

II.4. ANATOMOFISIOLOGIA DELL'APPARATO DI RISONANZA E DI ARTICOLAZIONE

M. Accordi, W. De Colle

L'apparato di articolazione e risonanza è costituito da quell'insieme di strutture e cavità poste al di sopra delle corde vocali che, nella loro diversa e variabile conformazione, determinano una modificazione spettrale del suono originatosi da una sorgente (risonanza) e/o sono esse stesse sorgente di suoni (più precisamente rumori) come si verifica nella produzione delle consonanti (articolazione). Le stesse strutture anatomiche dunque possono operare in modo *passivo* modificando un suono prodotto, nel caso specifico della voce, dalla sorgente glottidea (vocali), o in modo *attivo* generando rumori (consonanti) che a loro volta possono essere modificati nel loro contenuto spettrale. Le due funzioni quindi agiscono in modo sinergico e/o sequenziale consentendo ad un generico segnale acustico l'acquisizione di contenuti informativi (fonemi).

A brevi cenni di anatomia, invitando i lettori a maggiori approfondimenti in testi specializzati ^{6 9 10}, seguirà più esaurientemente la tematica relativa alla funzione di risonanza del tratto vocale sopraglottico.

ANATOMIA

L'apparato di risonanza e articolazione o tratto vocale sopraglottico comprende le cavità e strutture anatomiche che si estendono dalle corde vocali escluse alle labbra con inserimento in parallelo del naso ed annessi. È costituito dunque dal ventricolo di Morgagni, le corde false, il vestibolo laringeo, la faringe (distinta in ipofaringe, orofaringe e rinofaringe), la cavità orale, le cavità nasali ed i seni paranasali (Fig. 1).

Il **ventricolo laringeo** o **del Morgagni** è un diverticolo disposto orizzontalmente, delimitato inferiormente dalla corda vocale vera e superiormente dalla plica ventricolare o corda vocale falsa. Lateralmente si insinua fino al legamento elastico ed al muscolo tiro-aritenoideo, mentre anteriormente presenta un'appendice più o meno estesa che può ritenersi omologa ai sacchi laringei di alcune scimmie. Lo spazio ventricolare, virtuale a riposo, si modifica nel corso dei diversi tipi di fonazione (frequenza di emissione, presenza di voce vibrata, variazioni di intensità) e secondo

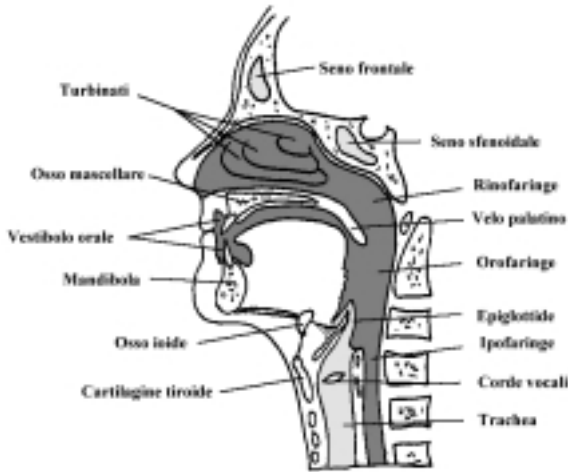


Fig. 1.

Apparato di risonanza e articolazione.

Van den Berg ¹¹ funge da filtro passa-basso nei confronti del suono sorgente laringeo.

La **corda vocale falsa**, estesa dall'angolo diedro della cartilagine tiroidea alla cartilagine aritenoide, è una plica mucosa formata da connettivo lasso e pochissime fibre muscolari; il suo margine libero con l'analogo controlaterale delimita la rima del vestibolo.

Il **vestibolo laringeo** è delimitato anteriormente dalla faccia posteriore dell'epiglottide, lateralmente dalla faccia mediale delle pliche ari-epiglottiche e posteriormente dalla faccia anteriore della piega interaritenoidea.

Faringe

È un canale muscolo-membranoso, impari e mediano, che si estende dalla base cranica, in alto, alla trachea ed esofago in basso. Posto al davanti dei corpi vertebrali cervicali, da cui è separato dalla fascia prevertebrale e da sottile tessuto connettivo lasso, abbraccia nella sua porzione inferiore la laringe, comunica in avanti con le fosse nasali attraverso le coane e con la cavità orale mediante l'istmo delle fauci, e lateralmente, attraverso la tuba di Eustachio, con la cavità del timpano. È costituita da tre strati: mucosa, lamina fibroelastica e tonaca muscolare. In particolare la tonaca muscolare è formata da sei muscoli per ogni lato, distinti in intrinseci ed estrinseci. I muscoli intrinseci, o costrittori in quanto hanno la funzione di ridurre il calibro faringeo con azione sfinterico-peristaltica, sono rappresentati dal costrittore superiore, medio ed inferiore. I muscoli estrinseci agiscono invece da elevatori della faringe aumentandone i diametri (muscoli elevatori). Sono costituiti dal muscolo stilo-faringeo, salpingofaringeo e palatofaringeo.

La faringe ha una lunghezza di 12-14 cm ed è suddivisa in:

- *Rinofaringe o epifaringe* (4-5 cm): estendendosi dalla base del cranio al margine inferiore del palato molle, ricca di tessuto linfatico, soprattutto nel bam-

bino (tonsilla faringea), comunica in avanti con le fosse nasali attraverso le coane e lateralmente, mediante l'ostio tubarico e la tuba di Eustachio, con la cassa timpanica. Il palato molle (o velo palatino) è l'unica parete molle e mobile del rinofaringe. Come struttura muscolo-membranosa che prolunga indietro la volta palatina, consta di due pilastri per parte che si riuniscono a livello dell'ugola: i *pilastri anteriori* (o palatoglossi) che dalla base dell'ugola si portano alla base della lingua, e i *pilastri posteriori* (o palatofaringei) che sempre dalla base dell'ugola si tendono fino alle pareti laterali della faringe. Fra i due pilastri si circoscrive la fossa tonsillare che accoglie la tonsilla palatina. Lo spazio delimitato dai due pilastri anteriore e posteriore di un lato ed i corrispondenti dell'altro lato è definito *istmo delle fauci*, comunicazione fra cavità orale e porzione media della faringe (orofaringe). Il velo palatino, con la partecipazione dei muscoli delle pareti laterali e raramente posteriori del rinofaringe (muscolo costrittore superiore), costituisce un'unità anatomico-funzionale (sfintere velofaringeo) preposta alla chiusura della comunicazione fra oro e rinofaringe. È formato da due lamine elastiche (aponeurosi palatine) che anteriormente prendono inserzione sul bordo libero della lamina orizzontale dell'osso palatino, da quattro muscoli pari e da uno impari (muscolo dell'ugola).

Il muscolo dell'ugola (o m. azigos o m. palato-stafilino) prende inserzione sul bordo posteriore dell'aponeurosi fibrosa; contraendosi accorcia brevemente l'ugola, ma è di scarso significato nell'occlusione velofaringea.

I muscoli pari sono rappresentati da:

- *Muscoli elevatori del velo palatino*: si inseriscono in alto sulla piramide del temporale, anteriormente all'ingresso del canale carotideo. Portandosi in basso e medialmente si inseriscono sulla faccia posteriore dell'aponeurosi palatina; nella loro azione elevano e spostano posteriormente il velo e, prendendo punto fisso in basso, durante la deglutizione, aprono l'orificio tubarico.
- *Muscoli tensori del velo palatino*: originano dalla spina angolare dello sfenoide, dalla fossa scafoidea e dalla porzione cartilaginea della tuba. Le fibre muscolari si continuano con un tendine che riflettendosi a livello dell'uncino pterigoideo si dispone orizzontalmente per distribuirsi infine sul terzo superiore del velo. I muscoli hanno la funzione di tendere ed elevare il palato molle e, con i loro fasci mediali, dilatare la tuba uditiva.
- *Muscoli palatoglossi*: sono contenuti negli omologhi pilastri prendendo origine in alto nell'aponeurosi palatina, ed in basso sul setto e margini linguali. Benché potenzialmente in grado di abbassare il palato molle, non sembra abbiano una importante azione nei movimenti velari.
- *Muscoli palatofaringei*: contenuti nei pilastri posteriori originano in alto, oltre che dall'aponeurosi palatina, dalla porzione mediale della tuba uditiva e dall'uncino pterigoideo, ed in basso si inseriscono sulle pareti laterali e posteriori della faringe. Nella loro azione avvicinano i pilastri posteriori, restringendo l'istmo delle fauci, innalzano la faringe, allargano la tuba uditiva ed, unitamente al muscolo elevatore del velo, restringono in senso antero-posteriore lo sfintere velo-faringeo.

La normale funzionalità dello sfintere velofaringeo, in cui il velo palatino rappresenta l'elemento più importante per la sua notevole mobilità, è essenziale nel

permettere alcuni atti fisiologici quali la deglutizione, la suzione, la respirazione, il soffio, lo sbadiglio, l'apertura della tuba uditiva, ed in particolare l'articolazione-risonanza come vedremo di seguito.

- *Orofaringe o mesofaringe* (4 cm): o porzione media della faringe, è delimitata in alto dalla superficie inferiore del velo palatino ed in basso da un piano orizzontale che passa per l'osso ioide. Corrisponde all'istmo delle fauci e mostra in avanti la base linguale, lateralmente la piega del pilastro palatino posteriore con annessa fossa tonsillare e tonsilla palatina, mentre posteriormente corrisponde alla fascia cervicale profonda a livello della II e III vertebra cervicale. Nell'orofaringe è localizzato gran parte dell'anello linfatico di Waldeyer costituito dalla tonsilla linguale, palatine, tubariche e posteriormente dalla tonsilla faringea.
- *Ipfaringe* (5 cm): corrisponde ai corpi della III, IV, V e VI vertebra cervicale quindi dal margine superiore dell'epiglottide al margine inferiore della cartilagine cricoidea. In avanti presenta in alto l'epiglottide, in mezzo l'aditus laringeo (delimitato da epiglottide, pliche ariepiglottiche, aritenoidi e plica interaritenoidica) e posteriormente la faccia posteriore delle cartilagini aritenoidiche e cricoidea e i muscoli interaritenoidici. Ai lati dell'aditus laringeo si approfondano le docce faringolarinee o seni piriformi che abbracciano la prima parte della laringe e nel cui fondo è reperibile il nervo laringeo superiore.

Cavità nasali e seni paranasali

Le cavità nasali comprendono il vestibolo nasale e le fosse o cavità nasali propriamente dette.

Il *vestibolo del naso* è limitato lateralmente dalla cartilagine alare, medialmente dalla cartilagine del setto ed inferiormente dal ramo mediale della cartilagine alare. Si apre all'esterno attraverso le narici e posteriormente, mediante un orificio a triangolo allungato, comunica con la fossa nasale.

Le *fosse nasali* si presentano come due canali lunghi e stretti che in avanti si aprono nel vestibolo ed indietro, attraverso le coane, nel rinofaringe. La loro parete mediale è formata dal setto nasale, lamina osseo cartilaginea liscia formata nella sua parte supero-posteriore dalla lamina perpendicolare dell'etmoide, in quella infero-posteriore dall'osso vomere, e nella sua parte anteriore dalla cartilagine quadrangolare. Il pavimento è costituito dal processo palatino del mascellare e dal processo orizzontale dell'osso palatino posteriormente. La parete superiore o volta, procedendo dall'avanti all'indietro, risulta formata dalle due cartilagini laterali che medialmente si congiungono con la quadrangolare, dalle ossa proprie del naso, dalla spina nasale del frontale, dalla lamina cribrosa dell'etmoide e dalla faccia anteriore ed inferiore del corpo sfenoidale. La parete laterale infine corrisponde, in senso antero-posteriore, alla parete mediale dei seni mascellari, alle masse laterali dell'etmoide ed all'osso palatino. In essa si ritrovano i tre cornetti o turbinati che circondano i rispettivi meati. Il turbinato medio e superiore appartengono all'etmoide, mentre l'inferiore è una struttura a se stante.

I *seni paranasali* sono cavità pari indovate nella compagine di alcune ossa del cranio:

- *seno frontale*: è situato nella parte inferiore dell'osso frontale; di volume variabile, ma in media di 4,5 cm³, comunica con il meato medio attraverso il canale fronto-nasale;
- *seno mascellare*: grossa cavità scavata nell'osso mascellare con un volume medio 11-12 cm³; comunica con la fossa nasale nel meato medio mediante il canale mascellare;
- *cellule etmoidali*: piccole cavità in numero medio di 7-9 situate nelle masse laterali dell'etmoide; sono distinte in un gruppo anteriore ed uno posteriore e si aprono con numerosi piccoli orifici rispettivamente nel meato medio ed in quello superiore;
- *seno sfenoidale*: cavità a forma di cubo delimitata dalla controlaterale da un sottile setto osseo, si situa nel corpo dello sfenoide. Ha una capacità media di 5-6 cm ed è in rapporto anteriormente con le fosse nasali, posteriormente con la base cranica, superiormente con l'ipofisi e fossa cranica media, inferiormente con il rinofaringe. Anteriormente è in comunicazione con l'estremo posteriore della volta della cavità nasale.

Cavità orale

È una cavità ovoidale a maggior asse antero-posteriore delimitata da sei pareti.

- *Parete anteriore*: costituita dal labbro superiore ed inferiore che delimitano la rima orale. I numerosi muscoli che costituiscono il loro strato muscolare (orbicolare della bocca, compressore delle labbra, m. quadrato del labbro superiore ed inferiore, m. incisivo del labbro superiore ed inferiore, m. canino del labbro superiore, m. buccinatore, m. zigomatico, m. triangolare, m. risorio), conferiscono alle labbra una ricca mobilità di fondamentale importanza nella masticazione, fonazione, mimica, articolazione.
- *Parete superiore*: è costituita dal palato duro formato dai processi palatini dei mascellari e dai processi orizzontali delle ossa palatine; anteriormente e lateralmente da entrambi i lati è delimitato dall'arcata alveolo-dentaria superiore.
- *Parete posteriore*: costituita dal velo palatino.
- *Parete inferiore*: o pavimento della bocca, è costituita dal piano muscolare dei muscoli sottolinguali e sottomandibolari, ed in particolare al muscolo miloioideo. Delimitata in avanti e lateralmente dal corpo della mandibola e posteriormente dall'osso ioide, divide la cavità orale dalla regione sopraioidea.
- *Pareti laterali*: sono costituite dalle guance limitate internamente dal fornice vestibolare in cui la mucosa si continua con quella gengivo-alveolare, posteriormente dal pilastro palato-glosso ed anteriormente si continuano con le labbra.

Le *arcate alveolo-dentarie*, a forma di ferro di cavallo, una superiore ed una inferiore, sono formate dai processi alveolari del mascellare e della mandibola, e dai denti. Esse suddividono il cavo orale in due compartimenti: il vestibolo, più esterno e stretto, e la cavità orale propriamente detta, più interna ed ampia. I due compartimenti comunicano attraverso gli spazi retrodentali situati posteriormente all'ultimo dente.

Il *vestibolo* è uno spazio praticamente virtuale che termina con il fornice vesti-

bolare; sulla linea mediana presenta due frenuli, superiore ed inferiore, che uniscono ciascun labbro alle arcate dentarie.

Lingua

Organo muscolare ricoperto da mucosa, dotato di notevole mobilità e quindi validamente adibito alle funzioni di presa degli alimenti, masticazione, formazione del bolo alimentare, deglutizione ed articolazione; inoltre è sede dell'organo del gusto. Ha forma di cono e comprende una parte anteriore o *corpo* ed una posteriore o *radice* (o base lingua); il limite fra le due porzioni è indicato da un solco a forma di V aperto in avanti (*solco terminale*).

Il corpo linguale si dispone orizzontalmente ad occupare completamente la cavità orale. Si distingue una superficie superiore (*dorso della lingua*) ed una inferiore che prende contatto con il pavimento orale. Il dorso linguale sulla linea mediana presenta un solco, più o meno evidente, che divide la lingua in due metà e termina posteriormente, all'apice del solco terminale, in una fossetta (forame cieco o foro di Morgagni), vestigia dello sbocco del dotto tiro-glosso. Ricordiamo inoltre, sulla superficie superiore, la presenza delle papille gustative (circumvallate, foliate, fungiformi e filiformi), sede di boccioli gustativi.

La faccia inferiore poggia sul pavimento orale cui è ancorata da una plica mucosa (frenulo della lingua).

La base o radice della lingua si dispone invece verticalmente, dietro il V linguale, e presenta una sola faccia libera, quella supero-posteriore o faringea. Posteriormente dalla radice si dipartono tre pliche che la uniscono all'epiglottide (*pliche glosso-epiglottiche*); le pliche circoscrivono le due *vallecole glosso-epiglottiche*. Tale connessione obbliga l'epiglottide a seguire la radice linguale nei suoi movimenti, come ad esempio nella deglutizione in cui la spinta indietro della lingua contribuisce all'abbassamento dell'epiglottide verso l'adito laringeo.

La lingua è un potente organo muscolare, dotato di estrema mobilità e della possibilità di assumere diverse forme conservando il medesimo volume. Alcuni Autori contano nella lingua ben 21 muscoli distinti in *estrinseci* ed *intrinseci*. Rimandiamo ai testi già citati per chi volesse approfondire la fine anatomia degli stessi, limitandoci in tal sede alla sola nomenclatura.

I muscoli estrinseci (in numero di 17: 8 pari ed 1 impari) hanno fasci che raggiungono la lingua partendo da strutture viciniori: genio-glosso, io-glosso, condroglosso, stilo-glosso, palato-glosso, faringo-glosso, amigdaloglosso, longitudinale superiore (impari e mediano), longitudinale inferiore.

I muscoli intrinseci corrono nel corpo linguale senza particolari inserzioni esterne alla lingua; sono in numero di 4 (2 muscoli pari): trasverso e verticale.

FISIOLOGIA

Sono già state ricordate alcune funzioni del tratto vocale sopraglottico, quali la funzione respiratoria, alimentare (comprensiva della suzione, masticazione e deglutizione), la funzione olfattiva e gustativa, di depurazione, riscaldamento ed umidifi-

cazione dell'aria inspiratoria, la funzione mimica. Nell'ambito della comunicazione verbale il vocal tract è invece preposto alle due funzioni di articolazione e risonanza. L'articolazione è la produzione attiva di un segnale acustico complesso aperiodico (rumore) grazie ai diversi ostacoli che l'aria espirata incontra nel suo passaggio attraverso le cavità sovraglottiche variamente conformate all'uopo. Questi rumori possono sostituirsi (consonanti sorde) o sommarsi ad un suono complesso periodico generato a livello glottideo (consonanti sonore). La risonanza invece è intesa come modificazione delle caratteristiche spettrali di un segnale acustico complesso (periodico o aperiodico) generato da una sorgente e l'esempio più semplice è costituito dalla produzione delle vocali. Potremmo schematicamente considerare che l'articolazione sta alla parola come la risonanza alla voce, ma le due funzioni si integrano a vicenda consentendo ad un suono l'acquisizione di contenuti informativi. Un esempio è fornito dalla produzione della consonante nasale [n] in cui oltre ad una vibrazione delle corde vocali (consonante sonora), gli organi articolatori si dispongono in modo da determinare una occlusione (articolazione alveolare o dentale) (consonante occlusiva), con abbassamento del velo palatino per cui l'aria sonorizzata fuoriesce dalle cavità nasali conferendo al prodotto acustico una risonanza nasale ⁷.

Tralasciando le problematiche relative al luogo e modo di produzione delle consonanti, argomento di studio della fonetica articolatoria, ci rivolgiamo in particolare alla produzione della voce e quindi alle modalità di risonanza del tratto vocale.

Il segnale acustico prodotto dalla vibrazione cordale (segnale glottico o segnale sorgente) è un suono complesso quasi periodico caratterizzato dunque da una frequenza fondamentale (f_0), responsabile della percezione dell'altezza, e da una serie di componenti o armoniche di frequenza multiplo intero della fondamentale. Ad una rappresentazione spettrale (spettro di potenza con in ascissa la frequenza ed in ordinata l'intensità o energia) il segnale glottico si presenta con una serie di picchi, corrispondenti alle armoniche, che diminuiscono progressivamente in altezza, cioè di intensità, all'aumentare della frequenza. La diminuzione di intensità è di circa 12 dB per ogni raddoppio della frequenza (12 dB/oct) ³. Nell'emissione delle diverse vocali queste caratteristiche si mantengono, con una certa approssimazione, simili.

Lo spettro di potenza del segnale verbale corrispondente (cioè del segnale registrato a livello delle labbra) si presenta invece con gli stessi picchi armonici, ma la cui intensità è variabile in relazione a diverse zone frequenziali ed alla diversa vocale emessa. In Figura 2 sono riportati gli spettri del segnale glottico e verbale corrispondente della vocale [a].

Le zone frequenziali a maggior energia sono le *Formanti* indicate progressivamente con F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , ecc. Le Formanti, definite in termini di frequenza, ampiezza e larghezza di banda (1), rappresentano le caratteristiche di risonanza del condotto vocale ².

Sono queste zone a massima energia che conferiscono all'indistinto segnale

(1) La larghezza di banda è definita come l'intervallo frequenziale che include la frequenza della formante e quelle frequenze in cui si ha una attenuazione di 3 dB rispetto al massimo di intensità. La larghezza di banda è tanto maggiore quanto più alta è la frequenza della formante.

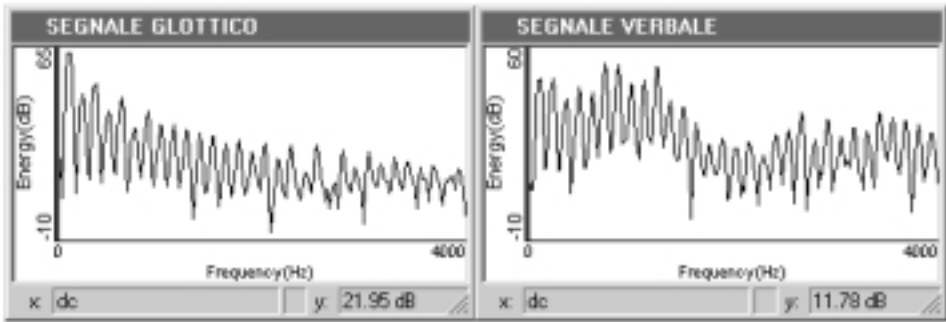


Fig. 2. Spettro di potenza del segnale glottico (a sinistra) e del corrispondente segnale verbale (a destra).

glottico un contenuto informativo. Nelle figure 3 e 4 si riportano rispettivamente l'inviluppo spettrale, ottenuto con metodica LPC, con indicate le formanti delle 5 vocali fondamentali italiane di un maschio adulto, e lo spettrogramma a finestra corta corrispondente, con sovrapposti le tracce delle frequenze formantiche ¹.

Se percettivamente il segnale glottico si presenta come prodotto acustico del tutto indistinto, il segnale verbale, con le sue zone frequenziali a diversa energia, e per la relazione fra esse, è riconosciuto come suono distintivo, a contenuto comunicativo. E ciò avviene non solo per segnali complessi periodici, ma anche aperiodici come nel caso della voce sussurrata o della voce alaringea del laringectomizzato tota-

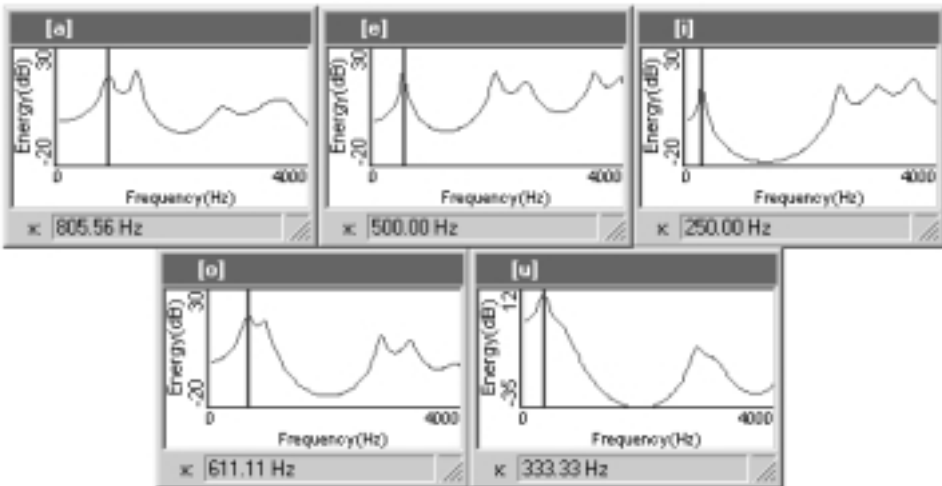


Fig. 3. Inviluppo delle cinque vocali fondamentali italiane.

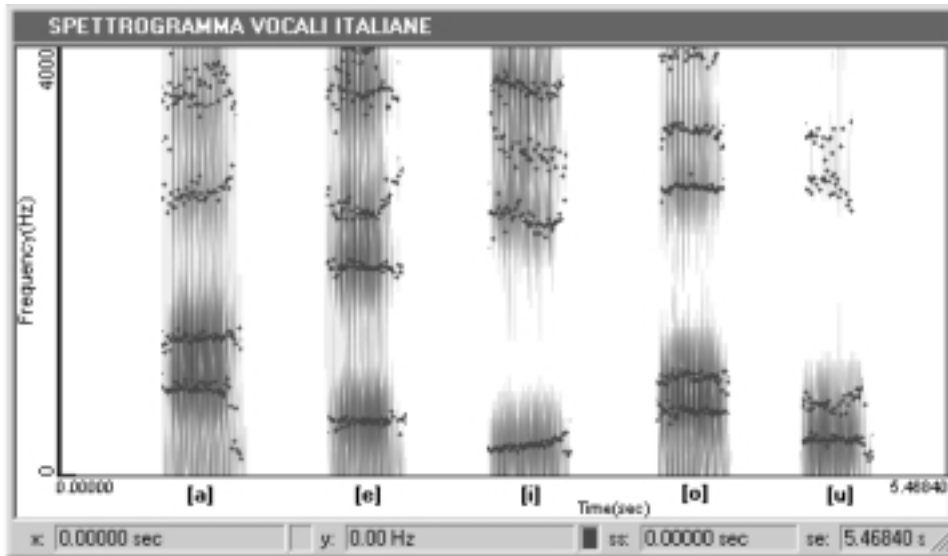


Fig. 4.

Spettrogramma a finestra corta con sovrapposto l'andamento temporale delle frequenze formantiche delle cinque vocali fondamentali italiane.

le. Non è superfluo tuttavia precisare che nella risonanza l'apparato funziona sempre in modo passivo limitandosi alla modificazione di un segnale sorgente che anche nel caso del laringectomizzato totale origina da uno sfintere vibrante in modo più o meno periodico (neoglottide).

Il condotto vocale è un particolare tipo di risuonatore (o filtro), chiuso da un lato (a livello della glottide) ed aperto dall'altro (a livello di labbra e/o narici); grazie alla notevole mobilità di alcune sue componenti (labbra, mandibola, lingua, velo palatino), la sua lunghezza e volume sono estremamente *variabili* e quindi è in grado di modificare le proprie frequenze di risonanza.

Nel caso più semplice e nella produzione di una vocale neutra in cui il condotto vocale è considerato privo di costrizioni, lo stesso può essere approssimato ad un singolo tubo di sezione uniforme chiuso da un lato ed aperto dall'altro. Se la lunghezza del tubo è di 17,5 cm (dimensioni del condotto vocale di un maschio adulto), le frequenze formantiche possono essere teoricamente calcolate con semplici formule matematiche che forniscono i seguenti risultati:

$$F_1 = 500 \text{ Hz}$$

$$F_2 = 1500 \text{ Hz}$$

$$F_3 = 2500 \text{ Hz}$$

cioè le frequenze di risonanza sono multipli dispari (interi) della prima risonanza (F_1) e le stesse sono inversamente proporzionali alla lunghezza del tubo: ad un vocal tract di lunghezza minore le formanti avranno frequenza maggiore; è per que-

sto che i bambini presentano formanti a frequenza maggiore rispetto agli adulti ⁴. Nella realtà il condotto vocale presenta nelle sue variabili conformazioni diversi restringimenti e quindi nel modello è necessario considerare più tubi in successione che variamente contribuiscono alla risonanza complessiva. Nel caso poi di suoni nasalizzati (consonanti nasali, vocali nasalizzate di particolari lingue o per effetti coarticolatori, nasalizzazione di tutti i fonemi per insufficienza dello sfintere velofaringeo), il segnale sorgente è contemporaneamente irradiato attraverso la cavità orale e nasale, per cui un tubo (nasale) è posto in parallelo a quello faringo-orale con conseguenze risonantiche particolari.

In tal caso una prima ed importante caratteristica è la riduzione dell'intensità del segnale verbale rispetto a quello non nasalizzato. Ciò è da un lato dovuto al maggior volume di aria e della maggior superficie del vocal tract con maggior assorbimento dell'energia del segnale acustico, e dall'altro al fenomeno dell'antirisonanza. Se la risonanza enfatizza alcune componenti con formazione a livello spettrale di picchi, l'antirisonanza le de-enfatizza configurando nello spettro una valle o antifornante. Risonanza (formanti) ed antirisonanza (antiformanti) variamente interferiscono arrivando anche ad una loro mutua cancellazione con involuppi spettrali difficilmente standardizzabili.

Un'altra conseguenza è la modificazione delle frequenze formantiche e la comparsa di nuove formanti; Ferrero ³ confrontando l'involuppo spettrale di una vocale nasale con quello della corrispondente orale rileva:

- presenza di una prima formante FN_1 (formante nasale) a frequenza di circa 250 Hz;
- tendenza di F_1 (formante orale) ad un valore frequenziale medio di 500 Hz con sua significativa riduzione di ampiezza;
- comparsa di una seconda formante nasale (FN_2) a circa 1000 Hz;
- non modificazioni di F_2 ;
- comparsa di una terza formante nasale (FN_3) verso i 2000 Hz;
- lieve spostamento di F_3 ed F_4 verso le alte frequenze.

Kent et al. ⁵ riportano invece la presenza di una formante nasale a bassa frequenza, fra 250 e 500 Hz per un maschio adulto, un lieve aumento della frequenza di F_1 , un abbassamento delle frequenze di F_2 ed F_3 e la presenza di una o più antifornanti.

La configurazione assunta dal condotto vocale nell'emissione di diversi segnali verbali è stata studiata in passato mediante stratigrafie in proiezione sagittale mediana e trasversa antero-posteriore. Attualmente sono utilizzate metodiche radiologiche ad alta risoluzione (TAC, RMN) che consentono una rappresentazione tridimensionale del tratto vocale sovraglottico. I dati ricavati dallo studio delle conformazioni dell'apparato di articolazione e risonanza nelle diverse produzioni verbali, sono utilizzati in particolare nella verifica della validità della teoria della produzione e trasmissione dei segnali vocali e nello studio della correlazione fra misure del vocal tract e prodotti acustici ⁸.

Se in passato tali studi erano effettuati mediante la realizzazione di circuiti elettrici analoghi in cui invece di un'onda sonora si utilizzava un segnale elettrico ³, ora le possibilità offerte dalla digitalizzazione dei segnali consente l'implementazione di algoritmi che emulano sia la sorgente glottica che la funzione di filtraggio del vo-

cal tract. In altre parole è possibile costruire la funzione di trasferimento del filtro sovraglottico in modo più preciso verificando in tempo reale le modifiche dell'output al variare dell'input e dei parametri del filtro stesso. L'applicazione pratica dei risultati di questi studi non può altro che favorire la diagnostica strumentale in soggetti con disturbi di articolazione e/o risonanza.

BIBLIOGRAFIA

- ¹ De Colle W, Ricci-Maccarini A. *Acoustic analysis by Kay CSL 4300 in voice assessment*. Workshop, 6° Symposium International Association of Phonosurgeons, Venezia-Abano Terme, 19-22 Ottobre 2000.
- ² De Colle W. *Voce & Computer – Analisi acustica digitale del segnale verbale (Il sistema CSL-MDVP)*. Torino: Ediz. Omega 2001.
- ³ Ferrero FE, Genre A, Boe LJ, Contini M. *Nozioni di fonetica acustica*. Torino: Ediz. Omega 1979.
- ⁴ Johnson K. *Acoustic and Auditory Phonetics*. Cambridge, Mass. – USA: Blackwell Publishers 1997.
- ⁵ Kent D, Read C. *The acoustic analysis of speech*. San Diego: Singular Publishing Group 1992.
- ⁶ Lambertini G, Fumagalli Z, Fusaroli P, Nesci E, Pasqualino A. *Anatomia umana*. Padova: Ediz. Piccin 1978.
- ⁷ Mioni AM. *Fonetica articolatoria: descrizione e trascrizione degli atteggiamenti articolatori*. In: Croatto L, (a cura di). *Trattato di Foniatria e Logopedia*. Padova: Ediz. La Garangola 1986;vol.3.
- ⁸ Moore CA. *The correspondence of vocal tract resonance with volumes obtained from magnetic resonance images*. J Speech Hearing Res 1992;35:1009-23.
- ⁹ Munari FP, Fabretto DA. *Anatomia dell'apparato di articolazione e risonanza*. In: Croatto L, (a cura di). *Trattato di Foniatria e Logopedia*. Padova: Ediz. La Garangola 1985;Vol.1.
- ¹⁰ Pernkopf E. *Atlante di anatomia sistematica e topografica dell'uomo*. Padova: Ediz. Piccin 1963.
- ¹¹ Van den Berg JW. *On the role of the laryngeal ventricle in voice production*. Folia Phoniat 1955;7:57.

