



Nina Kraus

La mente sonora

Come il nostro cervello
elabora i suoni intorno a noi

Neuroscienze cognitive
dello sviluppo

 **hogrefe**

Neuroscienze cognitive dello sviluppo

Collana diretta da Giuseppe Cossu

3. La mente sonora. Come il nostro cervello elabora i suoni attorno a noi

La collana *Neuroscienze cognitive dello sviluppo* nasce con l'intento di offrire un quadro aggiornato delle conoscenze scientifiche sulle funzioni cognitive del bambino e sulle strutture cerebrali che ne governano lo sviluppo e il funzionamento. Le tematiche non possono che riflettere la speciale natura dell'oggetto d'indagine, cioè la genesi storico-culturale delle funzioni cognitive. Lo sviluppo del linguaggio e dell'intersoggettività, così come quello della lettura e scrittura o delle abilità di calcolo, sono mediati, infatti, da un'impalcatura neurale, specifica per ciascuna funzione, la cui costruzione è plasmata dalla concreta attività del bambino e dalle sue relazioni interpersonali nell'ambiente storico e culturale in cui cresce. Per tali ragioni, lo studio dello sviluppo delle funzioni cognitive richiede il contributo di discipline diverse, quali le neuroscienze, la linguistica, la psicologia dello sviluppo, la paleontologia, la genetica e la filosofia della scienza. Questa prospettiva interdisciplinare, poiché colloca la costruzione della struttura neurale dei sistemi cognitivi all'interno della rete di relazioni sociali dell'individuo, consente punti di osservazione diversi che convergono nel costruire una più articolata conoscenza dei processi di sviluppo e dell'organizzazione dei sistemi cognitivi nel bambino, e può fornire coordinate più precise per localizzare e, auspicabilmente, decifrare alcuni dei molti enigmi che caratterizzano i disturbi del neurosviluppo.

Oggetto della collana sono pertanto i disturbi di acquisizione del linguaggio, della lettura e scrittura e del calcolo, unitamente alle disabilità cognitive e ai disturbi della relazione, dell'attenzione e del controllo emotivo, con un focus forte sulle implicazioni diagnostiche e riabilitative. L'ambizione è di contribuire a una più profonda comprensione di ciò che rende unica la nostra specie e, allo stesso tempo, di porre le basi per costruire nuovi strumenti semeiotici, fruibili sia per l'analisi clinica sia per la riabilitazione dei deficit neurocognitivi in età evolutiva.

Nina Kraus

La mente sonora

Come il nostro cervello
elabora i suoni attorno a noi

Neuroscienze cognitive dello sviluppo

La mente sonora. Come il nostro cervello elabora i suoni attorno a noi

Nina Kraus

ISBN: 978-88-98542-98-7

Titolo originale: *Of sound mind. How our brain constructs a meaningful sonic world*

Prima edizione negli Stati Uniti presso MIT Press, Cambridge, MA

© 2021, Nina Kraus

Edizione italiana: © 2024, Hogrefe Editore

Viale Antonio Gramsci 42, 50132 Firenze

www.hogrefe.it

Traduzione dall'inglese: Jacopo Tarantino

Coordinamento editoriale: Jacopo Tarantino

Redazione: Alessandra Galeotti

Impaginazione: Stefania Laudisa

Copertina: Stefania Laudisa e Ippolito Tarantino

Tradotto e pubblicato su licenza rilasciata da The Italian Agency in collaborazione con Pande Literary Agency, Att. Anne Edelstein.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata la riproduzione dell'opera o di parti di essa con qualsiasi mezzo, compresa stampa, copia fotostatica, microfilm e memorizzazione elettronica, se non espressamente autorizzata dall'editore.

L'autrice

Nina Kraus è *Hugh Knowles Professor* di Neurobiologia, scienze della comunicazione, linguistica e otorinolaringoiatria presso la Northwestern University, Evanston, IL. Come biologa e musicista dilettante, si interessa alla relazione tra suono e salute del cervello.

I suoi studi l'hanno portata a scoprire come la nostra vita nel suono, nel bene (i musicisti o i bilingui) e nel male (le conseguenze di una commozione cerebrale, la perdita dell'udito, i disturbi del linguaggio, il vivere nel rumore), modelli il modo in cui il nostro cervello dà un significato ai suoni che udiamo. Attraverso l'attività di ricerca condotta nel suo laboratorio, Nina Kraus sostiene scelte biologicamente informate nell'istruzione, nella salute e nella società: www.brainvolts.northwestern.edu.

A Mikey, Russell, Nick e Marshall

Indice

INTRODUZIONE. La mente sonora: una partnership tra suono e cervello	1
Il suono è poco riconosciuto, l'udito è poco apprezzato	1
Il suono ci connette con il mondo	3
Il nostro cervello uditivo coinvolge percezione, movimento, pensiero e sensazione	4
Il cervello uditivo è plasmato dall'esperienza	6
Senza confini	7
La mente sonora	8
 PARTE PRIMA. COME FUNZIONA IL SUONO	
1 Segnali esterni alla testa	13
1.1. Ingredienti sonori	14
1.2. Altri ingredienti sonori	23
1.3. Segnali esterni e interni alla testa: ingredienti	25
2 Segnali all'interno della testa	27
2.1. Ingredienti esterni e interni	27
2.2. A monte e a valle	28
2.3. L'orecchio	30
2.4. Il cervello uditivo	33
2.5. Non riuscire a dare un senso al suono: quando i segnali all'interno della testa incontrano un ostacolo	40
2.6. La trasformazione dell'orecchio in cervello: domande e risposte	41
2.7. Spostamento a valle (efferente)	42
2.8. L'udito coinvolge gli altri sensi	43
2.9. L'udito coinvolge il modo in cui ci muoviamo	44
2.10. L'udito coinvolge ciò che sappiamo	45
2.11. L'udito coinvolge il nostro modo di provare sensazioni	45
3 Apprendimento: fondere i segnali esterni alla testa con quelli interni	48
3.1. Mappe	50
3.2. La storia del barbagianni	52

3.3. L'apprendimento uditivo	54
3.4. Da conscia a inconscia: l'elaborazione dei suoni che ci circondano	62
4 Il cervello che ascolta: una ricerca	65
4.1. Misurare dall'esterno i segnali interni alla testa	67
4.2. Fase 1: sapere quando il suono cambia	68
4.3. Fase 2: elaborare gli ingredienti sonori	71
4.4. Ascoltare il cervello in ascolto: arte e scienza	74
4.5. Esperienza	76
4.6. Istantanea e hub dell'elaborazione uditiva	77
PARTE SECONDA. I NOSTRI SÉ SONORI	
5 La musica è il jackpot: percepire, pensare, muoversi, sentire	83
5.1. Il cervello del musicista	83
5.2. La musica chiama in causa il cervello che percepisce, muove, sente e pensa	84
5.3. Musicoterapia	93
6 Ritmo: dentro e fuori la testa	95
6.1. Ritmi veloci e lenti	97
6.2. Il ritmo è <i>in noi</i>	98
6.3. Intelligenze ritmiche	99
6.4. Ritmi cerebrali	100
6.5. Ritmo, linguaggio e ascolto	101
6.6. Ritmo e apprendimento vocale	103
6.7. Ritmo e movimento	104
6.8. Ritmo e socializzazione	105
6.9. Ritmo per la salute	106
6.10. Conclusioni	108
7 La radice del linguaggio è il suono	109
7.1. Il suono e il cervello che legge	111
7.2. Un suono potente: /da/	115
7.3. Usare la mente sonora per prevedere la lettura	119
7.4. Migliorare il suono	120
7.5. Deprivazione linguistica	122
7.6. L'autismo	124
7.7. Vantaggi del cervello con difficoltà di linguaggio	126
7.8. Differenze di sesso e disturbi del linguaggio	127
7.9. Rafforzare il linguaggio con il suono	129
8 Musica e linguaggio: una partnership	131
8.1. Musica e linguaggio	131
8.2. Lettura e cervello del musicista	133
8.3. Analisi della scena uditiva	134
8.4. Neuroeducazione	136
8.5. Cosa abbiamo imparato	139
8.6. Abbracciare la musica	143
8.7. L'educazione musicale dal punto di vista della mente sonora	145

9	Il cervello bilingue	147
9.1.	La sintonizzazione della mente sonora è specifica per lingua	148
9.2.	Il cervello bilingue non è la somma di due cervelli monolingui	152
9.3.	Il lato negativo: a cosa rinunciano i bilingui?	153
9.4.	Il lato positivo: cosa guadagnano i bilingui?	155
10	Il canto degli uccelli	161
10.1.	Quali uccelli cantano?	162
10.2.	Meccanica del canto degli uccelli	163
10.3.	Canto degli uccelli e linguaggio	164
10.4.	Canto degli uccelli e musica	166
10.5.	Apprendimento vocale	169
10.6.	Sesso e canto	173
11	Rumore: smettete di fare rumore, mi fa male al cervello!	175
11.1.	Che cos'è il "rumore"?	175
11.2.	L'impatto biologico del rumore "pericoloso" (danni all'orecchio)	177
11.3.	L'impatto biologico del rumore "sicuro" (danni al cervello)	178
11.4.	Rumore dentro la testa	182
11.5.	Impatto biologico del rumore nell'ambiente	184
11.6.	Cosa possiamo fare contro il rumore?	186
12	Invecchiamento e mente sonora	191
12.1.	L'impronta del cervello uditivo che invecchia	193
12.2.	Prevenire l'invecchiamento uditivo	196
12.3.	Accogliere l'invecchiamento	201
13	Salute del suono e del cervello: riflettori puntati su atleti e commozione cerebrale	202
13.1.	Un aspetto positivo dello sport: la mente sonora dell'atleta	203
13.2.	Un aspetto negativo dello sport: la commozione cerebrale	205
13.3.	Breve storia della valutazione del cervello attraverso il suono	208
13.4.	Commozione cerebrale e udito	209
13.5.	Riassumendo	214
14	Il nostro passato, presente e futuro sonoro	215
14.1.	Il suono è ovunque, anche dove meno ce l'aspettiamo	215
14.2.	Una parola sulle metafore	217
14.3.	Il suono ci connette al mondo vissuto	217
14.4.	Il contesto e la mente sonora	218
14.5.	La nostra personalità sonora	221
14.6.	La mente sonora dà forma alle scelte che facciamo per il nostro futuro sonoro	222
	Ringraziamenti	227
	Bibliografia	233
	Glossario	293
	Indice analitico e dei nomi	297

INTRODUZIONE.

LA MENTE SONORA: UNA PARTNERSHIP TRA SUONO E CERVELLO

Il suono è poco riconosciuto, l'udito è poco apprezzato

È raro che un ambiente sia privo di suoni. Esistono stanze insonorizzate che, sulla carta, sono prive di suoni. Ma se avete l'opportunità di starci dentro, vi accorgerete subito del leggero fruscio degli indumenti mentre spostate il peso da un piede all'altro, del sussurro del vostro respiro leggero, del dolce rimbombo del battito del vostro cuore, degli scricchiolii del collo quando girate la testa, del lieve raschiare della lingua quando sfiora il dorso dei denti anteriori, del brontolio della vostra pancia. Il suono è tutto intorno a noi, ineludibile e invisibile.

Il nostro senso dell'udito è sempre "acceso". Non possiamo chiudere le orecchie come gli occhi. Ma, forse più di ogni altro senso, siamo in grado di ignorare i suoni che non sono importanti, di relegarli sullo sfondo della nostra coscienza. Tutti noi abbiamo sperimentato la sensazione di accorgerci di un suono solo dopo che questo è improvvisamente scomparso. Forse un frigorifero si spegne. O nelle vicinanze un camion al minimo spegne il motore. O il vicino del piano di sotto spegne la televisione. L'ineluttabilità del suono insieme alla nostra capacità di escluderlo rendono complicato il nostro rapporto con esso. È il nostro principale mezzo di comunicazione e quindi è al centro della nostra esistenza come esseri umani interconnessi. Eppure, l'udito è spesso dato per scontato. La maggior parte di noi, di fronte al dilemma, rinuncerebbe all'udito prima di rinunciare alla vista, perché possiamo immaginare di navigare nella nostra vita quotidiana in silenzio, ma non al buio. Il suono è poco riconosciuto. L'udito è poco apprezzato.

Il mio interesse per il suono è iniziato presto. Sono cresciuta con la musica: mia madre era pianista. Il mio posto preferito per giocare, da bambina, era

sotto il pianoforte. Portavo lì i miei giocattoli e giocavo sullo sfondo di Bach, Chopin e Skrjabin. Sono anche cresciuta in una casa in cui si parlava più di una lingua, visto che facevamo la spola tra New York e la natia Trieste. Avevo amici e parenti in entrambi i paesi e mi muovevo abbastanza bene in entrambe le lingue. Queste prime esperienze con il linguaggio e la musica mi hanno lasciato un'impronta profonda e sono il motivo per cui, anni dopo, come neuroscienziata e professore universitario, il mio corso d'insegnamento preferito è "Fondamenti biologici del linguaggio e della musica". Quel corso e questo libro parlano del suono – della sua ricchezza, del suo significato, del suo potere – e del cervello che dà senso a tutto questo, rendendoci ciò che siamo.

Il percorso tra il pianoforte della mamma e lo studio del cervello uditivo, estremamente preciso nell'elaborare i suoni della nostra vita, non è stato lineare. All'università, il mio interesse per le parole e le lingue mi ha portato prima alla letteratura comparata. È stata la mia specializzazione, finché non ho seguito un corso di biologia. Nello stesso periodo ho trovato un libro di Eric Lenneberg del 1967, *Biological foundations of language* (suona familiare?)¹. In esso, l'autore scriveva dei principi biologici ed evolutivi che rendono possibile il linguaggio. Univa lo studio del linguaggio a quello della biologia in un modo che all'epoca era nuovo. Questo attirò la mia attenzione. Mi resi conto che quest'area di studio era possibile e sapevo che era quella che volevo perseguire. Ma non volevo limitarmi al linguaggio. M'interessava il tema più ampio del suono stesso. I suoni sono tutti intorno a noi all'esterno, ma che cosa succede all'interno del cervello quando sentiamo una parola, un accordo, un miagolio o un grido, cosa succede nel cervello? In che modo i suoni ci cambiano? In che modo le nostre esperienze con i suoni cambiano come li sentiamo? Ho scelto la biologia dell'elaborazione del suono come campo di studio.

Quando sono arrivata alla scuola di specializzazione, ho capito che potevo essere pagata per *imparare*. Il mio stipendio mensile era 200 dollari e l'affitto 50. Ero a posto! Ora dovevo solo capire quale strada avrebbe preso la mia ricerca sulla biologia dell'elaborazione del suono. Mi ritrovai presto in un laboratorio che studiava la soppressione di due toni nel nervo acustico del cincillà, ovvero l'influenza che un suono ha su un altro quando entrambi i suoni si presentano contemporaneamente². Mentre spiegavo con entusiasmo tutto questo alla mamma, lei mi guardò e mi chiese: "Nina, cosa stai facendo?" In quel momento mi resi conto che non riuscivo a spiegare perché la sovrapposizione dei due toni nel cincillà dovesse interessarle. Perché avrei dovuto fare delle ricerche? Nina, cosa stai *facendo*?

Mi diventò chiaro che se non potevo spiegare a mia madre come passavo il mio tempo, non volevo passarlo in quel modo. Ho capito che la scienza che faccio dev'essere esplicitamente fondata sul mondo vissuto. Ero ancora

immensamente interessata al suono e al cervello, così sono passata al laboratorio successivo, dove ho lavorato con i conigli e la corteccia uditiva. Lì ho scoperto che con l'addestramento – imparando ad assegnare un significato a un suono – i singoli neuroni del cervello uditivo cambiavano il loro comportamento³. Quando un suono ha poco significato, il cervello risponde in un modo. Ma quando quello stesso suono acquista rilevanza – ad esempio, il cibo sta arrivando –, il cervello risponde in modo diverso. Si forma un'associazione suono-cervello collegata al mondo vivente. Il *significato* dei segnali esterni al cervello è importante per i segnali interni al cervello. All'epoca questa era una novità e, cosa più importante, era qualcosa che potevo spiegare alla mamma. Lei poteva capirne il significato, come *chiunque*. Intendevo scoprire come e perché il cervello cambiava la sua risposta a un suono che aveva un significato.

Il suono ci connette al mondo

La capacità di percepire i suoni è evolutivamente antica. Tutti i vertebrati hanno un meccanismo di udito. Al contrario, molti vertebrati sono ciechi, tra cui alcune specie di talpe, anfibi e pesci e una serie di abitanti delle caverne. La percezione del suono si è evoluta per autoconservazione, un sistema di allarme contro i predatori o altri pericoli ambientali. La sensazione di stress che provoca il rombo del traffico potrebbe essere un'ombra, nel ventesimo secolo, della reazione dei nostri lontani antenati a un rumore che segnalava l'arrivo di una valanga o il fuggi fuggi di una mandria.

Helen Keller* ha commentato che “la cecità ci disconnette dalle cose; la sordità ci disconnette dalle persone”. Il suono rappresenta cose che non possiamo vedere e non possiamo descrivere. Pensate a come vostra madre vi chieda “Qual è il problema?” nel momento in cui prende il telefono e sente la vostra voce che non è proprio quella giusta. Il suono non si vede, ma è palpabile e denso di significato.

Perché allora la vista è in testa in un sondaggio sul “senso preferito”? (Scott et al., 2016)^{4**}. Perché l'istituto per la vista dei National Institutes of Health^{***} è stato fondato vent'anni prima di quello dedicato all'udito? Credo

* Scrittrice, attivista e insegnante statunitense, sordo-cieca (1880-1968) (NdT).

** Circa 2.000 statunitensi adulti hanno risposto a un sondaggio online che chiedeva loro di classificare la malattia o il disturbo “peggiore che potrebbe capitarti”. La cecità si è classificata come la peggiore, superando la sordità e una serie di altre malattie piuttosto gravi, tra cui il morbo di Alzheimer, il cancro e la perdita di un arto.

*** I National Institutes of Health (NIH) sono il corrispondente statunitense del nostro Istituto Superiore della Sanità.

che uno dei motivi sia che abbiamo dimenticato *come* ascoltare. Il continuo frastuono che ci circonda ci ha reso insensibili ai suoni e incapaci di percepirne i dettagli. Abbiamo quindi scelto d'ignorare il suono e di rivolgerci alla visione. Un altro motivo è che, come la gravità e altre forze potenti nella nostra vita, il suono è invisibile. Quando è stata l'ultima volta che avete prestato attenzione alla gravità? Lontano dagli occhi, lontano dalla mente. Infine, il suono è fugace. Se vediamo un trattore che attraversa un campo di grano, rimane grande, giallo e metallico anche quando passa da un lato all'altro del nostro campo visivo. Ha una permanenza. Attende che ci immergiamo nella sua "trattoriosità" e ricompensa la nostra prolungata e comoda visione con una serie di descrittori legati alla vista. Ma un suono può finire in un istante o evolversi in un attimo in un suono diverso. E una volta che è sparito, è sparito.

Consideriamo la più piccola unità del linguaggio dal punto di vista acustico. La parola *brink* ["sull'orlo"] ha una sola sillaba, ma ha cinque fonemi o suoni distinti. Cambiandone uno, il significato cambia (*drink* ["bere"]) o si perde (*brint*). Nel linguaggio parlato corrente, sentiamo da venticinque a trenta fonemi *al secondo* e, se non li elaboriamo correttamente, il messaggio può andare perso. Tuttavia, nella maggior parte delle circostanze, questo turbinio di suoni non rappresenta una sfida per il nostro veloce sistema uditivo. Pensate di dover elaborare un oggetto *visivo* che cambia da venticinque a trenta volte in un secondo. Ecco una palla! Ora è una giraffa! Ora è una nuvola!

Come riusciamo a identificare un parlato che si muove troppo velocemente per essere studiato con calma? Sfruttiamo l'impareggiabile velocità e potenza di calcolo del cervello uditivo. Pensate a quanto è lungo un secondo. Ora pensate a un decimo di secondo. Ora a un centesimo di secondo. A quel punto, è piuttosto difficile capire quanto sia veloce. Ora aggiungete un altro zero. I neuroni uditivi effettuano calcoli a un millesimo di secondo. La luce è più veloce del suono, ma nel cervello l'udito è più veloce della vista, del tatto e di qualsiasi altro senso.

Il nostro cervello uditivo coinvolge percezione, movimento, pensiero e sensazione

Non ci limitiamo a *sentire* i suoni, ma ci *impegniamo* profondamente con essi, dando loro un senso. Il *nostro cervello uditivo è vasto*. L'udito coinvolge percezione, movimento, pensiero e sensazione. Fino a poco tempo fa non la vedevamo in questo modo. Le bellissime strutture uditive specializzate che collegano l'orecchio al cervello possono inizialmente far pensare agli

operai di una catena di montaggio. Un prodotto (il suono) entra nell'orecchio e viene spostato da una stazione all'altra, raccogliendo pezzi lungo il percorso. Questa rappresentazione gerarchica e unidirezionale è la visione classica dell'elaborazione del suono. Persiste tuttora, ma è una semplificazione grossolana e non coglie il quadro generale. La via uditiva non è una strada a senso unico nel bel mezzo di un deserto; è parte di un'autostrada a più sensi in un centro urbano trafficato, completa di rampe d'accesso e di uscita, rotatorie e complicati svincoli, che instrada il traffico da e verso numerosi quartieri del cervello. Quando tutto funziona al massimo dell'efficienza, è una meraviglia d'infrastruttura e il traffico scorre fluido e veloce. Ma, come in un'autostrada urbana, possono verificarsi dei rallentamenti causati da un incidente avvenuto a un chilometro di distanza, in una zona della città che non ha alcuna attinenza con il traffico che sto sperimentando in questo momento.

Sì, ci sono gerarchie, compartimenti e specialità all'interno della via uditiva, ma sono importanti nella misura in cui si interconnettono e si collegano con forze esterne. Conquiste umane come il linguaggio e la musica non derivano dai centri di elaborazione uditiva che diligentemente spostano le informazioni sul paesaggio sonoro uditivo in una via a senso unico che dall'orecchio va al cervello. Esse sono, piuttosto, il risultato di una profonda rete d'interconnessione tra il nostro sistema sensoriale, le reti motorie, il sistema di ricompensa (cioè le strutture neurali responsabili della motivazione e delle sensazioni che coinvolgono il piacere) e i centri cognitivi che governano il modo in cui pensiamo. In effetti, l'udito coinvolge la percezione, il movimento, il pensiero e la sensazione (cfr. fig. I.1).

Le connessioni *uditivo-motorie* ci permettono di muovere la bocca, la lingua e le labbra per parlare e cantare, e lavorano a stretto contatto con varie parti del corpo quando suoniamo strumenti musicali. Quando ascoltiamo un discorso, muoviamo inconsciamente la lingua e gli altri muscoli articolatori in sincronia con chi stiamo ascoltando.

L'udito e il pensiero sono collegati. Possiamo avere alcune vocalizzazioni istintive – mi viene in mente il suono che emerge quando mi colpisco un dito con un martello. Ma è necessaria una grande capacità *cognitiva* e intellettuale per pronunciare anche le frasi più semplici o suonare la musica più elementare. E questo vale in entrambi i sensi. Il rischio di demenza è significativamente più alto nelle persone che hanno perso l'udito. Non si tratta solo del fatto che la perdita dell'udito rende più difficile per lo zio Joe seguire le conversazioni e quindi sembrare meno sveglio. Essa compromette il nostro modo di pensare⁵.

Il suono della parola e della musica ha un accesso privilegiato al sistema di *ricompensa* del cervello, o rete emozionale. Il linguaggio e la musica

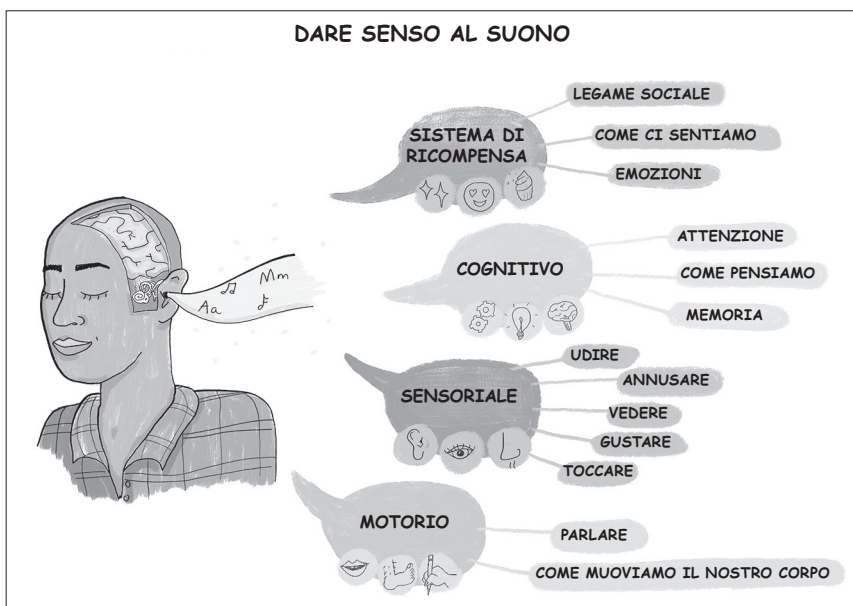


Figura I.1. Dare senso al suono coinvolge il modo in cui pensiamo, sentiamo, percepiamo e ci muoviamo.

avrebbero potuto non essersi evoluti, se non fosse per i profondi sentimenti emotivi di connessione con gli altri esseri umani che nascono nel corso di queste attività sociali. Il suono, infatti, contribuisce al nostro senso di appartenenza al mondo, al nostro personale senso di casa.

Che il processo dell'udire non si svolga lungo un percorso isolato e unidirezionale è ormai ampiamente accettato, ma il cambiamento di pensiero che questa affermazione rappresenta è relativamente nuovo, nell'arco della mia carriera. L'interconnessione del sistema uditivo con il resto del cervello ha un effetto drammatico sul modo in cui elaboriamo i suoni. È il cuore della nostra esperienza con il suono, con le persone e con la nostra individualità.

Il cervello uditivo è plasmato dall'esperienza

Io e mio marito siamo spesso in disaccordo sulla regolazione del termostato, perché percepiamo la stessa temperatura in modo diverso. I sistemi sensoriali non sono strumenti scientifici che misurano in modo oggettivo attributi fisici come la massa o la temperatura. Al contrario, il nostro cervello analizza i segnali che compongono il mondo fisico in modo che abbiano un significato per noi. Il senso che diamo al suono è profondamente influenzato dal modo

in cui sentiamo, pensiamo, vediamo e ci muoviamo. All'opposto, l'udito influenza il modo in cui sentiamo, pensiamo, vediamo e ci muoviamo.

Sono sicura che la mia reazione al sentire “Nina” è molto diversa dalla vostra. Nelle lingue tonali, come il cinese mandarino, la stessa sillaba ha un significato diverso se viene pronunciata con un'intonazione uniforme, discendente o crescente. Un parlante cinese mandarino, quindi, è più impegnato di un parlante inglese a sfruttare le risorse cerebrali per codificare questi segnali di intonazione⁶. Nel corso del tempo, il lavoro di squadra tra suono e cervello modifica il modo in cui il cervello risponde ai suoni. Questo è lo stesso ricablaggio che rende la voce della mamma saliente per il bambino, anche se la mamma non è in vista, e spiega perché, aneddoticamente, nel mio laboratorio una bambina di nome *Dayna* ha avuto una risposta cerebrale extra-large alla sillaba “day” rispetto alle sillabe “doo”, “doh”, “dah” e “dee” ascoltate in uno dei nostri esperimenti (cfr. fig. I.2).

Senza confini

Quando avevo cinque anni, i bambini del quartiere mi dissero: “Devi avere sei anni per giocare con noi”. Questa interazione e altre simili, insieme all'appartenenza a due culture – non sentirmi del tutto italiana né del tutto

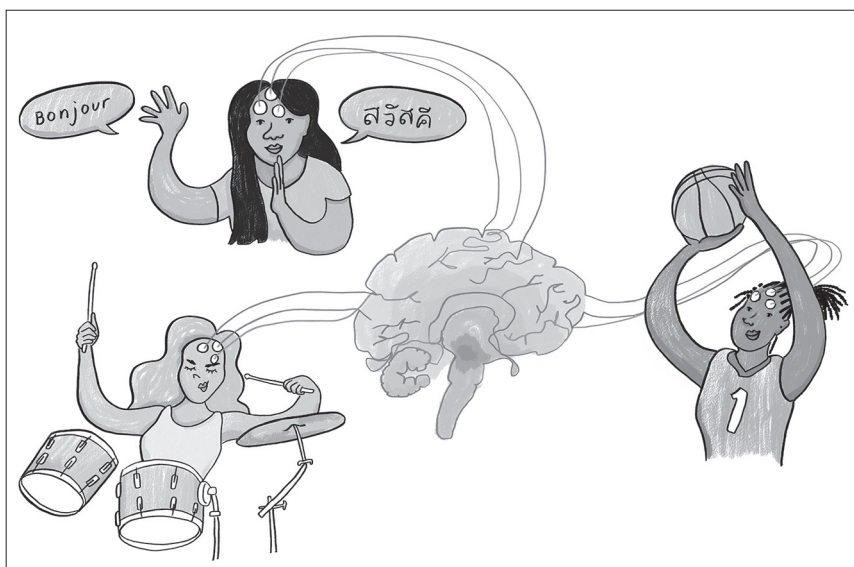


Figura I.2. L'elaborazione del suono nel cervello è influenzata dalle lingue che parliamo, dalla musica che facciamo e dalla nostra salute cerebrale.

americana – mi ha fatto a lungo chiedere quale sia il mio posto. Qual è il mio posto come scienziata? Mi sono sempre sentita più a mio agio all'intersezione delle discipline, piuttosto che al centro di una di esse, e così ho costruito il mio laboratorio, Brainvolts, secondo quest'immagine.

Se date un'occhiata al sito di Brainvolts (<https://brainvolts.northwestern.edu>), troverete, tra le aree che studiamo, temi come musica, commozione cerebrale, invecchiamento, lettura e bilinguismo. Potreste chiedervi: “Ma cosa fanno a Brainvolts?” Il semplice denominatore comune è la collaborazione tra suono e cervello. Il suono coinvolge molti aspetti della nostra vita e plasma il nostro cervello di conseguenza.

Mio marito si riferisce a Brainvolts come al mio “chiosco degli hot dog”. Il mio lavoro consiste nel fare il necessario per creare l'infrastruttura necessaria a vendere hot dog. Uno scienziato ha bisogno di attrezzature specializzate e, soprattutto, ha bisogno delle persone giuste. Può essere una pena perché i miei interessi di studio raramente rientrano nell'ambito specialistico della maggior parte delle fonti di finanziamento. Spesso mi sento come se avessi di nuovo cinque anni e mi sentissi dire: “Noi finanziamo solo bambini di sei anni”. Questo è il lato penoso di operare attraverso i confini, anche se, fortunatamente, sono riuscita a far sì che il chiosco degli hot dog continui a produrre hot dog. Per quanto invece riguarda il lato entusiasmante della faccenda, la scienza mi ha portato nell'orbita di persone eccezionali al di fuori della ricerca e del mondo accademico. La scienza è innanzitutto radicata nelle persone di Brainvolts che contribuiscono al nostro comune scopo con le loro prospettive uniche. Ma la nostra scienza dipende dai nostri collaboratori nei campi dell'istruzione, della musica, della biologia, dell'atletica, della medicina e dell'industria, persone che operano nel mondo al di fuori del laboratorio, il mondo in cui voglio che viva la nostra scienza. Come ha detto il neuroscienziato Norm Weinberger, “la natura non rispetta le discipline”.

Brainvolts, proprio come il cervello, è una rete integrata e riverberante a livello di sistema, collegata da parti individuali uniche e specializzate, i membri del team. Fin dalla sua nascita, una trentina di anni fa, ho avuto la fortuna di lavorare con persone eccezionali che portano in laboratorio i propri interessi, punti di vista e competenze, ognuna con un interesse costante per l'interfaccia tra suono e cervello. Nelle prossime pagine esploreremo queste reti, sia nel cervello che in Brainvolts.

La mente sonora

Quando questo libro ha iniziato a prendere forma, ho girato le prime bozze ad amici e parenti per avere un riscontro. Volevo sapere se la mia scrittura

era comprensibile e l'argomento interessante per una varietà di lettori. La mia famiglia immediata, composta da uno chef, un avvocato, un falegname, un musicista e un'artista, ha fatto la parte del leone. Il mio genero avvocato mi ha chiesto se questo libro parla del *suono* o del *cervello*. Mi ha fatto venire voglia di specificare che la risposta è entrambe le cose. Si tratta del suono, di ciò che il nostro cervello fa con esso e anche di ciò che questo fa a noi – la *mente sonora*.

In altre parole, penso alla mente sonora come a una forza che si estende dal passato al presente e al futuro. I suoni con cui abbiamo avuto a che fare nel corso della nostra vita hanno dato forma al nostro cervello di oggi. Il nostro cervello di oggi, a sua volta, può prendere decisioni su come modellare il nostro mondo sonoro in futuro, non solo il nostro futuro personale, ma anche quello dei nostri figli e della società nel suo complesso. Pensata in questo modo, la mente sonora guida un ciclo di feedback sul quale, cosa importante, abbiamo un certo controllo. Abbiamo il potere di fare delle scelte sul suono, per il meglio e per il peggio. Prenderemo le decisioni giuste per rendere il ciclo di feedback un circolo virtuoso? O prenderemo decisioni sbagliate per avviare un circolo vizioso?

Come biologa, voglio sapere come il suono sviluppa la nostra personalità e ci permette d'interagire con il mondo. Mi propongo di comprendere l'elaborazione del suono nel cervello – la mente sonora – con la precisione che ho sperimentato registrando direttamente dai singoli neuroni.

Questo libro prenderà in considerazione i segnali esterni alla testa (le onde sonore) e i segnali interni a essa (le onde cerebrali). Esamineremo i modi in cui possiamo arricchire l'elaborazione del suono e i meccanismi attraverso i quali tale elaborazione può essere influenzata negativamente. Considereremo il potere di guarigione della musica e il potere distruttivo del rumore sul sistema nervoso. Lungo il percorso, ci occuperemo di ciò che accade alla mente sonora quando parliamo un'altra lingua, abbiamo un disturbo del linguaggio, sperimentiamo il ritmo, il canto degli uccelli o una commozione cerebrale.

Il suono è un alleato e un nemico invisibile della salute del cervello⁷. Il nostro impegnarci con i suoni lascia un'impronta fondamentale su chi siamo. I suoni della nostra vita plasmano il nostro cervello, nel bene e nel male. E le nostre menti sonore, a loro volta, hanno un impatto sul nostro mondo sonoro, ancora una volta in meglio e in peggio. Saremo ascoltatori esperti o ascoltatori mediocri? Come conseguenza di ciò che apprezziamo nel suono, come costruiremo il mondo sonoro in cui viviamo? Una comprensione olistica delle conseguenze biologiche della nostra vita nel suono ci permette di fare scelte migliori per noi stessi, i nostri figli e la società.

Mi piace pensare che alla mamma sarebbe piaciuto leggere questo libro.

PARTE PRIMA.
COME FUNZIONA IL SUONO

SEGNALI ESTERNI ALLA TESTA

Questo capitolo iniziale tratta dei segnali che si trovano al di fuori della nostra testa: il *suono*. Il suono è costituito da molecole d'aria che si muovono avanti e indietro. È sorprendente che da questo semplice meccanismo derivi un'infinita varietà di suoni, da Bach allo sfrigolio del bacon, da Rocky Raccoon al procione* sul retro che rovista nel bidone della spazzatura. I suoni possono essere forti o deboli, acuti o bassi, consonanti o dissonanti, veloci o lenti, rochi, squillanti, caotici, polifonici, stridenti e statici. Vi invito ad assaporare la bellezza delle proprietà del suono, gli ingredienti su cui torneremo più volte nel corso dell'esplorazione della mente sonora.

Il suono è movimento. Quando una corda di chitarra viene pizzicata, muove l'aria nelle vicinanze. La figura 1.1 mostra una corda di chitarra in diversi stati di pizzicamento. A sinistra c'è una corda di chitarra a riposo, con una dozzina di piccole molecole d'aria che pendono alla sua destra. Quando la corda è a riposo, la pressione atmosferica locale è di circa 14.7 libbre per pollice quadrato, cioè la pressione dell'aria al livello del mare**. Quando la corda della chitarra viene pizzicata, si sposta brevemente verso destra e le nostre molecole d'aria vengono schiacciate più vicine tra loro, cioè vengono compresse a una pressione più elevata***.

* In inglese *raccoon*, da qui il gioco di parole con la canzone dei Beatles citata appena prima (NdT).

** 14.7 psi (libbre per pollice quadrato) sono pari a 101352.9 Pascal, la misura della pressione. La pressione atmosferica, mediamente, al livello del mare, vale 1013.25 hPa (ettoPascal) (NdT).

*** Questa variazione di pressione è infinitesimale. Se i miei calcoli e le mie conversioni di unità di misura sono corretti, il pizzico di una tipica corda di chitarra fa salire la pressione atmosferica locale da 14.7 psi a qualcosa come 14.700003 psi.

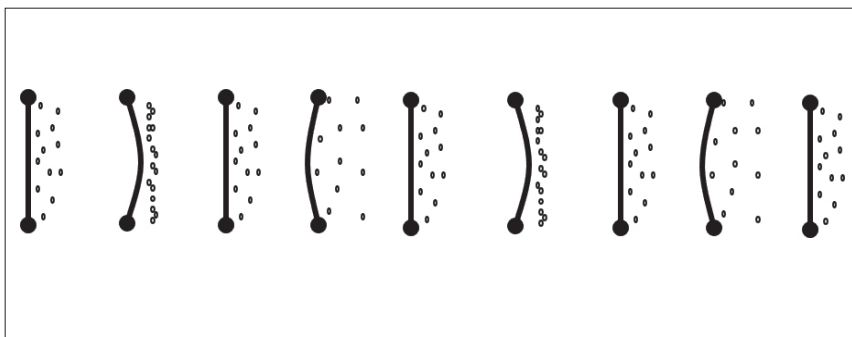


Figura 1.1. Una corda pizzicata muove le molecole d'aria intorno ad essa.

Poi, dopo un tempo molto breve (centesimi o millesimi di secondo, a seconda dell'altezza della nota), la corda della chitarra torna in direzione della sua posizione di riposo e continua a muoversi oltre lo stato di riposo iniziale fino a spostarsi un po' a sinistra. A quel punto le molecole d'aria a destra si sparpagliano di nuovo, riducendo la pressione. Ma non ricadono subito alla stessa distanza che c'era prima che la corda venisse pizzicata. Esse si spostano un po', per cui ora sono più distanziate – sono a una pressione più bassa – di quanto non fossero prima che la corda si muovesse. Poi rimbalzano di nuovo insieme e si allargano di nuovo, e così via, ogni volta un po' meno, finché alla fine il movimento si ferma, la vibrazione si smorza e il suono si spegne. Il movimento è stato il suono, e quando il movimento si ferma il suono è finito.

1.1. Ingredienti sonori

La maggior parte dei suoni può essere descritta da una manciata di *ingredienti sonori* (figura 1.2), proprio come un oggetto visto può essere classificato in base alla forma, al colore, alla struttura e alle dimensioni. Poiché il suono è invisibile, i suoi ingredienti non sono così evidenti, ma sono fondamentali per dargli un senso. Pensare al suono in termini di ingredienti costitutivi, riconoscendo la ricchezza di ciò che accade in quelle molecole d'aria in movimento, rende a mio avviso ancora più sorprendente la sua elaborazione nel cervello. Per tenere sotto controllo questi meravigliosi ingredienti, trovo che un principio organizzativo utile sia quello di pensare al suono in termini di *altezza, timbro e tempo*.

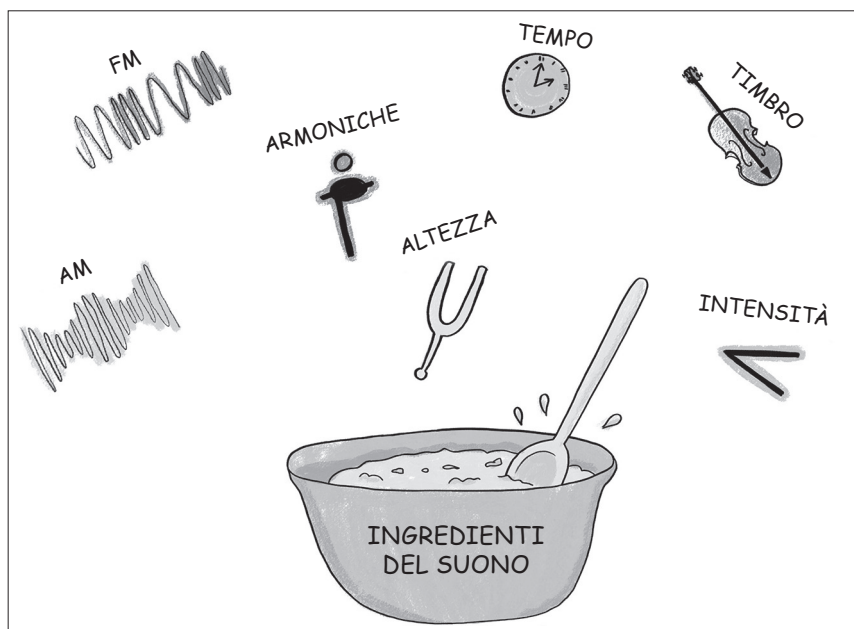


Figura 1.2. L'infinita varietà di suoni nasce dal movimento dell'aria e può essere descritta da una manciata di ingredienti.

Altezza

L'altezza è la percezione di “acuto” e “grave”. Descriviamo il suono di un flauto come acuto (o alto) e quello di una tuba come grave (o basso). Ciò che sentiamo quando usiamo queste etichette deriva dalla proprietà fisica della *frequenza*. Sentiamo un suono acuto quando le fluttuazioni tra alta e bassa pressione dell'aria sono molto rapide, o ad alta frequenza. Un suono di bassa tonalità è caratterizzato da variazioni più tranquille della pressione dell'aria: una bassa frequenza (cfr. fig. 1.3). L'intonazione è una percezione; la frequenza è una proprietà fisica, misurabile. Dobbiamo fare attenzione a questa distinzione tra altezza e frequenza, perché non sempre coincidono perfettamente.

Frequenza – non come misura scientifica del suono, ma come vocabolo corrente – indica il numero di eventi rispetto a un periodo di tempo prestabilito. Potreste ricevere due buste paga al mese. A Tampa, in Florida, ci sono in media settantotto temporali all'anno. Io ricevo ventidue messaggi di posta indesiderata a settimana. Queste sono tutte frequenze. Il numero di vibrazioni della pressione dell'aria al secondo distingue l'intonazione di un flauto da quella di una tuba. Il termine per indicare il conteggio di qualcosa

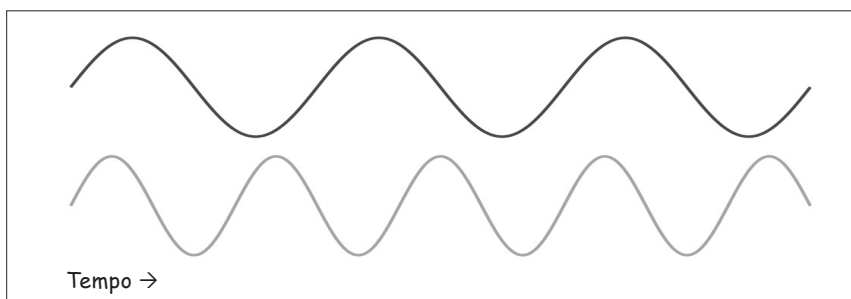


Figura 1.3. La forma d'onda grigia ha un numero maggiore di cicli (ha una frequenza più alta) rispetto a quella nera, e quindi suonerebbe con un tono più alto, cioè acuto.

nell'unità di tempo di un secondo è hertz, abbreviato in Hz. La gamma di frequenze di fluttuazione della pressione atmosferica che l'orecchio umano è in grado di rilevare è compresa tra 20 Hz e 20.000 Hz. Un flauto acuto può suonare note con frequenze comprese tra 250 e 2.500 Hz; una tuba bassa tra 30 e 380 Hz. Sorprendentemente, c'è un po' di sovrapposizione nelle loro gamme! Penso che mi metterò al lavoro per scrivere un concerto per flauto e tuba in cui la tuba abbia la parte più alta.

Ma non sempre c'è una corrispondenza perfetta tra la frequenza di un suono e l'altezza che udiamo. Se un suono è percepito come dotato di un'altezza, se è "canticchiabile", la frequenza alla quale canticchieremmo è chiamata *frequenza fondamentale*. Nella figura 1.4 entrambe le forme d'onda hanno un numero identico – circa trentacinque – di picchi e valli,

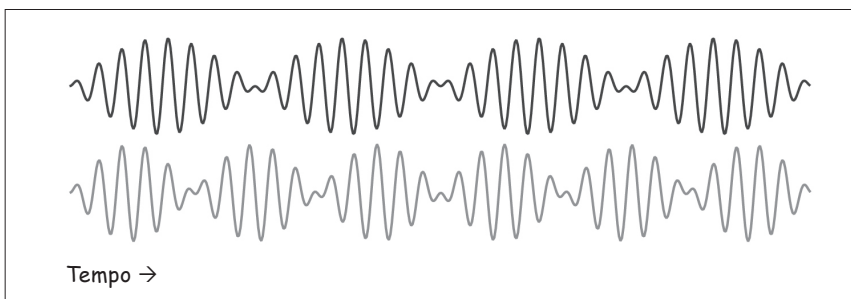


Figura 1.4. Le onde nere e grigie hanno la stessa frequenza. Ma i tassi di modulazione sono diversi, cioè il suono si accende e si spegne più velocemente nella forma d'onda grigia e quindi il suono è più acuto di quello nero. Il tasso di modulazione più veloce nelle donne, dovuto alla vibrazione più rapida delle corde vocali, produce un tono di voce più alto quando si pronunciano le stesse parole.

quindi hanno nominalmente la stessa frequenza. Tuttavia, ognuna di esse è attivata e disattivata in modo modulato, con velocità diverse. Il tono che sentiamo corrisponde alla velocità della modulazione, non alla frequenza dell'onda modulata.

Un esempio è la voce umana. L'altezza (frequenza fondamentale) della voce umana varia da circa 50 a 300 Hz. Nel parlato, la frequenza fondamentale corrisponde alla velocità delle aperture e delle chiusure delle corde vocali messe in movimento dal nostro respiro. La velocità del movimento delle corde vocali è più lenta negli uomini, con conseguente voce profonda, e più alta nei bambini, con conseguente voce acuta. È interessante notare che l'intonazione della voce differisce non solo tra individui e sessi, ma anche in altri modi sorprendenti. Sono state osservate differenze di frequenza fondamentali, in media, tra parlanti di lingue diverse¹ e tra gruppi demografici all'interno della stessa lingua². E potremmo aver osservato, forse anche in noi stessi, una persona bilingue che parla con un'intonazione generalmente più alta in una delle sue lingue rispetto all'altra³.

Timbro

Nella musica il timbro è il mezzo principale che utilizziamo per distinguere due strumenti che suonano la stessa nota. Nel parlato è il nostro indizio primario per distinguere un suono (consonanti e vocali) da un altro. Un uomo e una donna dicono la stessa cosa: la frequenza fondamentale (tono della voce) ci aiuta a determinare chi è chi. Una donna dice due cose differenti, ma con sonorità simile: il timbro è ciò che ci aiuta a distinguerle. Così come la percezione dell'altezza del tono ha come controparte fisica la frequenza fondamentale, la percezione del timbro è definita dalle *armoniche*, le frequenze sopra la fondamentale.

È utile sapere da quali frequenze è composto un determinato suono, cioè il suo spettro. Lo spettro di un diapason è composto da una sola frequenza, quindi ha un'unica, sottile linea verticale, come si vede nella parte superiore della figura 1.5. Non ha armoniche, ma solo una frequenza fondamentale. Un suono naturale come il do centrale suonato da un trombone o da un clarinetto avrà un picco nello spettro alla frequenza fondamentale del do centrale, 262 Hz, più altri picchi a multipli (524, 786, ...) della fondamentale. Si tratta di *armoniche*. Nelle parti centrale e inferiore della figura 1.5 è evidente che non tutte le armoniche hanno la stessa quantità di energia. Gli schemi dei livelli di energia relativi sono come le "impronte" del trombone e del clarinetto e il motivo per cui possiamo sentire la differenza tra essi. Queste impronte armoniche uniche sono determinate dalla forma e dalla

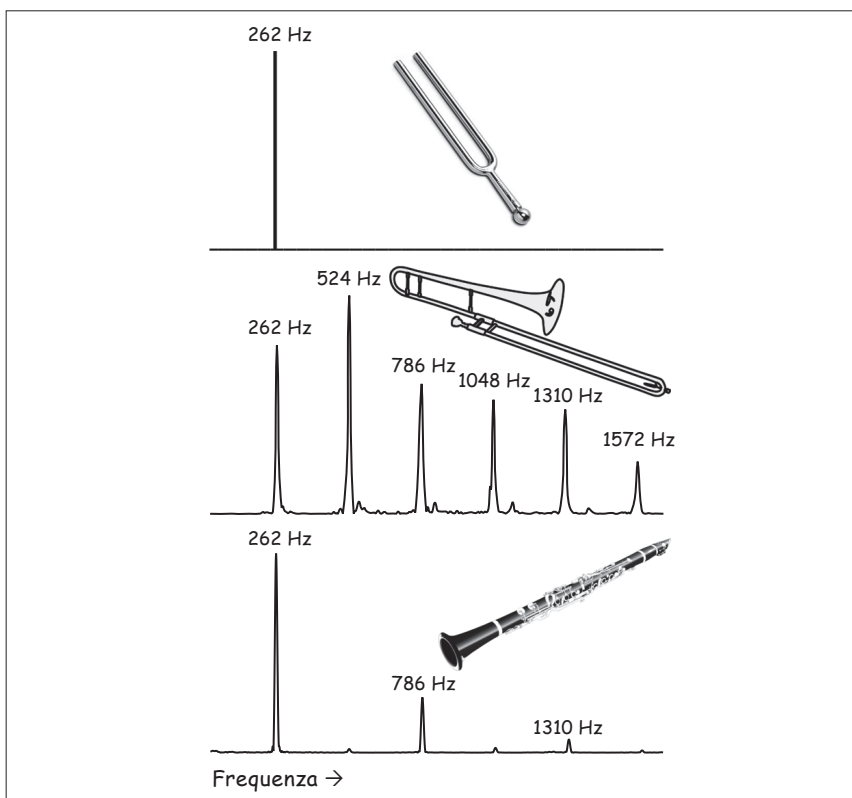


Figura 1.5. Lo spettro di un diapason è una singola linea verticale a una sola frequenza, in questo caso 262 Hz, o do centrale. Uno strumento che suona un do centrale avrà un picco a 262 Hz più diverse armoniche a multipli di 262 Hz. Un do centrale suonato da un trombone o da un clarinetto presenta schemi diversi di armoniche a causa delle caratteristiche di risonanza degli strumenti. Gli spettri ci aiutano a capire perché lo stesso do centrale suona in modo diverso se suonato da strumenti diversi (frequenza sull'asse x; energia sull'asse y).

struttura dello strumento che produce il suono. Analogamente, la forma e la posizione della lingua, della bocca e del naso producono i pattern armonici che distinguono i diversi suoni del parlato.

A seconda della posizione delle labbra e della lingua e della quantità d'aria che passa attraverso il naso e la bocca, si modifica lo spettro (cioè, quali armoniche vengono rafforzate), come si vede nella figura 1.6. Mentre gli spettri dei due suoni vocalici hanno picchi ogni 100 Hz (a causa della frequenza fondamentale di 100 Hz in questo esempio), le dimensioni relative dei picchi, delineate dalle linee grigie, sono molto diverse. Si tratta dell'analogo nel parlato della distinzione trombone/clarinetto. Per "ee" i due picchi

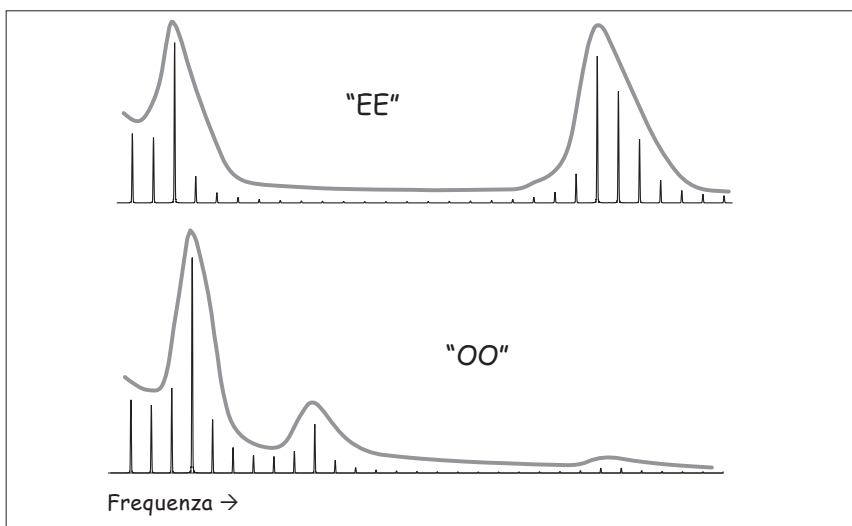


Figura 1.6. In alto: spettro di "ee" come in *beet*. In basso: spettro di "oo" come in *boot*. Entrambi hanno la stessa frequenza fondamentale, ma il punto in cui si concentra l'energia delle armoniche è diverso (frequenza sull'asse x; energia sull'asse y).

nella linea grigia si trovano a circa 300 e 2.300 Hz; per "oo" appaiono a circa 400 e 1.000 Hz. Il parlato contiene delle protuberanze nello spettro, aree di massima concentrazione di energia (chiamate *formanti*). È interessante notare che queste bande di energia acustica sono ragionevolmente simili tra i vari parlanti. Un oratore con un tono di voce acuto avrà picchi da qualche parte tra 400 e 1.000 Hz nel suo "oo", proprio come un oratore con un tono basso.

Il *timbro* è quindi la percezione che deriva dal contenuto *armonico* di un suono. Le armoniche – dove appaiono e quanto sono grandi l'una rispetto all'altra – sono gli attributi fisici del suono che ci permettono di distinguere, in base alla loro qualità timbrica, la differenza tra due strumenti o due suoni nel parlato. Nel parlato, gruppi di armoniche si distinguono all'interno dello spettro di una particolare parola o sillaba. La figura 1.7 illustra l'intera gamma di frequenze (fondamentali e armoniche) di alcuni strumenti e voci.

Tempo

Finora abbiamo parlato di diapason, singole note musicali e vocali, tutti esempi di suoni stabili per un certo periodo di tempo. Ma c'è una categoria di suoni per i quali il tempo è una caratteristica determinante del segnale

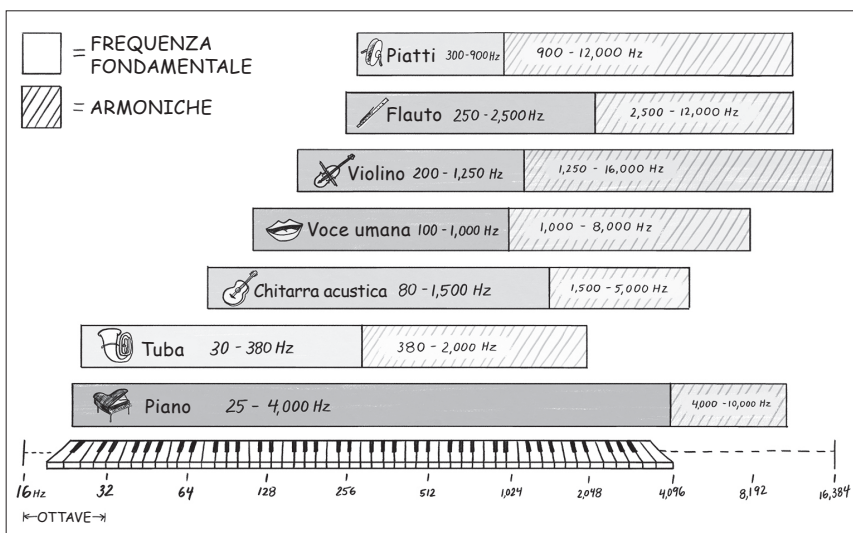


Figura 1.7. Le gamme di frequenza complete degli strumenti musicali e delle voci. La gamma di frequenze fondamentali è mostrata a sinistra. Le armoniche sono mostrate a destra.

stesso: non in termini di quando il suono inizia e finisce, come le sillabe o le note musicali, ma di quando e di come il suono stesso si evolve nel tempo. Tra questi c'è la consonante nel linguaggio parlato. In alcune consonanti, il tempo è al centro della scena.

Pronunciate ad alta voce la parola *bill**. Ora pronunciate la parola *gill*. Siete in grado di descrivere le differenze meccaniche tra le due parole all'interno della vostra bocca? È facile. Nel primo caso, le labbra si sono avvicinate e la lingua si trovava in una posizione piuttosto neutra.

Nella seconda, le labbra erano leggermente aperte e la parte posteriore della lingua era premuta sul tetto della bocca. Ora dite *bill* e *pill*. Questo è più difficile. Cosa c'è di diverso esattamente? La saliente differenza meccanica tra una "b" e una "p" potrebbe non essere immediatamente evidente. La lingua e le labbra sono praticamente nella stessa posizione per entrambe. La differenza principale sta nel *momento* in cui si inizia a pronunciare la vocale, cioè quando le pieghe vocali iniziano a emettere la "i". In *bill* si inizia subito a pronunciare la vocale. In *pill*, invece, si attende per un tempo molto breve dopo la separazione delle labbra prima di iniziare a

* Manteniamo in inglese questa e le parole che seguono, così da salvaguardare la coerenza degli esempi utilizzati dall'autrice nella sua spiegazione: *bill* = "conto", *gill* = "branchia", *pill* = "pillola" (NdT).

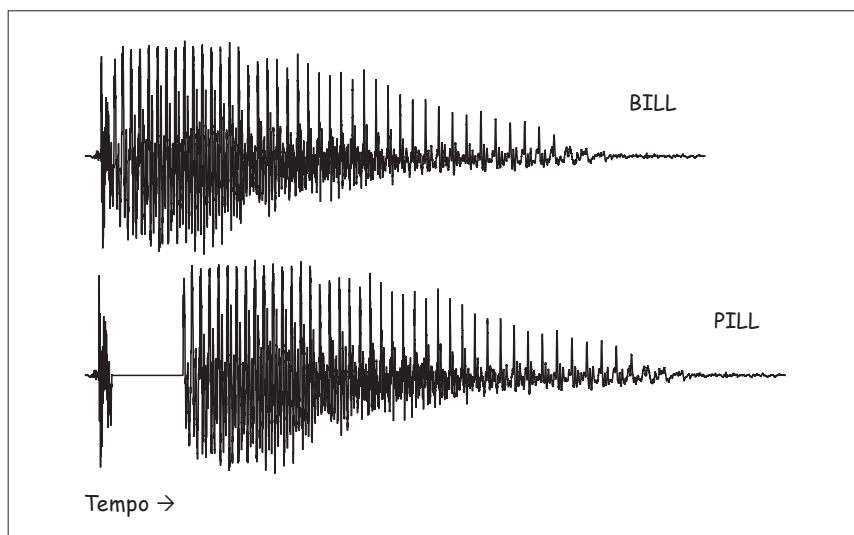


Figura 1.8. *Bill* si trasforma in *pill* aggiungendo 1/20 di secondo di silenzio appena prima dell'inizio della vocalizzazione della vocale (tempo sull'asse x; energia sull'asse y).

pronunciare la vocale. In alto nella figura 1.8 si vede l'onda sonora della parola *bill*. Nell'onda in basso ho inserito 1/20 di secondo di silenzio. Ogni singola oscillazione è identica tra le due, tranne che per il silenzio aggiunto. Quel piccolo intervallo prima d'iniziare a pronunciare la “i” è sufficiente a far sì che la seconda parola suoni chiaramente come *pill*. Un indizio temporale di una frazione di secondo fa una grande differenza nel linguaggio.

Questo è uno dei tanti motivi per cui voi e io abbiamo bisogno di un cervello uditivo superveloce per elaborare cambiamenti così piccoli nel suono.

Osservare le variazioni di frequenza nel tempo

Le differenze di *tempo*, come ad esempio *bill* e *pill*, sono abbastanza facili da vedere in diagrammi temporali come quelli nella figura 1.8. Le differenze di *frequenza*, come “ee” o “oo”, sono abbastanza facili da vedere in diagrammi di spettro come nella figura 1.6. Tuttavia, nessuno dei due diagrammi rende giustizia alla distinzione acustica tra una “b” e una “g”. Si tratta di un cambiamento di *frequenza che si sviluppa nel tempo*. Per rappresentare adeguatamente la differenza tra “b” e “g” abbiamo bisogno del terzo e ultimo grafico, lo *spetrogramma*.

La parte superiore della figura 1.9 è un semplice esempio, che mostra un tono che, nel tempo, passa da una frequenza bassa a una alta, per poi

tornare a una bassa, come nel tipico fischio di apprezzamento. Immaginate una sirena o di passare il dito sulle note di un pianoforte.

Nelle consonanti come “ba” e “ga”, le bande di energia acustica che si muovono attraverso le frequenze determinano la differenza (parte inferiore). La banda superiore è la stessa in “ba” e “ga”, una banda armonica che si sposta nel tempo da una frequenza più bassa a una più alta fino ad appiattirsi in corrispondenza della “a”. Ma la banda inferiore differisce nelle due sillabe. Per “ba” passa da frequenze basse ad alte prima di stabilizzarsi. Per “ga” inizia più in alto e scende di frequenza. L'espressione *sweep di modulazione di frequenza* (sweep FM), un ingrediente importante del suono, si riferisce a questo tipo di cambiamento di frequenza nel tempo.

Quindi, in entrambi i nostri esempi di coppie di consonanti, “b” vs “p” e “b” vs “g”, il tempo è una componente cruciale di identità. In “ba/pa”, il tempo è necessario e sufficiente per creare il contrasto. In “ba/ga”, la distinzione è data dall'interazione di tempo e frequenza. Sebbene sia possibile catturare e isolare queste distinzioni sonore rallentando il suono e misurandole, in pratica esse si verificano troppo rapidamente perché si possa consapevolmente percepire ciò che determina la distinzione. In modo straordinariamente rapido. Pensateci: conoscevate la differenza tra “ba” e “ga” in termini di ingredienti sonori prima che ve lo dicessi? Vi siete resi conto

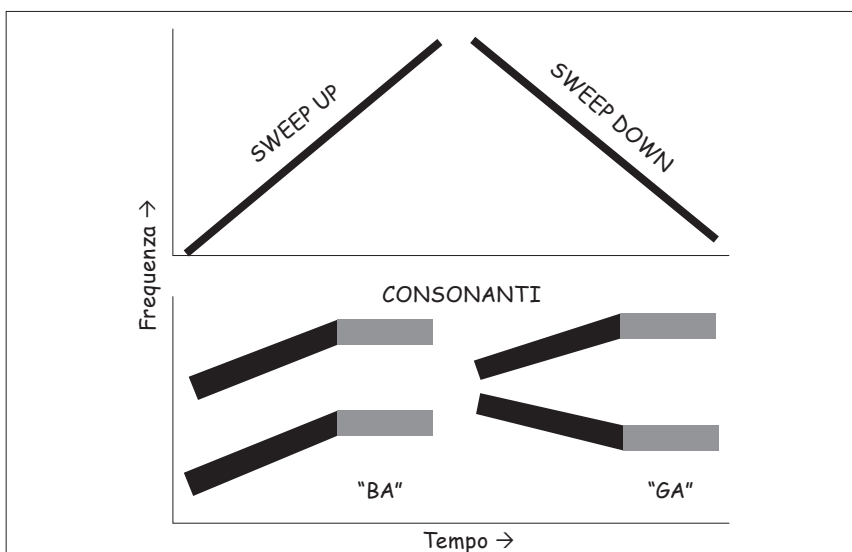


Figura 1.9. Spettrogrammi che rappresentano le variazioni di frequenza nel tempo. In alto: una variazione di frequenza verso l'alto e poi verso il basso. In basso: “ba” e “ga”. Le frequenze di entrambe le bande di energia acustica cambiano nel tempo fino a stabilizzarsi in corrispondenza della vocale “a”.

che un paio di sweep FM veloci come un batter d'occhio possono trasformare un cane fangoso [*muddy dog*] in una palude afosa [*muggy bog*]? Di certo non posso dire ascoltando che una certa banda di energia sale in un “ba” e scende in un “ga”. Tuttavia, questa velocità e questa sottigliezza rendono le consonanti percettivamente vulnerabili, rendendo necessario l'uso di alfabeti fonetici (alfa, bravo, charlie, delta, ...). La sottigliezza e la complessità di queste distinzioni e la difficoltà di alcune persone a elaborarle hanno conseguenze interessanti per il linguaggio e persino per la lettura, come vedremo.

Per la nostra discussione sul tempo ci siamo concentrati sul linguaggio parlato. Non è un caso. Il parlato opera su una scala molto più veloce rispetto ad altri suoni, compresa la musica. Considerate quanto segue: l'*allegro* è un tempo musicale compreso tra 120 e 170 battiti al minuto (bpm). Per semplificare i calcoli ed evitare le frazioni, consideriamo un brano musicale *allegro* a 150 bpm. Ciò equivale a due battiti e mezzo – quarti di nota – al secondo. Quindi ogni quarto di nota ha una durata di 400 millisecondi (ms, millesimi di secondo), un ottavo di nota ha una durata di 200 ms e un sedicesimo di nota di 100 ms. “Il volo del calabrone”*, con un tempo *presto* ancora più veloce, capitalizza notoriamente il fatto che in genere ci vogliono ben 100 ms per distinguere due note. Facendo passare esplicitamente i sedicesimi della melodia principale a circa 80-85 ms ciascuno, Rimskij-Korsakov ha trasformato le note in un ronzio simile a quello di un'ape. Il parlato, tuttavia, è un animale diverso. Le consonanti nel parlato sono *di norma* così veloci o più veloci, nell'ordine di 20-40 ms. E possiamo produrre un discorso pieno di consonanti quasi all'infinito. “Il volo del calabrone” è misericordiosamente breve, per il sollievo di qualsiasi musicista che l'abbia suonato.

1.2. Altri ingredienti sonori

L'*intensità* è una misura dell'entità dei cambiamenti di pressione nell'aria che percepiamo come volume: quanta aria ha mosso la corda della chitarra nella figura 1.1 e quanto sono alte le onde che ha prodotto nella figura 1.3? Le dimensioni assolute delle variazioni di pressione dell'aria che producono i suoni sono minime. Tuttavia, la *gamma* di variazioni della pressione atmosferica che spazia dai suoni più deboli a quelli più forti che sperimentiamo è enorme: un'enorme differenza di *diecimila miliardi* di volte nella pressione fisica dell'aria. Per questo motivo, per riportare le nostre percezioni del

* Brano dall'opera *La fiaba dello zar Saltan* di Nikolaj Andreevič Rimskij-Korsakov (NdT).

volume a una serie di numeri ragionevoli, usiamo una conversione logaritmica per trasformare la quantità d'aria spostata nella nota unità di misura dell'intensità sonora, il decibel (dB). Questo intervallo di diecimila miliardi di volte può essere espresso come la differenza tra 0 dB, la soglia dell'udito al limite dei microfoni più sensibili, e 140 dB, il suono più forte che possiamo tollerare.

Modulazione di ampiezza e modulazione di frequenza (AM e FM) sono termini cui probabilmente si pensa solo quando si accende la radio. Ma AM e FM sono estremamente importanti per il nostro paesaggio uditivo, soprattutto per il parlato. AM è una fluttuazione dell'intensità del suono (ampiezza) – forte-morbido-forte-morbido. Molti allarmi per auto pulsano in questo modo: forte-morbido. La vibrazione delle nostre corde vocali quando si aprono e si chiudono modula l'ampiezza di ciò che stiamo dicendo al tono della nostra voce, la frequenza fondamentale. La figura 1.4 mostra una forma elementare di AM: lo stesso segnale viene modulato in ampiezza a due velocità diverse.

FM indica un cambiamento di frequenza nel tempo. Quando il nostro parlato passa da una consonante a una vocale e viceversa, bande concentrate di energia acustica si muovono (*sweeping*) su e giù. Questa è la modulazione di frequenza, gli sweep FM della figura 1.9.

Un altro ingrediente del suono che merita di essere menzionato è la *fase*. All'inizio di questo capitolo abbiamo mostrato arbitrariamente la pressione delle molecole d'aria a destra della corda della chitarra. Le molecole d'aria a sinistra, che nella figura 1.1 non sono mostrate, si espandono quando quelle a destra sono compresse, e viceversa. In ogni momento, il movimento di una corda di chitarra sta contemporaneamente comprimendo e dilatando le molecole d'aria nelle sue vicinanze. Due persone sedute ai lati opposti della chitarra sentiranno una musica che, dal punto di vista del segnale e della pressione, è sfasata di 180 gradi. Un grafico delle forme d'onda che stanno ascoltando sarebbe invertito da cima a fondo. A seconda di dove si è seduti, il suono della chitarra arriva all'orecchio in un momento diverso, o fase. Queste diverse fasi del suono sono importanti per la localizzazione del suono e le aggiunte e le cancellazioni di fase svolgono un ruolo nella distinzione dei suoni in spazi riverberanti (con eco) e rumorosi.

Infine, c'è il *filtraggio*. Il filtraggio è semplicemente la riduzione o il potenziamento selettivo di alcune frequenze in un segnale sonoro. Facciamo esperienza di filtraggio un milione di volte al giorno, sia intenzionalmente che involontariamente. La vostra canzone preferita ha un suono diverso se l'ascoltate con l'impianto stereo di casa, in auto, con gli altoparlanti del computer, con gli auricolari o con l'altoparlante dello smartphone. Ogni sistema di riproduzione del suono ha i suoi filtri, realizzati con cura da un

ingegnere acustico o semplicemente come conseguenza involontaria di compromessi di dimensioni, costi di produzione o altri accorgimenti. Le voci di voi e del vostro amico che parlate hanno un suono diverso quando dalla strada entrate nel bar. Il filtro causato dalle superfici dure delle pareti, del pavimento e del box è il motivo per cui ci piace cantare sotto la doccia. Allo stesso modo, le cattedrali gotiche si affidano a superfici di pietra sagomate che creano riflessioni multiple delle frequenze più alte, conferendo a questi spazi proprietà acustiche distintive per la musica e il parlato. Provate ad ascoltare l'altoparlante del vostro smartphone mentre entrate e uscite da stanze diverse. A parte il filtro dato dagli spazi esterni, noi filtriamo deliberatamente i suoni che emettiamo con la bocca, la lingua e le labbra, mentre il suono viene instradato attraverso e intorno a essi per ottenere le parole necessarie a trasmettere il messaggio.

1.3. Segnali esterni e interni alla testa: ingredienti

Il nostro cervello dà un senso ai segnali esterni alla testa – il suono – con i segnali interni alla testa – l'elettricità degli impulsi neurali.

Tutti gli scienziati adottando delle strategie per le loro ricerche. Alcuni utilizzano i sondaggi. Altri l'espressione genica. Altri ancora i biomarcatori del sangue. Io ho scelto i segnali. Trovo che i segnali, siano essi fuori della testa o dentro di essa, sono rassicuranti perché sono tangibili, per certi versi più dell'effimero suono stesso. Possono essere misurati con sicurezza e ci sono modi ampiamente accettati e potenti per visualizzarli e analizzarli. Trovo molto soddisfacente la notevole somiglianza tra i segnali esterni e quelli interni alla testa. È una cosa meravigliosa. È una meraviglia che ciò accada. Questa tangibilità mi dà qualcosa cui appoggiarmi, qualcosa su cui basarmi quando faccio ricerca su grandi idee, come l'impatto della formazione musicale sulla mente sonora, il ruolo della capacità di tenere il ritmo nell'alfabetizzazione o il modo in cui le commozioni cerebrali possono influenzare l'elaborazione del suono. Mi affido ai segnali per guidare il mio pensiero e per cogliere la verità.

Gli ingredienti del suono sono fondamentali per capire perché ogni persona lo sente in modo diverso e come l'esperienza individuale del suono possa cambiare in meglio o in peggio, poiché la nostra mente sonora si intreccia con il modo in cui percepiamo, pensiamo, sentiamo, ci muoviamo.

Come neuroscienziata, sono in grado di portare questa tangibilità nei miei studi sul suono e sulla sua elaborazione nel cervello. Posso studiare l'elaborazione dell'altezza, del tempo e del timbro isolatamente o come un tutto uditivo, nel tentativo di capire cosa va bene e cosa va male nelle

persone che sono ascoltatrici esperte e in quelle che hanno difficoltà. Gli ingredienti del suono sono separabili in termini di come li elaboriamo e li trasformiamo in percezioni. Ad esempio, ci sono persone che hanno difficoltà a distinguere le altezze, ma non hanno problemi con le qualità timbriche del suono o viceversa. Altre hanno difficoltà solo con il tempo. Sia i musicisti che i bilingui sono esperti ascoltatori, ma la loro abilità con i segnali si basa su ingredienti sonori diversi.

Vediamo ora cosa succede quando le onde sonore all'esterno della testa creano onde cerebrali al suo interno, quando il movimento della corda della chitarra si fa strada nel condotto uditivo.