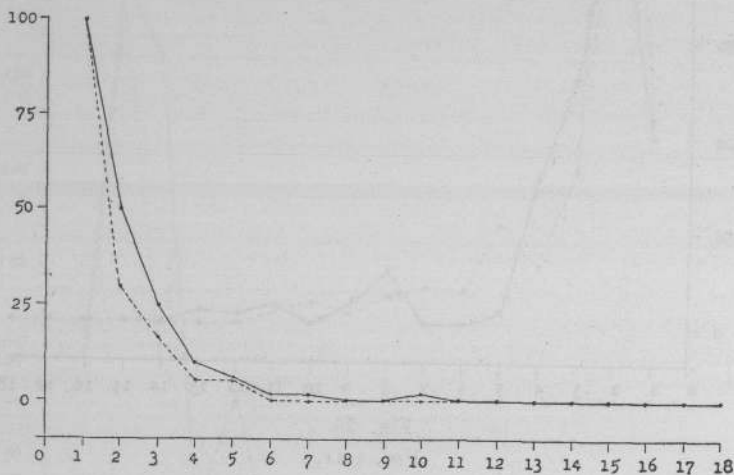


Fig. 30.

Voc. « u ».

— Sogg. 8. — Freq. fond. = 492 cicli/sec.
 - - - Sogg. 7. — Freq. fond. = 533 cicli/sec.

per la voce femminile, mentre è esattamente uguale per quella maschile. Nella voce maschile entra la sesta armonica, nella femminile invece entrano la quarta e la nona. L'armonica più alta è presente solo nella voce

femminile e serve verosimilmente a conferirle quel carattere particolare che acusticamente la fa sembrare più acuta, mentre in realtà la sua frequenza fondamentale è leggermente inferiore a quella della voce maschile presa a confronto.

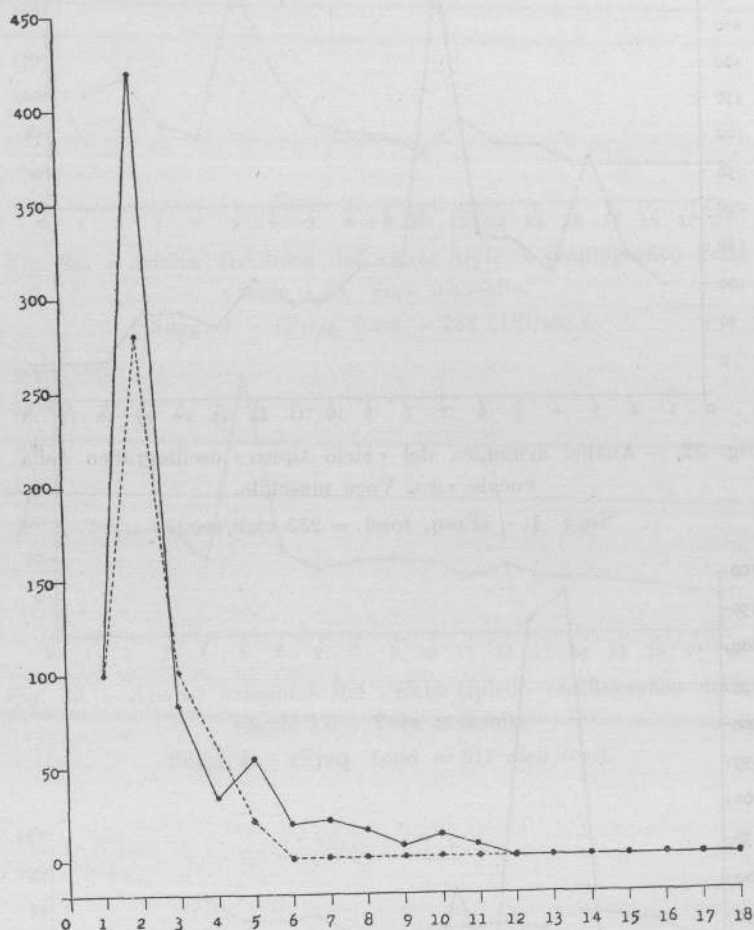


Fig. 31.

Voc. « u ».

— Sogg. 4. — Freq. fond. = 300 cicli/sec.

- - - Sogg. 3. — Freq. fond. = 284 cicli/sec.

Nella fig. 30 si confrontano i diagrammi di due voci femminili, di altezza poco diversa e di intensità sensibilmente uguale. L'ampiezza delle armoniche è, per entrambe le voci, notevolmente inferiore a quella della fondamentale. La prima, la seconda, la terza e la quarta armonica sono presenti nelle due voci. Tuttavia la prima armonica raggiunge, per il

soggetto 8, un'ampiezza pari a metà della fondamentale; per il soggetto 7 raggiunge invece un'ampiezza pari a poco più di un quarto. Inoltre nel soggetto 8 figurano la quinta, la sesta e la nona armonica, che mancano nel soggetto 7.

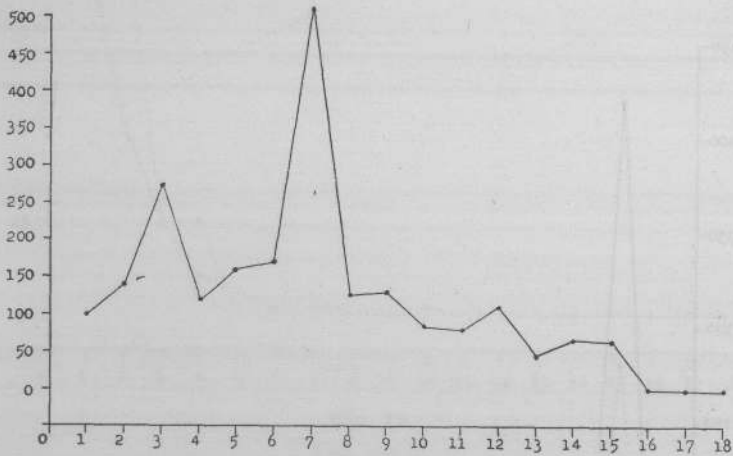


Fig. 32. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « a ». Voce maschile.

Sogg. 1. - (Freq. fond. = 235 cicli/sec.).

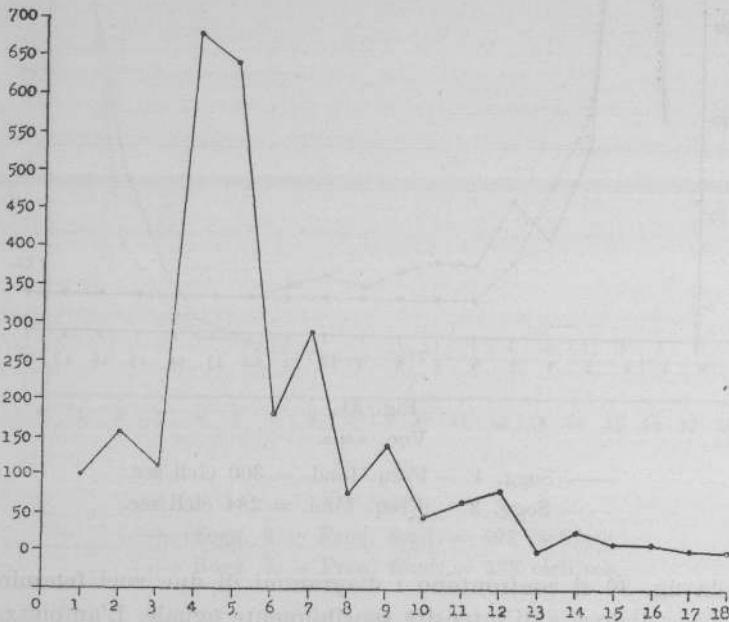


Fig. 33. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « a ». Voce maschile.

Sogg. 2. - (Freq. fond. = 308 cicli/sec.).

Qui, dunque, sebbene l'andamento quasi parallelo delle due curve traduca graficamente la somiglianza delle due voci, le piccole divergenze rappresentano elementi del timbro di voce di ciascuna, ossia sono elementi caratteristici per i quali le riconosciamo; è evidente che le prime quattro

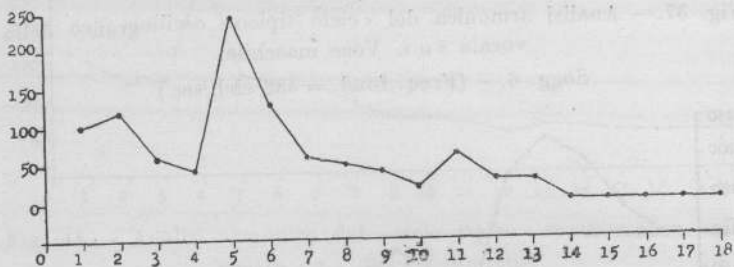


Fig. 34. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « a ». Voce maschile.

Sogg. 3. - (Freq. fond. = 288 cicli/sec.).

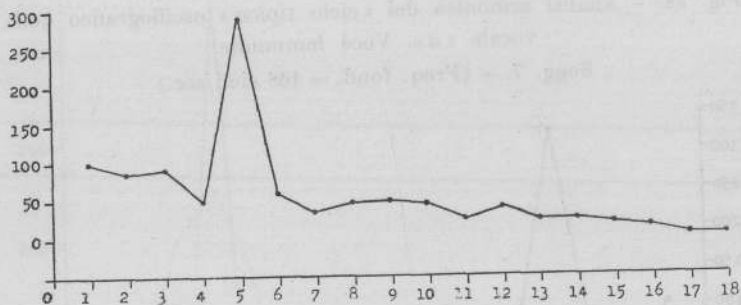


Fig. 35. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « a ». Voce maschile.

Sogg. 4. - (Freq. fond. = 312 cicli/sec.).

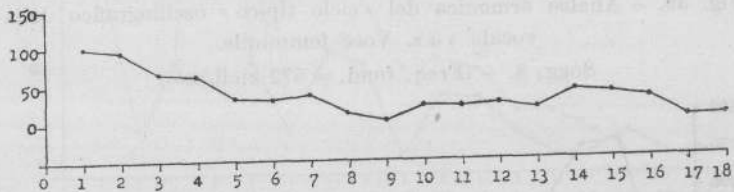


Fig. 36. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « a ». Voce maschile.

Sogg. 5. - (Freq. fond. = 380 cicli/sec.).

armoniche bastano per dare la vocale; la quinta, la sesta e la nona entrano a far parte del timbro.

Finalmente la fig. 31 ci dà l'analisi armonica dell'« u » di due voci maschili, in apparenza uguali, sia per altezza, sia per intensità. A orecchio

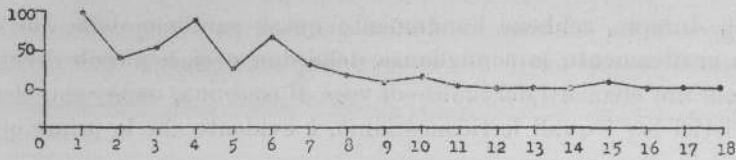


Fig. 37. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «a». Voce maschile.

Sogg. 6. - (Freq. fond. = 432 cicli/sec.)

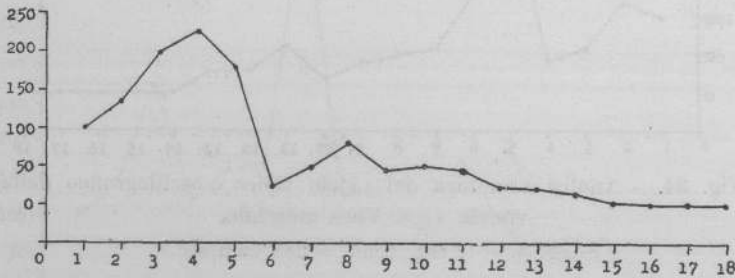


Fig. 38. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «a». Voce femminile.

Sogg. 7. - (Freq. fond. = 468 cicli/sec.)

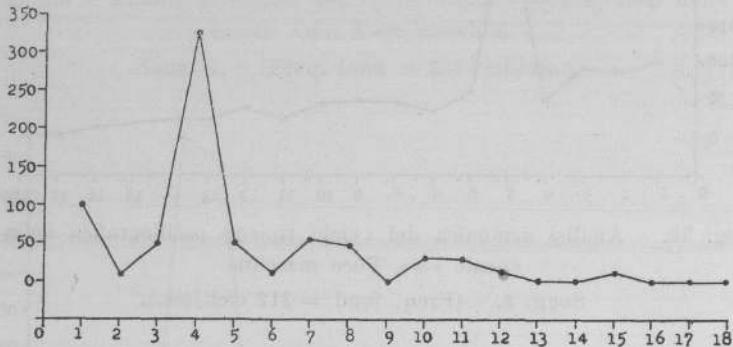


Fig. 39. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «a». Voce femminile.

Sogg. 8. - (Freq. fond. = 572 cicli/sec.)

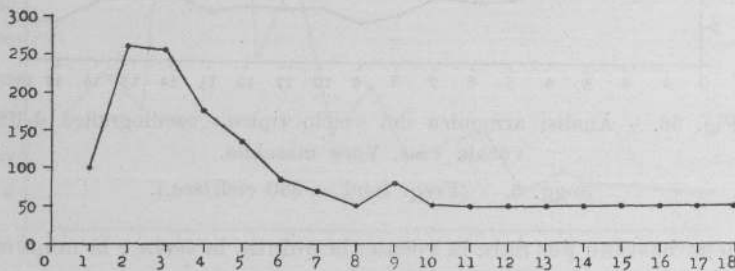


Fig. 40. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «a». Voce femminile.

Sogg. 9. - (Freq. fond. = 616 cicli/sec.)

si distinguono nettamente fra loro, senza per altro poter determinare in che consistano le differenze di « timbro ». La fig. 31 dimostra nettamente

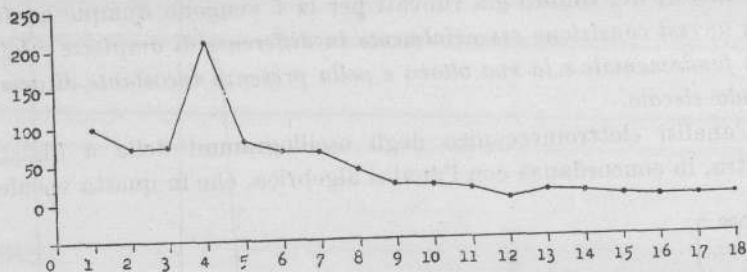


Fig. 41. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « a ». Voce femminile.

Sogg. 10. - (Freq. fond. = 652 cicli/sec.)

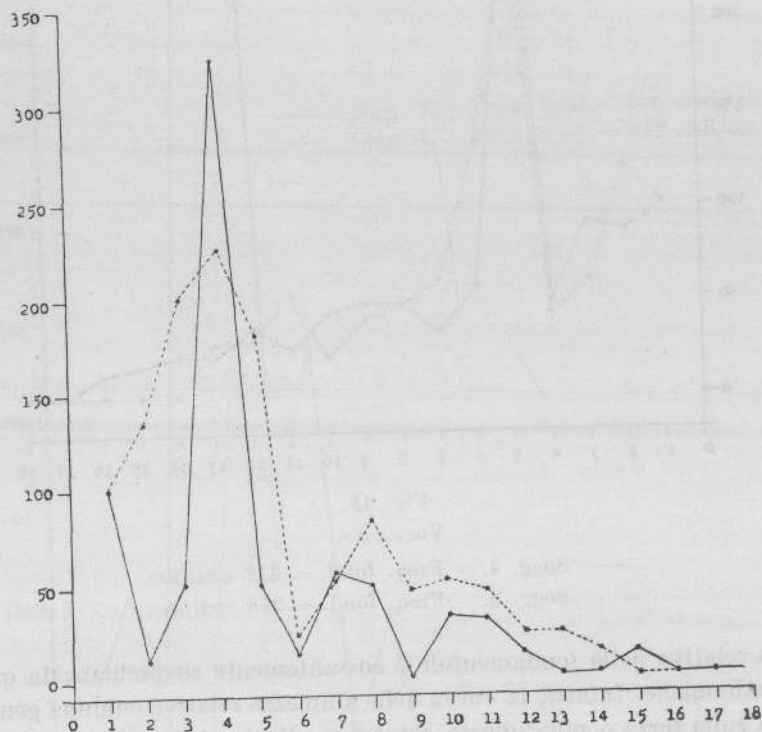


Fig. 42.

Voc. « a ».

— Sogg. 8. - Freq. fond. = 572 cicli/sec.

--- Sogg. 7. - Freq. fond. = 468 cicli/sec.

che le differenze sono essenzialmente due: 1°: l'ampiezza relativa della prima armonica, che nel soggetto 4 è quadrupla della fondamentale,

mentre nel soggetto 3 è meno che tripla; 2°: la presenza, solo nella voce del soggetto 4, di armoniche di ordine elevato (dalla quinta alla decima).

I fattori del timbro già rilevati per la *i* vengono dunque confermati per la *u*; essi consistono essenzialmente in differenze di ampiezze relative tra l'onda fondamentale e la sua ottava e nella presenza incostante di armoniche di grado elevato.

L'analisi elettromeccanica degli oscillogrammi della *a* (fig. 32-41) dimostra, in concordanza con l'analisi algebrica, che in questa vocale l'am-

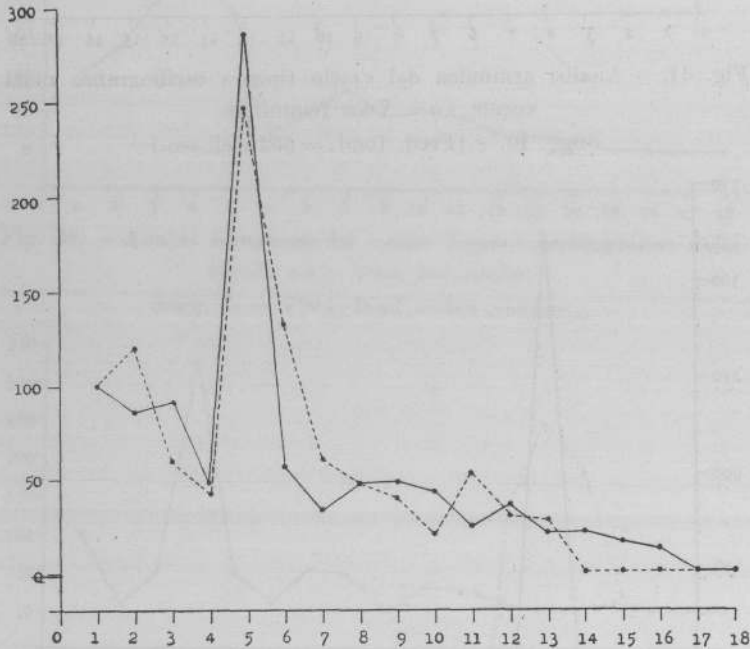


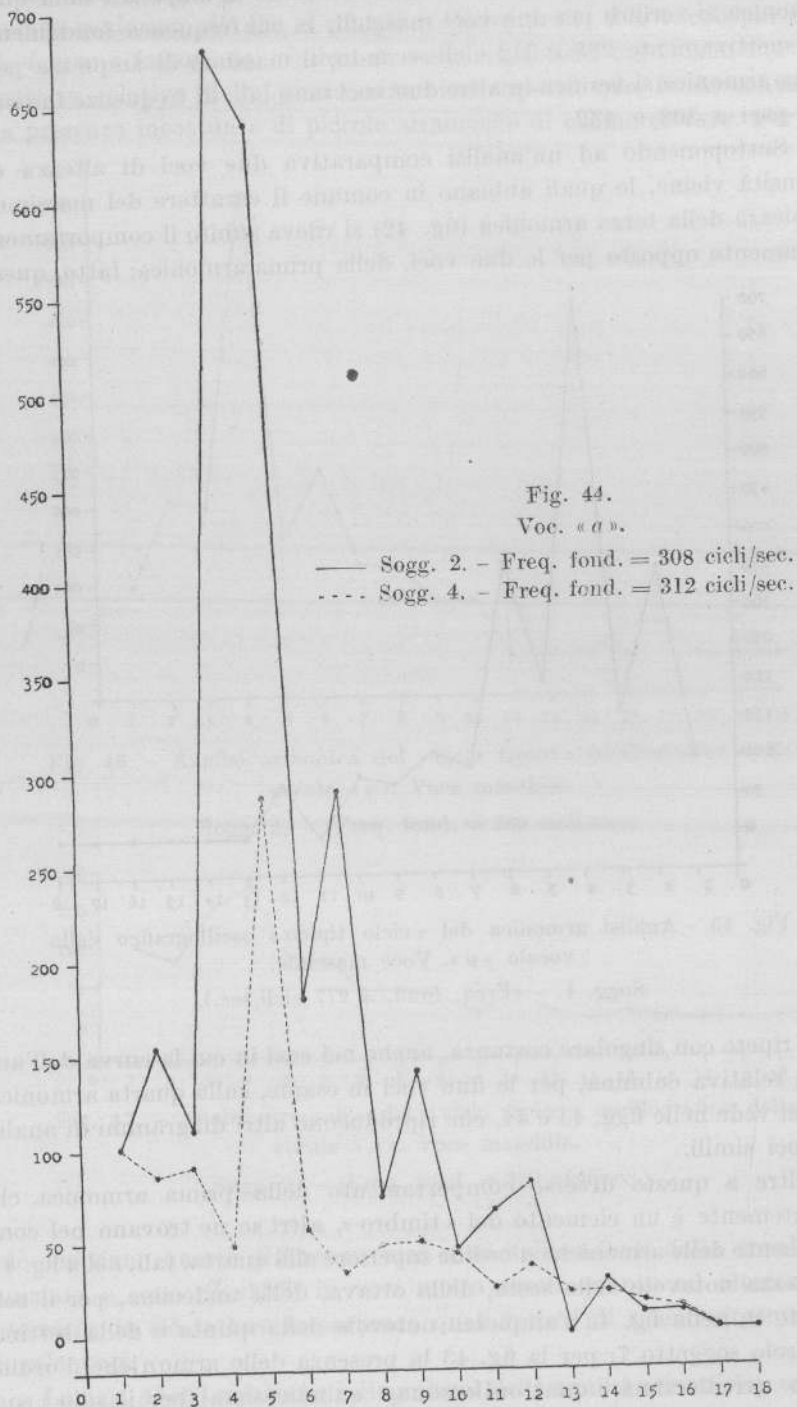
Fig. 43.

Voc. « a ».

— Sogg. 4. — Freq. fond. = 312 cicli/sec.
---- Sogg. 3. — Freq. fond. = 288 cicli/sec.

piezza relativa della fondamentale è costantemente soverchiata da quella delle armoniche. Infatti, la curva delle ampiezze relative culmina generalmente sulla terza o sulla quarta armonica. Varia, invece, da soggetto a soggetto, il comportamento della prima e della seconda armonica, ciascuna delle quali può essere più o meno ampia della fondamentale; e varia poi il comportamento delle armoniche di ordine elevato, capaci di dare lievi sfumature alle diverse voci.

La curva dell'ampiezza relativa delle armoniche (prescindendo dalla prima) può culminare sulla terza o sulla quarta; in un caso anche sulla sesta: ciò dipende in generale dall'altezza del tono fondamentale;



non, però, come norma costante; così il massimo di ampiezza sulla quarta armonica si verifica per due voci maschili, la cui frequenza fondamentale è rispettivamente 288 e 312 cicli/secondo; il massimo di ampiezza per la terza armonica si verifica in altre due voci maschili, di frequenze fondamentali pari a 308 e 432.

Sottoponendo ad un'analisi comparativa due voci di altezza e di intensità vicine, le quali abbiano in comune il carattere del massimo di ampiezza della terza armonica (fig. 42) si rileva subito il comportamento, nettamente opposto per le due voci, della prima armonica: fatto, questo,

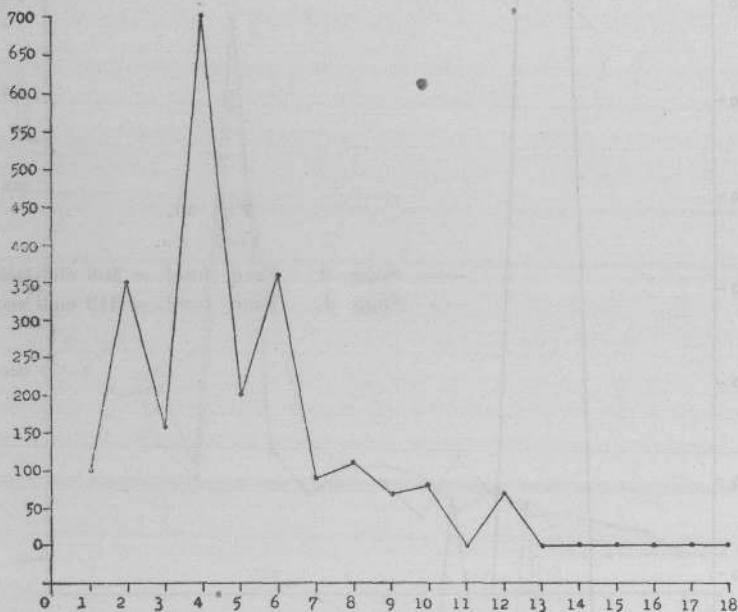


Fig. 45. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « o ». Voce maschile.

Sogg. 1. - (Freq. fond. = 277 cicli/sec.).

che si ripete con singolare costanza, anche nei casi in cui la curva dell'ampiezza relativa culmina, per le due voci in esame, sulla quarta armonica, come si vede nelle figg. 43 e 44, che riproducono altri diagrammi di analisi per voci simili.

Oltre a questo diverso comportamento della prima armonica, che evidentemente è un elemento del « timbro », altri se ne trovano nel comportamento delle armoniche d'ordine superiore alla quarta; tali, nella fig. 44, l'ampiezza notevole della sesta, della ottava, della undecima, per il solo soggetto 2; nella fig. 42 l'ampiezza notevole della quinta e della settima per il solo soggetto 7; per la fig. 43 la presenza delle armoniche d'ordine elevato (tredicesima, quattordicesima, quindicesima) per il solo soggetto 4.

Insomma, anche per l'*a*, cioè per la vocale più complessa, l'analisi armonica conferma ciò che si era già stabilito per le due vocali più semplici, *i* e *u*: i fattori del timbro di voce consistono essenzialmente nell'ampiezza relativa della prima armonica rispetto alla fondamentale e nella presenza incostante di piccole armoniche di ordine elevato. Per pic-

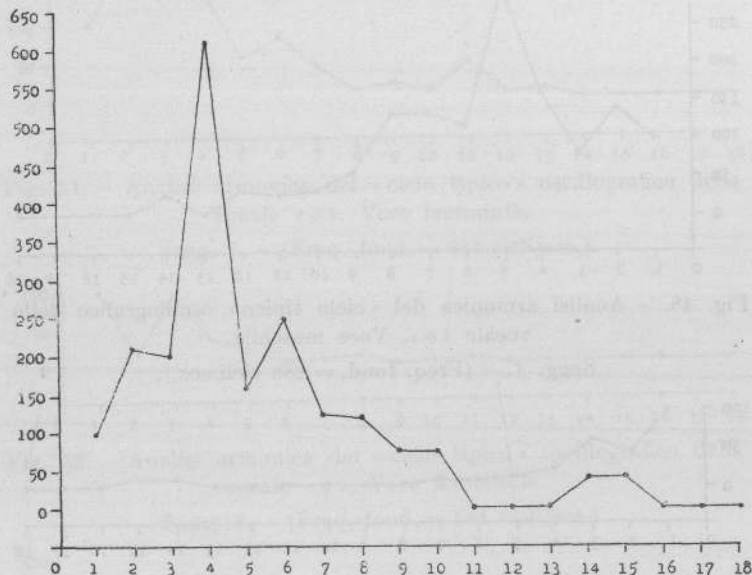


Fig. 46. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «o». Voce maschile.

Sogg. 2. - (Freq. fond. = 280 cicli/sec.).

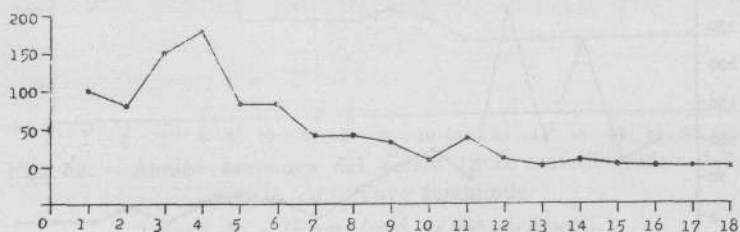


Fig. 47. - Analisi armonica del «ciclo tipico» oscillografico della vocale «o». Voce maschile.

Sogg. 3. - (Freq. fond. = 300 cicli/sec.).

cole che siano queste differenze, esse sono indipendenti dalla vocale pronunciata e sono rilevabili in voci molto simili quanto ad altezza e ad intensità; da ciò la loro importanza quali fattori di riconoscimento delle singole voci.

Le figg. 45-63 riportano i diagrammi delle analisi armoniche, eseguite con lo stesso sistema, e per le stesse voci, delle vocali intermedie *o* ed *e*.

Le analisi confermano e precisano ciò che si poteva rilevare appena, in maniera grossolana, all'esame morfologico degli oscillogrammi; si tratta di vocali meno tipiche e perciò meno costanti e maggiormente soggette a variazioni individuali. Anche qui la variabilità individuale, interpretabile

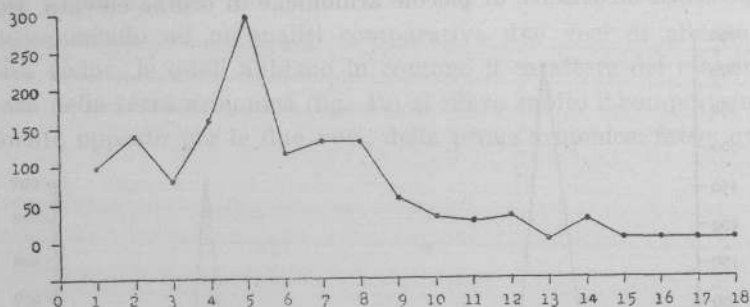


Fig. 48. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « o ». Voce maschile.

Sogg. 4. - (Freq. fond. = 288 cicli/sec.).

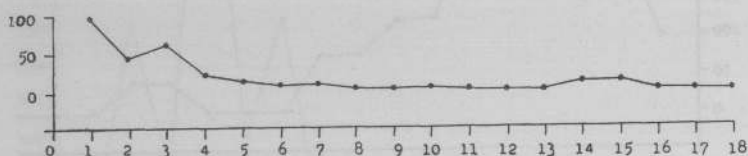


Fig. 49. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « o ». Voce maschile.

Sogg. 5. - (Freq. fond. = 380 cicli/sec.).

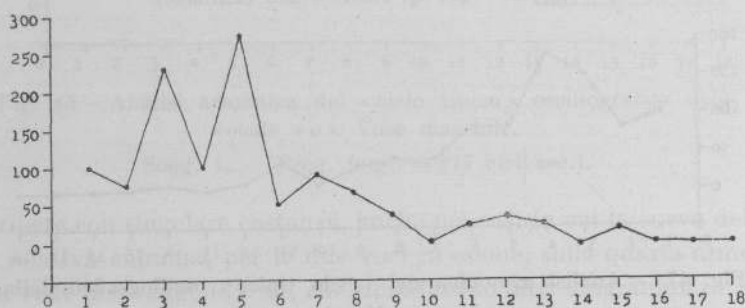


Fig. 50. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « o ». Voce maschile.

Sogg. 6. - (Freq. fond. = 444 cicli/sec.).

come fattore del timbro di voce, riguarda essenzialmente l'ampiezza relativa della prima armonica e la presenza incostante di piccole armoniche di ordine elevato.

Concludendo, l'analisi armonica comparativa degli oscillogrammi delle vocali mette in evidenza un secondo fattore del timbro di voce, che pos-

siamo definire come la variazione individuale delle ampiezze relative delle oscillazioni sinusoidali componenti il fonema.

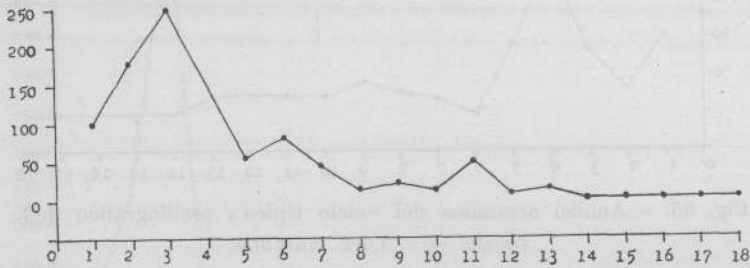


Fig. 51. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « o ». Voce femminile.

Sogg. 7. - (Freq. fond. = 484 cicli/sec.).

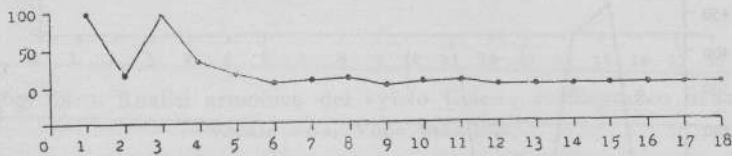


Fig. 52. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « o ». Voce femminile.

Sogg. 8. - (Freq. fond. = 544 cicli/sec.).

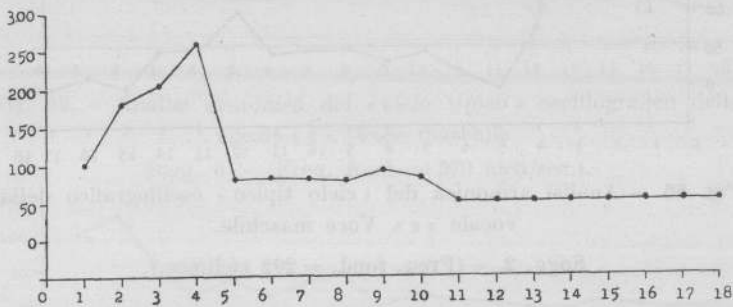


Fig. 53. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « o ». Voce femminile.

Sogg. 9. - (Freq. fond. = 584 cicli/sec.).

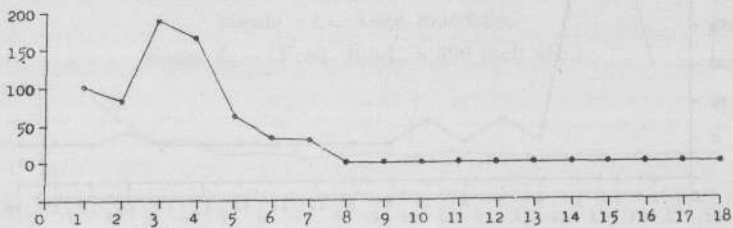


Fig. 54. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « o ». Voce femminile.

Sogg. 10. - (Freq. fond. = 600 cicli/sec.).

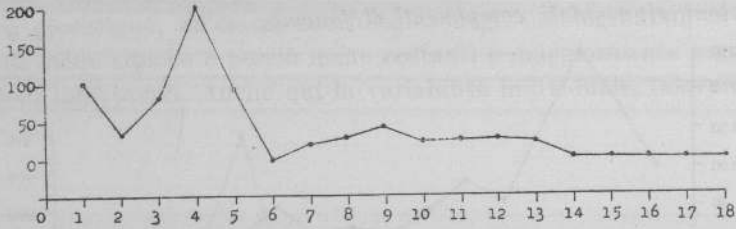


Fig. 55. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce maschile.

Sogg. 1. - (Freq. fond. = 294 cicli/sec.).

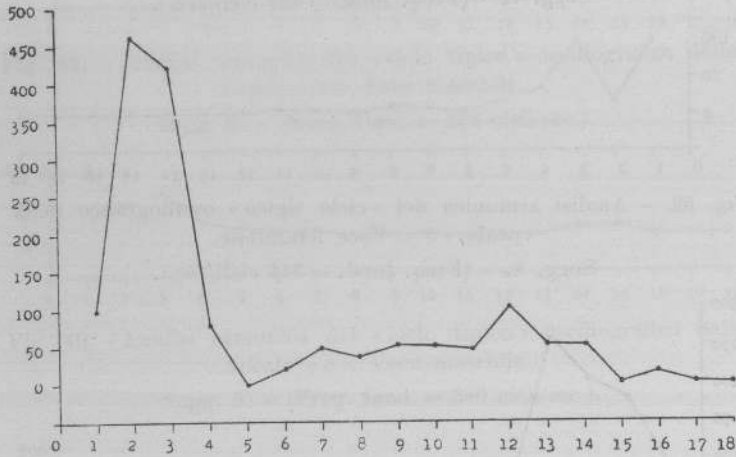


Fig. 56. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce maschile.

Sogg. 2. - (Freq. fond. = 292 cicli/sec.).

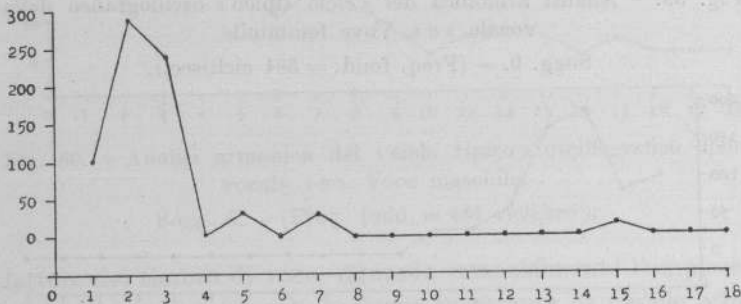


Fig. 57. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce maschile.

Sogg. 3. - (Freq. fond. = 256 cicli/sec.).

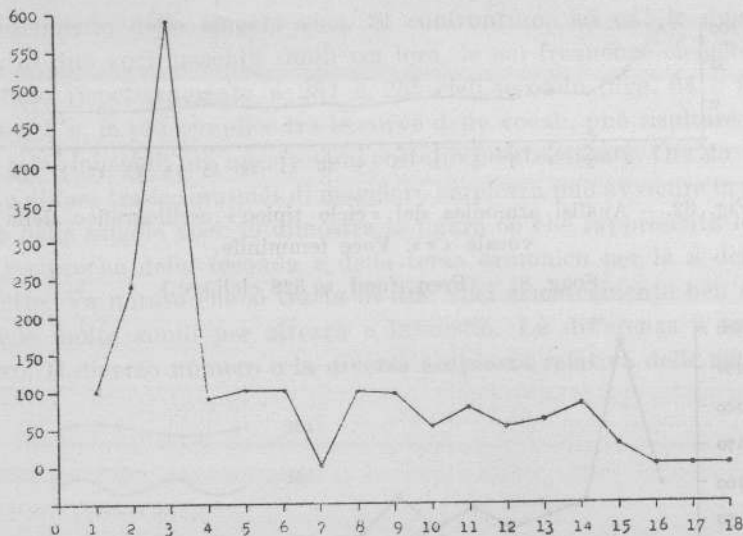


Fig. 58. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce maschile.

Sogg. 4. - (Freq. fond. = 320 cicli/sec.).

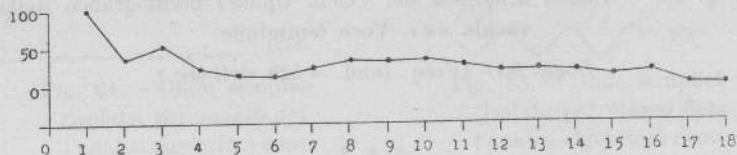


Fig. 59. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce maschile.

Sogg. 5. - (Freq. fond. = 370 cicli/sec.).

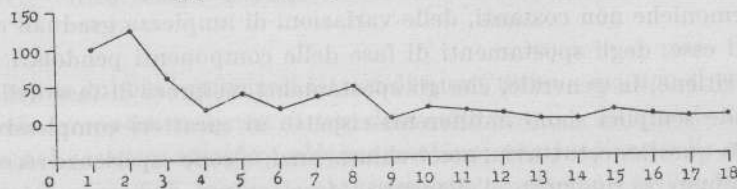


Fig. 60. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce maschile.

Sogg. 6. - (Freq. fond. = 496 cicli/sec.).

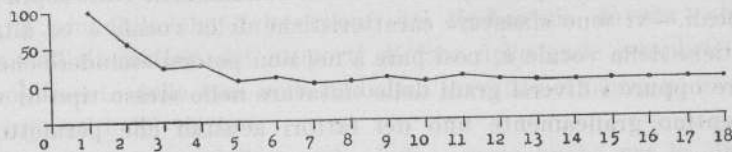


Fig. 61. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce femminile.

Sogg. 7. - (Freq. fond. = 488 cicli/sec.).

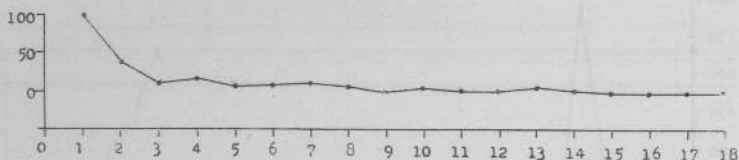


Fig. 62. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce femminile.

Sogg. 8. - (Freq. fond. = 528 cicli/sec.).

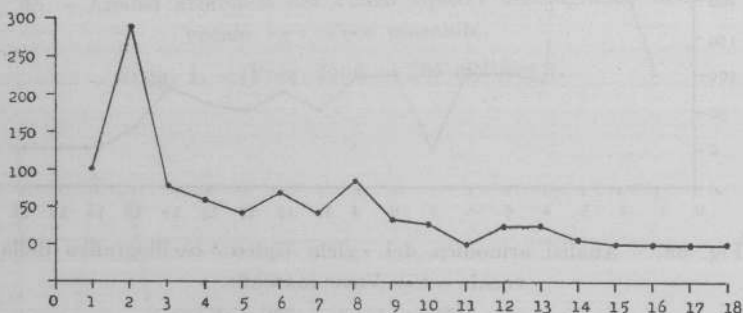


Fig. 63. - Analisi armonica del « ciclo tipico » oscillografico della vocale « e ». Voce femminile.

Sogg. 9. - (Freq. fond. = 529 cicli/sec.).

* * *

Ma l'indagine degli oscillogrammi non si esaurisce qui. Essa può spingersi, mediante l'analisi algebrica con metodi appropriati, alla ricerca delle armoniche non costanti, delle variazioni di ampiezza gradualì e continue di esse, degli spostamenti di fase delle componenti pendolari.

Si ritiene, in generale, che gli spostamenti reciproci di fase delle singole onde semplici siano indifferenti rispetto ai caratteri complessivi del suono: la questione, tuttavia, non è chiusa; anzi, ci sono esperienze recenti⁽¹⁾ che tendono a rivalutare l'elemento « fase » come carattere dei suoni. Ora, poichè il « profilo » del ciclo oscillografico delle vocali può variare considerevolmente in conseguenza di spostamenti di fase delle onde semplici ond'esso risulta, e poichè, — come dimostrammo nelle Note sopra citate sulle vocali, — vi sono sfasature caratteristiche della vocale *a* ed altre caratteristiche della vocale *u*, così pare a noi non potersi escludere che altre sfasature oppure i diversi gradi delle sfasature nello stesso tipo di vocale rappresentino graficamente uno dei fattori acustici che permettono il

(¹) Cfr.: BEASLEY, *Differential Responses to cyclic Phase Variations in compound Sounds*, « Journ. of gen. Psychology », 5, 3, 1931, pagg. 329-351.

riconoscimento delle singole voci. Si confrontino, ad es., le due curve dell'*u* di due voci maschili simili tra loro, le cui frequenze cicliche corrispondono rispettivamente a 284 e 255 cicli/secondo (figg. 64 e 65). La curva dell'*u*, la più semplice tra le curve delle vocali, può risultare da due o tre sole sinusoidi; ma queste sono costantemente sfasate. Ora lo spostamento di fase tra le sinusoidi di maggiore ampiezza può avvenire in diverso grado nelle singole voci: lo dimostra la figura 66 che rappresenta le sfasature reciproche della seconda e della terza armonica per le *u* delle voci suddette. Va notato che si tratta di due voci acusticamente ben diverse, sebbene molto simili per altezza e intensità. La differenza è tutta nel timbro. Il diverso numero e la diversa ampiezza relativa delle armoniche

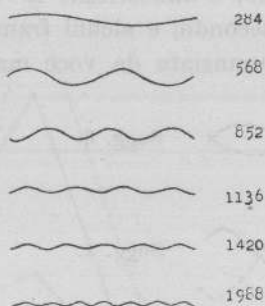


Fig. 64. — Onde semplici (isolate per mezzo dell'analisi algebrica) componenti il ciclo tipico oscillografico della vocale « *u* » del soggetto 3 (freq. fond. = 284 cicli/sec.).



Fig. 65. — Onde semplici (isolate per mezzo dell'analisi algebrica) componenti il ciclo tipico oscillografico della vocale « *u* » del soggetto 1 (freq. fond. = 255 cicli/sec.).

sono senza dubbio i principali fattori di quest'ultimo; ma non si può escludere che i rapporti reciproci di fase delle onde semplici (in quanto non rientrano nel carattere specifico) abbiano anch'essi una funzione nella genesi del timbro di voce. Tali rapporti, naturalmente, si alterano nell'audizione invertita. Anche il timbro di voce, in tal caso, è alterato, sebbene non abolito del tutto; noi stessi ne abbiamo fatto più volte l'esperienza, per mezzo di dischi mossi con pari velocità, in senso diretto e in senso inverso; è dunque probabile che l'alterazione del timbro sia dovuta — almeno in parte — all'alterazione dei rapporti di fase delle onde semplici; e che il riconoscimento delle voci nelle audizioni invertite si faccia in base ai fattori superstiti del timbro.

L'oscillogramma della vocale, infine, varia anche per lo stesso soggetto; cioè, in tempi successivi, presenta continuamente variazioni caratteristiche; si tratta anche qui di piccole variazioni, ma esse sono bene apprezzate.

zabili. Anzi, queste ultime sono forse le più caratteristiche della voce umana, poichè nessun strumento è per sua natura soggetto a variazioni continue e delicate come l'apparato vocale umano. Esse sfuggono all'analisi meccanica, costretta a basarsi sopra una serie di cicli; ma l'analisi algebrica, scindendo in onde semplici ogni ciclo singolo, le può documentare; e del resto già l'esame diretto degli oscillogrammi le rivela con certezza, purchè il chimografo fotografico funzioni con tale velocità da permettere la registrazione di particolari minuti. Si tratta infatti di variazioni verificabili in tempuscoli dell'ordine di grandezza del decimo di secondo. Ne diamo due esempi nella tav. XI; essa riproduce alcuni frammenti di un solo oscillogramma della vocale *i* pronunciata da una voce femminile di tono fondamentale pari a 586 cicli/secondo, e dimostranti le variazioni dei cicli nell'intervallo di un decimo di secondo; e alcuni frammenti di un solo oscillogramma della vocale *a* pronunciata da voce maschile di

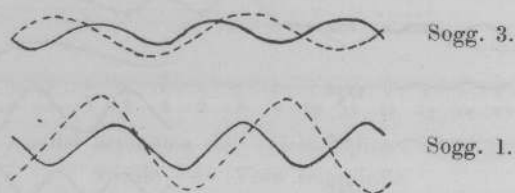


Fig. 66. — Interferenze della prima con la seconda armonica nei cicli tipici oscillografici della vocale « u » per i due soggetti di cui alle fig. 64 e 65.

tono fondamentale pari a 235 cicli/secondo e dimostranti una variazione analoga, nello stesso intervallo di tempo (Tav. XI, figg. 1 e 2).

Questa variabilità di profilo dei cicli successivi di un medesimo oscillogramma (mentre la frequenza del ciclo non muta) è un fenomeno quasi trascurabile per alcune voci, mentre esso è evidentissimo per altre; e ciò si verifica tanto per le voci maschili che per le femminili. Si rivela, generalmente, una maggiore uniformità dei cicli quando il soggetto canta; ma allora si perdono alcuni elementi del timbro di voce; quando invece il soggetto parla normalmente, la maggiore o minore variabilità del profilo dei cicli costituisce un carattere individuale costante. Vi sono soggetti i cui oscillogrammi della voce parlata presentano una grande costanza, simile a quella che si ottiene negli oscillogrammi della voce cantata. Abbiamo osservato tale comportamento per lo più in soggetti dotati di voce bene intonata e già educata al canto; mentre in generale abbiamo osservato il comportamento opposto, ossia la massima variabilità del profilo dei cicli successivi, in soggetti con scarsa attitudine al canto e privi di educazione musicale. Non si tratta, però, di voci difettose, poichè, nella scelta dei soggetti, abbiamo eliminato con cura ogni voce rauca o stridula o nasale

o comunque sgradevole; si tratta piuttosto di una *minore « musicalità »* che, nel linguaggio parlato, *costituisce una delle tante caratteristiche individuali onde risulta il timbro di voce.*

Se, per esempio, si confrontano le analisi algebriche, eseguite col metodo di FOURIER, per singoli cicli separatamente, delle curve della vocale *i* pronunciata da due soggetti, dalla voce ugualmente grave e robusta e perfettamente normale (frequenze fondamentali 360 e 380 cicli/secondo), come è dimostrato nella fig. 67, si rileverà subito che l'andamento delle

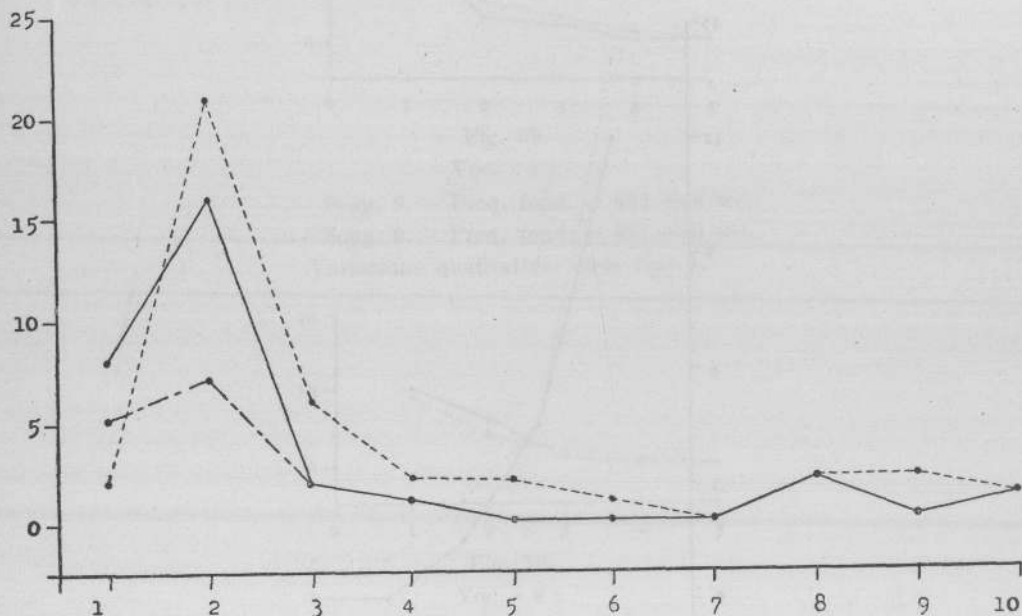


Fig. 67.

Voc. « i »

- Sogg. 4. — Freq. fond. = 360 cicli/sec. —Ciclo costante
- Sogg. 3. — Freq. fond. = 380 cicli/sec. —Ciclo tipo I
- - - Sogg. 3. — Freq. fond. = 380 cicli/sec. —Ciclo tipo II.

ampiezze relative della fondamentale e delle armoniche è un carattere individuale. Misurato su 200 cicli successivi, per il soggetto 4 esso è costante, mentre per il soggetto 3 oscilla tra due varianti estreme, che denominiamo « ciclo tipo I » e « ciclo tipo II » e rappresentiamo nella figura con le due linee tratteggiate. L'andamento costante dell'ampiezza relativa delle armoniche per il soggetto 4 (rappresentato dalla linea continua) occupa una posizione intermedia tra le due varianti estreme del soggetto 3. Dunque si può dire che, nello spazio di tempo di circa mezzo secondo, i due soggetti emettono globalmente lo stesso suono, le cui componenti semplici sono tuttavia diversamente distribuite nel tempo; e si può ritenere che chi ascolta utilizzi queste minute variazioni per distinguere voci difficil-

mente distinguibili in altro modo, appunto perchè di altezza e di intensità quasi identiche.

Nè meno istruttivo è il confronto tra due voci simili, entrambi di variabilità media; confronto eseguito mediante l'analisi algebrica dei singoli cicli. Esso dimostra che, per gradi insensibili, si passa da un ciclo ad un altro, il quale, pur appartenendo ancora alla stessa vocale e alla stessa voce, consta di un numero diverso di componenti, oppure dello stesso numero di sinusoidi, ma con ampiezze relative diverse e con diversi

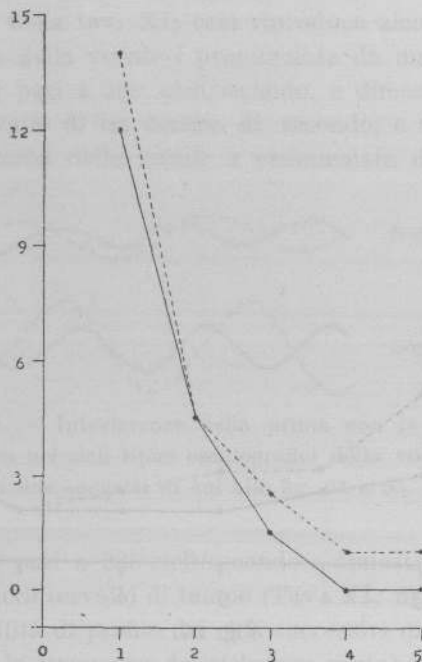


Fig. 68.

Voc. « u ».

— Sogg. 8. — Freq. fond. = 492 cicli/sec.

--- Sogg. 9. — Freq. fond. = 631 cicli/sec.

Variatione qualitativa: media.

rapporti reciproci di fase. Anche qui, la ricerca della variazione individuale è tanto più fruttuosa quanto più ha per oggetto voci vicine per frequenza fondamentale. Così, tra due voci femminili di frequenze fondamentali pari a 492 e 631 cicli/secondo, la curva ciclica dell'*u* sembra differire assai poco. L'analisi algebrica secondo il metodo di FOURIER dà i valori medi riportati nella fig. 68. L'andamento delle due curve delle ampiezze della fondamentale e delle armoniche è sensibilmente parallelo. Il « profilo » del ciclo varia, nell'una e nell'altra voce, tra due estremi (denominati: tipo I e tipo II); anche qui le due curve divergono appena

leggermente (fig. 69 e 70). Ma, se si contano, nell'una e nell'altra curva, duecento cicli successivi, e si raggruppano questi cicli nel primo e nel secondo tipo, e poi si contano i cicli di tipo intermedio, si dimostra facilmente che la variazione quantitativa del profilo dei cicli è ben maggiore

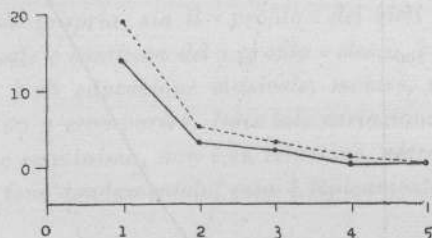


Fig. 69.

Voc. « u ».

— Sogg. 8. — Freq. fond. = 492 cicli/sec.

--- Sogg. 9. — Freq. fond. = 631 cicli/sec.

Variazione qualitativa: ciclo tipo I.

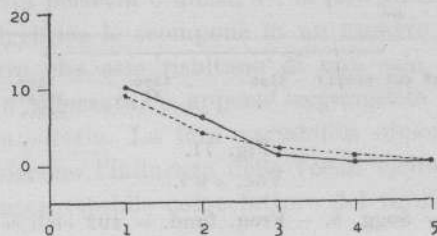


Fig. 70.

Voc. « u ».

— Sogg. 8. — Freq. fond. = 492 cicli/sec.

--- Sogg. 9. — Freq. fond. = 631 cicli/sec.

Variazione qualitativa: ciclo tipo II.

che non la variazione qualitativa; cicli del primo e del secondo tipo, infatti, si trovano sia nell'una che nell'altra voce; ma nell'una prevale numericamente il tipo I, nell'altra il tipo II (fig. 71). Se si considera che i 200 cicli presi in esame corrispondono all'incirca alla durata di un terzo di secondo, e che, d'altra parte, la variazione qualitativa dei cicli è già ben evidente nello spazio di un decimo di secondo, risulterà chiaro che anche questa variazione minima e graduale dei cicli, quantitativamente diversa da soggetto a soggetto, costituisce un elemento utilizzabile nel riconoscimento delle singole voci, nel normale linguaggio parlato. Viene così messo in evidenza un terzo elemento del « timbro di voce », che nel linguaggio parlato può assumere un'importanza non minore agli altri due considerati sopra: il grado di variabilità qualitativa e quantitativa della struttura del ciclo, entro i limiti imposti dal carattere specifico del fonema.

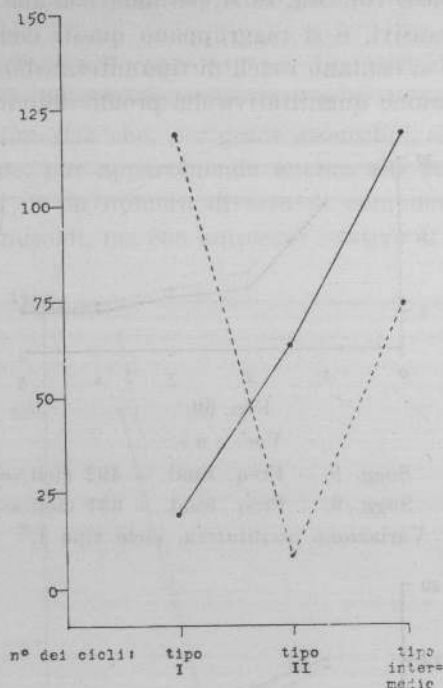


Fig. 71.

Voc. « u ».

— Sogg. 8. — Freq. fond. = 492 cicli/sec.

---- Sogg. 9. — Freq. fond. = 631 cicli/sec.

Variazione quantitativa.

* * *

Dallo studio oscillografico delle vocali abbiamo dunque rilevato i seguenti elementi del « timbro di voce »:

1° In ogni soggetto la frequenza media del tono fondamentale di voce è costante: essa risulta da frequenze medie diverse per ciascuna delle tre vocali fondamentali (a, i, u) a loro volta costanti in ogni soggetto; di modo che soggetti con differenze minime nella frequenza media di voce differiscono profondamente nella curva delle frequenze medie delle tre vocali fondamentali onde risulta la media generale.

2° La variabilità del « ciclo tipico » di ogni vocale nei diversi soggetti deriva da questo: la curva periodica, pur conservando le caratteristiche proprie della vocale, può risultare dalla somma algebrica di sinusoidi in numero diverso, di ampiezza relativa diversa e in diverso rapporto reciproco di fase; il confronto fra due voci di tono assai vicino è particolarmente dimostrativo in quanto mostra che le due curve periodiche tra loro somiglianti risultano

da sinusoidi in diverso numero e di diversa ampiezza relativa. Le maggiori differenze tra voci simili riguardano: a) l'ampiezza proporzionale tra la fondamentale e la sua ottava; b) la presenza di piccolissime armoniche di frequenze elevate.

3° Nelle curve di vocali pronunziate da voci simili, ove, sia la frequenza fondamentale propria, sia il « profilo » dei cicli differiscono di poco, la variazione graduale e continua del « profilo » stesso, è massima per le voci prive di attitudine e di educazione musicale: mentre, nelle voci educate al canto, si attenua fino a scomparire. Dove tale variazione graduale e continua esiste ancora, anche se minima, non è in relazione, nè con la frequenza, nè con l'intensità del tono fondamentale: essa è tipicamente individuale.

III. — ELEMENTI DEL TIMBRO DI VOCE NELLE SEMIVOCALI ⁽¹⁾.

Le semivocali (o consonanti sonore) si riconoscono negli oscillogrammi in base ai seguenti caratteri: 1°: la loro durata è costantemente minore di quella delle vocali; 2°: le loro curve sono più uniformi e posseggono una periodicità perfetta o quasi; 3°: la loro struttura è più semplice. Infatti l'analisi algebrica le scompone in un numero esiguo di sinusoidi; e talvolta dimostra che esse risultano di una sola sinusoide ampliata, oppure ampliata e smorzata, o appena leggermente alterata da un elemento aciclico transitorio. La loro variabilità dipende sopra tutto dal fatto che esse subiscono l'influenza delle vocali vicine; invece la variabilità individuale, interpretabile come fattore del timbro di voce, è relativamente esigua.

Prescindendo dunque dalle modificazioni dovute all'influenza esercitata dalle vocali vicine (influenza della quale ci occuperemo in altra Nota), diamo ora, allo scopo di mettere in luce gli elementi caratteristici delle singole voci, alcune dimostrazioni della variabilità delle semivocali pronunziate da voci simili, nella stessa parola, raccolte negli oscillogrammi e analizzate algebricamente, in modo da poter scindere in componenti semplici anche cicli singoli, tenendo conto degli spostamenti di fase.

La tavola XII riproduce i due oscillogrammi della semivocale *n* della stessa parola *nulla* pronunziata in condizioni estrinseche perfettamente identiche da due voci maschili molto simili tra loro, le cui frequenze fondamentali corrispondono rispettivamente a 266 e 284 cicli/secondo. Entrambi gli oscillogrammi dimostrano una evidente periodicità; ma l'andamento generale della curva è più uniforme per il soggetto 2 ⁽²⁾.

(1) Allo studio della struttura delle semivocali, come tali, per determinarne gli elementi costitutivi, abbiamo dedicato una Nota di prossima pubblicazione.

(2) Anche in questo paragrafo la numerazione convenzionale dei soggetti, nel testo, corrisponde a quella delle Tavole relative.

L'analisi eseguita secondo il metodo di FOURIER (figg. 72 e 73) dimostra infatti che per il soggetto 1 basta, a costituire la semivocale, un'onda sinusoidale di 266 cicli/secondo, alla quale si sovrapponga un elemento incostante che provochi la deformazione caratteristica dei cicli; mentre, per il soggetto 2, il profilo del ciclo caratteristico è determinato dall'interferire di due onde sinusoidali, l'una delle quali ha una frequenza di 284 cicli/secondo e l'altra corrisponde alla sua ottava superiore o prima armonica.

La tavola XII riproduce anche gli oscillogrammi della doppia semivocale (o semivocale prolungata e rinforzata) *ll*, della stessa parola *nulla*, pronunciata dai due precedenti soggetti. Le frequenze fondamentali

10 

Fig. 72. — Analisi secondo il metodo di FOURIER della curva oscillografica della semivocale « *n* », iniziale, precedente la vocale « *u* ». — Sogg. 1. Frequenza dell'onda sinusoidale = 266 cicli/secondo.

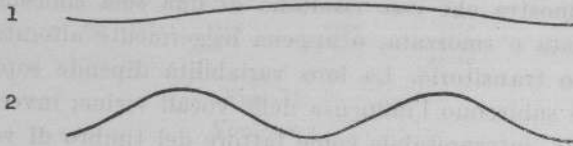


Fig. 73. — Analisi secondo il metodo di FOURIER di un ciclo della curva oscillografica della semivocale « *n* », iniziale, precedente la vocale « *u* ». — Sogg. 2. Frequenza fondamentale = 284 cicli/secondo.

si scostano di poco: 276 cicli/secondo per il soggetto 1; 263 per il soggetto 2. Il suono complesso corrispondente alla doppia *ll* possiede, in ognuno di questi due soggetti, un timbro proprio, che un orecchio esercitato rileva con sicurezza, senza poter precisare in che cosa consista. Non può confondersi, questo « timbro » rilevabile a orecchio, con la diversa altezza dei suoni; anzi tutto perchè la differenza quantitativa delle oscillazioni fondamentali nella unità di tempo è quanto mai esigua; e poi per un'altra ragione, che emerge dalle analisi algebriche delle due curve (figure 74 e 75): nel soggetto 1 l'onda fondamentale ha un'ampiezza così esigua, che l'analisi armonica non la può valutare; mentre essa dà valori considerevoli per la quarta e la quinta armonica e valori piccoli, ma pur rilevabili, per la prima, la sesta e la settima: dunque, in questa voce, esiste una periodicità di frequenza pari a 276 cicli/secondo (frequenza vicina a quella della voce presa a confronto); ma essa o è dovuta all'onda

base di ampiezza minima, oppure è dovuta semplicemente all'interferire delle altre onde più frequenti. L'onda della massima ampiezza, che ha una frequenza sei volte multipla della frequenza base, non ha riscontro

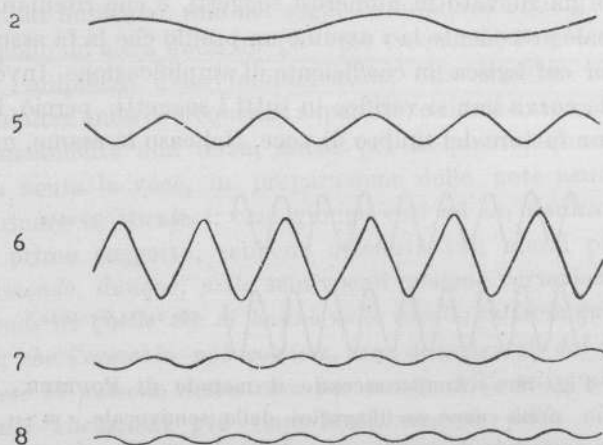


Fig. 74. — Analisi secondo il metodo di FOURIER di un ciclo della curva oscillografica della doppia semivocale «l», preceduta dalla vocale «u» e seguita dalla vocale «a». — Soggetto 1. Frequenza fondamentale = 276 cicli/secondo.

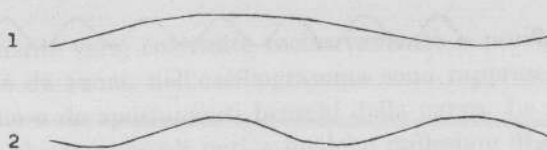


Fig. 75. — Analisi secondo il metodo di FOURIER di un ciclo della curva oscillografica della doppia semivocale «l», preceduta dalla vocale «u», e seguita dalla vocale «a». — Soggetto 2. Frequenza fondamentale = 263 cicli/secondo.

nella voce del soggetto 2, la cui curva ciclica risulta dall'interferire dell'onda fondamentale con la sua ottava, molto ampliata. Insomma, la doppia *ll* pronunciata da queste due voci nella stessa parola si distingue a orecchio, precisamente perchè — come l'analisi algebrica dimostra — essa è soggetta ad una variazione individuale indipendente dalla frequenza fondamentale e dalla intensità della voce; e perciò interpretabile come elemento del timbro; si tratta di suoni di altezza globale e di intensità sensibilmente uguali, ma diversi nella struttura.

Infine la tavola XII riproduce due porzioni di oscillogrammi della stessa parola *mito* pronunciata in identiche condizioni sperimentali da due

voci femminili, di cui una più grave e più intensa, l'altra più acuta e più debole. La curva oscillografica dimostra anzi tutto l'influenza che la vocale *i* esercita sulla semivocale che la precede: si tratta di un fenomeno che abbiamo già rilevato in numerosi soggetti, e che riteniamo costante; ogni semivocale precedente la *i* assume un profilo che la fa assomigliare ad una curva su cui agisca un coefficiente di amplificazione. Invece lo smorzamento della curva non si verifica in tutti i soggetti: perciò lo interpretiamo come un fattore del timbro di voce. Nel caso in esame, mentre l'am-

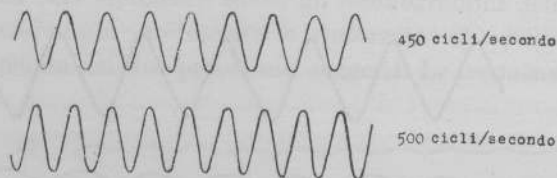


Fig. 76. — Analisi secondo il metodo di FOURIER della curva oscillografica della semivocale « *m* » iniziale di parola, precedente la vocale « *i* ». — Frequenza delle onde semplici = 450 e 500 cicli/secondo.

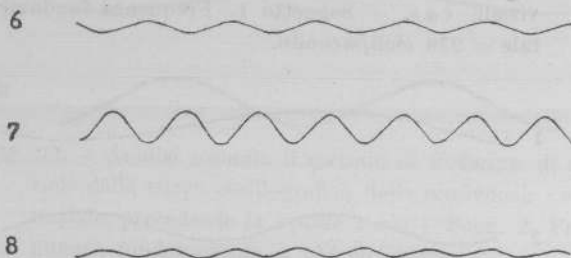


Fig. 77. — Analisi secondo il metodo di FOURIER della curva oscillografica della semivocale « *m* » iniziale di parola, precedente la vocale « *i* ». Frequenza dell'onda di massima ampiezza = 420 cicli/secondo.

plificazione si verifica per entrambi i soggetti, lo smorzamento si verifica solo per il soggetto dalla voce più acuta. L'analisi secondo FOURIER dimostra (figg. 76 e 77) che, per il soggetto dalla voce più acuta, la curva oscillografica si può scindere in due sinusoidi semplici, di ampiezza quasi equivalente e di frequenza poco discosta: 450 e 500 cicli/secondo; il battimento periodico determinato dal rapporto di frequenza fa sì che la curva in esame sia successivamente ampliata e smorzata. Per il soggetto dalla voce più grave l'analisi algebrica (fig. 77) dimostra che la curva oscillografica si può scindere in tre sinusoidi semplici, di frequenza pari a 360, 420, 480 cicli/secondo: la massima ampiezza corrisponde all'onda inter-

media (420 c/s). L'esempio ci sembra dimostrativo: voci diverse raggiungono lo scopo di emettere un suono complesso, che viene percepito come la semivocale *m* della parola *mito*; ma lo raggiungono con mezzi diversi, che tendono ad unificarsi: uno dei soggetti amplifica l'onda fondamentale e vi sovrappone un'altra onda un po' più frequente; l'altro riduce invece al minimo l'ampiezza della fondamentale, che sarebbe troppo grave; amplifica un'altra onda di frequenza superiore; e riesce ancora ad emetterne contemporaneamente una terza, ancor più frequente, quasi tentasse di rendere più acuta la voce, in preparazione delle note acute che serviranno a formare la vocale *i*: esso giunge così ad un risultato analogo a quello del primo soggetto, sebbene ottenuto con mezzi più complessi.

Riassumendo, dunque, nelle semivocali esistono variazioni individuali meno profonde di quelle che si hanno nelle vocali; tuttavia queste differenze individuali, che l'orecchio può cogliere, sono documentate dal metodo elettro-acustico; esse si possono dimostrare per mezzo dell'analisi algebrica, scindendole dalle variazioni più importanti, causate dalla vicinanza delle diverse vocali; e consistono essenzialmente in una maggiore o minore complessità strutturale delle curve periodiche, ossia in una maggior o minor ricchezza di onde semplici, che evidentemente corrispondono alle vibrazioni pendolari onde constano i medesimi fonemi emessi da diverse voci.

IV. — ELEMENTI DEL TIMBRO NELLE CONSONANTI VERE.

Le consonanti vere, costituite esclusivamente o prevalentemente da rumori anziché da suoni, nell'oscillogramma sono rappresentate da oscillazioni acicliche o da spostamenti bruschi della curva. Le esplosive mute non occupano che tempuscoli pari a qualche millesimo di secondo; per lo più la loro immagine oscillografica si riduce ad una rapida sfasatura dell'onda ciclica delle vocali che le accompagnano. Questa sfasatura può avere sulla curva ciclica effetto diverso, a seconda dell'ampiezza e della complessità della curva stessa; ma per sè medesima non offre alcun segno di variabilità individuale. Le esplosive semimute durano alquanto più a lungo; ma la loro curva non ha carattere di periodicità, nè differenze individuali. La *v* italiana, tipo di spirante sonora, si registra, nell'oscillogramma, con una curva sinusoidale, la cui frequenza fondamentale dipende dalla gravità o dalla acutezza di voce del soggetto, e corrisponde generalmente alla frequenza minima fondamentale delle vocali per il soggetto stesso. La vibrante *r* (che naturalmente si può considerare normale solo nei soggetti esenti di ogni traccia di rotacismo) appare negli oscillogrammi come una serie di onde di ampiezza minima e di frequenza elevata (da 5000 a 7000 cicli/secondo); ma incostanti e sovrapposte alle oscillazioni di maggiore ampiezza proprie delle vocali che la precedono e la seguono, così che questa consonante non occupa mai un tempo a sè.

La variabilità individuale rimane dunque da cercare solo nelle spiranti sorde. Queste si leggono, negli oscillogrammi delle sillabe o delle parole, come serie di spostamenti aciclici di ampiezza sempre notevolmente inferiore a quelle delle onde corrispondenti alle vocali e alle semivocali. La loro frequenza però è superiore non solo alle frequenze fondamentali delle vocali e delle semivocali, bensì anche ai sopratoni di ordine più elevato costituenti le vocali stesse. Così, ad esempio, la frequenza, cal-

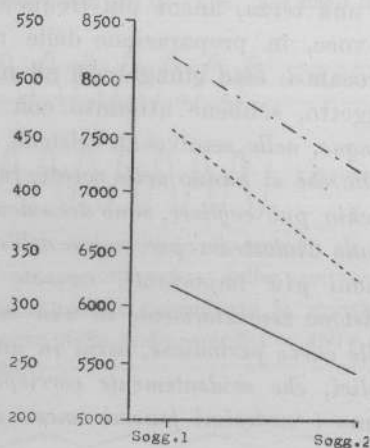


Fig. 78.

— Frequenza media fondamentale in cicli/secondo per le vocali (scala delle centinaia).

---- Frequenza media al secondo delle oscillazioni acicliche delle spiranti sorde « s », della parola « sasso » (scala delle migliaia).

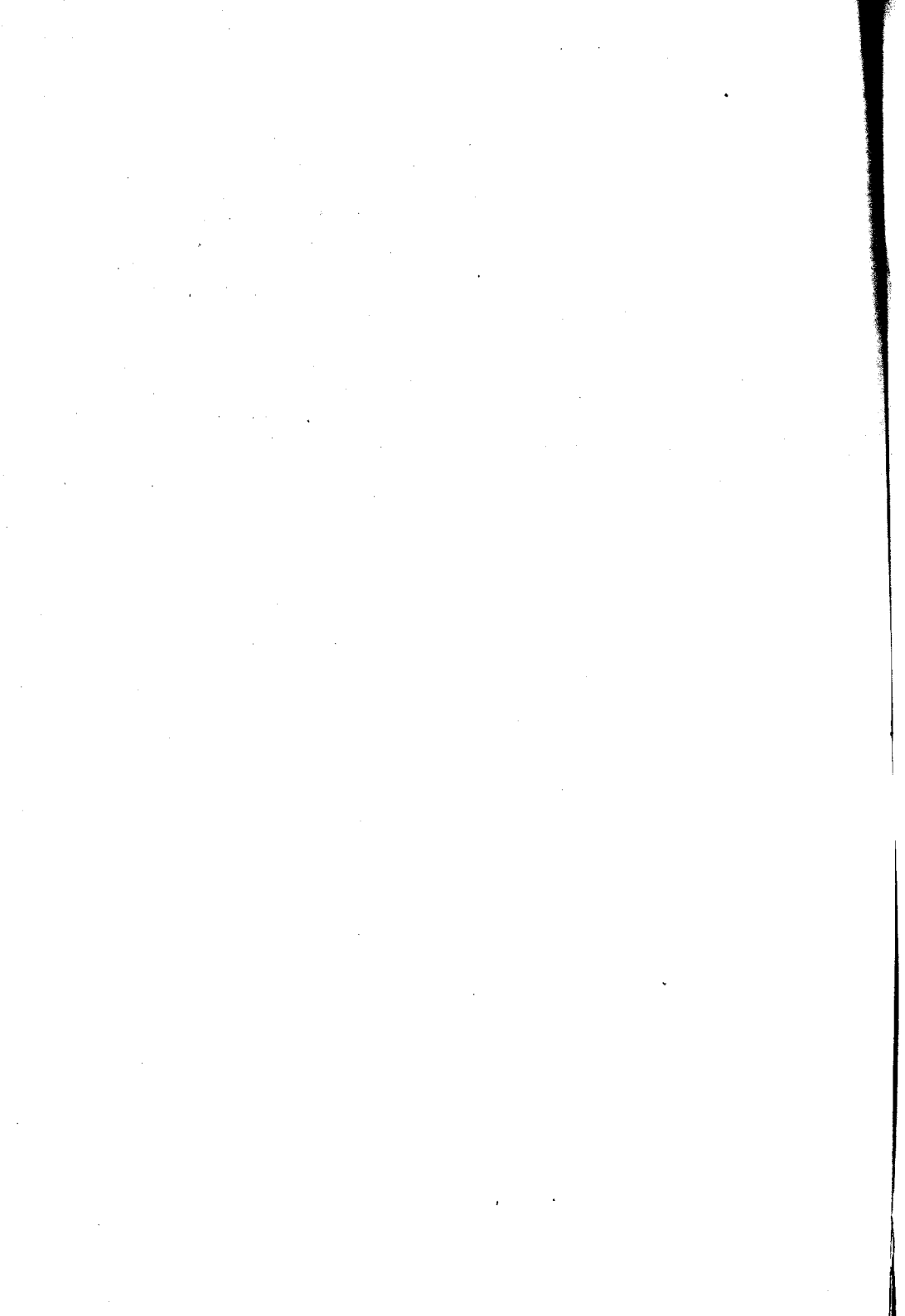
... Frequenza media al secondo delle oscillazioni acicliche della doppia « z », nelle parole « azzurro », « Arezzo » (scala delle migliaia).

colata in oscillazioni/secondo per le spiranti sorde *z* ed *s*, è costantemente superiore alla frequenza, calcolata in cicli/secondo, dei piccoli sopratoni caratteristici della vocale *i*. Ma ciò che maggiormente distingue la spirante sorda è il carattere di aperiodicità delle sue oscillazioni, che riflette, graficamente, il suo carattere acustico di rumore. Se si confronta, ad esempio, l'oscillogramma di una doppia *s* con quello di una *i* sussurrata a voce perfettamente afona dallo stesso soggetto (Tav. XIII) si vede subito che, nella vocale, sebbene priva delle onde di massima ampiezza, un certo carattere di periodicità permane, in quanto le piccole onde superstiti si somigliano tutte tra loro, quanto alla forma e alla durata; mentre quelle della doppia *s* non hanno più neppure questo residuo di periodicità.

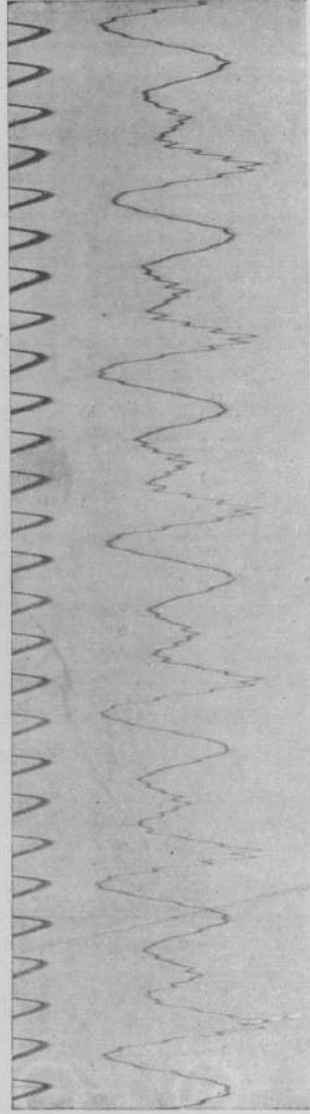
La variabilità individuale della frequenza delle oscillazioni acicliche delle spiranti sorde si comporta in maniera sensibilmente parallela a quella del tono di voce fondamentale medio misurabile sulle vocali. Ne diamo una dimostrazione nella fig. 78, dove sono messe in confronto le frequenze medie per le spiranti sorde *s* e *z* di due voci maschili simili tra loro, le cui frequenze medie per le vocali corrispondono rispettivamente a 317 e 243 cicli secondo.

Sembra dunque che il carattere acustico di rumore di questi fonemi annulli o almeno riduca ad un minimo impercettibile la loro influenza sul timbro di voce, così come, in confronto alle vocali, è minima la funzione delle consonanti sorde nella formazione del linguaggio.

Riassumendo, possiamo dire che, a causa del loro carattere acustico di rumori, le differenze individuali delle consonanti sorde sono minime; e perciò l'influenza delle consonanti vere sul timbro di voce è quasi impercettibile.



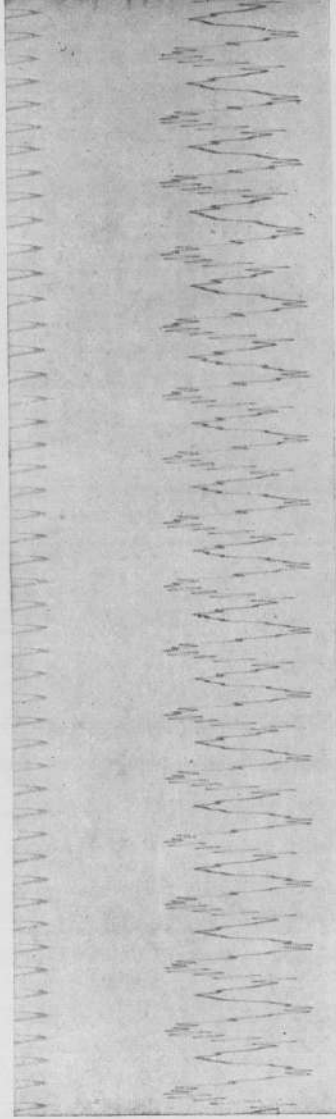
Variazioni del «profilo» della curva ciclica della vocale «i» per 6 voci maschili di diversa frequenza fondamentale ⁽¹⁾.



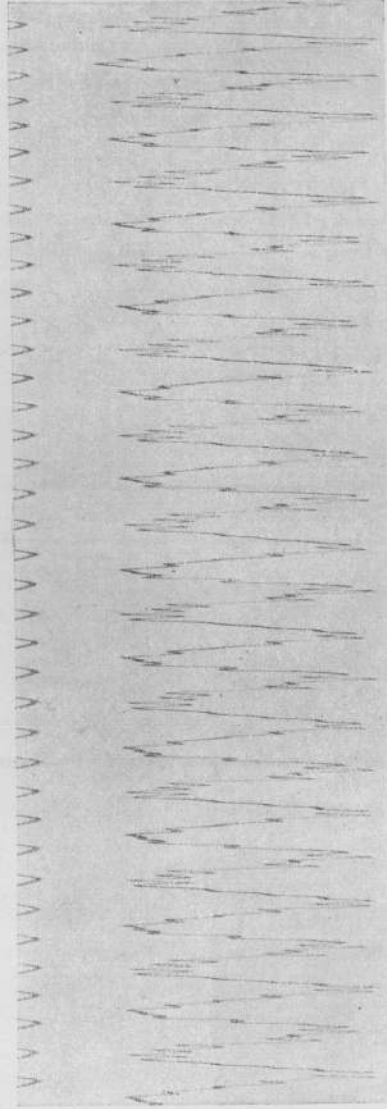
Sogg. 1. - (Freq. fond. = 240 cicli/sec.).



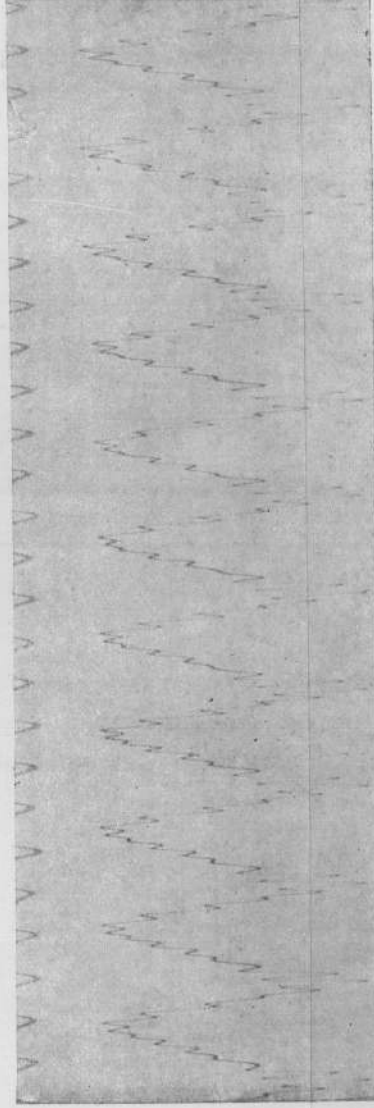
Sogg. 2. - (Freq. fond. = 312 cicli/sec.).



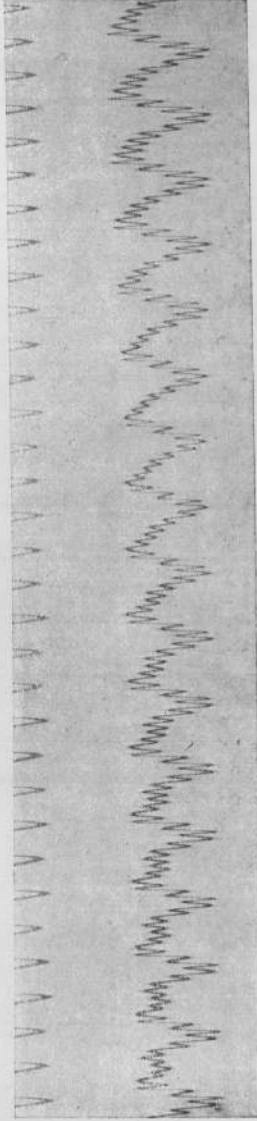
Sogg. 4. - (Freq. fond. = 360 cicli/sec.).



Sogg. 3. - (Freq. fond. = 380 cicli/sec.).



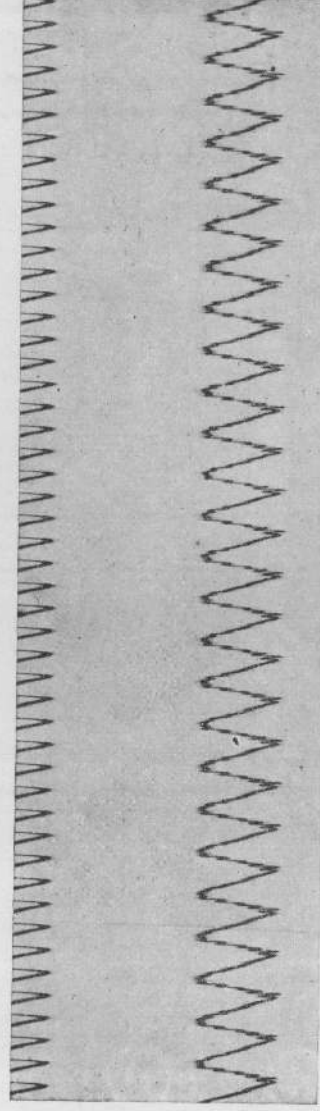
Sogg. 5. - (Freq. fond. = 435 cicli/sec.).



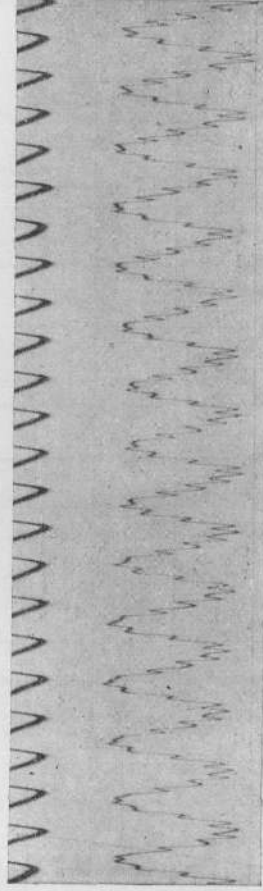
Sogg. 6. - (Freq. fond. = 508 cicli/sec.).

⁽¹⁾ Per quanto riguarda la numerazione convenzionale dei soggetti e la valutazione delle frequenze, si veda la nota ⁽¹⁾ a p. 73 del testo.

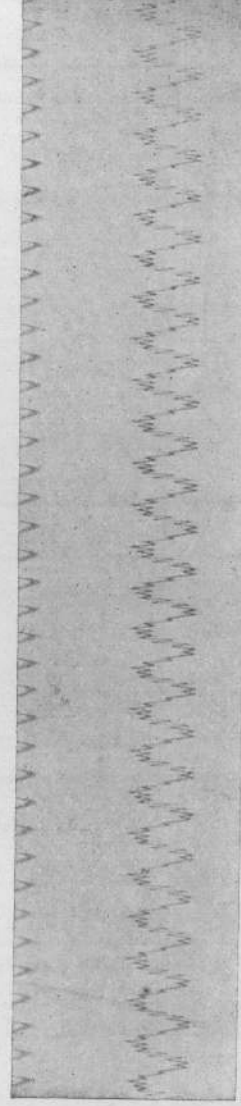
Variazioni del «profilo» della curva ciclica della vocale «i» per 4 voci femminili di diversa frequenza fondamentale.



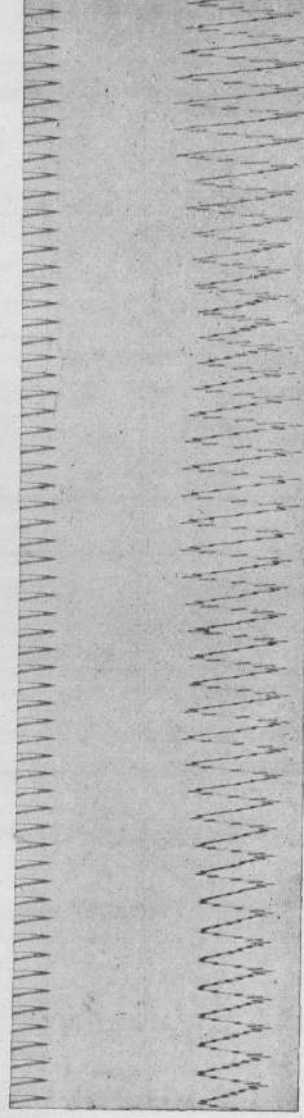
Sogg. 7. - (Freq. fond. = 548 cicli/sec.).



Sogg. 8. - (Freq. fond. = 576 cicli/sec.).

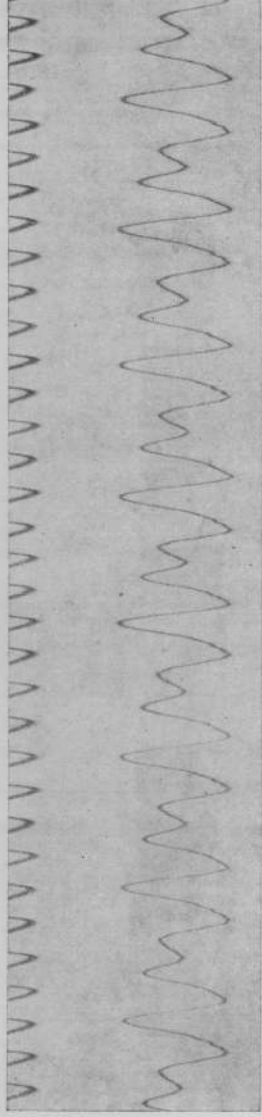


Sogg. 9. - (Freq. fond. = 672 cicli/sec.).



Sogg. 10. - (Freq. fond. = 732 cicli/sec.).

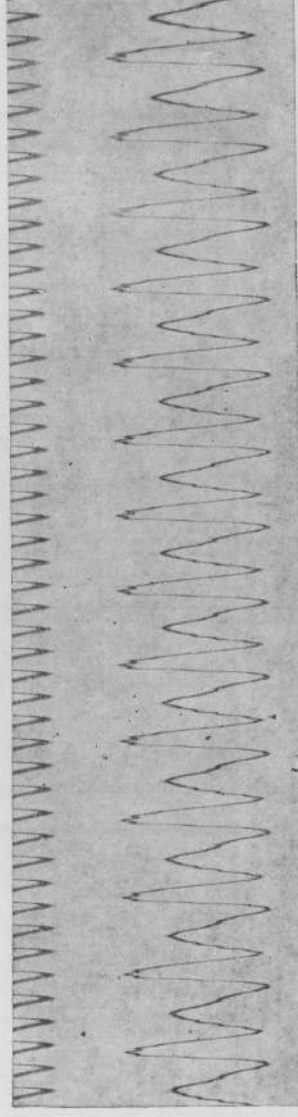
Variazioni del « profilo » della curva ciclica della vocale « u » per 6 voci maschili di diversa frequenza fondamentale.



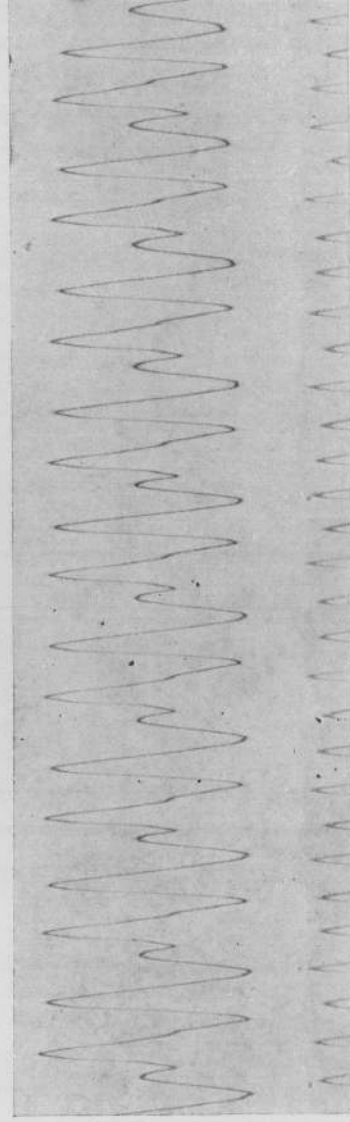
Sogg. 1. - (Freq. fond. = 255 cicli/sec.).



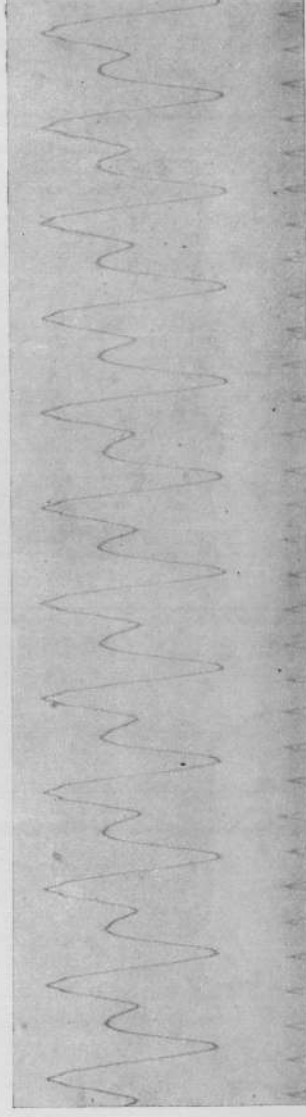
Sogg. 3. - (Freq. fond. = 284 cicli/sec.).



Sogg. 4. - (Freq. fond. = 300 cicli/sec.).



Sogg. 2. - (Freq. fond. = 308 cicli/sec.).

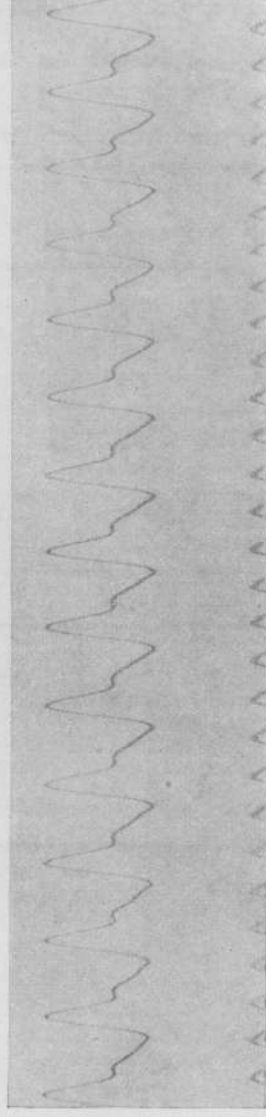


Sogg. 5. - (Freq. fond. = 368 cicli/sec.).

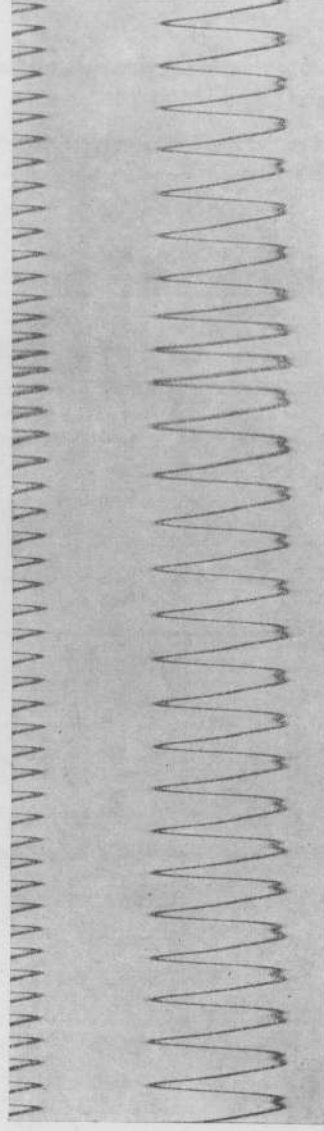


Sogg. 6. - (Freq. fond. = 500 cicli/sec.).

Variazioni del « profilo » della curva ciclica della vocale « u » per 4 voci femminili di diversa frequenza fondamentale.



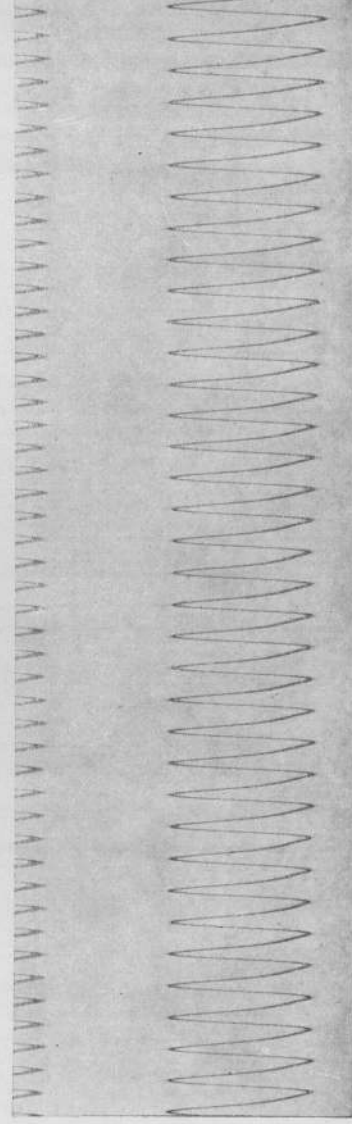
Sogg. 8. - (Freq. fond. = 492 cicli/sec.).



Sogg. 7. - (Freq. fond. = 533 cicli/sec.).

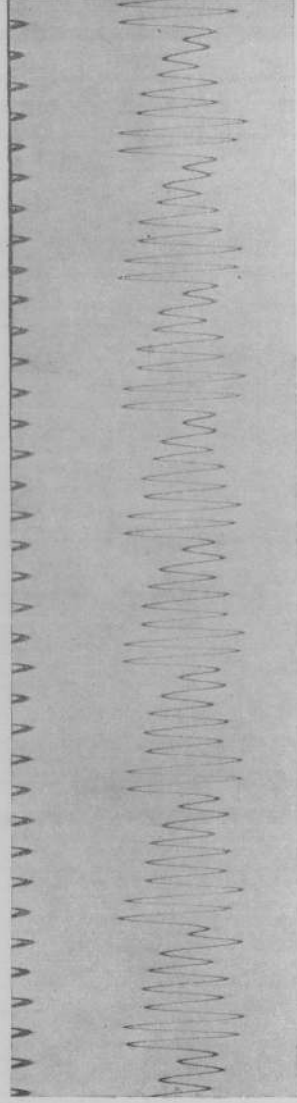


Sogg. 9. - (Freq. fond. = 631 cicli/sec.).

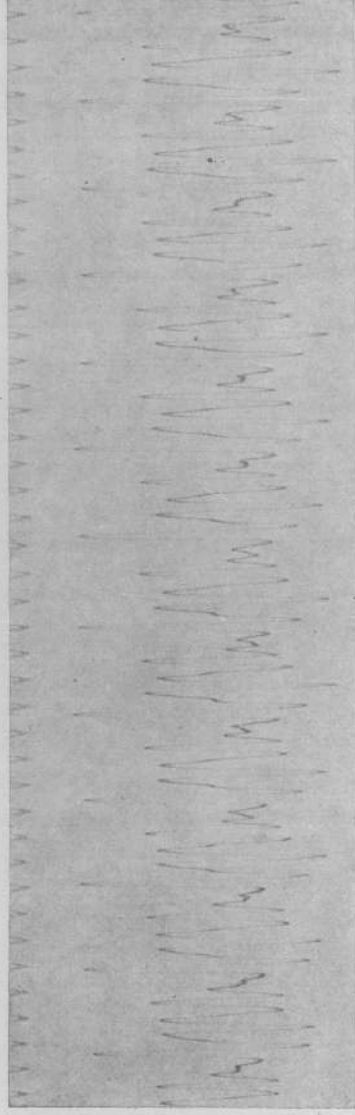


Sogg. 10. - (Freq. fond. = 724 cicli/sec.).

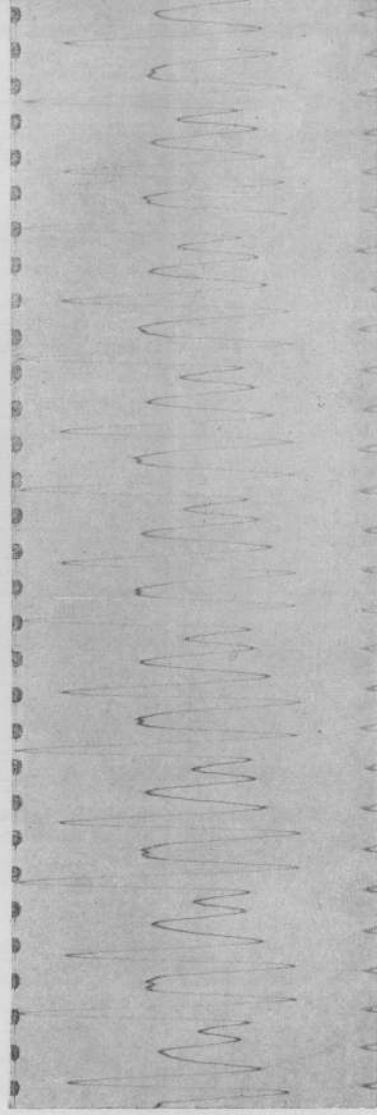
Variazioni del « profilo » della curva ciclica della vocale « a » per 6 voci maschili di diversa frequenza fondamentale.



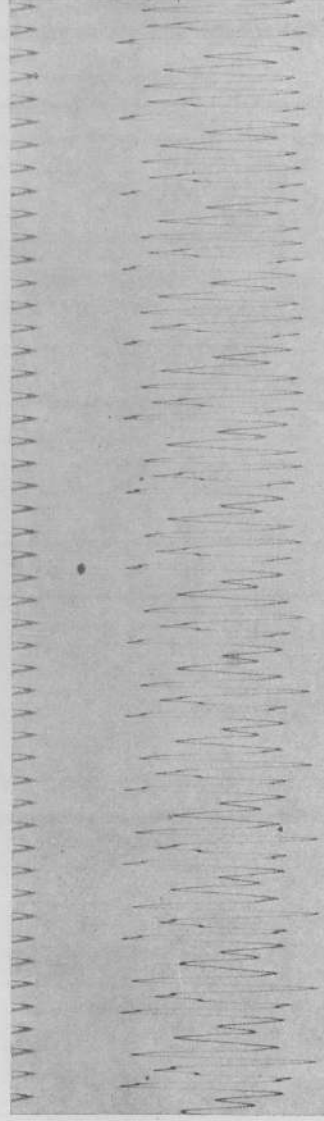
Sogg. 1. - (Freq. fond. = 235 cicli/sec.).



Sogg. 3. - (Freq. fond. = 288 cicli/sec.).



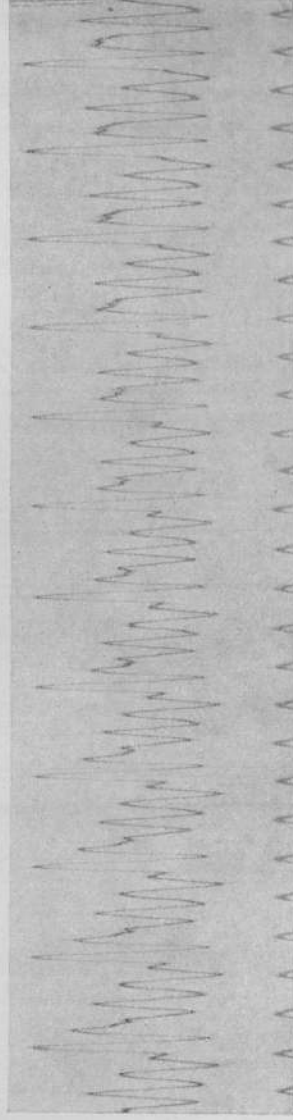
Sogg. 2. - (Freq. fond. = 308 cicli/sec.).



Sogg. 4. - (Freq. fond. = 312 cicli/sec.).



Sogg. 5. - (Freq. fond. = 380 cicli/sec.).

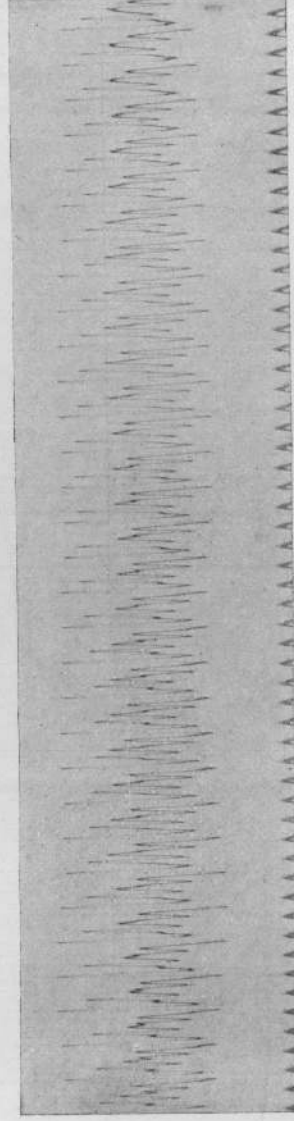


Sogg. 6. - (Freq. fond. = 432 cicli/sec.).

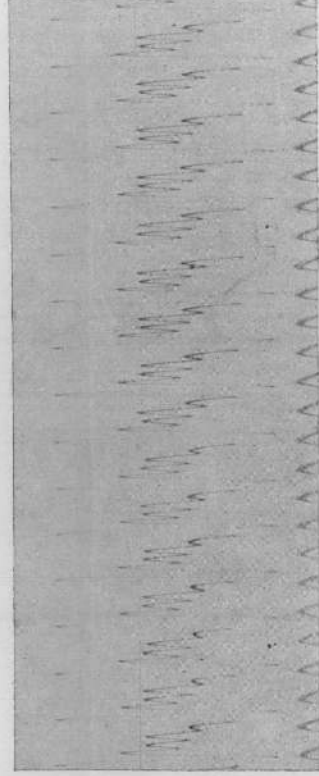
Variazioni del « profilo » della curva ciclica della vocale « a » per 4 voci femminili di diversa frequenza fondamentale.



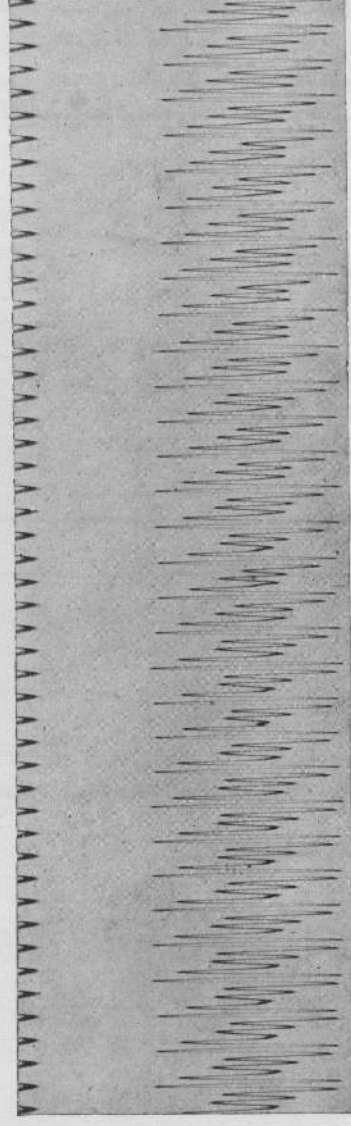
Sogg. 7. - (Freq. fond. = 468 cicli/sec.).



Sogg. 8. - (Freq. fond. = 572 cicli/sec.).

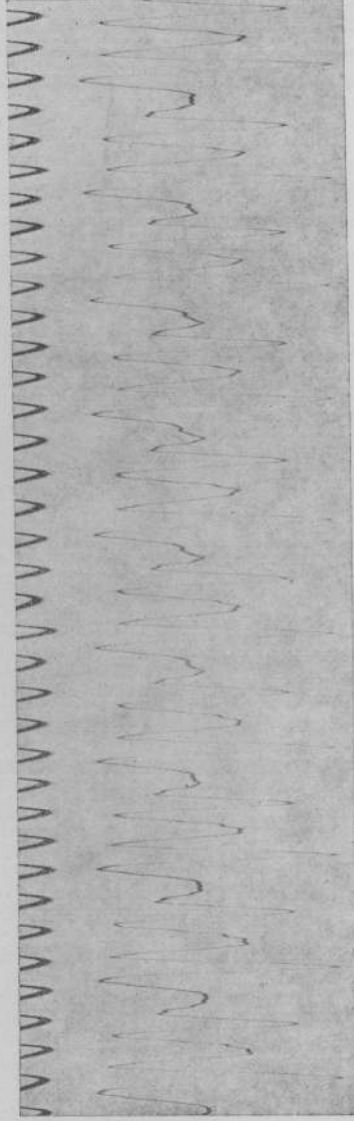


Sogg. 9. - (Freq. fond. = 616 cicli/sec.).

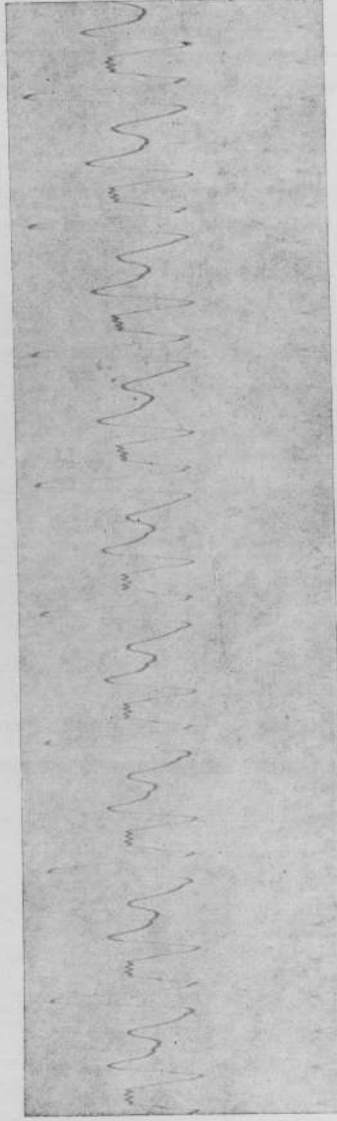


Sogg. 10. - (Freq. fond. = 652 cicli/sec.).

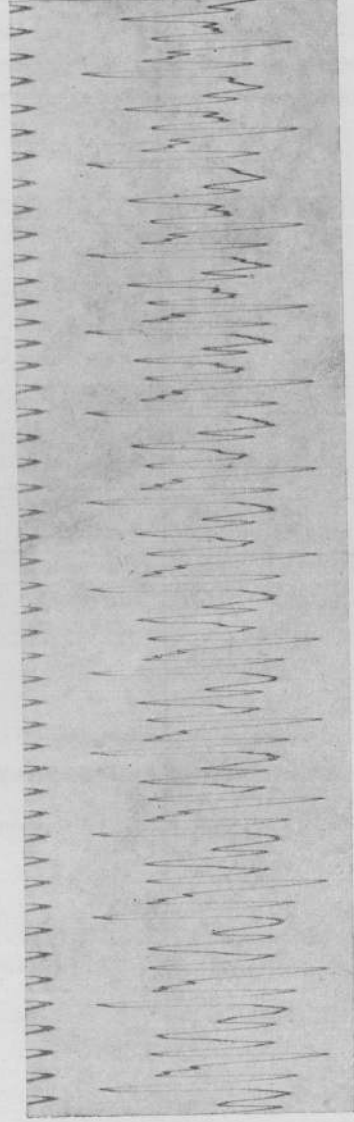
Variazioni del « profilo » della curva ciclica della vocale « o » per 6 voci maschili di diversa frequenza fondamentale.



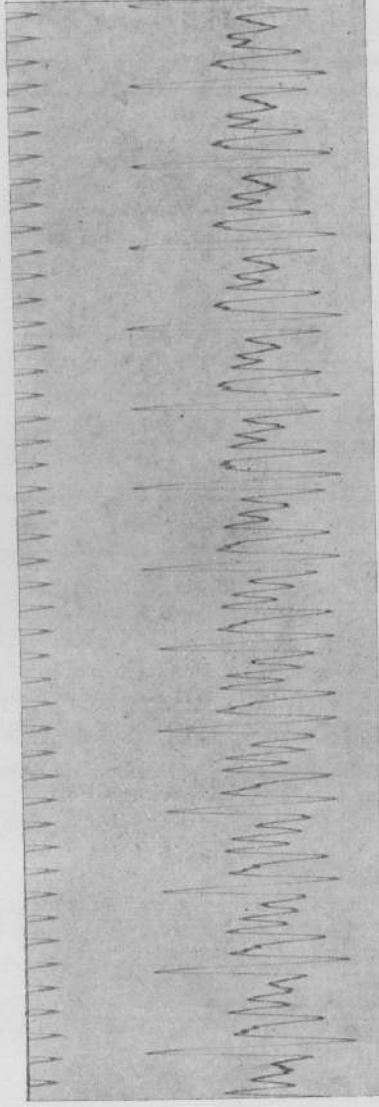
Sogg. 1. - (Freq. fond. = 277 cicli/sec.).



Sogg. 2. - (Freq. fond. = 280 cicli/sec.).



Sogg. 4. - (Freq. fond. = 288 cicli/sec.).



Sogg. 3. - (Freq. fond. = 300 cicli/sec.).

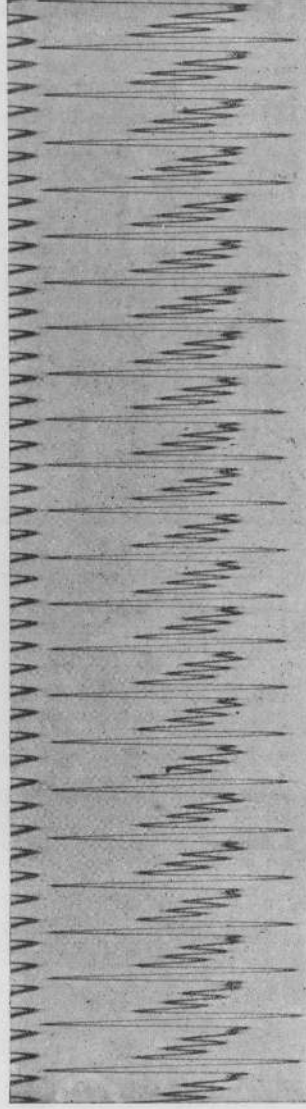


Sogg. 5. - (Freq. fond. = 380 cicli/sec.).



Sogg. 6. - (Freq. fond. = 444 cicli/sec.)

Variazioni del « profilo » della curva ciclica della vocale « o » per 4 voci femminili di diversa frequenza fondamentale.



Sogg. 7. - (Freq. fond. = 484 cicli/sec.).



Sogg. 8. - (Freq. fond. = 544 cicli/sec.).



Sogg. 9. - (Freq. fond. = 584 cicli/sec.).



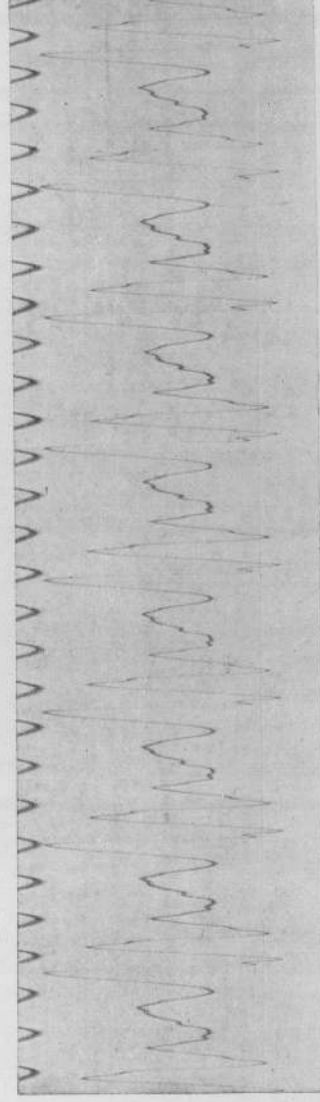
Variazioni del « profilo » della curva ciclica della vocale « e » per 6 voci maschili di diversa frequenza fondamentale.



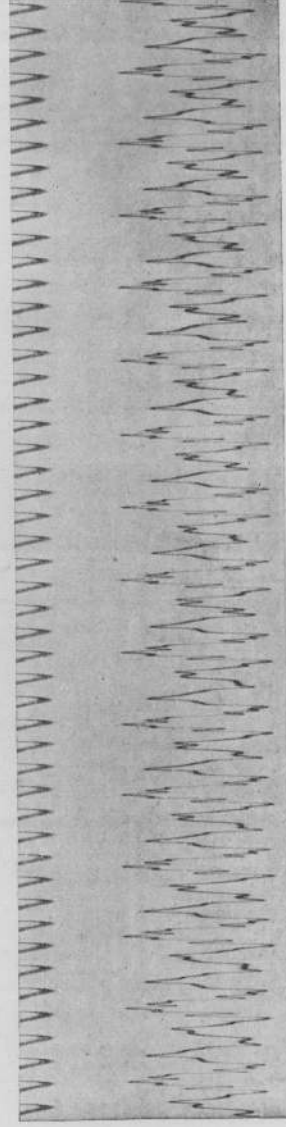
Sogg. 3. - (Freq. fond. = 256 cicli/sec.).



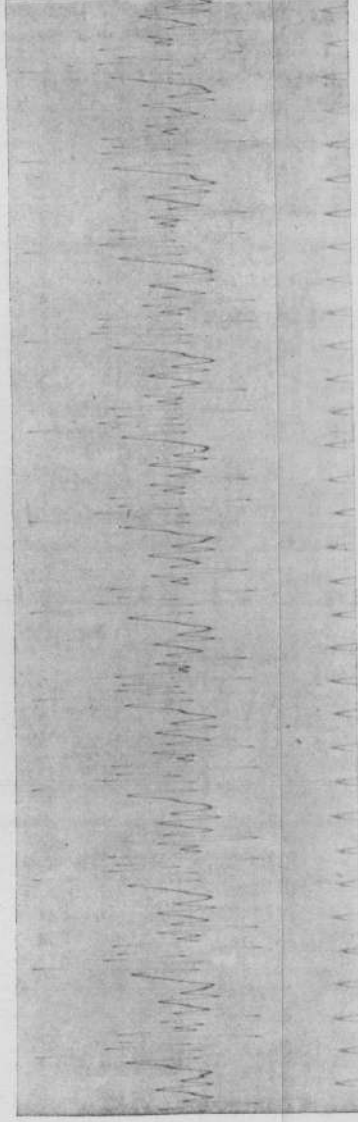
Sogg. 2. - (Freq. fond. = 292 cicli/sec.).



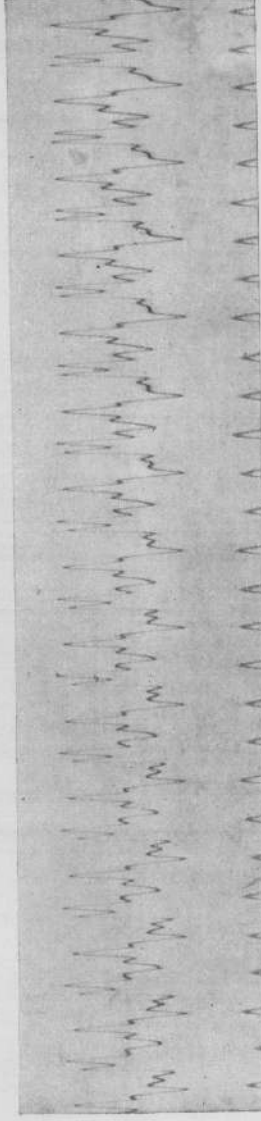
Sogg. 1. - (Freq. fond. = 294 cicli/sec.).



Sogg. 4. - (Freq. fond. = 320 cicli/sec.).

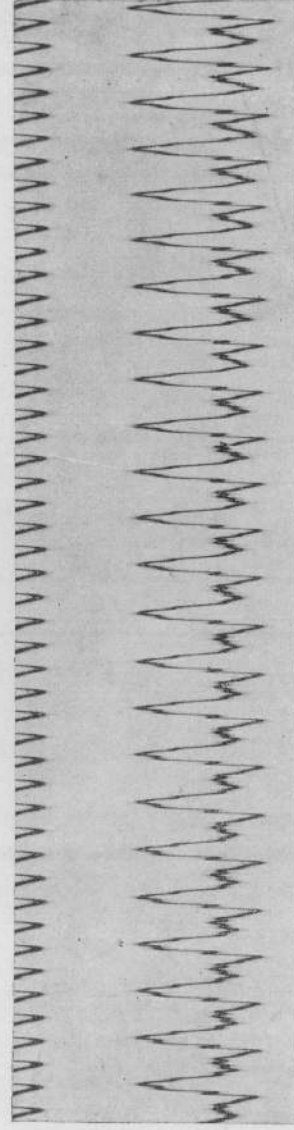


Sogg. 5. - (Freq. fond. = 370 cicli/sec.).



Sogg. 6. - (Freq. fond. = 496 cicli/sec.).

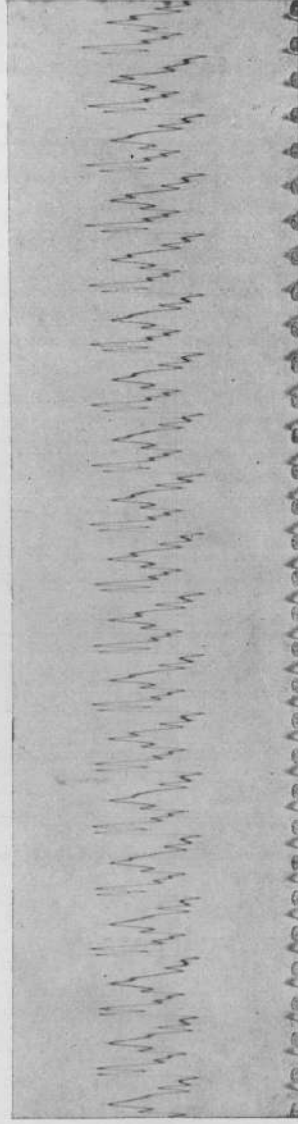
Variazioni del «profilo» della curva ciclica della vocale «e» per 3 voci femminili
di diversa frequenza fondamentale.



Sogg. 7. - (Freq. fond. = 488 cicli/sec.).



Sogg. 8. - (Freq. fond. = 528 cicli/sec.).



Sogg. 9. - (Freq. fond. = 529 cicli/sec.).

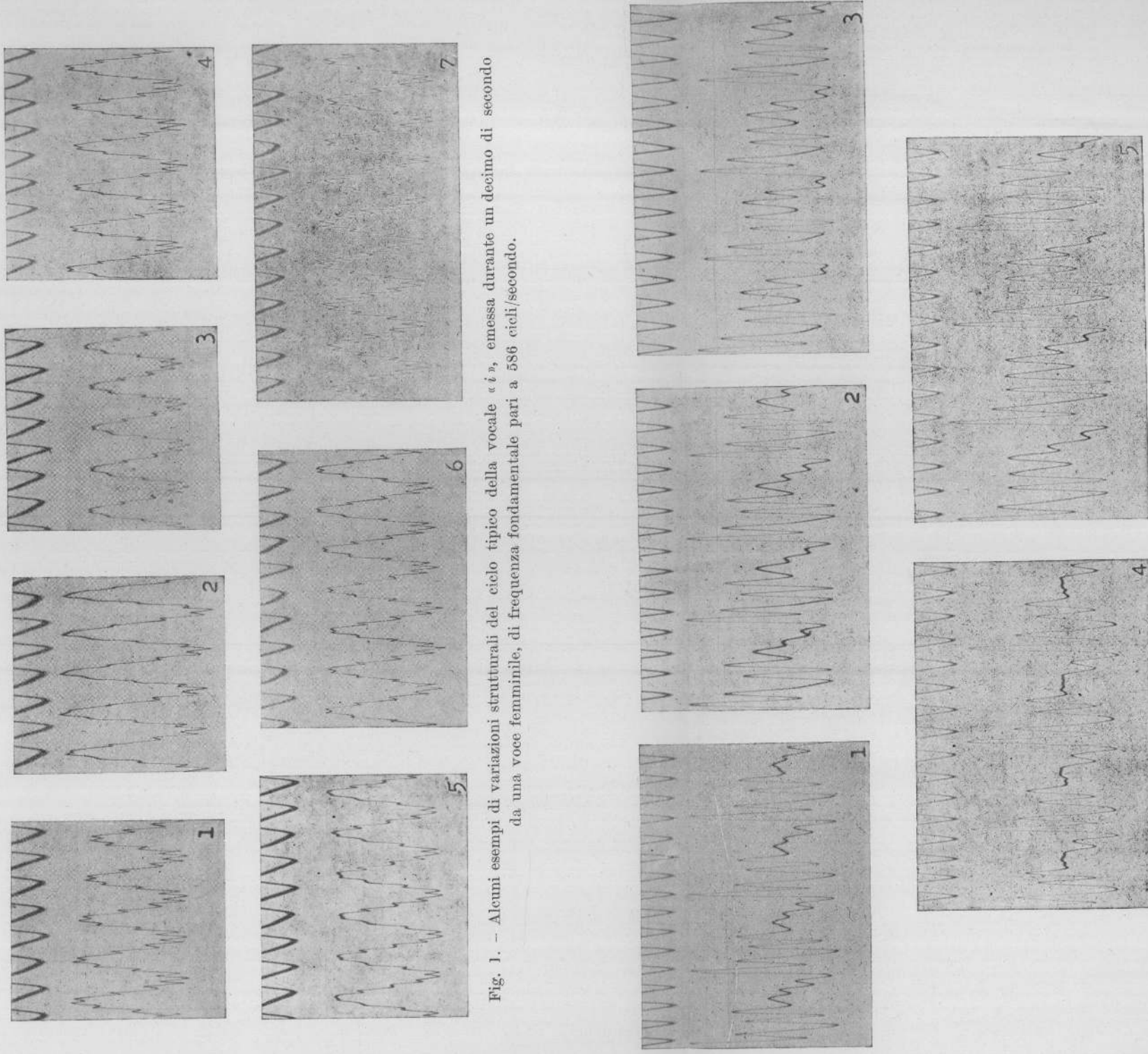


Fig. 1. — Alcuni esempi di variazioni strutturali del ciclo tipico della vocale «i», emessa durante un decimo di secondo da una voce femminile, di frequenza fondamentale pari a 586 cicli/secondo.

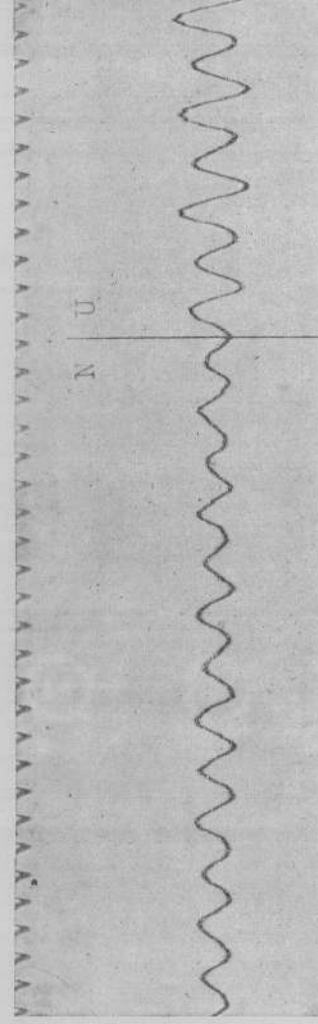


Fig. 1. - Oscillogramma della semivocale « *N* » iniziale della parola « nulla », pronunciata da una voce maschile (sogg. 1). Frequenza fondamentale = 266 cicli/secondo.

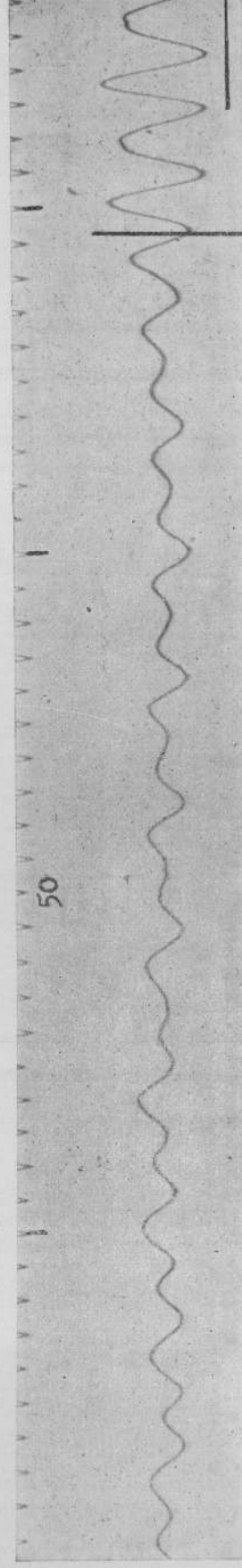


Fig. 2. - Oscillogramma della semivocale « *N* », iniziale della parola « nulla », pronunciata da una voce maschile (sogg. 2). Frequenza fondamentale = 284 cicli/secondo.

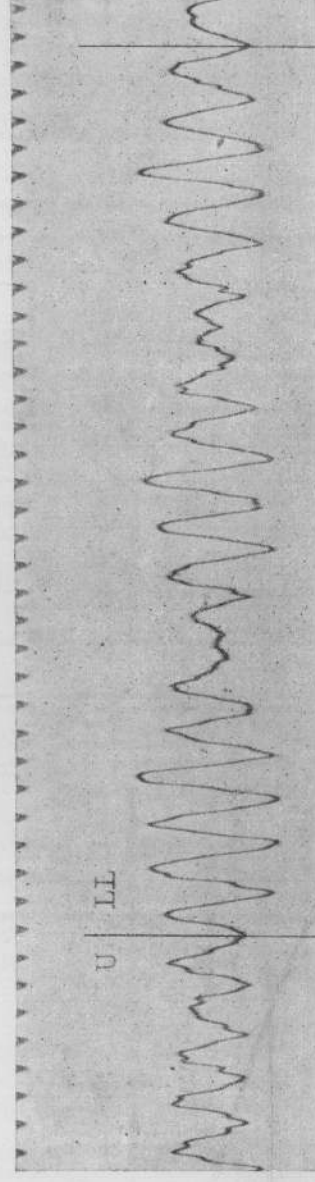


Fig. 3. - Oscillogramma della doppia semivocale « *L* », pronunciata dal sogg. 1 nella parola « nulla ». Frequenza fondamentale = 276 cicli/secondo.

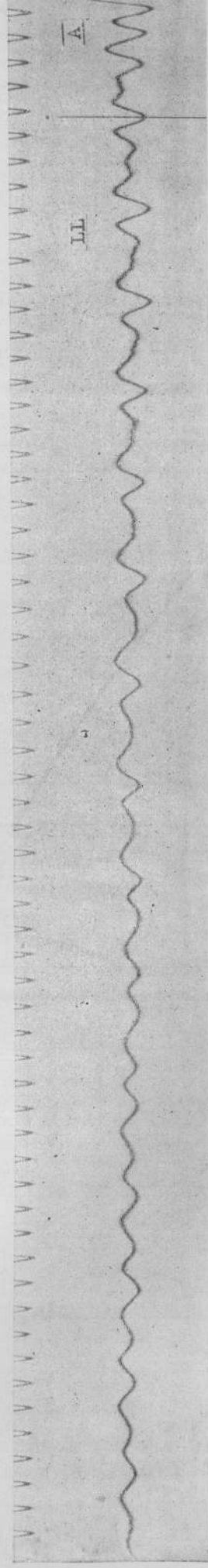


Fig. 4. - Oscillogramma della doppia semivocale « *L* », pronunciata dal sogg. 2 nella parola « nulla ». Frequenza fondamentale = 263 cicli/secondo.

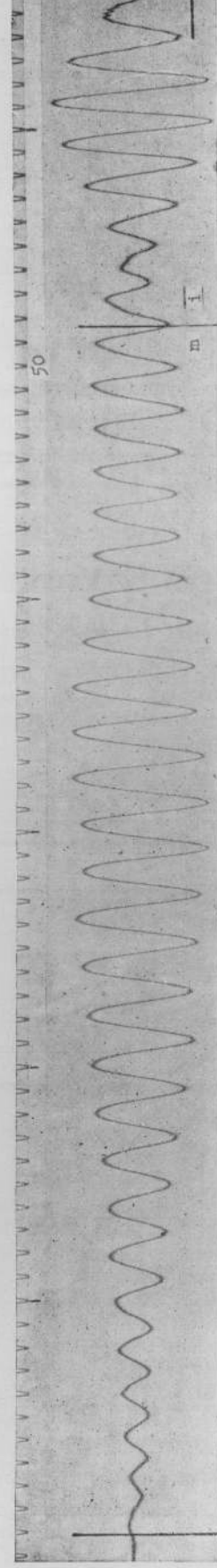


Fig. 5. - Oscillogramma della semivocale « *M* », pronunciata da una voce femminile (frequenza fondamentale = 450 cicli/secondo) nella parola « mito ».

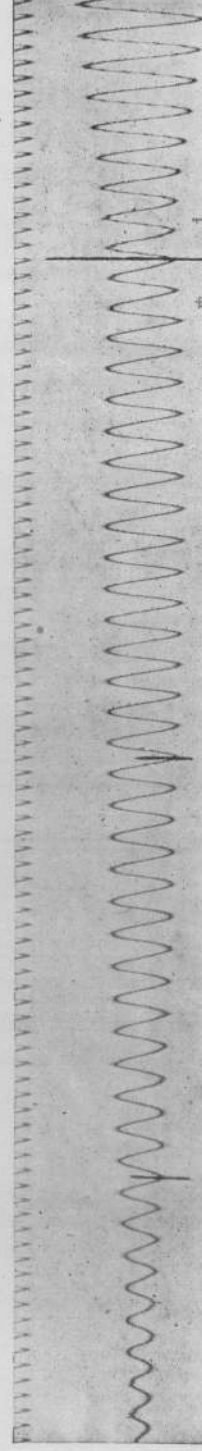


Fig. 6. - Oscillogramma della semivocale « *M* », pronunciata da altra voce femminile (frequenza fondamentale = 360 cicli-secondo) nella parola « mito ».

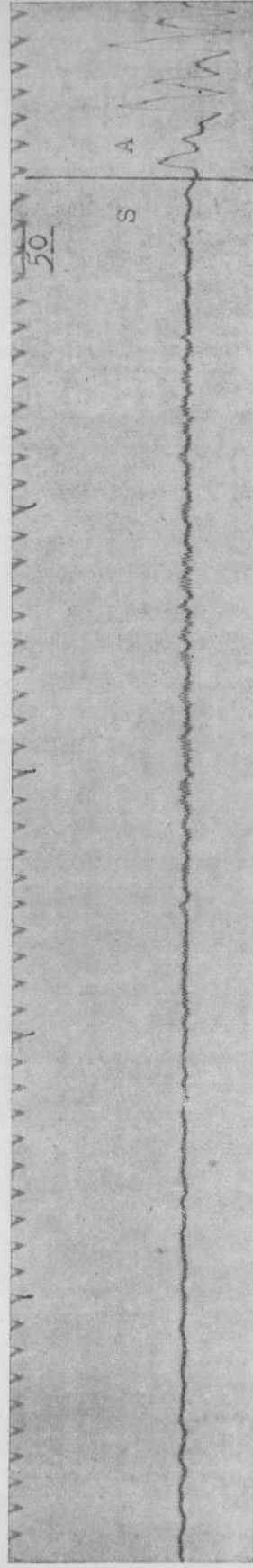


Fig. 1. - Oscillogramma della spirante sorda « s » iniziale della parola « sasso » pronunciata da voce maschile.

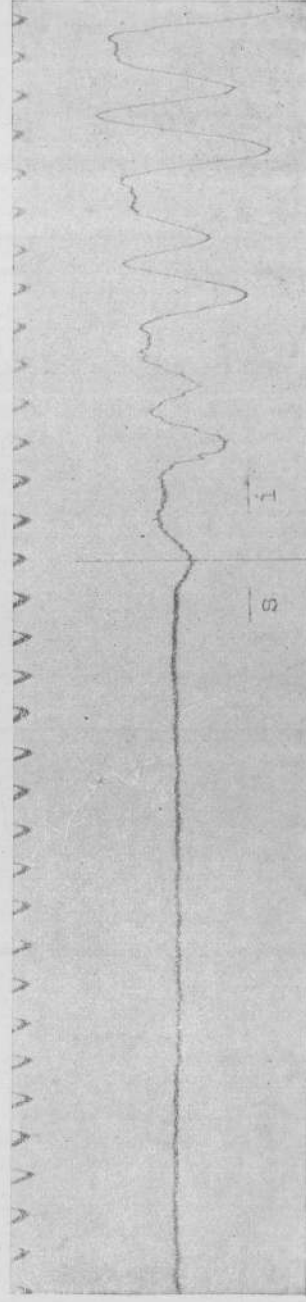


Fig. 2. - Oscillogramma della spirante sorda « s » iniziale della sillaba « si » pronunciata dalla stessa voce.

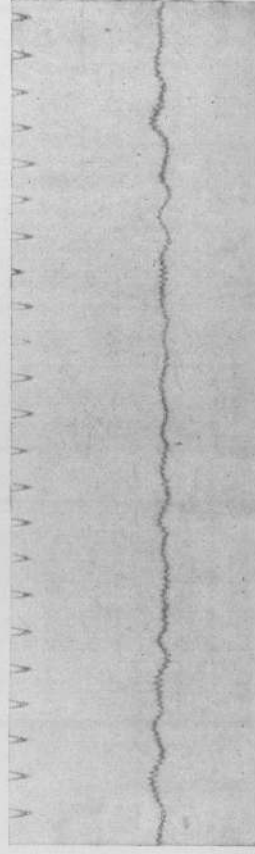


Fig. 3. - Oscillogramma della vocale « i » sussurrata dalla stessa voce, in modo completamente afono.

Prezzo : L. 15.