



## CAPITOLO 11

# Acustica della voce

*Mauro Uberti*

Da *Acustica musicale e architettonica*  
a cura di SERGIO CINGOLANI e RENATO SPAGNOLO  
UTET libreria, Torino, 2005



## 11.1 Generalità

La voce è il suono prodotto dalla vibrazione di due strutture muscolari poste nel collo, dette corde vocali, messe in vibrazione dall'aria espirata dai polmoni; esso è poi modulato timbricamente dalle risonanze delle due cavità che compongono il canale vocale: la faringe e la bocca.

Per semplicità si può scomporre il fenomeno vocale in tre momenti distinti: la produzione del fiato, la generazione del suono e la modulazione di questo. Le tre funzioni coinvolgono l'apparato respiratorio e la parte superiore di quello digerente (organi della masticazione e della deglutizione): il primo è responsabile della produzione del fiato e della generazione del suono, il secondo della modulazione del timbro vocale e dell'articolazione della parola. In realtà la fonazione, l'insieme, cioè, delle funzioni fisiologiche che intervengono nella produzione della voce, è un'attività che coinvolge direttamente o indirettamente tutto il corpo. La postura, per esempio, influisce sulla geometria dello scheletro e quindi sulla meccanica respiratoria. Influiscono pure sulla stessa le condizioni di ripienezza dell'apparato digerente e così via. Di converso le manovre articolatorie e di produzione del suono interagiscono con la meccanica respiratoria inducendo inoltre cambiamenti nell'equilibrio e nella postura.

Gli organi direttamente impegnati nella formazione del suono vocale hanno tutti funzioni primarie diverse da quella di generare la voce e il loro impiego nella fonazione è un adattamento secondario. Quello responsabile della produzione del suono, la laringe, per quanto già più o meno sviluppato in tutti i Tetrapodi (animali a quattro zampe), presenta la sua massima evidenza nei Mammiferi (Baldaccini et al., 1996). Il suo particolare sviluppo in questa classe di Vertebrati è da ritenersi in relazione con quello della marcia a quattro zampe, soprattutto nell'andatura a balzi; questa, infatti, richiede l'ammortizzazione dell'urto ad ogni atterraggio degli arti anteriori. L'insieme della gabbia toracica, dei polmoni e della laringe, che svolge funzione di valvola, si comporta come gli ammortizzatori ad aria delle automobili, ma a volta a volta la laringe può impedire completamente la fuoriuscita dell'aria dai polmoni, regolarne l'apertura per ammortizzare gli urti o lasciarla sfuggire vibrando e producendo suoni. Nell'Uomo, Mammifero evoluto alla stazione eretta, la chiusura dell'apparato respiratorio fornita dalla laringe è determinante, prima ancora che per la produzione della voce, per dare attacco solido ma ammortizzato al lavoro dei muscoli. L'evoluzione alla stazione eretta ha determinato anche la piegatura ad angolo retto

del tratto superiore dell'apparato digestivo, che si è così diviso in due cavità ben distinte: bocca e faringe. La lingua, che contribuisce a delimitare sia l'una che l'altra, può contribuire pure a modificare i loro volumi con variazioni continue e, di conseguenza, anche la loro frequenza di risonanza. La variabilità della risonanza del canale vocale si risolve in una variabilità timbrica impressa al suono laringeo; fatto questo che, insieme con la variabilità in intensità, frequenza e durata del segnale vocale, ha consentito lo sviluppo del linguaggio e del canto.

In questo capitolo si descrivono e si rappresentano soltanto gli organi anatomici indispensabili alla comprensione del fenomeno.

## 11.2 La respirazione

### 11.2.1 Anatomia degli organi della respirazione

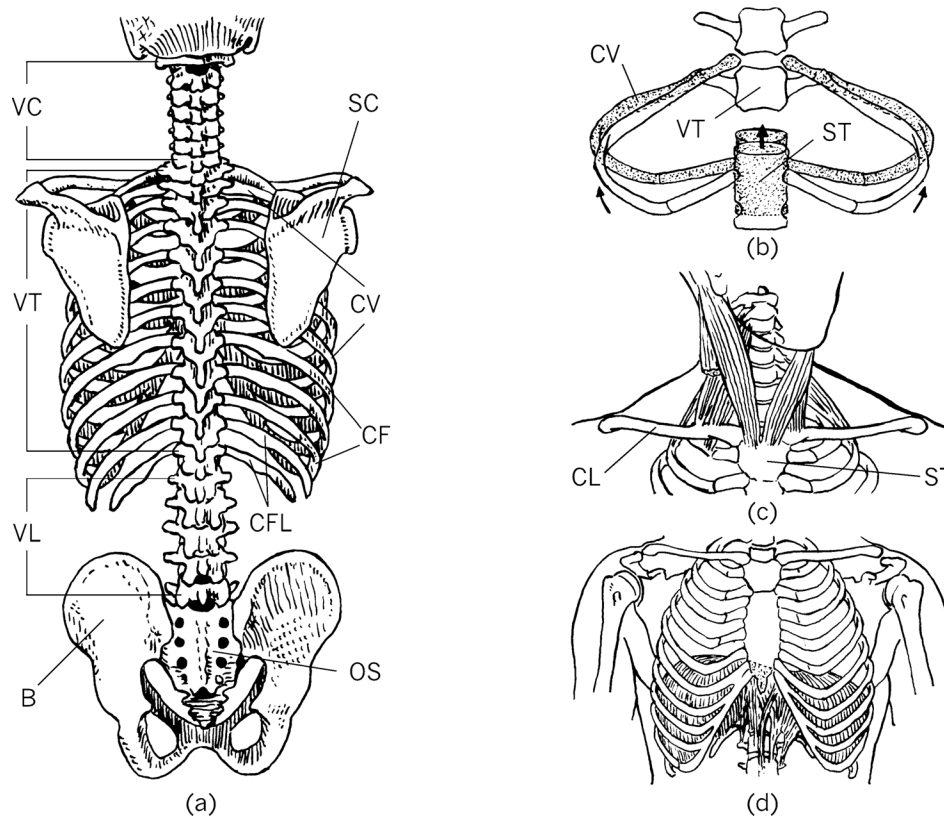
**OSSA.** Le ossa direttamente impegnate nella respirazione sono quelle a cui s'inserisce la muscolatura respiratoria: il bacino, la colonna vertebrale, le coste, lo sterno e il cranio. Il *bacino*, per quanto si presenti all'aspetto come un osso unico, è costituito da sei ossa pari e simmetriche, saldate insieme ed è articolato posteriormente con l'*osso sacro*. Su questo si innalza la *colonna vertebrale*, costituita da 5 *vertebre lombari*, 12 *v. toraciche* e 7 *v. cervicali* (Fig. 11.2.1(a)). Alle *v. toraciche* si inseriscono 12 paia di *coste* (Fig. 11.2.1(a)), delle quali le sette superiori, o *c. vere*, si uniscono sul davanti allo *sterno* formando anelli ossei completi (Fig. 11.2.1(b)). Le tre *c. inferiori*, incomplete, o *c. false*, si collegano all'ultima delle *c. vere* mentre le ultime due rimangono *fluttuanti*. L'insieme delle *v. toraciche*, delle *coste* e dello *sterno* costituisce la *gabbia toracica*, struttura di forma variabile secondo l'attività respiratoria, ma sempre approssimativamente conica. Le *coste* si articolano con le *vertebre* e sono inclinate in avanti, in basso e di lato; la loro parte libera può essere sollevata lateralmente dai muscoli respiratori come il manico di un secchio (movimento rappresentato dalle frecce laterali della Fig. 11.2.1(b)). Gli anelli ossei di cui sopra sono incernierati sulla colonna vertebrale e, tirati verso l'alto dai muscoli respiratori, si sollevano anteriormente con un movimento simile a quello del battente di una porta (movimento rappresentato dalla freccia centrale della Fig. 11.2.1(b)). I loro movimenti d'innalzamento e d'abbassamento determinano l'allontanamento e l'avvicinamento delle pareti della cavità toracica dando luogo ad una *respirazione costale*, il cui meccanismo è paragonabile a quello di un soffiato. Il capo interviene nella respirazione come impalcatura d'attacco per alcuni muscoli collegati alle *clavicole*, allo *sterno* (Fig. 11.2.1(c)), all'*osso ioide* (Fig. 11.3.2(c)) ed alle *scapole*.

**MUSCOLI.** Per comodità si riuniscono qui i muscoli respiratori in cinque sistemi: i muscoli intrinseci del torace, il muscolo diaframma, un sistema addominale, uno dorsale ed uno cranio-cervico-toracico:

- *Muscoli intrinseci del torace.* Sono alcuni muscoli tesi tra le coste, tra

lo sterno e le c. nonché tra la colonna vertebrale e le c. Poiché il controllo volontario della respirazione si attua principalmente comandando gli altri quattro sistemi, con i quali questi muscoli sono coordinati, in questa sede se ne omette la descrizione e la rappresentazione grafica;

- *Muscolo diaframma.* Il m. diaframma (Fig. 11.2.1(d)) è un muscolo laminare, che s'inscrive tutto attorno al margine inferiore della gabbia toracica ed alla colonna vertebrale. Ha forma di cupola asimmetrica, che a destra risale fino circa all'altezza del capezzolo e, a sinistra, fino ad una costa più in basso. Contrariamente a quanto comunemente ritenuto dai cantanti e dagli strumentisti a fiato, il m. d. non «sostiene il fiato» nell'espiazione, ma è un muscolo inspiratorio il cui appiattimento per effetto della contrazione spinge i visceri in basso.

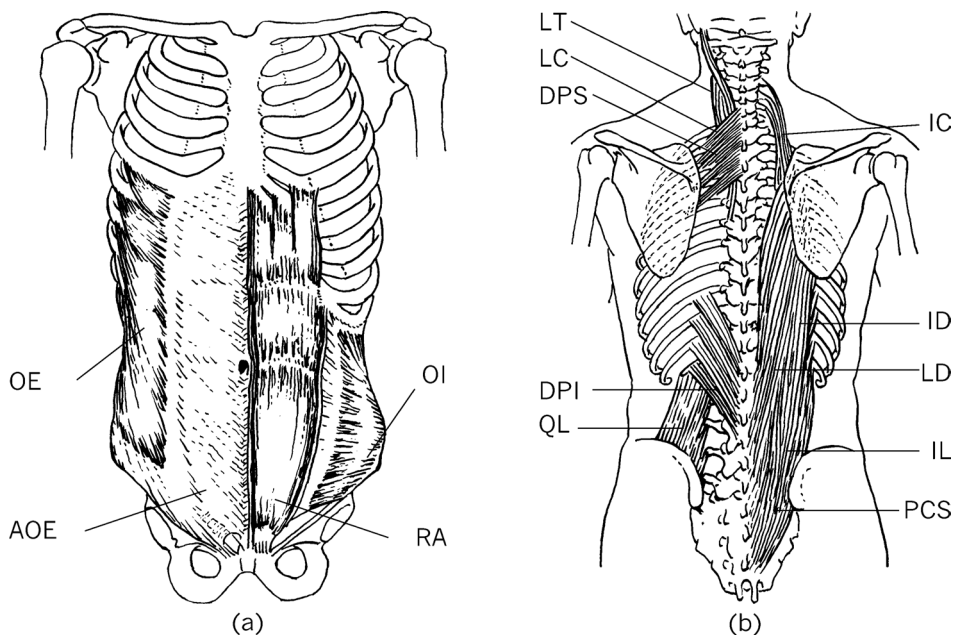


**Fig. 11.2.1** (a) Scheletro, visione dorsale; (b) anelli costali e loro sollevamento nell'inspirazione; (c) sistema cranio-cervico-toracico; (d) muscolo di afromma: B=bacino, CF=coste false, CFL=c. fluttuanti, CL=clavicola, CV=coste vere, OS=osso sacro, SC=scapola, ST=sterno, VC=vertebre cervicali, VL=v. lombari, VT=v. toraciche

Probabilmente la credenza è dovuta al fatto che nel canto di forza e nel suonare strumenti a fiato ad alta pressione — l'oboe, p.es. — l'attività

del m. d., che durante l'inspirazione controlla l'azione dei m. addominali contrastandola, può essere percepita come una sensazione di lavoro.

- *Sistema addominale.* Il s. addominale è costituito da quattro muscoli laminari, sovrapposti e con le fibre incrociate nel senso dei lati e delle diagonali di un quadrato, che costituiscono la parete addominale. Superiormente essi sono inseriti alle coste ed inferiormente al bacino (Fig. 11.2.2(a)). Il *m. trasverso* (non rappresentato in figura), che costituisce lo strato più profondo e le cui fibre hanno andamento orizzontale, arriva posteriormente fino alle vertebre lombari. Per quanto riguarda la respirazione il loro compito è quello di contenere i visceri addominali nell'inspirazione e spingerli verso l'alto nell'espiazione. L'insieme dei visceri, spinti alternativamente in alto dai m. addominali ed in basso dal m. diaframma, svolge funzione analoga a quella di un pistone d'automobile. Questa componente della meccanica respiratoria prende il nome di *r. addominale*. I m. addominali hanno come oppositori quelli del sistema dorsale (vedi oltre);



**Fig. 11.2.2**

(a) Sistema addominale: AOE=aponevrosi del muscolo obliquo esterno dell'addome, OE=m. obliquo esterno dell'addome, OI=m. obliquo interno dell'a., RA=m. retto dell'a.  
 (b) Sistema dorsale: DPI=muscolo dentato posteriore inferiore, DPS=m. dentato posteriore superiore, IC=m. ileocostale del collo, ID=m. ileocostale del dorso, IL=m. ileocostale dei lombi, LC=m. lunghissimo del collo, LD=m. lunghissimo del dorso, LT=m. lunghissimo della testa, PCS=parte comune del m. sacrospinale, QL=m. quadrato dei lombi

- *Sistema dorsale.* Compito primario dei m. dorsali (Fig. 11.2.2(b)) è quello di mantenere la posizione eretta opponendosi al peso dei visceri, che tende a flettere il corpo in avanti. Nella respirazione i m. dorsali equilibrano l'azione di quelli addominali e alcuni di essi, in accordo con i

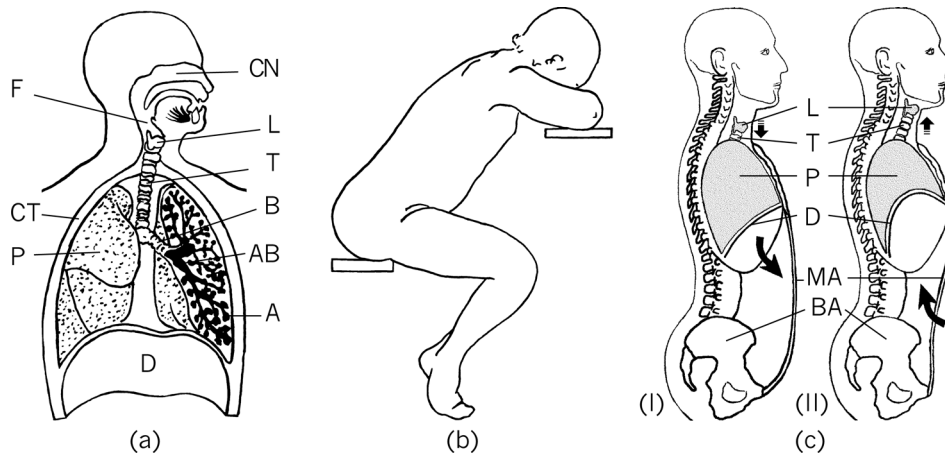
*m.intercostali* (muscoli intrinseci del torace), alzano o abbassano le coste in una *r. costale*;

- *Sistema cranio-cervico-toracico*. Quello che per semplicità qui è così chiamato corrisponde ad una raggiera di muscoli che, prendendo attacco dal cranio e dalla colonna cervicale (Figg. 11.2.1(c) e 11.2.2(b)), possono tirare verso l'alto il torace in una *r. apicale* o *clavicolare*.

**SERBATOIO POLMONARE.** Il diaframma e la gabbia toracica delimitano una *cavità toracica* (Fig. 11.2.3(a)) nella quale si trovano i *polmoni*. Essi sono due masse spugnose, elastiche ed inerti, destinate allo scambio dell'ossigeno dell'aria con il sangue. Gli *alveoli* di queste masse spugnose comunicano con l'esterno tramite strutture tubulari ramificate, gli *alberi bronchiali*. Questi finiscono per riunirsi in due *bronchi principali*, i quali confluiscono a loro volta in un canale unico: la *trachea*. Essa è un tubo cilindrico, costituito da anelli di cartilagine, che superiormente culmina con una valvola di chiusura detta *laringe*. Il canale respiratorio si continua poi con la *faringe* e le *cavità nasali*.

### 11.2.1 Meccanica respiratoria

Nel corso di un'inspirazione corretta la contrazione del diaframma, il rilassamento dei muscoli addominali — che determinano la discesa dei visceri (Fig. 11.2.3(c)-I) — e il sollevamento delle coste determinano l'aumento del volume della cavità toracica; di conseguenza si forma un vuoto pneumatico. Per la differenza fra la pressione esterna e quella interna, l'aria si precipita nei polmoni gonfiandoli e ristabilendo l'equilibrio. A questo punto incomincia l'espirazione: la parete addominale si contrae premendo i visceri verso l'alto, le coste si abbassano chiudendo le pareti della cavità toracica, i polmoni sono compressi e l'aria in essi contenuta è spremuta sotto forma di fiato. Questo tipo di respirazione, nella quale le componenti addominale e costale si accordano per dare la maggiore efficienza respiratoria, è detto *r. combinata*. Si può fare esperienza di una buona *r. combinata* ponendosi nella posizione della Fig. 11.2.3(b), nella quale i m. addominali lavorano attivamente contrastando la forza di gravità per sollevare i visceri discesi nell'inspirazione. Nonostante ciò che comunemente si crede non è d'utilità didattica l'espedito di porsi supini, che pure dà luogo ad una *r. corretta*, perché in questa posizione i rapporti fra muscoli e forza di gravità sono invertiti rispetto a quelli della posizione eretta. Quando intervengono i muscoli del sistema cranio-cervico-toracico nella già citata *r. apicale*, l'efficienza respiratoria si riduce sia per motivi di geometria ossea che di coordinamento muscolare. La compressione dei polmoni durante l'espirazione determina anche il loro scorrimento verso l'alto (Fig. 11.2.3(c)-II). Con essi risalgono trachea e laringe, la cui risalita può essere palpata sotto la pelle del collo, p. es., durante la pronuncia di una normale frase parlata. Questa risalita ha effetti determinanti sui movimenti delle cartilagini della laringe durante la fonazione nonché su forma e dimensioni del canale vocale.

**Fig. 11.2.3**

(a) Serbatoio polmonare: A=alveolo, AB=albero bronchiale, B=bronco, CN=cavità nasali, CT=cavità toracica, D=diaframma, F=faringe, L=laringe, P=polmone, T=trachea. (b) Posizione per ottenere una respirazione combinata spontanea. (c) Respirazione: (I) fase inspiratoria, (II) fase espiratoria, BA=bacino, D=diaframma, L=laringe, MA=muscolatura addominale, T=trachea

## 11.3 La generazione della voce

### 11.3.1 Anatomia del sistema vibratorio

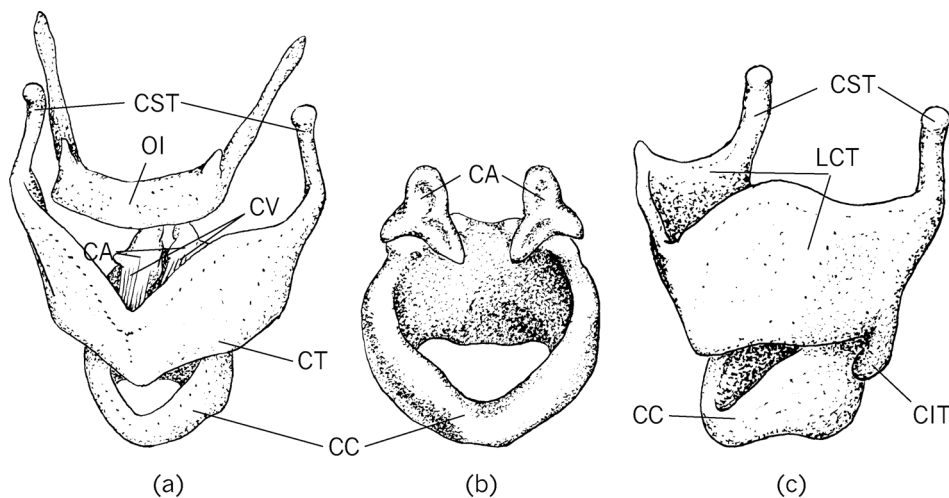
**LARINGE.** L'organo di chiusura della trachea, la laringe (Fig. 11.3.1), è costituito da uno scheletro di cartilagine, al quale sono inserite le corde vocali ed i muscoli ad esse necessari per svolgere le funzioni d'occlusione e di fonazione già dette. La laringe oltre ad essere sostenuta indirettamente dai m. addominali tramite gli organi interposti è come appesa alla mandibola e al cranio per mezzo dell'*osso ioide* (Figg. 11.3.1(a) e 11.3.2(c)), al quale è unita da una membrana e da legamenti. Quest'osso è fatto a ferro di cavallo e si può palpare al confine fra collo e mandibola. Costituisce l'impalcatura scheletrica della lingua, sospende la l. e fa da intermediario fra questa, la mandibola e il cranio ai quali è appeso a sua volta con un sistema di muscoli.

**SCHELETRO DELLA LARINGE.** A continuazione del canale tracheale si trova la *cartilagine cricoide*, che fa da base alle altre cartilagini della laringe, ha forma simile a quella di un anello con castone (Figg. 11.3.1(b)) e può essere palpata alla sommità della trachea come un corpo più grosso e consistente degli anelli tracheali. La parte corrispondente al castone è posta dorsalmente e, ovviamente, non è palpabile. Sul margine superiore del castone sono articolate due cartilagini pari, dette *c. aritenoidi* (Figg. 11.3.1(b) e 11.3.3), la cui forma è riconducibile a quella di una piramide triangolare. Esse danno attacco agli estremi posteriori delle corde vocali nonché ai muscoli necessari alla loro manovra; questi impongono alle *c. aritenoidi* un movimento complesso di rotazione e traslazione (vedi paragrafo 11.3.2), che determina l'apertura e la chiusura delle

corde vocali. Il rilievo sul collo chiamato «pomo d'Adamo» corrisponde alla *cartilagine tiroide* (Figg. 11.3.1(a) e (c), 11.3.2, 11.3.3, 11.3.4). Fatta a spartineve, questa è incernierata sulla c. cricoide per mezzo dei due *corni inferiori* (Fig. 11.3.1(c)). All'interno del diedro costituito dalle due *lamine* della c. tiroide s'inserisce l'estremo anteriore delle corde vocali (vedi oltre). I due *corni superiori* sono leve d'importanza fondamentale per la messa in tensione di queste ultime.

**MUSCOLI INTRINSECI DELLA LARINGE.** Sono quelli i cui estremi s'inseriscono alle cartilagini della laringe e soltanto a queste:

- *Corde vocali.* Le c. vocali — immagine retorica usata da Antoine Ferrein nel 1741 per descrivere il comportamento vibratorio delle *pieghe* o *labbri vocali* e rimasta nell'uso — sono due strutture muscolari, a sezione triangolare, tese fra le c. aritenoidi e la c. tiroide (Figg. 11.3.1(a), 11.3.2(a), 11.3.3 e 11.3.4). Possono chiudere il canale respiratorio in modo riconducibile a quello delle labbra. Lo spazio tra le c. vocali si chiama *rima della glottide* o semplicemente *glottide*. Per semplicità,



**Fig. 11.3.1**

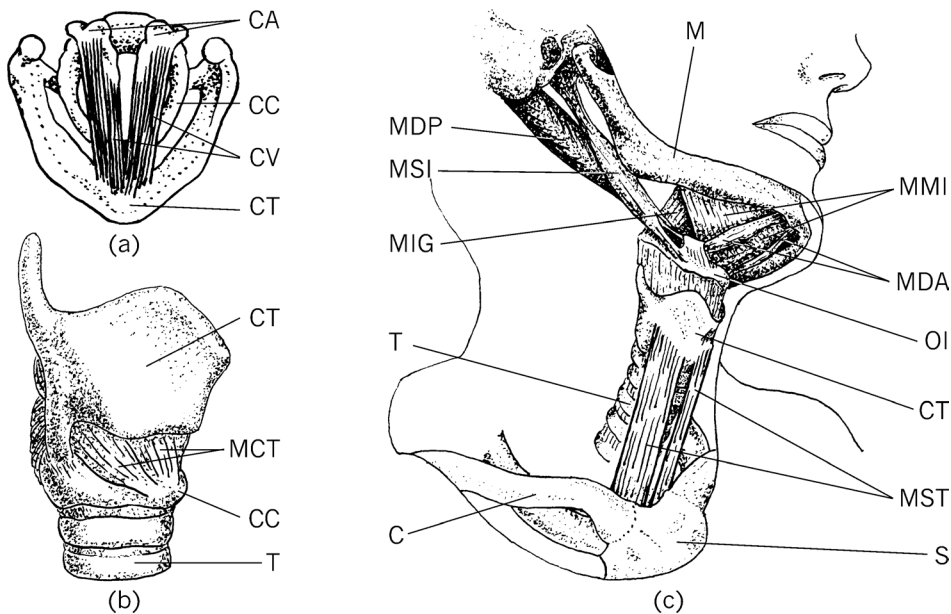
(a) Visione d'insieme dello scheletro della laringe: CA=Cartilagini aritenoidi, CC=c. cricoide, CT=c. tiroide, CST=corni superiori della c. tiroide, CV=corde vocali, OI=osso ioide. (b) Cartilagine cricoide e c. Aritenoidi. (c) Cartilagine cricoide e c. tiroide. CIT=corni inferiori della c. tiroide; LCT=lamine della c. tiroide

della loro struttura sono rappresentati nelle figure soltanto il *muscolo vocale* (Fig. 11.3.2(a)), che ne costituisce la parte attiva o il *legamento vocale* (Fig. 11.3.3), che ne rappresenta bene il margine vibrante;

- *Muscoli adduttori e abduttori delle c. aritenoidi.* Sono due gruppi di muscoli (non rappresentati in figura) fra loro antagonisti, posti nella parte posteriore della l., il cui compito è quello di ruotare le c. aritenoidi

agendo sul loro *processo muscolare* come su di una leva. I m. adduttori ruotano le c. aritenoidi facendo avvicinare le corde vocali e ponendole in tensione; i m. abduttori ne provocano l'apertura e il rilassamento;

- *Muscoli cricotiroidei*. I due m. cricotiroidei (Fig. 11.3.2(b)) contribuiscono ad inclinare in avanti la c. tiroide nel cosiddetto «passaggio» al registro superiore.



**Fig. 11.3.2**

(a) Visione superiore della laringe; (b) Visione laterale della laringe; (c) Alcuni dei muscoli estrinseci della laringe. C=clavicola; CA=cartilagini aritenoidi, CC=c. cricoide, CT=c. tiroide, CV=corde vocali, M=mandibola, MCT=muscoli cricotiroidei, MDA=ventre anteriore del m. digastrico, MDP=v. posteriore del m. d., MIG=m. ioglosso, MMI=m. miloioideo, MSI=m. stiloioideo, MST=m. sternotiroideo, OI=osso ioide, S=sterno. T=trachea

**MUSCOLI ESTRINSECI DELLA LARINGE.** Sono quelli che con un estremo s'inscrivono alla laringe e con l'altro allo scheletro.

- *Muscoli abbassatori dell'osso ioide e inclinatori della cartilagine tiroide*. Sono i muscoli dello sbadiglio (in particolare i *m. sternotiroidei*, Fig. 11.3.2(c)) e, simulandolo, li si può palpare ai lati della trachea. Intervengono in modo determinante nelle tecniche vocali romantiche e veriste (vedi *Tecniche vocali dotte*). La loro azione si riflette anche sulla base della lingua con effetti d'ordine fonetico.
- *Muscoli elevatori dell'osso ioide*. Sono un sistema di muscoli disposti come una grossolana raggiera, che vanno direttamente, o indirettamente tramite la mandibola, dall'o. ioide al cranio. Di conseguenza la l., la trachea e, tramite questa, i polmoni sono in equilibrio fra la sospensione al

al cranio (Fig. 11.3.2(c)) e l'appoggio ai muscoli addominali tramite i visceri interposti.

### 11.3.2 Meccanica della generazione della voce

**LINGUA.** La lingua interviene nella generazione del suono laringeo in quanto la contrazione delle sue fibre muscolari — inserite all'osso ioide, il quale è collegato per mezzo di legamenti alla cartilagine tiroide — contribuisce all'inclinazione di quest'ultima. Di conseguenza essa contribuisce pure alla tensione delle corde vocali per trazione in avanti.

**FASE INSPIRATORIA.** Le cartilagini aritenoidi ruotano in modo da allontanare fra loro i processi vocali e gli estremi posteriori delle corde vocali, che vi sono inseriti; questa manovra determina l'apertura della glottide (Fig. 11.3.3(a)). Intanto l'attività dei muscoli respiratori provoca l'afflusso dell'aria nei polmoni, i quali seguono la discesa del diaframma dilatandosi e trascinando con sé bronchi, trachea e laringe (Fig. 11.2.3(c-I)).

**FASE FONATORIA.** Corrisponde, per quanto riguarda la meccanica respiratoria, a quella espiratoria di una normale respirazione; ne differisce per il fatto che le cartilagini aritenoidi ruotano all'indietro e scivolano lateralmente in modo da portare a contatto il margine vibrante delle corde vocali (Fig. 11.3.3(b)); queste allora entrano in vibrazione per effetto della pressione dell'aria. Le modalità di vibrazione delle corde vocali variano a seconda dei meccanismi fonatori impiegati, che sono qui schematizzati per semplicità di esposizione.

- *1° meccanismo.* Corrisponde a quello che la laringe mette in atto quando il corpo si accinge ad uno sforzo come per sollevare un peso o nella defecazione. In questo caso i m. adduttori delle cartilagini aritenoidi portano a contatto le corde vocali e ne assicurano la chiusura; contemporaneamente i muscoli inclinatori della cartilagine tiroide assicurano la solidità di attacco dei loro estremi anteriori. Avendo struttura muscolare le corde vocali si contraggono, si rigonfiano e svolgono la funzione di chiusura del serbatoio polmonare, necessaria, p. es., per dare solidità d'attacco ai muscoli toracici impegnati nel sollevamento di un peso (Fig. 11.3.4(a)).

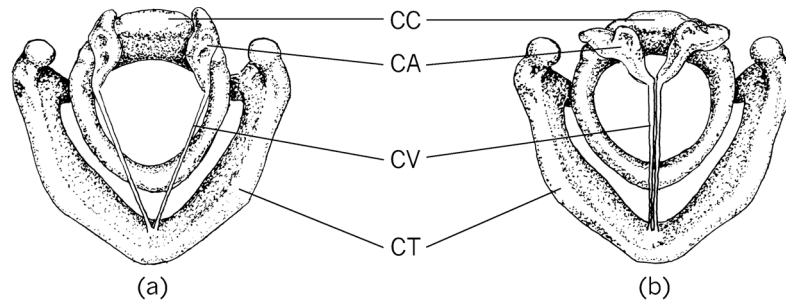


Fig. 11.3.3

(a) Corde vocali in fase inspiratoria; (b) corde vocali in fase fonatoria: CA=cartilagini aritenoidi, CC=cartilagine cricoide; CT=cartilagine tiroide, CV=corde vocali (legamenti vocali)

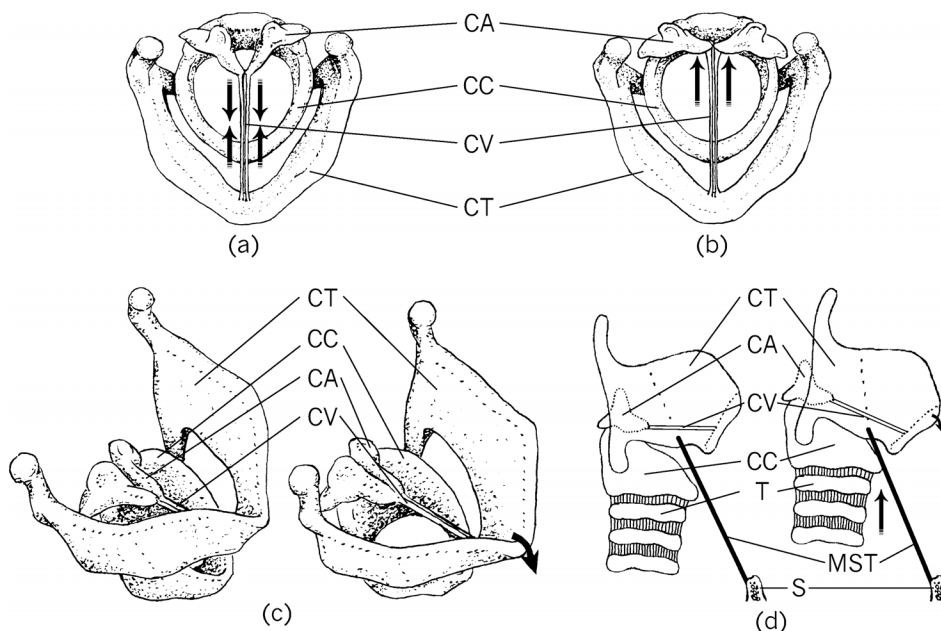
Se invece la forza di contrazione rimane inferiore a quella descritta, sotto la pressione dell'aria le corde vocali possono entrare in vibrazione producendo approssimativamente la prima quinta (= 5 note) dell'estensione vocale musicalmente utile.

- 2° *meccanismo*. Le cartilagini aritenoidi accentuano la loro rotazione stirando le corde vocali all'indietro in modo non dissimile da quello che s'impiega per porre in tensione le corde di uno strumento musicale (Fig. 11.3.4(b)) e la voce aggiunge circa un'altra quinta alla propria estensione vocale musicalmente utile.
- 3° *meccanismo*. I muscoli inclinatori della cartilagine tiroide entrano in azione e le corde vocali sono stirate passivamente in avanti. L'inclinazione della cartilagine tiroide, infatti, allontana il suo diedro interno dalle cartilagini aritenoidi, alle quali le corde vocali stesse sono inserite con l'estremo opposto (Fig. 11.3.4(c)). Questa trazione si somma a quella all'indietro già esercitata dalle cartilagini aritenoidi ed aggiunge un'ulteriore quinta all'estensione vocale musicalmente utile già raggiunta. Determinante è in particolare la funzione di vincolo con lo sterno, esercitata dai muscoli sternotiroidei durante la risalita della laringe nel corso dell'espiazione; vincolo che, trattenendo la parte libera della cartilagine tiroide, la inclina quanto più essa risale e scarica sui muscoli del tronco la maggior parte del lavoro necessario (Fig. 11.3.4(d)). Questa manovra corrisponde a quello che in gergo vocale si chiama «passaggio» al registro superiore. Abituamente nell'eloquio sono messi in azione soltanto i primi due dei tre meccanismi descritti; il terzo è tipico del canto. Sia nell'uno che nell'altro caso essi non entrano in azione separatamente ma in combinazioni diverse. I comportamenti fonatori si possono riunire fondamentalmente in tre tipi e il fatto ha importanza particolare per il canto:

- 1° *tipo*. I tre meccanismi tendono ad entrare in azione successivamente, la voce assume colorazioni timbriche diverse nelle tre regioni d'altezza, chiamate «registri», mentre i cambiamenti di timbro nel

passaggio da un registro all'altro, in particolare quello dal 2° al 3°, chiamato tipicamente «passaggio», sono evidenti (voce non educata);

- 2° tipo. La contrazione attiva del 1° meccanismo è ridotta, il 2° e 3° meccanismo di distensione passiva delle corde vocali entrano in azione contemporaneamente fin dalle note basse, non si avvertono cambiamenti sensibili del timbro alle diverse altezze e si parla di assenza di registri e di passaggio (voce detta in gergo vocale «imposta per natura»);
- 3° tipo. La contrazione attiva, sia pure in vario grado, è presente in tutti i registri e il carattere timbrico del grido permane in tutta l'estensione (emissioni «di forza» delle tecniche popolari, romantiche e veriste).



**Fig. 11.3.4** (a) 1° meccanismo. (b) 2° meccanismo. (c) Visione superiore del 3° meccanismo. (d) Visione laterale del 3° meccanismo. CA=cartilagini aritenoidi, CC=c. cricoide, CT=c. tiroide, CV=corde vocali, MST=muscolo sternocleidomastoideo, S=sterno

### 11.3.5 Modalità vibratorie delle corde vocali

A seconda dei meccanismi laringei impiegati il comportamento del sistema vibratorio varia tra due modalità che si possono schematizzare nel modo che segue:

- 1ª modalità. Le c. vocali si contraggono attivamente ocludendo il canale respiratorio, la pressione dell'aria cresce fino a forzare il passaggio,

la fuga dell'aria fa diminuire la pressione sottoglottidea, le corde vocali possono tornare ad occludere il canale respiratorio ed il ciclo ricomincia;

- *2<sup>a</sup> modalità.* Le c. vocali entrano in vibrazione per effetto Bernoulli: la diminuzione di pressione, dovuta alla velocità dell'aria in uscita, fa sì che le c. vocali siano come aspirate passivamente e vengano a contatto occludendo il canale respiratorio; per effetto dell'occlusione la pressione sottoglottidea cresce fino a forzare il passaggio, l'aria torna a sfuggire fra le corde vocali e il ciclo ricomincia.

Nella pratica nessuna delle due modalità si realizza in modo univoco e il comportamento vibratorio delle corde vocali partecipa variamente dell'una e l'altra.

### 11.3.6 Influenze del corpo sulla voce

Come detto all'inizio, la fonazione è un'attività che coinvolge direttamente o indirettamente tutto il corpo. Di almeno tre categorie di rapporti fra l'attività corporea e quella vocale è il caso di fare menzione specifica.

**POSTURA.** L'insieme delle attività muscolari mediante le quali il corpo mantiene la sua posizione naturale influisce anche sulla meccanica respiratoria. In questa sede il discorso è limitato alla postura eretta, che è quella adottata più sovente nel canto, ed ai suoi aspetti macroscopici. Al variare della divaricazione e della rotazione dei piedi, così come al variare dell'estensione del rachide, si modifica l'equilibrio fra la componente costale e quella addominale della respirazione con conseguenze sull'escursione verticale della laringe. Si modifica pure la distanza fra questa e lo sterno al quale essa è collegata tramite i m. sternotiroidei e sternoioidei. Di conseguenza i riflessi necessari ad ottenere, per esempio, l'intonazione determinano cambiamenti nei meccanismi di tensione delle corde vocali e quindi nel suono prodotto. Le variazioni di escursione della laringe incidono inoltre sulla lunghezza del tratto faringeo del canale vocale determinando cambiamenti nella sua frequenza di risonanza (vedi più avanti).

**INFLUENZE DELLA CINTURA ADDOMINALE SULLA LARINGE.** Lo stato di rilassamento o di contrazione dei diversi distretti della cintura muscolare addominale si riflette su quello della muscolatura laringea condizionandone il comportamento in modo determinante. Il caso più evidente è quello corrispondente alla voce emessa contraendo la muscolatura addominale all'altezza della bocca dello stomaco, il cui timbro è simile a quello di un suono prodotto sotto sforzo. Le modalità di contrazione e di rilassamento della cintura muscolare addominale possono essere determinate dalla tecnica vocale adottata così come dalle condizioni emotive. In questo caso il discorso sconfina nella psicologia.

**MIMICA FACCIALE ED ESPRESSIONE DELLE EMOZIONI.** L'espressione delle emozioni per mezzo della mimica facciale ha il suo corrispondente nell'espressione delle stesse per mezzo del colore della voce. La contrazione

della muscolatura mimica nell'espressione a volta a volta del riso, del pianto, dello stupore, ecc. (Izard, 1983) incide sul suono laringeo già all'origine mentre i movimenti mimici modificano forma e volume del canale vocale con le conseguenze fonetiche che sono note dall'esperienza quotidiana. Le tecniche vocali (vedi paragrafo 11.5.5) che, per motivi biomeccanici, implicano l'atteggiamento della bocca come nel sorriso o l'atteggiamento «a sbadiglio» danno luogo alla produzione di suoni vocali caratterizzati da connotazioni emozionali indotte dalla tecnica vocale stessa.

## 11.4 Fonetica

### 11.4.1 Vocali

Il segnale generato dalla laringe ha forma d'onda del tipo a dente di sega e, analizzato, presenta una struttura ad armonici d'ampiezza decrescente dal basso all'acuto (Fig. 11.4.1). Il suono laringeo risale il canale vocale, che si allarga in più cavità delle quali le più ampie sono quella faringea e quella buccale. Il volume di queste dipende dalle dimensioni anatomiche dell'individuo e dall'atteggiamento degli organi articolatori. Poiché al volume di ogni cavità corrisponde una determinata frequenza di risonanza, le armoniche la cui frequenza di vibrazione corrisponde alla frequenza di risonanza della cavità attraversata vengono amplificate; tuttavia, dato che la forma e le dimensioni delle due cavità non sono nettamente determinate, l'amplificazione non si verifica per singole armoniche, ma per gruppi di armoniche chiamati *formanti del timbro* o, semplicemente, *formanti* (Fig. 11.4.2). La forma e le dimensioni delle cavità del canale vocale variano con continuità a seconda dei movimenti articolatori della mandibola, della lingua e delle labbra. Al loro variare variano le frequenze di risonanza delle due cavità e la voce assume strutture formantiche, cioè timbri, diverse. Quando i timbri si fanno sistematici essi possono assumere il valore di segnali utili alla comunicazione acustica ed allora si parla di *vocali*. Delle formanti che partecipano alla struttura acustica della voce le due più basse sono sufficienti a caratterizzare le *v.* e quindi sono adottate in fonetica per identificarle. Ciò che rende i timbri vocalici distinguibili — e quindi utili ai fini della comunicazione — non è il valore assoluto delle frequenze delle loro formanti, ma il loro rapporto all'interno del sistema fonetico del soggetto parlante. Si veda, p. es., alla Fig. 11.5.4(a) come i valori delle *v.* di singoli informatori possano collocarsi nell'area di esistenza di *v.* adiacenti del gruppo preso in esame. Il fatto ha particolare importanza nel canto (vedi paragrafo 11.5.5). Per quanto dal punto di vista acustico non sia esatto, ai fini pratici può far comodo considerare la prima, la più bassa, dipendente dalla cavità faringea e la seconda da quella buccale. L'ambito di variabilità delle *v.* è delimitato dalle possibilità articolatorie concesse dall'anatomia, che variano fra l'atteggiamento a bocca aperta e movimenti derivati da quelli innati della suzione e del riso. L'atteggiamento fonatorio a bocca aperta come nella respirazione orale e lingua inerte — quello, cioè, a minore dispendio energetico — lascia il canale vocale diviso in due cavità

delle quali quella faringea ha volume maggiore di quella buccale. In questo atteggiamento la cavità di risonanza faringea ha il volume minore fra tutti quelli che essa può assumere nella produzione delle diverse *v.* e la risonanza complessiva del canale vocale dà luogo ad un suono in cui la frequenza della seconda formante è quasi doppia della prima. Benché l'intonazione e le frequenze formantiche della voce di un bambino che dice per la prima volta «mamma» e quella di un uomo adulto siano profondamente diverse, l'esperienza ci fa attribuire al timbro di ambedue il significato di [a] così come, del resto, a quello di una voce femminile emessa nello stesso atteggiamento.

La voce emessa nell'atteggiamento iniziale della suzione — labbra protruse e lingua in avanti — dà luogo alla produzione di una [y] («u» detta «francese»). In questo atteggiamento la parte anteriore della lingua determina una piccola camera di risonanza fra la lingua stessa, la parte anteriore del palato e gli incisivi superiori mentre la cavità faringea si unisce con il tratto posteriore di quella buccale a formare un'unica e più grande cavità di risonanza. Se, restando la lingua nello stesso atteggiamento, gli angoli della bocca si ritraggono come nel sorriso, il tratto buccale del canale vocale si accorcia, le frequenze delle due prime formanti assumono valori che stanno fra loro nel rapporto approssimativo di 1 a 10 ed al timbro così ottenuto si attribuisce il significato di una [i]. Mantenendo invece le labbra protruse ed arretrando la lingua come nella fase conclusiva della suzione, la parte posteriore del dorso arriva a toccare i denti del giudizio superiori e il canale vocale raggiunge la sua lunghezza massima; il tratto buccale, infatti, si prolunga in avanti fra le labbra protruse mentre quello faringeo si prolunga in alto oltre la superficie di masticazione dei molari superiori. La prima formante del suono così ottenuto si trova nella banda di frequenza della prima formante della [i], la seconda ha una frequenza approssimativamente tripla ed al suono così ottenuto viene attribuito il significato di una [u]. Le *v.* [i], [a] e [u] corrispondono a tre atteggiamenti estremi della lingua: lingua spinta in avanti ([i] = *v. anteriore*), lingua allo stato di riposo ([a] = *v. media*) e lingua retratta ([u] = *v. posteriore*).

Fra questi atteggiamenti ve ne sono di intermedi, corrispondenti alla [e] ed alla [o], che, a seconda delle lingue, possono essere uno solo come nello spagnolo o due come nell'italiano in cui esistono una [é] ed una [ó] *chiuse* ed una [è] ed una [ò] *aperte*. In altre lingue, per esempio nel francese, la situazione delle *v. orali*, quelle finora esposte, è ancora più complessa in quanto la labializzazione descritta per la [y] dà luogo anche ad altre due *v. labializzate*, corrispondenti alla [é] ed alla [è], che si scrivono «eu» oppure «oeu» e che però si pronunciano chiuse o aperte a seconda della loro posizione nella parola. Sconosciute all'italiano, le *v. labializzate* sono invece presenti nei dialetti piemontese, lombardo e ligure. Il francese è anche tipicamente una lingua nella quale si fa uso di *v. nasali*.

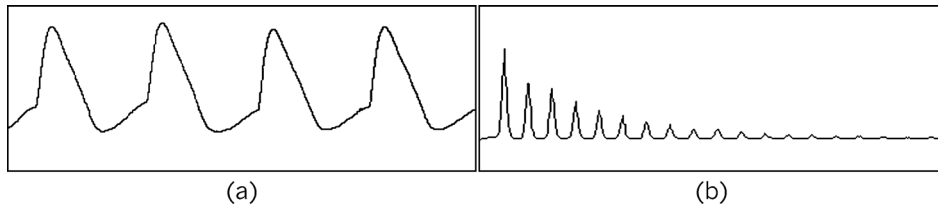


Fig. 11.4.1 Segnale elettroglottografico: (a) forma d'onda, (b) spettro

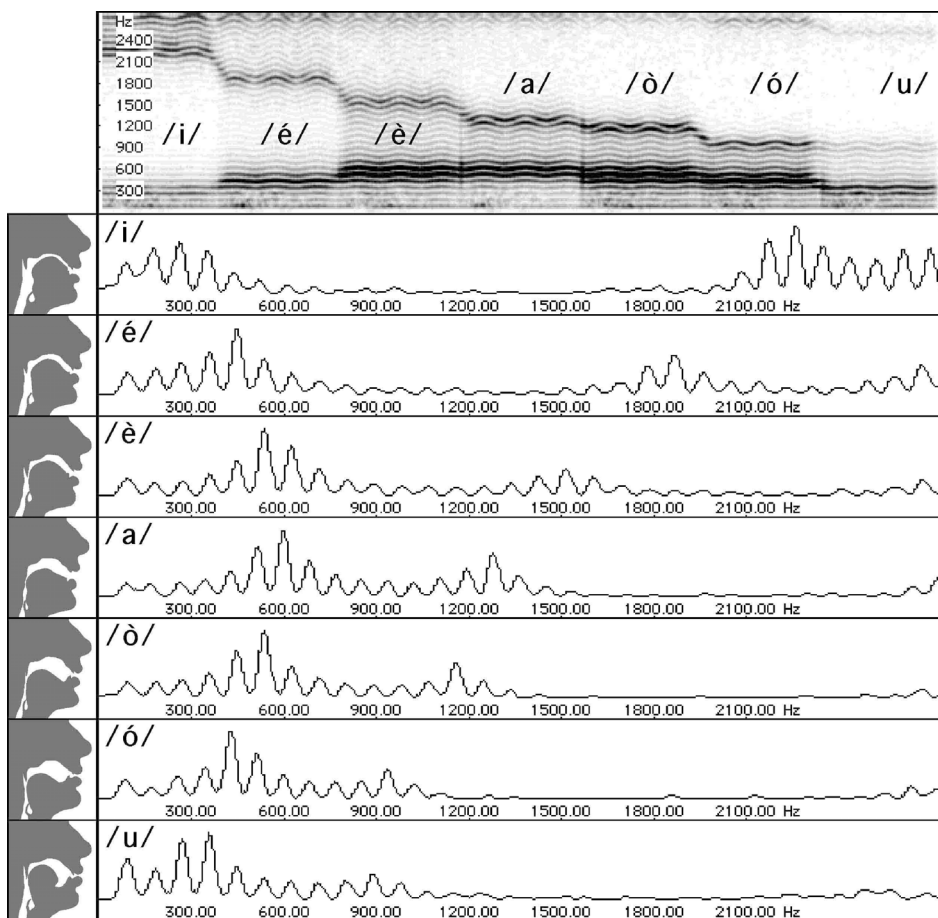


Fig. 11.4.2 Le sette vocali della lingua italiana sintetizzate per chiarezza di esposizione come se fossero cantate da un basso sulla stessa nota  $f_0$  (= 87,30 Hz): in alto lo spettrogramma dell'esempio vocale; nella colonna sinistra gli schemi degli atteggiamenti articolatori, ricavati da radiografie; nella colonna destra gli spettri delle sette vocali. Nello spettro di ogni vocale si riconoscono facilmente i gruppi di armonici dall'aspetto di picchi montagnosi, chiamati «formanti». Nello spettrogramma le stesse formanti appaiono come annerimento degli stessi gruppi di armonici. La struttura acustica di una voce reale è quella che appare alla Fig. 11.5.3

Se il velo palatino non occlude completamente l'accesso alle fosse nasali parte della colonna d'aria in vibrazione percorre queste ultime; ne consegue la

formazione di *formanti nasali* e di *antirisonanze* (= attenuazione di gruppi di armonici) che danno a queste v. il loro timbro caratteristico. Nel caso del francese le v. nasali sono quattro, quelle che corrispondono, p. es., alla pronuncia delle parole: «fin», «brun», «blanc» e «bon». La banda di frequenza delle formanti è indipendente dalla frequenza della fondamentale; si pensi al fatto che si possono cantare le diverse v. sulla stessa nota (Fig. 11.4.2) così come si può cantare la stessa vocale su note diverse (Fig. 11.4.3).

Il timbro delle v. presenta una grande variabilità già nell'ambito della parlata di uno stesso individuo, ma si differenzia maggiormente quando si prendano in considerazione più persone, soprattutto se di sesso, età e, soprattutto, lingua diversa. Nel canto il sistema fonatorio si attegga in modi più o meno diversi da quelli impiegati nell'eloquio dando luogo per ogni individuo alla formazione di v. a struttura acustica altrettanto diversa. Un modo comodo per rappresentare graficamente le v. e la loro variabilità è quello di identificarle nel piano cartesiano con punti le cui coordinate sono costituite dalla frequenza della prima formante (asse delle  $x$ ) e della seconda (asse delle  $y$ ) di ognuna di esse. I punti si dispongono in «triangoli vocalici» (Fig. 11.5.4(b)), che possono rappresentare a volta a volta sistemi di v. singole o la dispersione di v. dello stesso nome in «aree di esistenza». (Fig. 11.5.4(a)).

#### 11.4.2 Consonanti

L'emissione dei suoni vocalici può essere preceduta, interrotta o seguita da occlusioni o restringimenti del canale vocale, determinati dai movimenti articolatori. Le fasi di apertura e di chiusura di questi movimenti fanno variare i volumi delle cavità di risonanza e di conseguenza della struttura formantica, cioè del timbro, delle vocali che li precedono e li seguono. Tali variazioni si integrano nel nostro orecchio con i silenzi, i rumori o le nasalizzazioni che a volta a volta le accompagnano e sono percepite come *consonanti*. È possibile chiarirsi empiricamente l'andamento del fenomeno pronunciandole al rallentatore ed esplorando ad orecchio i cambiamenti del timbro vocale e i rumori annessi, in relazione ai movimenti d'occlusione e d'apertura del canale vocale. Le occlusioni e le costrizioni si realizzano per opposizione delle labbra e della lingua con gli incisivi superiori, il palato duro e il velo palatino. Come avviene per le vocali, le c. possibili sono teoricamente infinite in quanto i luoghi e i gradi di occlusione possono variare con continuità. Di fatto ogni lingua ne usa un numero limitato; il che non toglie che la struttura acustica di c. rappresentate con lo stesso segno alfabetico possa variare da lingua a lingua. Le manovre articolatorie danno luogo, nel maggior numero dei casi, a due serie di consonanti, c. *sorde* e c. *sonore*, a seconda che durante la loro pronuncia non si abbia o si abbia emissione di voce. Inoltre, se l'occlusione è completa e seguita da un'apertura brusca (esplosione) si parla di c. *momentanee*; se invece il canale vocale subisce soltanto una restrizione e l'emissione d'aria può essere prolungata si parla di c. *continue*.

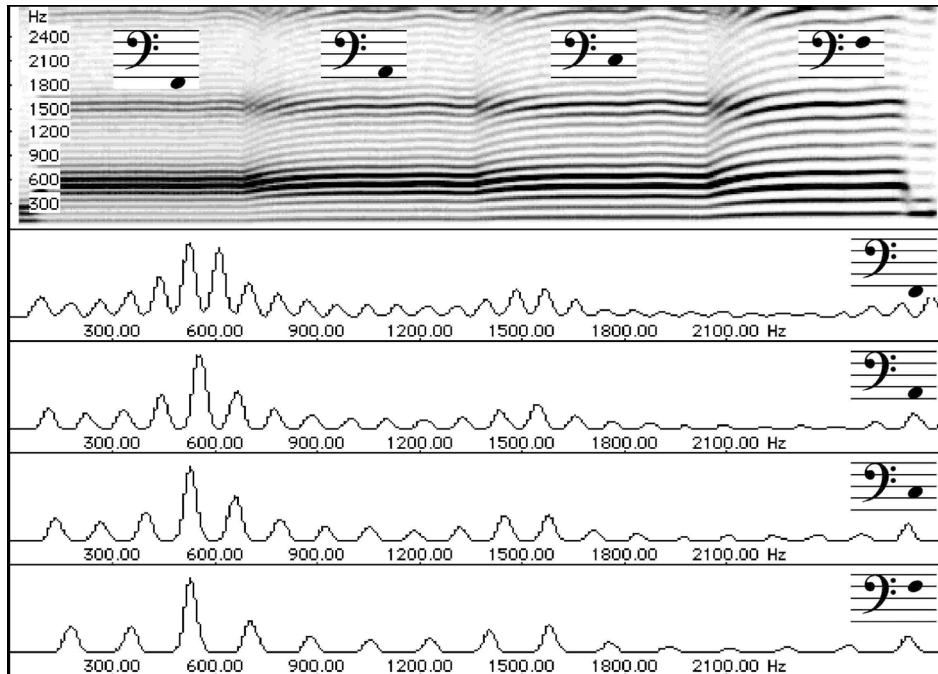


Fig. 11.4.3

La vocale [é] sintetizzata per chiarezza di esposizione come se fosse cantata da un basso su un accordo di fa maggiore ( $fa_1, la_1, do_2, fa_2 = 87,30; 110; 130,8; 174,7$  Hz). Si osservi come i picchi delle formanti cadano sempre nella stessa banda di frequenza mentre al cambiare della nota cambia la loro corrispondenza con il numero d'ordine degli armonici.

**CONSONANTI OCCLUSIVE.** S'intendono con questo termine le c. corrispondenti all'occlusione completa del canale vocale. Questa può essere ottenuta per avvicinamento delle labbra (*c. bilabiali* = [p] e [b]), appoggio dell'apice della lingua agli incisivi ed alle gengive superiori (*c. dentali* = [t] e [d]) e appoggio del dorso della lingua in luoghi progressivamente arretrati del palato duro e del palato molle a seconda della vocale che deve seguire (*c. palatali* = [k] e [g] di «gatto»). Nelle prime c. di ognuna delle tre coppie (sorde), si ha interruzione della voce al momento dell'occlusione. Sia nelle c. sorde, sia nelle c. sonore, all'atto del rilascio si manifesta un'esplosione per la quale queste c. sono dette anche *esplosive*. Lo spettro di queste esplosioni è molto esteso in frequenza, ma l'orecchio tende a percepirne maggiormente la zona di massima intensità; per [p] e [b] questa si aggira sui 1000 Hz ( $\pm si_4-do_5$ ); per [t] e [d] sui 4000 ( $\pm si_6-do_7$ ) mentre per [k] e [g] essa corrisponde alla formante buccale della vocale che segue.

In tedesco le *c. occlusive sorde* possono essere anche *aspirate*. Si intendono con questo termine le occlusive caratterizzate da un soffio avvertibile fra l'esplosione e la vocale che segue. In Italia l'aspirazione è tratto caratteristico della pronuncia toscana delle [k] in posizione intervocalica. Ancora in tedesco è normale davanti alle vocali iniziali accentate la *c. occlusiva laringale* [h] («haben») che si ottiene chiudendo momentaneamente le corde vocali (colpo di glottide).

**CONSONANTI NASALI.** Quando all'articolazione di una consonante occlusiva sonora si unisce l'abbassamento del velo palatino si ottiene una *c. nasale* che partecipa della struttura delle *c.* per quanto riguarda l'occlusione e delle vocali per quanto riguarda il passaggio dell'aria in vibrazione per le cavità nasali; dalla [b] si ottiene la [m], dalla [d] la [n] e dalla [g] di «giorno» (vedi oltre, *C. semioclusive*) la [gn] di «gnocco».

**CONSONANTI LATERALI.** Se la lingua prende contatto soltanto con la parte media dell'arcata degli incisivi superiori e degli alveoli o del palato l'occlusione del canale vocale risulta incompleta. In questo caso la colonna d'aria in vibrazione sfugge ai lati dando luogo alla formazione di *c. laterali*. In italiano esse sono la [l] e la [gl] di «figlio»; la prima corrisponde al contatto della lingua con incisivi ed alveoli, la seconda a quello con il palato. Il panorama delle lingue presenta una certa varietà articolatoria ed acustica di *c. laterali*, ma tutte hanno in comune il fatto di avere una struttura acustica simile a quella delle vocali, senza interruzione fra le formanti vocaliche adiacenti e le formanti consonantiche. Nel caso del francese la [l] perde la sonorità quando la consonante continua è sorda: [supl] di «souple», ecc.

**CONSONANTI VIBRANTI.** Tre organi articolatori sono in grado di vibrare: le labbra, la lingua e l'uvula (o uvola), ma nel linguaggio fonetico sono impiegate soltanto le ultime due. La loro vibrazione determina brevissime occlusioni separate da momenti vocalici, percepite come *c. vibranti*. La *c. vibrante* italiana tipica è la [r] *apicale*, realizzata con la lingua sollevata ad occludere il canale vocale ed i margini che toccano tutta l'arcata alveolare superiore mentre l'apice rimane libero di vibrare. Un numero limitato di italiani parla tuttavia con la [r] detta «francese» in quanto propria di questa lingua; essa è ottenuta con la vibrazione dell'uvula appoggiata alla parte posteriore della lingua ([r] *uvulare*). La realizzazione più comune della [r] consiste in una singola interruzione; la [r] geminata (o doppia = «rr») corrisponde alla successione di più interruzioni. La struttura formantica è simile a quella delle vocali con l'aggiunta di lievi rumori esplosivi corrispondenti al rilascio delle occlusioni. Può essere d'interesse pratico la pronuncia della [r] inglese monovibrante, «flapped [r]», pronunciata appoggiando la parte anteriore del dorso della lingua alla regione alveolare.

**CONSONANTI COSTRITTIVE O FRICATIVE.** Sono *c.* ottenute restringendo il canale vocale in luoghi e modi diversi per produrre un rumore fricativo. Sono le più numerose e la loro descrizione, anche limitandola alle lingue del repertorio musicale più comune, supererebbe i limiti di questa trattazione. Quelle italiane sono le *labiodentali* [f] e [v], pronunciate appoggiando gli incisivi superiori al labbro inferiore; le *alveolari* [s] sorda ed [s] sonora ottenute formando un canale stretto e corto fra la parte predorsale della lingua e gli alveoli in modo che la corrente d'aria incida sul margine degli incisivi superiori. Se la strettoia si allarga e il luogo di articolazione si sposta all'indietro si ottengono le *prepala-tali* [sc] e [j] del francese «jour». Quest'ultima, che non fa parte dell'italiano

letterario, corrisponde però alla pronuncia toscana della [g] di «gente» quando essa si trova in posizione intervocalica come appunto in «la gente», che diventa «la jente».

**CONSONANTI SEMICOSTRITTIVE O AFFRICATE.** Quando si combinano nello stesso punto di articolazione le manovre di un'occlusiva e di una fricativa si formano c. come le due [z], sorda e sonora ([t] +[s]) o come la [c] di «cena», c. sorda e la [g] di «gelo», c. sonora ([t] +[sc] di «scena»).

## 11.5 Il canto

### 11.5.1 Eloquio e canto

Nell'eloquio l'intonazione della voce varia con continuità senza mai stabilizzarsi su una frequenza particolare; quando invece tende a farsi determinata essa prende al nostro orecchio i caratteri del canto. In questo caso l'ambito tonale è solitamente maggiore che nell'eloquio così come, di solito, è maggiore l'intensità del suono emesso. Nel canto assumono importanza caratteri della voce che nell'eloquio non sono di fatto rilevanti.

### 11.5.2 Estensione vocale

Occorre distinguere fra possibilità d'emissione della voce e voce musicalmente utile. Il suono vocale, emesso con il comportamento respiratorio descritto per la produzione della [r] ha un'estensione di almeno una decimanona (= due ottave + una quinta) indipendentemente dalla classe vocale (vedi oltre) del soggetto. L'estensione della voce musicalmente utile è invece di circa due ottave e dipende dalla tecnica vocale adottata in funzione dei risultati perseguiti.

### 11.5.3 Classi vocali

La voce è un carattere antropometrico e come tale ha una variabilità. Dipende dalla costituzione dell'individuo e consente l'identificazione della persona. È inoltre un carattere sessuale secondario e come tale presenta un dimorfismo per il quale le voci femminili e quelle maschili costituiscono due gruppi separati. La differenza più evidente è che la variabilità in frequenza delle voci femminili si svolge all'ottava superiore di quelle maschili. La voce ha pure uno sviluppo legato all'età e, limitando il discorso agli aspetti musicali del fenomeno, le voci femminili e maschili in età prepuberale hanno un ambito di variabilità che rientra in quello femminile adulto. Con la pubertà nei maschi le dimensioni della laringe si accrescono più che nelle femmine mentre la posizione dell'organo nel collo si fa più bassa; la voce, cioè, «entra in muta» abbassandosi di un'ottava ed assumendo le caratteristiche maschili. La variabilità vocale è continua, ma le esigenze musicali hanno indotto i compositori a scrivere parti distinte per le voci basse, medie ed acute obbligando le voci a riunirsi in classi altrettanto distin-

te; dal basso all'acuto esse sono: *basso*, *baritono*, *tenore* (voci maschili); *contralto*, *mezzosoprano*, *soprano* (voci femminili). L'estensione delle diverse classi vocali è condizionata dalla tecnica vocale adottata e pertanto, parlando di cantanti, bisognerebbe indicarla specificando la tecnica cui ci si riferisce. Di fatto questo non avviene mai e pertanto in questa sede si sceglie di rimettersi all'autorità del lemma «Voce» del D.E.U.M.M. (Lupo, 1984): *basso*, re<sub>1</sub>-fa#<sub>3</sub>; *baritono*, la bem<sub>1</sub>-la<sub>3</sub>; *tenore*, do<sub>2</sub>-do#<sub>4</sub>; *contralto*, fa<sub>2</sub>-fa<sub>4</sub>; *mezzosoprano*: la bem<sub>2</sub>-si bem<sub>4</sub>; *soprano*: si<sub>2</sub>-do<sub>4</sub>. Le vicende stilistiche del melodramma ottocentesco hanno portato all'abbinamento delle classi vocali ai ruoli, motivo per cui si può genericamente dire che, nell'opera lirica, soprano e tenore sono i protagonisti, mezzosoprano e baritono gli antagonisti mentre contralto e basso rappresentano i personaggi di maggiore dignità sociale: re, sacerdoti, genitori, vecchi, ecc. Il processo di schematizzazione ha portato all'ulteriore suddivisione delle classi in sottoclassi più o meno ristrette e numerose, la cui nomenclatura dipende alquanto dall'opinione personale degli Autori, per un autorevole esempio della quale si rimanda al citato lemma del D.E.U.M.M. Ciò che importa è che i criteri di classificazione in uso sono legati a due parametri che dipendono molto dalla tecnica adottata: estensione e timbro. Quest'ultimo, peraltro valutato inevitabilmente ad orecchio, è determinante nella schematizzazione delle sottoclassi. Accade inoltre che la collocazione del cantante in una classe o sottoclasse — e quindi la tecnica vocale adottata — dipenda anche dal suo desiderio di ricoprire determinati ruoli così come dall'impostazione datagli dal maestro; questo, infatti, può sbagliare nel valutarlo o, come sovente accade, può tendere a plasmare gli allievi del suo sesso a propria immagine e somiglianza. Di qui i casi non infrequenti di passaggi da una classe vocale ad un'altra.

#### 11.5.4 Registri

Si chiamano *registri* i caratteri timbrici e dinamici assunti dalla voce in relazione al comportamento fonatorio nelle diverse regioni tonali. Dato che, a seconda del tipo di accordo pneumofonico spontaneo, del tipo di tecnica adottata e del livello di studio, nelle diverse regioni vocali l'emissione può essere più o meno omogenea, è possibile individuare nelle voci dei diversi cantori uno solo, due o tre registri. La questione è controversa per il fatto che le descrizioni si riferiscono solitamente alla predilezione o all'osservazione di una e una soltanto delle tecniche possibili, assunta come quella canonica. In questa sede si ritiene opportuno attenersi al caso musicalmente peggiore: quello del 1° tipo di comportamento fonatorio, in cui il timbro vocale è diviso in tre regioni corrispondenti ai tre meccanismi laringei, riconoscendo alle tre regioni il valore di registri. I registri hanno avuto storicamente vari nomi: chi riconosceva l'esistenza di tre registri li ha chiamati «di petto», «di gola» e «di testa» oppure «inferiore» (o «grave»), «medio» e «superiore» (o «acuto») oppure ancora semplicemente «primo», «secondo» e «terzo»; chi ne riconosceva soltanto due sommando in un unico registro quello inferiore e quello medio li ha chiamati «di petto» e «di testa» oppure «di falsetto», probabilmente per indicare il registro in corrispondenza del quale le voci comuni adottano il falsetto (vedi oltre) come tecnica di

emissione. Anche per i passaggi non vi è accordo perché chi riconosceva comportamenti fonatori differenziati fra il registro inferiore e il medio riteneva di poter parlare di un primo e di un secondo passaggio; chi invece non dava peso alle differenze fra il 1° e il 2° registro avvertiva soltanto la difficoltà del passaggio al 3° e quindi parlava di un unico passaggio: quello al registro acuto.

- *1° registro.* Corrisponde al 1° meccanismo laringeo descritto. In questo comportamento fonatorio i muscoli abbassatori dell'osso ioide e inclinatori della cartilagine tiroide sono impegnati a fissare in avanti la c. tiroide e a vincolarla allo sterno per consentire la contrazione attiva delle corde vocali. Contemporaneamente i m. abbassatori delle coste accentuano la componente costale dell'espiazione. È il meccanismo del grido, in cui le corde vocali sono contratte e producono un suono che ha in sé l'espressione dello sforzo. I muscoli estrinseci della laringe trasmettono le vibrazioni di questa al petto che entra in vibrazione forzata e le sensazioni pallestesiche che ne derivano (pallestesia = sensibilità ossea alle vibrazioni) sono abitualmente scambiate per risonanze. La voce così prodotta è detta *v. di petto*.
- *2° registro.* Corrisponde al 2° meccanismo laringeo descritto. La contrazione attiva delle corde vocali si riduce consentendo loro di essere distese passivamente dalle c. aritenoidi ruotanti all'indietro. Nelle voci comuni e non educate il timbro è riconducibile a quello della voce parlata. Verso il limite superiore, posto a circa una decima (= 10 note) dalla prima nota musicalmente utile, ricompare il meccanismo del grido usato come mezzo per raggiungere l'acuto. Se il cambio di comportamento è stato graduale il passaggio fra il primo e il secondo registro può passare inosservato. La voce così prodotta è detta *mista* ed anche *di gola*, ma altri la considerano ancora «di petto».
- *3° registro.* Corrisponde al 3° meccanismo laringeo descritto. Proprio delle voci naturalmente dotate oppure ottenuto per tecnica dà luogo alla voce detta *di testa* o, in terminologia antica, *di falsetto*.

#### 11.5.5 Tecniche vocali

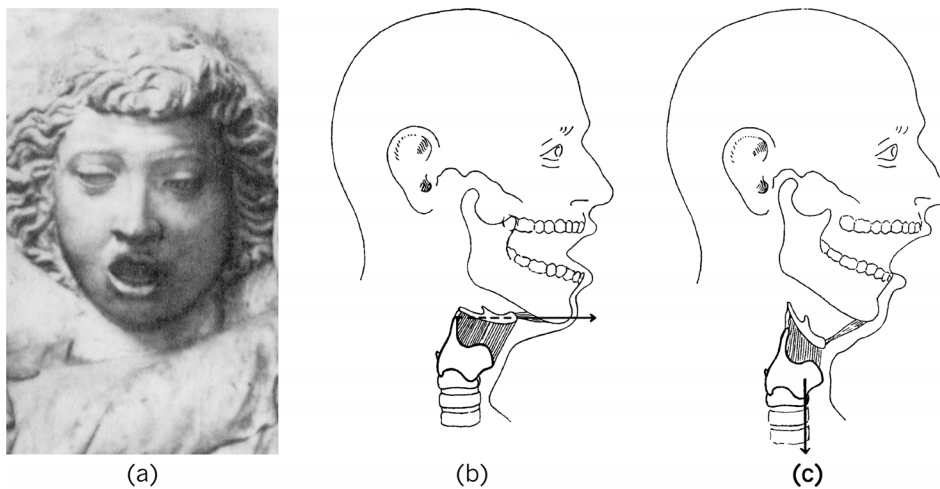
Il modo di usare la voce nel canto è estremamente vario e dipende dai meccanismi pneumofonici messi in atto; quando l'impiego di questi si fa sistematico si parla di *tecniche vocali*. Le tecniche vocali sono un carattere culturale, che identifica di volta in volta l'ambito geografico, sociale, stilistico, ecc. in cui il canto si realizza. Nella tradizione colta occidentale le t. vocali variano entro un'area di esistenza i cui lati immaginari possono essere rappresentati da tre caratteristiche fondamentali, che tendono a limitarsi vicendevolmente: espressività (comprensibilità ed attitudine a comunicare le emozioni), agilità (attitudine ad emettere molte note brevi in poco tempo) e potenza (attitudine a generare suoni di grande intensità in tutta l'estensione). Le t. vocali, quali di solito le si intende, sono modi di usare la voce, intesi ad ottenere determinati risultati musicali. Trattare di voce cantata senza aver definito preventivamente la t. vocale cui ci si

riferisce può condurre ad equivoci. In questa sede si descrive quella che si ritiene di poter definire «tecnica vocale naturale», corrispondente al comportamento fonatorio delle voci che nel gergo dei cantanti sono dette «naturali» o «impostate per natura»; dotate, cioè, «per natura» di grande estensione e di timbro tendenzialmente uniforme in tutta la stessa.

**TECNICA VOCALE NATURALE.** Si intende definire con questo termine la condotta vocale delle voci che per costituzione anatomico-fisiologica hanno un comportamento fonatorio ottimale. Il modello ottimale di espirazione, utile ad una buona emissione vocale in postura eretta, è quello che si pone spontaneamente in atto nell'emissione di una [r] apicale prolungata, mantenuta articolata agli incisivi superiori come nella pronuncia del gruppo consonantico [tr]. In questo comportamento fonatorio il lavoro dei muscoli addominali incomincia dalla loro inserzione al pube e spreme verso l'alto la massa viscerale, che a sua volta, come già detto, fa risalire i polmoni comprimendoli contro le pareti della gabbia toracica. Con essi risale la laringe il cui equilibrio di posizione, distribuito fra la sospensione al cranio ed il sostegno dei muscoli addominali, si sposta a favore di questa seconda componente. I m. sternotiroidei in particolare svolgono funzione di vincolo fra lo sterno e la parte libera della c. tiroide. In unione con i m. cricotiroidei essi inclinano quest'ultima stirando in avanti le c. vocali (3° meccanismo). L'apertura della bocca è realizzata con un atteggiamento della mandibola tendenzialmente avanzato, il cui modello è quello della pronuncia della [b] (Fig. 11.5.1(a)). Tale atteggiamento determina una trazione sui corni superiori della cartilagine tiroide, che collabora ad inclinarla (Fig. 11.5.2(b)). La lingua, che è sostenuta dai m. addominali tramite la pila di visceri interposta e che non è impegnata a sospendere la laringe, rimane morbida e nella pronuncia delle vocali la sua punta si appoggia agli incisivi inferiori. La differenziazione dei volumi delle cavità di risonanza, necessaria a produrre le vocali è ottenuta più con i movimenti verticali della lingua che con quelli della mandibola; ne consegue che il volume della cavità faringea tende a rimanere costante mentre quello della cavità orale si definisce di volta in volta nelle misure necessarie ad ottenere vocali definite. Il risultato è un buon compromesso fra l'omogeneità del timbro e la comprensibilità della parola. Questa tecnica è ottimale anche per l'estensione tonale e per l'espressione delle emozioni. È quella a bilancio energetico minimo, ma non è la più agile né la più potente.

**TECNICHE VOCALI POPOLARI.** Si usa qui il termine «popolare» per indicare sia le tecniche del canto popolare vero e proprio, sia quelle a diffusione popolare come quelle della musica leggera nelle sue varie espressioni. Ad esempio delle prime si può ricordare in Italia il canto dei montanari e delle mondine o, in America, quello in uso per *gospels* e *spirituals*. In ambiente rurale il lavoro fisico conferisce al corpo uno sviluppo muscolare armonico, di tipo atletico, ottimale per l'accordo pneumofonico e ne è prova il basso numero di voci stonate che vi si incontra. Contemporaneamente, però, l'impegno costante della laringe nello sforzo muscolare abitua l'organo ad una contrazione attiva anche nella fonazione. I registri usati sono di solito il primo ed il secondo in quanto l'abitudi-

ne alla chiusura della laringe negli sforzi muscolari rende difficile il passaggio al terzo. Il fenomeno è comune agli atleti. Da tutto questo derivano comportamenti fonatori del 3° tipo, che, essendo canto di forza, sono adatti a dare dimostrazione di prestanza vocale così come a comunicare emozioni evidenti, la cui espressione implica energia fisica. Sono codificate dalla tradizione e sono in via d'estinzione come gran parte delle forme culturali tradizionali. Le tecniche vocali della musica leggera sono in continua evoluzione.



**Fig. 11.5.1** (a) Tecnica naturale: Luca della Robbia (1400-1482), *Putto cantore* (Firenze, Museo di S. Maria del Fiore, particolare da un bassorilievo). (b) Inclinazione della cartilagine tiroide per trazione della mandibola sui corni superiori della stessa nella tecnica naturale, raffigurata da Luca della Robbia. (c) Azione dei muscoli inclinatori della cartilagine tiroide nella manovra «a sbadiglio»

Al momento in cui si scrivono queste note si osserva la tendenza a conservare nel canto le caratteristiche timbriche ed espressive della voce parlata con l'uso di comportamenti fonatori che variano fra il 1° e il 3° tipo. Dato che l'amplificazione elettrica risolve all'origine i problemi di volume, l'aumento dell'estensione è ottenuto di preferenza scendendo sotto i limiti musicalmente utili della voce non amplificata. L'effetto timbrico di acuto è raggiunto con il comportamento vocale del grido anche se l'estensione effettiva della voce tende a restare nei limiti del 2° registro. L'uso del falsetto (vedi oltre), che almeno nella cultura occidentale era pratica tipicamente maschile, si sta diffondendo come effetto espressivo anche tra le voci femminili. Nel momento attuale, inoltre, si ascoltano nasalizzazioni che talvolta sembra ragionevole ricondurre a scelte estetiche e talaltra a manovre tendenti all'inclinazione forzata della laringe per il passaggio al 3° registro.

**TECNICHE VOCALI DOTTE.** Le tecniche vocali dotte odierne sono quasi sempre tributarie di quella inventata in Italia verso il 1830 forse dal tenore Domeni-

co Donzelli (Della Corte, 1933). L'ingrandirsi dei teatri e l'ampliamento degli organici orchestrali avevano portato allo squilibrio, in seguito ulteriormente accentuatosi, fra la potenza acustica della grande orchestra e quella delle voci (Arteaga, 1783). La tecnica fino ad allora usata per incrementare la potenza della voce era quella di «incanalare» la lingua (Mancini, 1777). Con questa manovra, che impegna sia i muscoli della lingua che quelli abbassatori dell'osso ioide e inclinatori della cartilagine tiroide, il suono emesso è sensibilmente più forte di quello spontaneo. Altro modo di incrementare la potenza della voce era ed è quello di aumentare l'energia delle manovre muscolari proprie del canto d'agilità. È ragionevole argomentare che, unendole ed esasperandole, qualcuno sia arrivato all'abbassamento della laringe in modo riconducibile allo sbadiglio così come si fa nella maggior parte di quelle odierne (Fig. 11.5.1(c)). Nella sua forma originale quella tecnica, che conosciamo bene perché descritta compiutamente da Manuel Garçia (Garçia, 1847), era pericolosa per la salute vocale come fa sospettare la brevità delle carriere di molti cantanti e come risulta certamente dai documenti medici dell'epoca (Bennati, 1834). Si deve forse a quest'inconveniente e ai tentativi messi in atto per ovviarvi il disorientamento della vocalità che seguì (Della Corte, 1933).

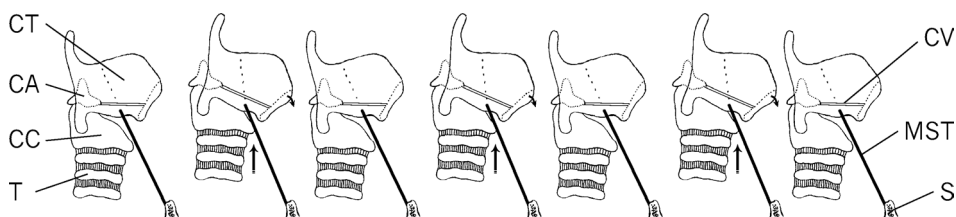
Le differenze culturali e le evoluzioni del gusto portarono all'ulteriore invenzione di tecniche la cui varietà è in gran parte da studiare e collocare sistematicamente nonché troppo vasta perché la si possa affrontare in questa sede. Anche l'osservatore inesperto, però, può osservare macroscopiche differenze fra i diversi cantori per quanto riguarda l'articolazione della mandibola e la respirazione. La prima può variare fra la spinta in avanti come nella pronuncia della [b] e la rotazione in basso come in uno sbadiglio vero e proprio. Gli effetti sono il tipo di trazione esercitata sulla cartilagine tiroide e lo spostamento in avanti o all'indietro della parete anteriore della cavità faringea con cambiamenti evidenti nel colore del suono vocale. Le conseguenze dei diversi tipi di respirazione sono costituite dai riflessi della contrazione della muscolatura addominale su quella della laringe e sulla lunghezza del canale vocale (risonanze) in funzione dei movimenti respiratori.

**FALSETTO.** Si intende con questo termine la voce emessa con tecnica artificiosa nella tessitura corrispondente al registro di testa ottenendo, nel caso degli uomini, un timbro simile a quello della voce infantile o femminile. Sembra ragionevole far risalire il termine al significato di «voce falsa» o «voce finta» (Caccini, 1601). Il f. è pratica ancora viva in alcune tradizioni culturali, p.es. quelle dei montanari svizzeri, bavaresi e tirolesi, che ne fanno uso nello «jodler». In ambito colto questo tipo di voce, che in epoca rinascimentale e barocca, fu coltivato particolarmente in ambiente francese (Bacilly, 1679), è stato riportato in auge dalla riviviscenza della musica antica ed ha oramai diffusione internazionale. Nella musica leggera al momento in cui si scrivono queste note ne fanno uso sempre più frequente sia le voci maschili, sia quelle femminili per ottenere effetti particolari nella tessitura che supera i limiti del secondo registro. La voce di f. è ottenuta chiudendo la parte posteriore delle corde vocali con una contrazione stabile, lasciandone vibrare quella anteriore e controllando l'intona-

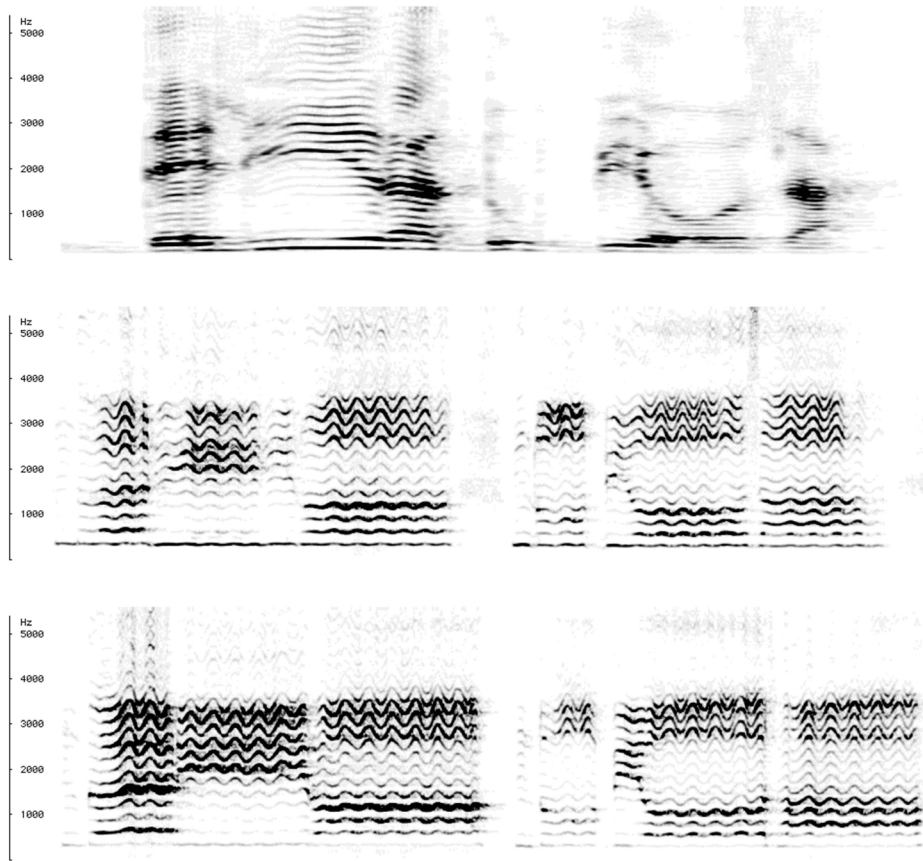
zione con il 2° e il 3° meccanismo. Fattore fondamentale di questa tecnica è la stabilizzazione dell'impedenza acustica del canale vocale, ottenuta con un comportamento fonatorio atto ad indurne valori che favoriscano la vibrazione delle corde vocali ad un'ottava sopra quella fisiologica (stabilità del volume della cavità faringea).

### 11.5.6 Vibrato

Il vibrato è una caratteristica peculiare della voce, che consiste nella modulazione di bassa frequenza (4,5-6 oscillazioni al secondo) dell'intonazione, dell'intensità e del timbro (Fig. 11.5.3). La sua ampiezza aumenta con l'intensità del suono emesso; allora esso può essere palpato sul collo come movimento periodico d'inclinazione in avanti della cartilagine tiroide. In certi casi i movimenti corrispondenti al v. possono essere osservati come escursioni verticali del «pomo d'Adamo» e, attraverso la bocca aperta, della base della lingua. L'interazione fra l'elasticità della parete addominale e la resistenza opposta alla fuoriuscita dell'aria dalle corde vocali in vibrazione dà luogo a variazioni periodiche di pressione, che determinano lievi risalite e discese della laringe. La cartilagine tiroide, trattenuta in avanti dai m. sternotiroidei, s'inclina maggiormente incrementando altrettanto periodicamente la tensione delle corde vocali (Fig. 11.5.2) e la frequenza del suono (Fig. 11.5.3). Le escursioni verticali della laringe determinano anche variazioni di forma e di lunghezza del canale vocale, che imprimono lievi modificazioni alla struttura formantica della voce. La frequenza e l'ampiezza del v. variano in particolare a seconda della tecnica vocale impiegata. Il vibrato è una componente fondamentale dell'espressione delle emozioni e, spontaneo per motivi fisici analoghi a quelli della voce negli strumenti a fiato, è riprodotto artificialmente dagli strumenti ad arco con l'oscillazione del dito sulla corda o per battimento fra due file di canne opportunamente accordate nel registro dell'organo, detto appunto «voce umana».



**Fig. 11.5.2** Movimento periodico d'inclinazione in avanti della cartilagine tiroide nella formazione del vibrato

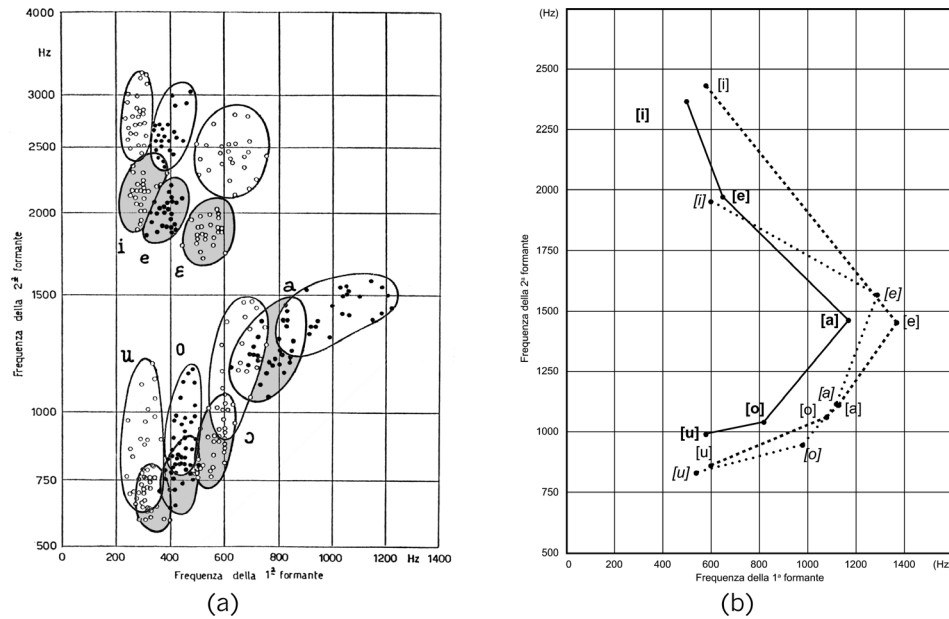


**Fig. 11.5.3** Spettrogrammi delle parole «delira dubbiosa» dall'omonima arietta (battute 9-11) del *Metodo pratico di Canto Italiano per Camera in 15 Lezioni* di Nicola Vaccaj, recitate (*esempio superiore*) e cantate dallo stesso tenore con tecnica da camera (*esempio medio*) e lirica (*esempio inferiore*). Nei due esempi cantati è evidente la modulazione di bassa frequenza dell'intonazione e dell'intensità, detta «vibrato».

### 11.5.7 Stonazione

L'incapacità di dare alle note l'intonazione desiderata o stonazione può dipendere dall'incapacità di riconoscere l'altezza dei suoni o, come più frequentemente accade, dall'incapacità fonatoria di emettere le note desiderate. Il primo caso rientra nell'*amusia* o sordità all'altezza dei suoni, che è congenita; il secondo dipende da un insufficiente coordinamento fonatorio. Quando l'accordo fra i movimenti respiratori e quelli della laringe è inadeguato può accadere che tutto il lavoro muscolare, necessario al controllo fine dell'intonazione sia scaricato sulla muscolatura intrinseca della laringe. In questo caso l'organo si comporta come se non avesse la forza per intonare e si sforzasse di farlo per tentativi. Nei casi più lievi è sufficiente una rieducazione fatta dando all'orecchio il ruolo di guida principale. Nei casi più gravi l'accordo pneumofonico necessario può essere ricostituito in via provvisoria con il controllo volontario della meccanica respira-

toria e l'eventuale aiuto manuale da parte di un assistente. In questi casi, superata una certa soglia di coordinamento il soggetto stonato intona di colpo. Risultati stabili si ottengono con i metodi della fisioterapia toraco-polmonare, rivolti a costituire una corretta meccanica respiratoria (Viglione, 1959).



**Fig. 11.5.4** (a) Aree di esistenza delle vocali italiane secondo Ferrero et al. (1979): in grigio le vocali maschili, in bianco quelle femminili. Il grafico è posto in questa sezione per essere messo a confronto diretto con quello della figura seguente. (b) Triangoli vocalici corrispondenti alle vocali delle parole «*delira dubbiosa*», tratte dall'omonima arietta di Nicola Vaccaj (1833), recitate (linea continua) e cantate dallo stesso tenore con tecnica da camera (linea tratteggiata) e con tecnica lirica (linea puntinata), i cui spettrogrammi appaiono alla Fig. 11.5.3

### 11.5.8 Mutazioni fonetiche nel canto

La diversa tensione cui sono sottoposte le corde vocali nel canto dà luogo ad un suono laringeo a struttura armonica diversa da quello dell'eloquio; inoltre il diverso comportamento pneumofonico altera la forma del canale vocale e le sue risonanze. Nell'emissione dei fonemi cantati la voce assume quindi strutture formantiche diverse (Fig. 11.5.3) e, al variare della tecnica vocale adottata, si determinano nuovi sistemi fonetici (Fig. 11.5.4(b)). Appaiono inoltre rinforzati gli armonici di frequenza superiore a quella delle formanti vocaliche e si parla di una formante supplementare, detta *formante del canto*; posta fra i 2,5 e i 3 kHz; impropriamente perché in realtà vengono rinforzate e variamente spostate formanti già esistenti nella voce parlata (Fig. 11.5.3). Al cambiare della tecnica vocale si osservano inoltre dislocamenti dell'energia acustica fra le di-

verse zone dello spettro con cambiamenti nell'intensità e nella larghezza di banda della formante del canto. Entro certi limiti gli spostamenti delle formanti delle vocali cantate non incidono sensibilmente sulla comprensibilità anche perché la conoscenza preventiva del testo o la sua lettura sul libretto consentono l'integrazione mentale del testo da parte dell'ascoltatore. Superati quei limiti — il che accade soprattutto nelle tecniche vocali a grande potenza — la comprensibilità diminuisce suscitando o non suscitando dissensi a seconda che l'ascoltatore sia più interessato alla parola o alla potenza della voce. Alterazioni sensibili si verificano anche a carico delle consonanti in quanto la maggiore apertura della bocca nel canto allunga i tempi di articolazione alterando pure i luoghi e l'ampiezza delle superfici di occlusione.

### 11.5.9 Intensità della voce in funzione dell'altezza tonale

L'attitudine della voce ad emettere suoni di intensità variabile sulla stessa nota cambia a seconda dell'altezza di questa. Tale variabilità può essere inscritta in un *fonetogramma* che è la rappresentazione dei valori minimi e massimi dell'intensità vocale, tracciati in funzione della frequenza della fondamentale sulle diverse vocali. I valori minimi e massimi si dispongono lungo due ellissi grossolane, una concava ed una convessa, che si intersecano delimitando un'area di esistenza della voce dall'aspetto approssimativo di un fuso sferico (Fig. 11.5.5). Genericamente si può dire che l'attitudine ad emettere suoni di intensità variabile è massima al centro dell'estensione vocale e minima ai due estremi. L'inclinazione del suo asse maggiore rappresenta bene l'attitudine a cantare piano anche negli acuti: quanto più la linea tende ad essere orizzontale tanto maggiore è questa attitudine nel cantore in esame. La dinamica vocale

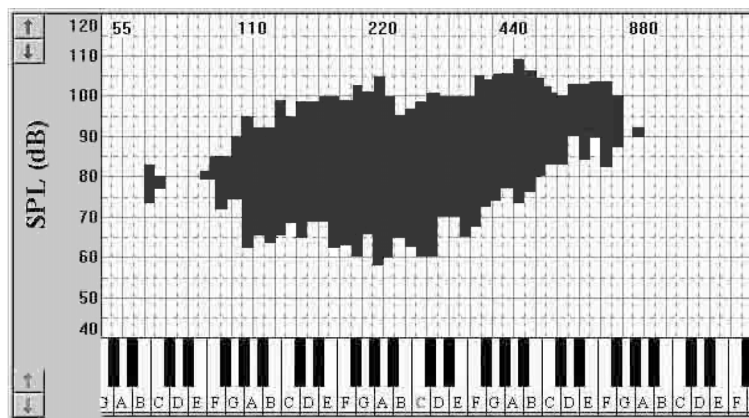


Fig. 11.5.5 Fonetogramma

rappresentata dal fonetogramma e la sua collocazione nell'area vocale statistica dipendono dalle caratteristiche anatomo-fisiologiche del soggetto, dal suo stato di salute, dal suo addestramento al canto e dalla tecnica vocale adottata.

### 11.5.10 Direttività della voce

L'attitudine della voce umana a propagarsi in una direzione preferenziale o direttività è funzione della sua struttura acustica. La direttività dei singoli armonici è tanto più alta quanto più alta è la loro frequenza, motivo per cui quella della voce cambia a seconda della vocale sulla cui è emessa. La direttività complessiva della voce, infine, è data dalla media delle direttività delle vocali del testo (Fig. 11.5.6). La composizione spettrale delle vocali è determinata sia dalle caratteristiche antropometriche del cantore (spettro del suono laringeo e volume delle cavità di risonanza) che dalla tecnica adottata. La direttività, inoltre, ha effetti sulla riverberazione. Ne consegue che, prendendo come riferimento l'ascolto in un teatro tradizionale a ferro di cavallo, le voci delle classi vocali basse giungono all'ascoltatore con un suono più avvolgente mentre quelle delle classi vocali acute giungono in modo più direttivo. Sono particolarmente direttive le voci emesse con tecniche rivolte segnatamente a rendere il timbro squillante.

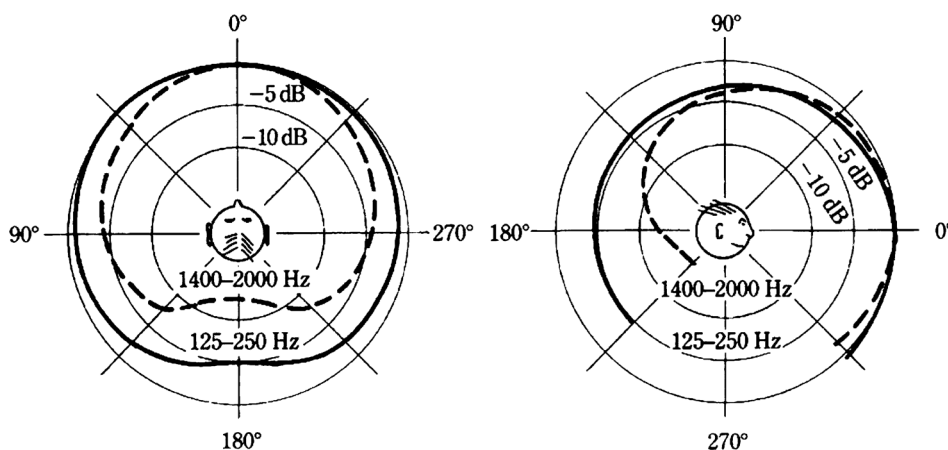


Fig. 11.5.6 Direttività della voce in funzione della frequenza

### 11.5.11 Portanza della voce

In gergo teatrale è detta «portanza» l'attitudine della voce a propagarsi nello spazio. L'intensità del suono vocale diminuisce progressivamente nello spazio per assorbimento, ma gli armonici acuti si attenuano prima di quelli gravi. La distribuzione dell'energia acustica nello spettro della voce incide quindi sulla sua udibilità alle diverse distanze nel senso che, a parità di energia iniziale, le voci con armonici gravi più intensi giungono più lontano («portano» di più). Il fenomeno interferisce con quello psicoacustico della variabilità del livello di

sensazione sonora al variare della frequenza; fenomeno per il quale, a parità di energia totale e di condizioni di ascolto, le voci con energia concentrata negli armonici acuti sono percepite come più forti. È da ricordare inoltre che la banda di frequenza della «formante del canto» coincide con la zona di massima sensibilità dell'udito. Di qui il caso frequente di voci emesse con tecniche rivolte a renderne il timbro particolarmente squillante, che sono ben percepite in tutto il teatro quando la dinamica del brano musicale è a livelli bassi o medi e che quando invece i livelli dinamici sono alti, ascoltate da lontano risultano sovrastate dall'orchestra benché il direttore, che le sente da vicino, abbia la sensazione di un giusto equilibrio musicale.

## BIBLIOGRAFIA

- ARTEAGA S., 1783, *Le rivoluzioni del teatro musicale italiano*, Trenti, Bologna.
- BACILLY B., 1679, *L'art de bien chanter*, Chez l'Authour, Paris.
- BALDACCINI N.E. - CAPANNA E. - FRANZONI M.F. - GIUDICE G. - MAZZI V. - NARDI I. - SIMONETTA A. - VELLANO C. - ZANIOLO G. - ZAVANELLA T., 1996, *Anatomia comparata*, Delfino, Roma.
- BENNATI F., 1834, *Studii fisiologici e patologici sugli organi della voce umana*, Sambrunico-Vismara, Milano.
- CACCINI G., 1601, *Le nuove musiche*, Marescotti, Firenze.
- CALLAGHAN J., 2000 *Singing and Voice Science*, Singular Publishing Group, San Diego, California.
- CROATTO L. (a cura di), 1985, *Anatomia e fisiologia degli organi della comunicazione*, vol. I di *Trattato di foniatría e logopedia*, La Garangola, Padova.
- DELLA CORTE A., 1933, *Vicende degli stili del canto* in *Canto e bel canto*, Paravia, Torino.
- FERRERO F. - GENRE A. - BOË L. J. - CONTINI M., 1979, *Nozioni di fonetica acustica*, Omega, Torino.
- GARÇIA M., 1847, *Traité complet de l'art du chant*, Zedde (2001), Torino.
- GODDARD F.E., 1985, *La voce*, Muzzio, Padova.
- HUSSON R., 1960, *La voix chantée*, Gauthier-Villars, Paris.
- IZARD C.E., 1983, *The maximally Discriminative Facial Movement Coding System*, University of Delaware, Newark, Delaware.
- LUPO B., 1984, lemma *Voce*, in *Dizionario Enciclopedico della Musica e dei Musicisti*, UTET, Torino.
- MAFFEI G.C., 1562, *Delle lettere del signor Gio. Camillo M. da Solofra libri due: dove tra gli altri bellissimi pensieri di filosofia e di medicina v'è un discorso della voce e del modo d'apparar di garganta senza maestro*, Amato, Napoli.
- MALMBERG B., 1974, *Manuale di fonetica generale*, Il Mulino, Bologna.
- MANCINI G., 1777, *Riflessioni pratiche sul canto figurato*, Milano.

- MARAGLIANO MORI R., 1970, *Coscienza della voce nella scuola italiana di canto*, Curci, Milano.
- MENICUCCI D., 2002, *Scuola di canto lirico e moderno. Indagine sulla tecnica di affondo da Mario Del Monaco ad Andrea Bocelli*, Omega Edizioni, Torino.
- NAIR G., 1999, *Voice – Tradition and Technology. A State-of-the-Art Studio*, Singular Publishing Group, San Diego, California.
- OTT J. E B., 1981, *La pédagogie de la voix et les techniques européennes du chant*, Éditions EAP, Issy-les-Moulineaux.
- UBERTI M., 1984, *Caratteri della tecnica vocale in Italia dalla lettera sul canto di Camillo Maffei al trattato di Manuel Garçia*, in *Atti e documentazioni del XV Convegno europeo sul canto corale*, Ass. Corale Goriziana «C. A. Seghizzi», Gorizia.
- ID., 1981, *Vocal techniques in Italy in the second half of the 16th century*, «Early Music», vol 9 n. 4, London.
- VIGLIONE F., 1959, *Manuale di fisioterapia toraco-polmonare*, Edizioni Minerva Medica, Torino.