Bolle sonore

analisi e linee guida per una riprogettazione dello spazio acustico intorno a noi.



Politecnico di Torino

Bolle sonore: analisi e linee guida per una riprogettazione dello spazio acustico intorno a noi.

Corso di laurea in
Design e Comunicazione

Sessione di Laurea
Settembre 2026

Un progetto di tesi
a cura di
Giammarco Buralli

Doriana Dal Palù, **Relatrice**

Andrea Di Salvo, **Correlatore**

Indice.

Introduzione

01 Alla matrice dello spettro aurale 09

1.1 Il suono 10
1.2 La congestione sonora: il rumore 19

02 Dall’acustica alla psicoacustica 26

2.1 Un fenomeno, quattro chiavi di lettura 28
2.2 La Psicoacustica in ottica progettuale 32
2.3 L’orecchio 34
2.4 Bande critiche e Mascheramento 38
2.5 Il ruolo del pitch 42
2.6 Localizzazione 45
2.7 Loudness e fatica uditiva 50

03 **L'ascolto** **52**

3.1 Da Hi-fi a Lo-fi 54
3.2 Verso la normativizzazione 56
3.3 La "bolla sonora" 62

04 **Open-ear** **68**

4.1 L'ascolto non occlusivo e i casi studio 70
4.1.1 Conduzione ossea 74
Casi studio 78
Open run 2 80
Open swim 2 82
Bose Frames 84
4.1.2 Conduzione aerea 86
Casi studio 88
Bose Ultra Open Earbuds 90
Sony Linkbuds 92
Nothing Ear (Open) 94

Nuance audio 98
4.1.3 Conduzione cartilaginea 100
Casi studio 102
ATH-CC500BT2 104
4.1.4 Soundbeaming 106
Casi studio 108
Noveto I3DS 110
4.2 Lettura critica dei casi studio 112

05 **Contesti applicativi** **116**

5.1 Open-ear nella mobilità collettiva 120
5.2 Open-ear nel trasporto privato 128
5.3 Open-ear nella micromobilità 134
5.4 Open-ear nella comunicazione adattiva 140

06 **Conclusione** **144**

Introduzione

La presente tesi di laurea è volta all'esplorazione delle nuove metodologie di ascolto, le quali, progressivamente, stanno assumendo un ruolo decisivo sulla qualità percettiva del paesaggio sonoro all'interno dei contesti urbani. L'ascolto si dimostra come una risposta al fenomeno di autoesclusione acustica determinato dalla diffusione sempre più estesa dell'adozione di dispositivi audio personali, cuffie e auricolari, dotati di tecnologie di cancellazione del rumore.
Il suono è parte integrante della vita di tutti giorni e incide anche sulla nostra qualità della vita.
Proprio per questo è necessario un intervento progettuale volto a plasmare il suono attorno a noi. Attraverso questo percorso, la tesi intende contribuire al dibattito sul futuro dell'ascolto personale, proponendo la permeabilità selettiva come la chiave di volta tra la necessità di isolamento e quella di apertura.

Il percorso si articolerà in cinque capitoli: nel **primo capitolo** verranno introdotti i concetti chiave al suono: da come si propaga nello spazio attraverso la sua natura ondulatoria fino al definire le differenze tra un **suono** e un **rumore**.

Nel secondo capitolo, verrà spostata la questione in direzione del **rapporto tra suono ed essere umano**, a partire dagli studi di Raymond Murray Schafer, uno dei principali pionieri nello studio del suono, per poi approfondire le modalità attraverso cui il sistema uditivo, sulla base dei principi cardine della **psicoacustica**, elabori il suono. In particolare, attraverso l'approfondimento dei vari meccanismi percettivi del mascheramento, pitch, localizzazione e della loudness di un suono.

Nel terzo capitolo sarà affrontato il suono nel suo aspetto più collettivo e relazionale, partendo dal concetto di **paesaggio sonoro** e del suo cambiamento da un punto di vista qualitativo nel corso dei decenni. Dall'avvento delle due rivoluzioni industriali fino ai giorni nostri e l'inizio di un processo di normativizzazione disciplinare. Parallelamente, verrà trattato il fenomeno sociale della **bolla sonora** e di come stia riscrivendo sia il modo di relazionarsi con l'altro sia verso l'ambiente circostante.

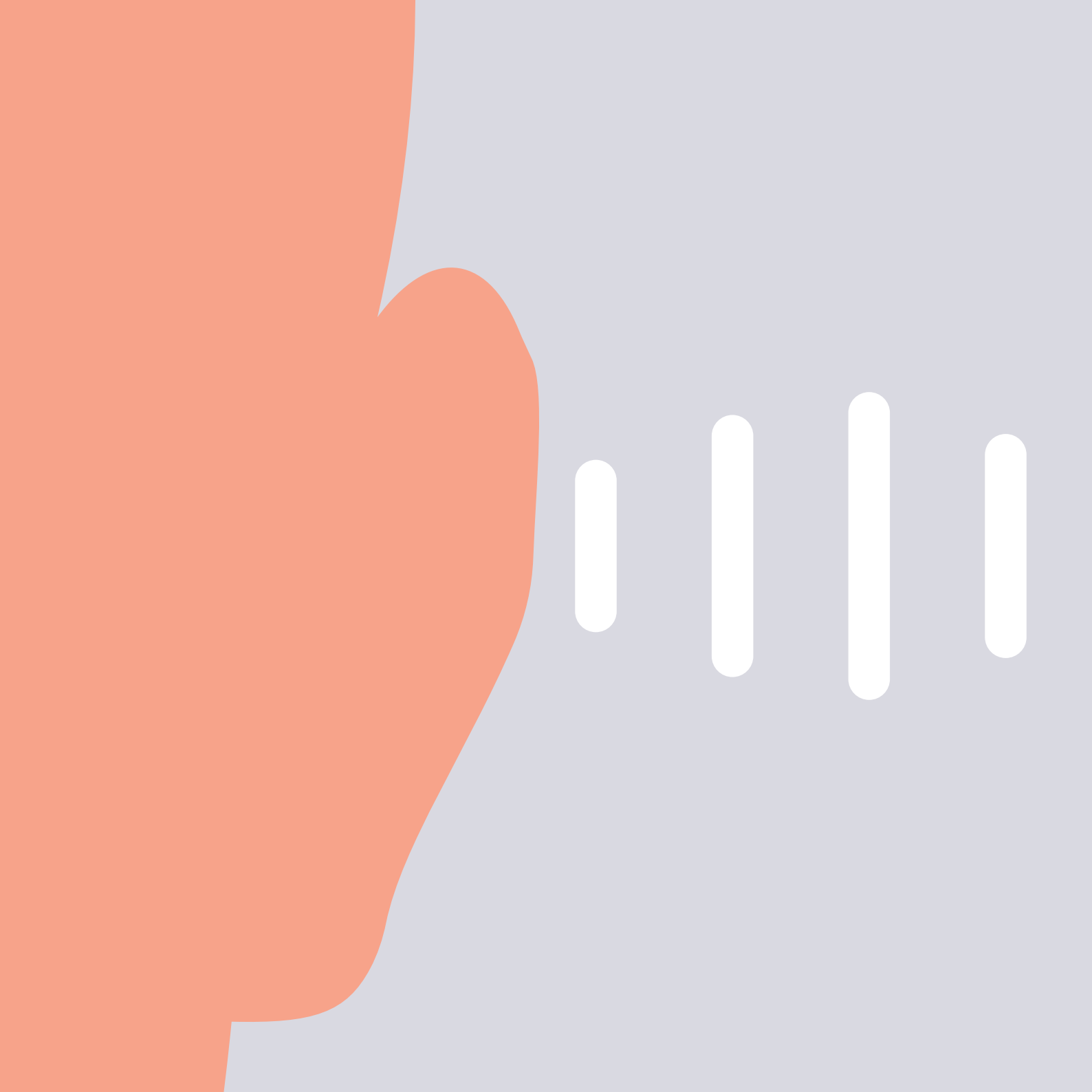
In seguito nel **quarto capitolo**, si tratterà dell'introduzione nel mercato delle tecnologie **open-ear** andando a presentare **nove casi studio** rappresentativi delle quattro principali sottocategorie tecnologiche, proponendo successivamente una **lettura critica** trasversale, integrata da dati di mercato aggiornati.

Infine, **il quinto e ultimo capitolo** pone lo sguardo verso possibili contesti applicativi futuri capaci di definire nuovi scenari sonori delineando, per ciascun ambito, alcune linee guida metaprogettuali.

Capitolo 1

Alla matrice dello spettro aurale.

All’interno di questo primo capitolo introduttivo verranno contestualizzate le varie definizioni di base del suono definendo cos’ è il suono e cosa lo differenzia da un rumore.



1.1 Il suono



L'incipit di questa tesi richiede una digressione a monte sull'elemento fenomenologico cardine dell'esperienza acustica stessa: **il suono**.
Esso è una costante onnipresente in cui l'essere umano ne è completamente immerso fino ancor prima di esserne cosciente della sua stessa presenza. Non è ancora certo il preciso istante in cui si acquisisca la capacità di udire i suoni, ma è stato consolidato che in **ambito prenatale**, i continui **rapporti prosodici** tra la madre e il feto influenzino la futura percezione sensoriale di quest'ultimo.
Fattori come il parlato, il ritmo, il tono e la cadenza della voce materna riescono a porre le basi di un primo stadio di sensorialità del nascituro, influenzandone l'apprendimento del linguaggio in futuro.
Ad una certa fase del percorso evolutivo, la veicolazione del suono si è dimostrata come un salto qualitativo a tutti gli effetti che ha indotto la specie verso la formazione delle prime società organizzate attraverso la composizione di rudimentali sistemi di linguaggio e comunicazione.

Prosodia: dal greco "canto", è un termine coniato per indicare l'insieme dei parametri utili alla articolazione essenziale di un suono come l'intonazione, l'aspirazione, la quantità ecc...

A differenza dei suoi predecessori, l'Homo erectus ha iniziato a mostrare una necessità nel ricercare sistemi di comunicazione alternativi il quale risultassero più efficaci e immediati durante i lunghi periodi di caccia e che permettessero di tramandare alle successive generazioni, le innumerevoli conoscenze tacite della costruzione degli utensili **[1]**.
Da tale principio generalistico, il suono è stato uno degli elementi cardine che ha condotto l'essere umano all'adesione progressiva nei successivi millenni, ai valori di coesione sociale e collaborazione, portando così alla nascita delle prime società organizzate. All'interno del contesto urbano contemporaneo, è evidente una significativa inversione di tendenza: per la prima volta nella storia, il suono, sta disponendo l'umano contemporaneo a una preclusione nel relazionarsi con l'altro, costruendo così delle barriere invisibili che isolano dall'ambiente circostante. Prima di trattare a fondo questa tematica, andiamo ad approfondire le basi della natura del suono, come è strutturato e come si comporta nello spazio.





Che cosa è un suono? È difficile darne una definizione univoca. Ma in caso dovessimo attribuirgli una generale definizione, **il suono appartiene a un caso specifico di onda, il quale si va a configurare come una perturbazione meccanica originata da un corpo elastico, o sorgente sonora che trasmette energia a un mezzo materiale o medium, sotto forma di un'onda elastica.**
Per comprendere al meglio come si organizza nello spazio, immaginiamo in modo meramente semplicistico, le particelle della materia come a delle palle da golf che vengono tenute insieme l'una con l'altra attraverso delle molle che indicano le forze intramolecolari che agiscono tra le sfere.

Generalmente, una qualunque forma d'onda in base al mezzo di propagazione può direzionarsi nello in due direzioni:

• Attraverso un **andamento trasversale** dall'alto verso il basso, in cui le palle da golf si muovono da una parte all'altra dello spazio, a seguito di un accumulo di tensione.
Immaginando il caso in cui una corda pizzicata di una chitarra, le dita della mano inducono sulle sfere una dislocazione perpendicolare rispetto alla catena, tale per cui si tenderà ad accumulare una determinata quantità

di energia potenziale. Una volta rilasciata la corda, l'energia immagazzinata si **convertirà** in energia cinetica che porterà l'intera catena ad un movimento oscillatorio **[2]**.

• Nel caso di onde che si propagano nell'aria tra le quali il suono, la catena ha un meccanismo oscillatorio **longitudinale**, in cui nel processo vengono alternati stati di **compressione e rarefazione**, per poi ritornare a una condizione di **equilibrio iniziale**.

Mediamente un onda sonora che si propaga in aria ha una velocità media di
343 m/s ma sono presenti ben due fattori fisici che influenzano prevalentemente la velocità di propagazione in un dato mezzo: **la massa delle particelle**, che determina l'inerzia del movimento (maggiore è la massa e maggiore sarà altrettanto l'intervallo di tempo di trasferimento dell'impulso), e la **rigidità dei legami intermolecolari** il quale influenzano la rapidità con cui le molecole si restituiscono l'energia, accelerando la propagazione **[3]**.

Talvolta, il suono disperdendosi nello spazio, segue un andamento con schemi e pattern ripetuti più volte in modo ciclico parlando addirittura di **moto periodico.**

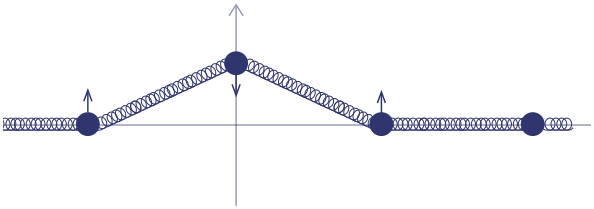


Figura 1. riproduzione dello schema di propagazione delle onde trasversale

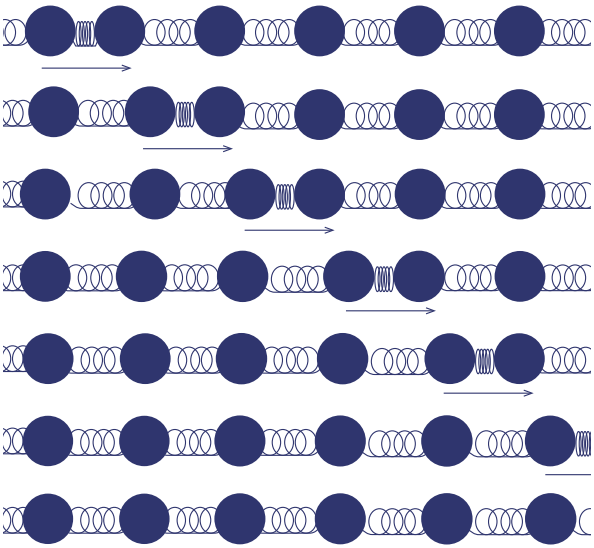


Figura 2. riproduzione dello schema di propagazione delle onde longitudinali

Per descrivere accuratamente un'onda periodica, ci sono **tre parametri chiave** che determinano il pattern di propagazione, di cui i primi due risultano particolarmente prioritari nella percezione dei suoni musicali.

• **L'ampiezza**, che equivale ai punti massimi e minimi di un'onda sonora **[4]**.

• **La frequenza**, che indica il numero di cicli ripetuti nel pattern sonoro espressi in **Hertz** (Hz). Spesso viene tenuto in considerazione in suo antireciproco che è il periodo che indica l'intervallo tra un'ampiezza e la sua successiva. All'interno dello spettro udibile, l'udito umano riesce a percepire un intervallo di frequenze che va dai **20 ai 20.000 Hz** con differenze percettive che variano in base al soggetto.
Al di sotto dei 20 Hz vengono collocati gli **infrasuoni** tipici in fenomeni naturali come eruzioni vulcaniche e tempeste e alcune macchine industriali.
Al di sopra della soglia umana vengono collocati gli **ultrasuoni** presenti in moltissimi dispositivi di rilevazione medica, tecnologie sonar e usata anche da vari animali nella comunicazione tra simili come i delfini e pipistrelli.

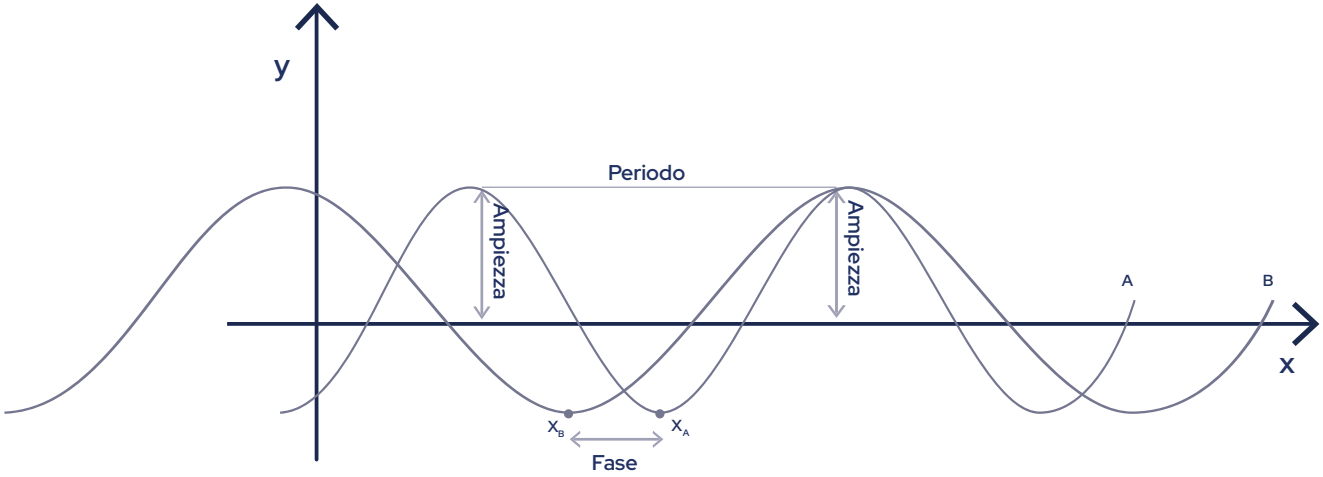


Figura 3. illustrazione delle componenti di un onda sonora

• **La fase** che mostra la determinata posizione delle particelle sonore in un preciso istante di tempo. Prendendo come esempio l'interazione di due o più onde tra loro, una differenza di fase può portare a interferenze che possono causare un'alterazione dell'ampiezza e dell'intensità dell'onda risultante. Talvolta, in base al grado di sfasamento, le onde possono raggiungere uno sfasamento tale risultare l'una l'opposto dell'altro e una loro sovrapposizione porterebbe ad un annullamento del movimento oscillatorio stesso **[3]**.

Un'onda può presentare un moto periodico non del tutto irregolare presentando disturbi o pattern che si ripetono in modo del tutto casuale e di cui l'udito umano li percepisce come spiacevoli da udire. Una di queste tipologie a cui è centro di dibattito all'interno di questa tesi è **il rumore**.

1.2 La congestione sonora: il rumore

L'introduzione dei nuovi suoni artificiali nel panorama sonoro ha portato, in parallelo, a un cambiamento della definizione di **rumore**, che spesso ha cambiato significato nel corso del tempo. Dall'antichità alla prima rivoluzione industriale, per poi passare alla rivoluzione elettrica, ha sempre mantenuto una matrice negativa, di fastidio indotto con ripercussioni sulla salute fisica e psicologica nei confronti dell'individuo o di una collettività. Attualmente si definisce rumore come:

• Un **suono indesiderato**;

• Una **perturbazione sonora** che indica soprattutto suoni giudicati non musicali o che vengono ritenuti sgradevoli, molesti, addirittura nocivi per la salute;

• Qualunque **suono forte** emesso che supera o stabilisce i limiti in decibel.

• **Disturbo di un segnale**: in elettronica e ingegneria si fa riferimento alle radioonde o tensioni che non siano parte del segnale **[4] [5]**.

In epoca preindustriale, i rumori erano pressoché assenti: nello spazio acustico era possibile udire suoni a bassa intensità e ben defini-

ti provenienti dai vari fenomeni atmosferici o dallo scandire delle varie attività umane nell'arco della giornata.
Con l'arrivo delle due rivoluzioni industriali, un'ondata di nuovi stimoli acustici ha subordinato il panorama acustico precedente, creando un sovrappopolamento sonoro che richiede uno sforzo cognitivo maggiore nel distinguere i diversi rumori.
I rumori ritmici e continui delle prime reti ferroviarie e delle rudimentali macchine agricole, insieme ai fischi penetranti dei forni a carbone e ai rombi dei primi motori a a interna, hanno introdotto una nuova categoria di rumori che generano un muro sonoro all'interno dello spazio urbano costante e onnipresente. Questi rumori presentavano un'ampia gamma di frequenze ridondanti e prive di informazioni, difficili da trovare in natura. Definiti come suoni a "Linea piatta", la loro struttura rispecchiava principalmente il ritmo incessante degli orari lavorativi dell'epoca, dove l'unico momento di interruzione dell' attività si riduceva a un'ora di pausa, durante la quale gli operai si dovevano occupare della pulizia e della manutenzione della macchina.
Dal primo ventennio del secolo scorso, l'orecchio umano ha iniziato ad accettare il rumore tecnologico omogeneizzandolo sempre di più con i suoni naturali dell'antichità, ma nonostan-



te ciò, la presenza del rumore urbano rimane pur sempre un fattore problematico per la salute umana.
Rumori intensi possono portare a ripercussioni negative sulla nostra salute come mal di testa, nausea, calo della libido, visione offuscata, problemi cardiovascolari, funzioni gastrointestinali e respiratorie, oltre ai vari problemi uditivi, come acufene e tintinnii **[6]**.

In base all'intensità più o meno distribuita in tutte le frequenze, è possibile selezionare un ampio spettro di rumori che, per questo, non deve essere visto esclusivamente come un elemento negativo: moltissimi suoni
generati dalle nostre attività quotidiane e che percepiamo tutti i giorni sono composti da un elemento di rumore.

Ad oggi i rumori, in base alle frequenze che occupano, possono essere categorizzati in sei tipologie:

- **Il rumore bianco**, dall'analogia ottica per cui, se vengono sovrapposti tutti i colori, si ottiene il bianco, è costituito dalla sovrapposizione di tutte le frequenze, ognuna con la stessa lunghezza d'onda.

- **Il rumore rosa**, noto per le sue capaci-

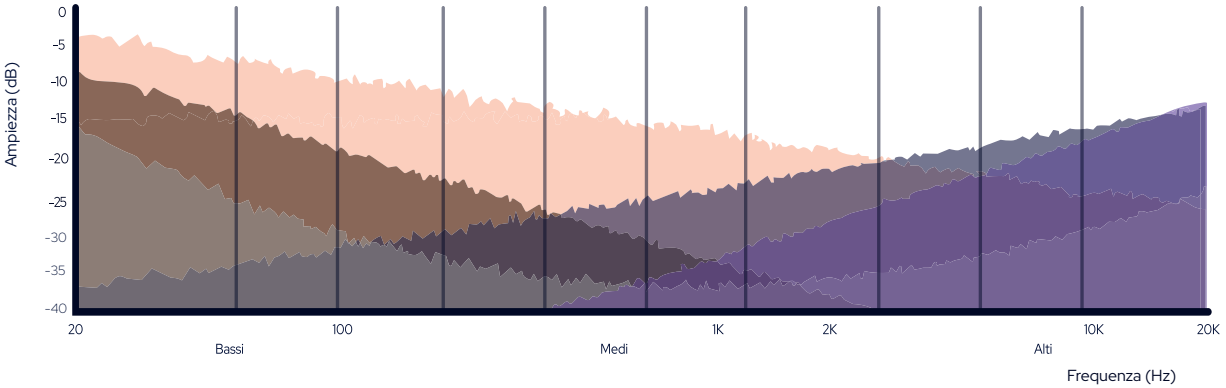


Figura 4. illustrazione spettri rumore colorati

tà distensive e calmanti, dato che è simile a molti rumori presenti in natura come il rumore della pioggia o di una qualunque fonte d'acqua che scorre [6] [7].

• **Il rumore marrone**, caratterizzato nel coprire frequenze estremamente profonde è riscontrabile in natura nell'udire un tuono, un forte vento o al fuoco che scoppietta in lontananza. È una tipologia di suono che viene spesso usato come "mascherante" dei rumori ambientali definiti fastidiosi, stimolando il sonno e mostra ottimi risultati nel coprire il ronzio dell'acufene.

• **Il rumore blu,** dotato di una consistente presenza di elementi frequenziali alti utilizzati soventemente per la stimolazione della concentrazione e della produttività.

• **Il rumore grigio**, che risulta una versione più attenuata dei rumori bianchi e rosa risultando simile al ticchettio di un orologio o al rumore di un asciugacapelli.

• Infine, **il rumore viola**, che risulta il rumore più stridente della gamma disponendo di una accentuata quantità di informazioni sulle alte frequenze, ben più del rumore blu.

In ambito fonetico, il rumore risulta essenziale per la formazione delle consonanti in un discorso o nelle componenti di uno strumento a percussione, specialmente in ambito digitale.
Pensiamo ad esempio ai contesti di sound design di alcuni generi musicali elettronici più contemporanei, dove i variegati spettri di rumore vengono utilizzati per dare maggiore densità e risalto alle basse frequenze, in modo tale da essere percepite anche in altoparlanti di piccole dimensioni come quelle di un telefono o di un computer.

Bibliografia breve

[1] Grew.S Come è nato il linguaggio. https://www.iltascabile.com/scienze/linguaggio-collaborativo-sverker-johansson/

[2] Roederer, J., G., (2008) The Physics and Psychophysics of Music An Introduction, Springer.

[3] Howard, D., Angus, J., (2008) Acoustic and psychoacoustic fourth edition, Elsevier Ltd.

[4] «Rumóre - Significato ed etimologia - Vocabolario». Treccani, https://www.treccani.it/vocabolario/rumore/.

[5] https://staticmy.zanichelli.it/catalogo/assets/9788808634733_04_CAP.pdf

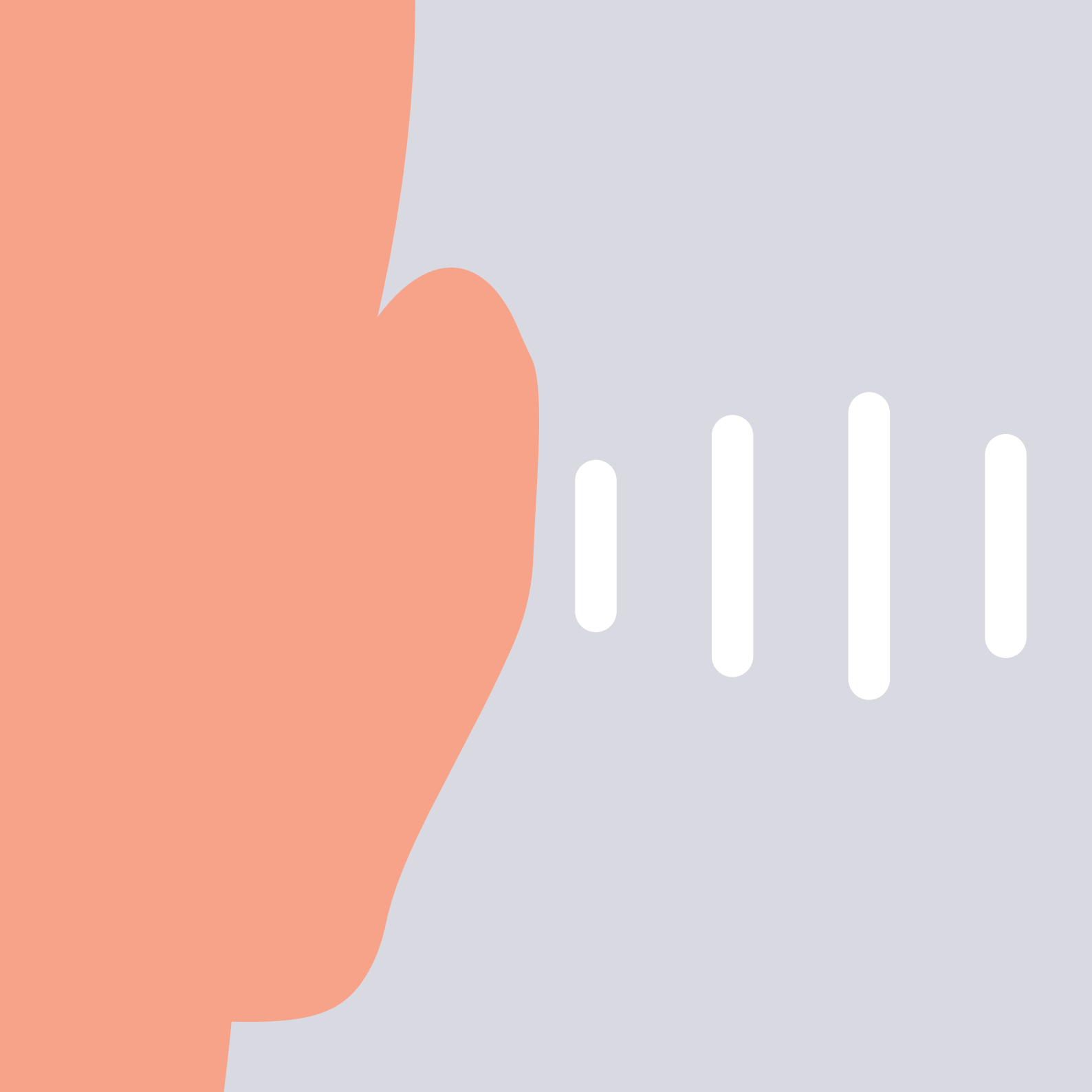
[6] Schafer, R. M., (1994). Our Sonic Environment and the soundscape the Tuning of the world. Destiny Books.

[7] Pierce, J., (1987) La scienza del suono. Zanichelli Editore.

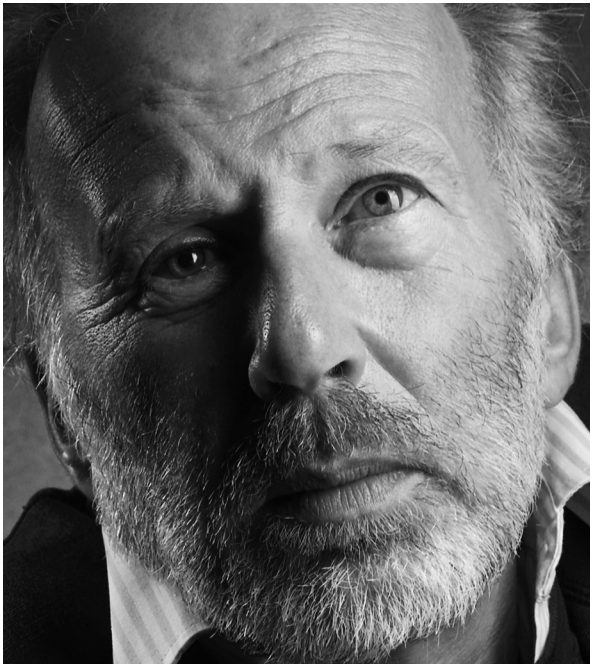
Capitolo 2

Dall’acustica alla Psicoacustica.

Il secondo capitolo esplora i meccanismi e i processi di elaborazione sensoriale del sistema nervoso riguardante lo stimolo di un output sonoro sotto il profilo psicoacustico che acustico, spesso sfruttati come fattori progettuali.



2.1 Un fenomeno, quattro chiavi di lettura



R.M.Schafer

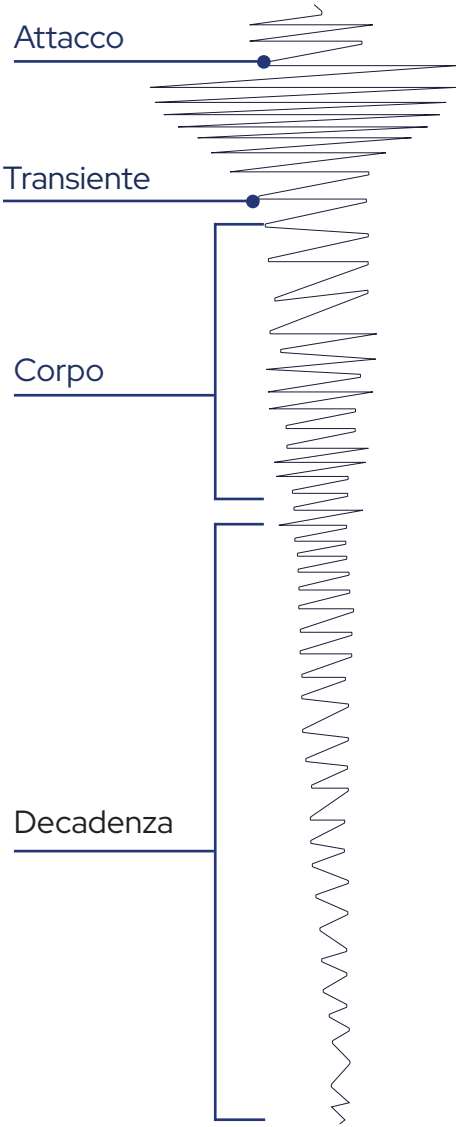
Da ciò che si può evincere dal primo capitolo è che il suono, con il progredire tecnologico della civiltà umana, sia diventato un fenomeno sempre più complesso da trattare attraverso un'unica chiave di lettura, fino a risultare piuttosto limitante.

Uno tra i primi studiosi a portare il dibattito a livello internazionale attraverso i suoi scritti è il compositore e ricercatore Canadese **Raymond Murray Schafer**. All'interno di una delle sue pubblicazioni si racconta di come in passato, così come ai giorni d'oggi, la natura multisensoriale del suono è stata stimolo, ad un **approccio** di classificazione sempre più **trasversale**, adattandosi alla necessità stessa di identificare elementi di somiglianza, contrasti o schemi ricorrenti. Viene comunque precisato che un approccio clinico dell'analisi del suono possa rivelarsi limitante e controproducente alla ricerca stessa.
Esso, deve essere considerato come uno dei tentativi più plausibili per descrivere in modo convenzionale un fenomeno sonoro.
All'interno della medesima pubblicazione, Schafer fa riferimento a una delle prime classificazioni fatte dalla comunità accademica.

Nel 1946 il teorico musicale e compositore **Pierre Schaeffer** conia il termine "oggetto sonoro" facendo una peculiare distinzione tra il suono emesso da una sorgente sonora e il corpo sonoro stesso. In tale applicazione, Schaeffer definisce esso come "Un oggetto acustico per la percezione umana, non un oggetto matematico o elettroacustico destinato alla sintesi di esso" sottolineandone la sua essenzialità come unità fondamentale del suono **[8]**.

Convenzionalmente, il suono può essere analizzato attraverso quattro principali punti di vista, che corrispondono ad altrettante discipline:

• **Acustica**, dove viene presa in analisi la struttura dell'oggetto sonoro come fenomeno fisico, misurabile attraverso parametri come **attacco, corpo, decadenza, frequenza, grana, durata e dinamica**.
Partendo dalla porzione inziale di un'onda sonora si può trovare l'elemento di attacco che indica un improvviso eccitamento del segnale che determina anche l'identità del segnale stesso.



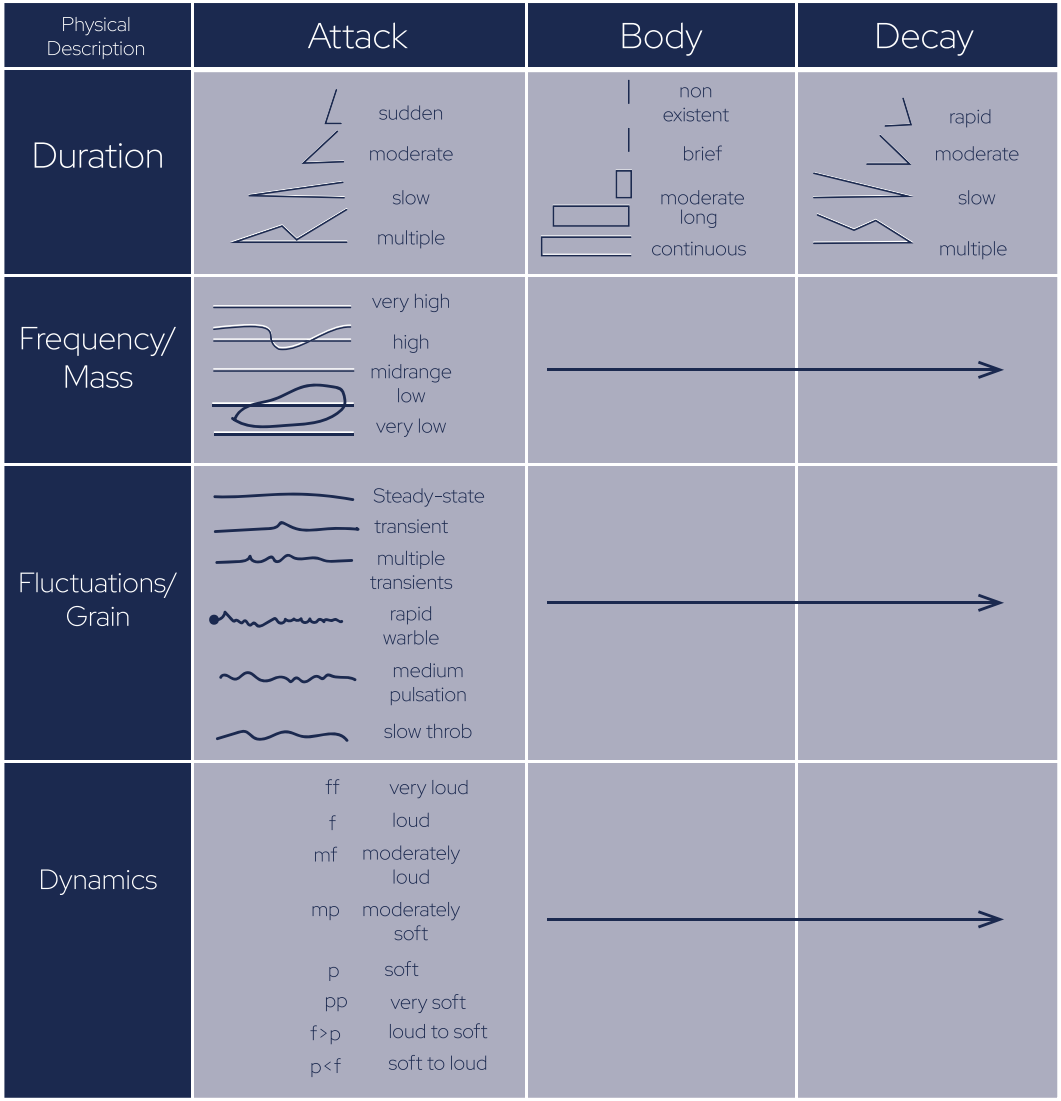


Figura 6. Classificazione per la descrizione fisica di un suono secondo gli studi di Schafer.

Sempre secondo Schaeffer e i suoi collaboratori è stato dimostrato che se la porzione di attacco di certi suoni venisse omessa, la loro intelligibilità risulterebbe più complessa da recepire per l'orecchio umano.

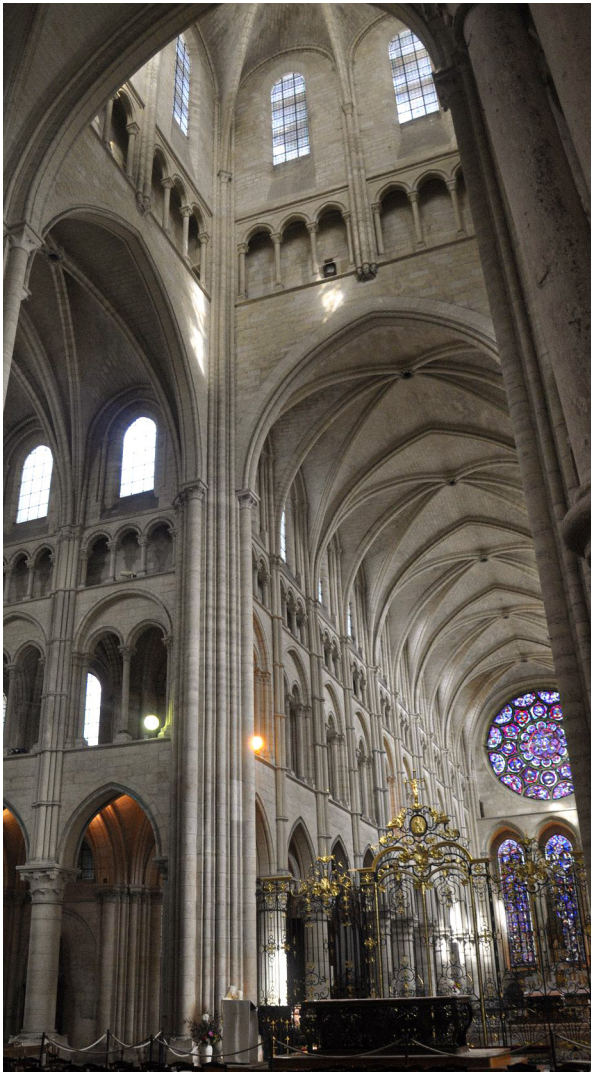
Ad esempio, in assenza di attacco il suono di un pianoforte e di un flauto diventerebbero indistinguibili.
A seguito, troviamo la porzione mediana, essenziale invece per la stazionarietà dei rumori, e infine la coda determinata dalla decadenza di un suono che può coprire un intervallo di tempo più o meno lungo.
Nonostante le varie premesse fatte all'inizio del paragrafo, i valori di descrizione acustica di un suono possono essere implicati nella realizzazione di un grafico, dove gli eventi sonori possono essere analizzati in maniera isolata. Organizzandoli in un grafico a due entrate, sul piano orizzontale possono essere inseriti i valori di attacco, corpo e decadenza. Dinamica, grana, durata e frequenza, invece, sono disposte sul piano verticale

- **Psicoacustica**: viene privilegiata una lettura del fenomeno sonoro come esperienza soggettiva mediata dal sistema uditivo e dai processi cognitivi dell'individuo e di cui approfondiremo nel paragrafo successivo;

- **Semantica** o referenziale, dove il suono viene analizzato dal punto di vista simbolico e di significato, variabile in base al contesto culturale e sociale;

- Infine, la prospettiva **estetica**, che risulta la più complessa da analizzare poiché si fonda sulla dimensione puramente soggettiva del suono. A differenza dell'analisi semantica, la valutazione estetica può variare drasticamente anche tra individui appartenenti al medesimo contesto sociale, ostacolando la raccolta dei dati empirici e oggettivi, e lasciando spesso gli studiosi di fronte a risposte eterogenee e di difficile interpretazione **[9]**.

2.2 La Psicoacustica in ottica progettuale



Come accennato in precedenza, il campo della psicoacustica pone il tema del **rapporto** dell'uomo con l'intorno e di come elabora e percepisce gli stimoli sonori attraverso il proprio sistema uditivo, attraverso i vari processi cognitivi presenti nel fenomeno.
Proprio per la sua natura "soggettiva", è stato possibile analizzare il suono non solo in termini di decibel, ma anche modellare il paesaggio sonoro circostante, al fine di contribuire al benessere e alla produttività dell'esperienza umana.
Così come nella progettazione di un prodotto fisico o di uno spazio interno, l'elemento sonoro necessita di una progettazione ad hoc, che può indurre nuove abitudini e comportamenti **[10]**.
Da sempre, l'uomo non concepisce gli spazi in base alla sola funzione ma anche a come l'oggetto sonoro si deve propagare al suo interno. Secondo la teoria del critico **Roland Barthes**, è possibile ricostruire una genealogia acustica del mondo occidentale a cominciare dall'Europa dell'architettura gotica del XIII secolo. Gli enormi spazi della cattedrale non avevano soltanto la funzione pratica di congiungimento della comunità cittadina per la celebrazione del rito religioso, ma anche l'obiettivo di stimolare il credente alla preghiera e alla redenzione attraverso il riecheggiamento dei cori clericali

lungo le grandi navate e gli archi dell'edificio [11].
L'applicazione dei principi della psicoacustica si dimostra come un potente strumento nella gestione della complessità che il design si porta dietro. Lo stesso suono, in base al contesto e al modo in cui il soggetto "vive" quel determinato suono, potrebbe portare a differenze individuali nella sua percezione. In base a tale teoria, gli studiosi hanno rielaborato le informazioni acustiche in fattori contestuali e individuali.
Tra **fattori contestuali** che incidono sul suono si comprende:

• **Posizione**: un suono si dimostra appropriato in un luogo rispetto ad un altro.

• **Ora del giorno**: i livelli di intensità di rumore accettabili durante il giorno possono essere considerati molesti durante la notte.

• **Attività**: l'ambiente sonoro di uno spazio deve essere gestito in base all'attività per cui è destinato. Una sala da concerto richiederà proprietà specifiche rispetto ad una stanza d'ospedale.
• **Norme culturali**: la percezione trasmessa da un suono o da un rumore è un fattore soprattutto culturale.

Senza contare le **variabili individuali** del soggetto dove sono tenuti in analisi altri tipi
di fattori come:

• **Età**: con l'avanzare dell'età, la capacità di percezione delle frequenze più elevate tende a diminuire, esigendo ambienti più tranquilli, avulsi dai rumori;

• **Capacità uditive**: la progettazione di spazi dovrebbe tenere in considerazione le differenti disabilità uditive proponendo soluzioni che soddisfino le diverse necessità;

• **Sensibilità personali**: alcuni utenti sono più sensibili a determinati rumori rispetto ad altri;

• **Stato psicologico**: In base alle designazioni appena espresse è possibile definire che il design psicoacustico è il prodotto sinergico di vari ambiti interdisciplinari al fine di ottenere soluzioni olistiche che permettono di plasmare ambienti non solo al fine della riduzione dell'inquinamento acustico indotto dalle varie attività antropiche, ma anche di creare ambienti sonori personalizzati al contesto permettendo di affrontare le nuove sfide sulla sostenibilità urbana del XXI secolo [12].

2.3 L'orecchio

L'orecchio si dimostra come il principale strumento di ricezione ed elaborazione del suono. Nel passaggio delle varie strutture che caratterizzano l'intero sistema uditivo, i pattern sonori percepiti vengono elaborati e convertiti in informazioni acustiche che permettono di ricavare all'ascoltatore moltissime informazioni salienti anche sulla sorgente sonora d'origine.
Storicamente, l'orecchio viene definito come l'organo più democratico e passivo del corpo umano. Non è assolutamente possibile chiudere le proprie orecchie al mondo e nemmeno di impedirsi all'apertura di tutti gli stimoli sonori La prima informazione che viene percepita è il meccanismo di eccitazione del suono, generato da un flusso d'aria che vibra, ipoteticamente da un'ancia di un clarinetto o dallo strofinio di un archeggio su un violino o dalla vibrazione delle corde vocali al passaggio dell'aria all'interno della laringe di un cantante. In seguito, abbiamo il fondamentale dell'elemento vibrante che si dimostra cruciale nel determinare l'altezza di tono e, in alcuni casi, nel determinare la qualità intrinseca di un suono, influenzandone le armoniche superiori.

E infine, opzionalmente, una sorgente sonora potrebbe disporre di un risonatore con l'obiettivo di convertire le oscillazioni in vibrazioni sonore e dare il timbro finale **[13]**.

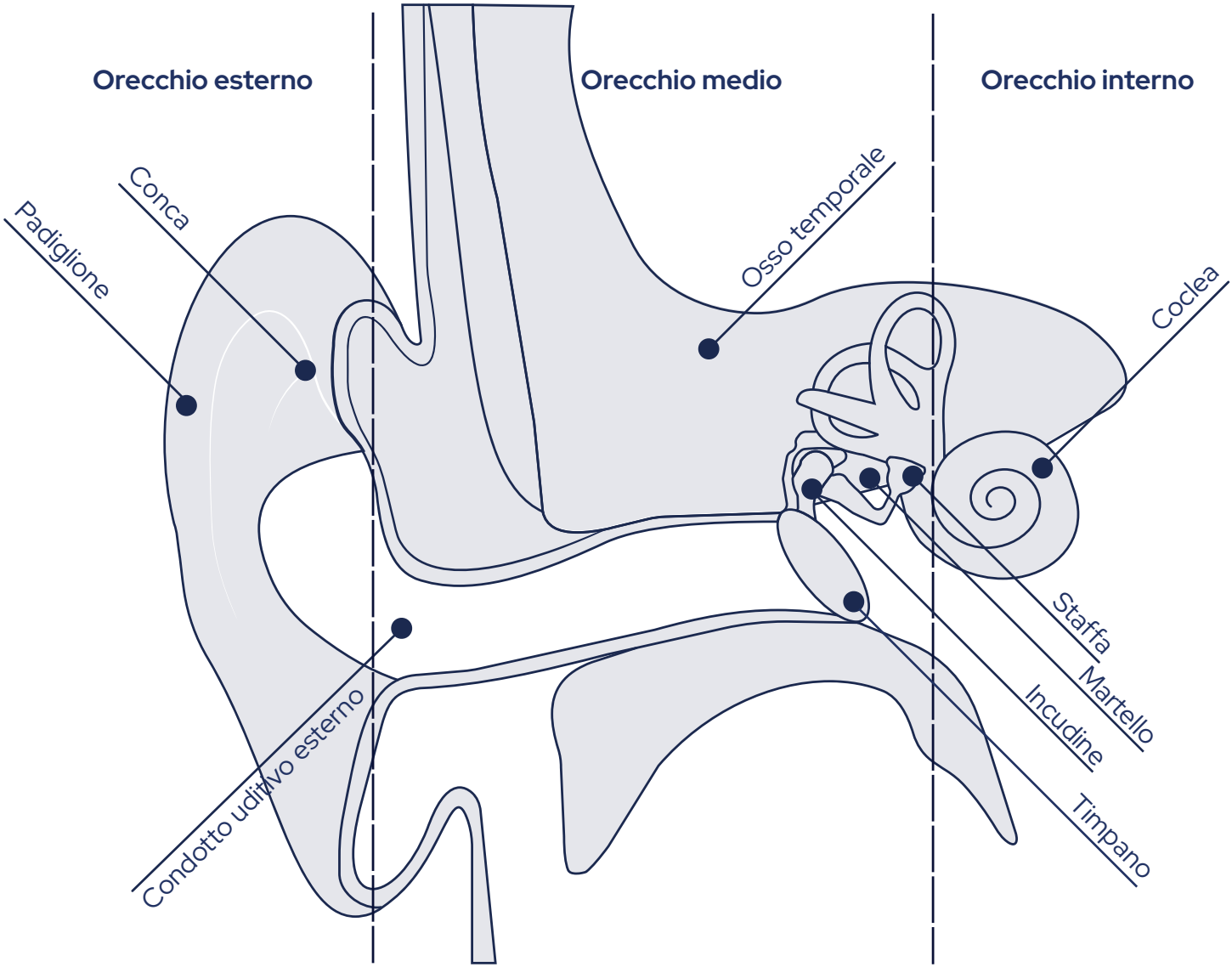


Figura 7. rappresentazione del sistema uditivo

Durante il tragitto, il suono attraversa l'orecchio in **tre sezioni**:

• **L'orecchio esterno**, composto principalmente da padiglione e conca, agisce sinergicamente per determinare la localizzazione sonora nello spazio e ad amplificare alcune frequenze discriminandone altre. La conca permette l'accesso all'interno del condotto uditivo o meato: un condotto che si estende tra 2,5 e 3,5 centimetri dove al termine del condotto è possibile trovare la membrana timpanica o timpano che delinea l'orecchio esterno con l'orecchio medio.

• **L'orecchio medio** coincide con la membrana timpanica ed i suoi tre ossicini da cui è composto: martello, incudine e staffa, che trametto-no le vibrazioni della membrana timpanica verso la finestra della coclea e trasmettono successivamente le informazioni uditive in direzione dell'orecchio interno. Tale processo ha la duplice funzione di trasmettere le vibrazioni del timpano nel fluido della coclea senza perdite significative di energia e di proteggere il sistema uditivo dai suoni forti.

Infine, raggiunto **l'orecchio interno**, l'oggetto sonoro viene trasferito ai nervi acustici
Per raggiungere il cervello ed essere convertito da vibrazione ad informazione acustica.
L'orecchio interno è protetto da una scatola ossea, la quale ospita tre canali semicircolari, sebbene non contribuiscano in modo diretto all'udito; sono fondamentali per l'equilibrio.
Lo è invece la componente denominata coclea o chiocciola: un tubicino a sezione decrescente che si avvolge a spirale come l'interno di una conchiglia.
Convenzionalmente, la coclea è spesso rappresentata "srotolata" come un tubicino che si assottiglia, con al suo interno un fluido, la perinfa, che circola sia al di sopra che al di sotto della membrana basilare confluendo verso un'apertura chiamata elicotrema.
All'estremità basale si trovano due finestre nella struttura ossea che circonda il condotto cocleare. Queste finestre sono coperte da membrane sottili e flessibili: l'apertura superiore e la finestra.
La staffa è collegata alla membrana che ricopre la finestra ovale. Nel momento in cui le onde sonore inducono un movimento della staffa in avanti, essa tende a spingere la membrana, permettendo di scorrere il fluido che riempie la parte superiore della coclea.
Nel momento in cui l'onda sonora provoca un movimento di ritrazione della staffa, la membrana viene diretta verso l'esterno, causando un movimento verso sinistra del fluido che riempie la parte superiore della coclea. La membrana che ricopre la finestra rotonda, situata sotto la membrana basilare, non presenta nessun collegamento con altri elementi. Questa membrana si flette verso l'interno o verso l'esterno in risposta alla pressione esercitata dal fluido sottostante la membrana basilare. Il pattern motorio generato dalla membrana basilare verrà trasmesso al cervello rielaborandolo sotto forma di sensazione uditiva **[13] [14]**.

2.4 Bande critiche e Mascheramento

In natura è quasi impossibile recepire suoni o rumori che dispongono di un pattern semplice e lineare come un suono puro. Nella realtà di tutti i giorni, sia quando cerchiamo di udire i vari suoni presenti nel nostro vicinato, che quando ascoltiamo un brano musicale, la quasi totalità dei suoni è infatti costituita da almeno due componenti frequenziali. Nel caso in cui due o più suoni complessi che occupano le stesse frequenze si può verificare quello che viene definito come mascheramento, per cui risulterà più impegnativo o completamente impercettibile alla presenza di un suono rispetto agli altri sovrapposti. Il suono agente nel fenomeno viene definito mascherante mentre il suono che subisce gli effetti viene appellato con il nome di mascherato.
Da un punto di vista psicoacustico, il mascherante agisce sul mascherato spostando la soglia uditiva di quest'ultima.
Il mascheramento può quindi essere quantificato come la variazione della curva della soglia di udibilità di un ascoltatore in presenza del suono mascherante.

L'entità del mascheramento dipende principalmente dalla frequenza e dall'ampiezza del mascherante e del mascherato attraverso il meccanismo dei filtri uditivi.
Esso è un concetto meramente utilitaristico al fine di comprendere il reale funzionamento della coclea ai differenti stimoli sonori. Ogni filtro della coclea reagisce diversamente alle componenti del segnale acustico che rientrano nella sua banda passante e la cui ampiezza corrisponde a quello che viene definito come banda critica. In questa ottica è possibile ottenere un ulteriore definizione di Mascheramento definendolo come la mancanza di efficacia da parte del filtro di analizzare una componente sonora posta all'interno della sua banda critica. Tuttavia, ciascun filtro non risponde in modo del tutto simmetrico: il mascheramento risulta molto più intenso nelle componenti superiori a quella del mascherante che non per quelle a frequenze inferiori.

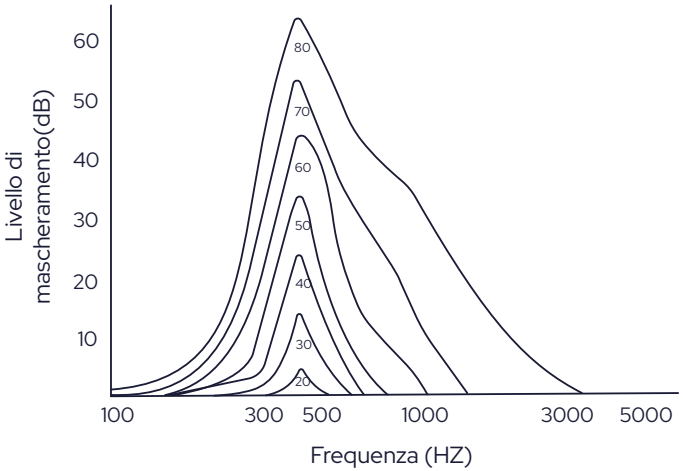


Figura 8. rappresentazione dei livelli di mascheramento raggiungibili considerando un tono puro (415 Hz).

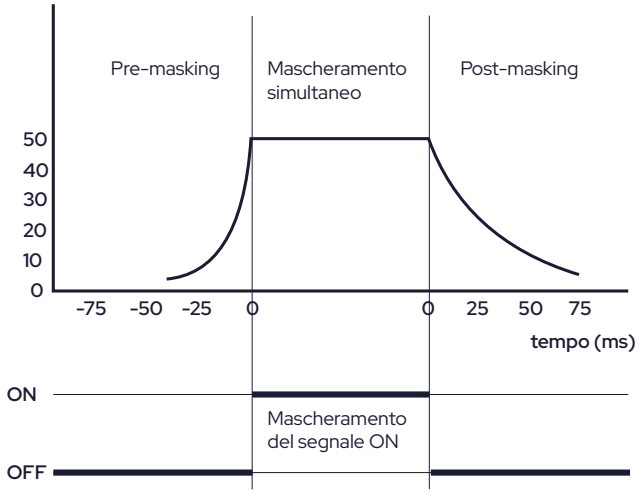


Figura 9. schema di rappresentazione dei livelli di mascheramentosimultaneo e non simultaneo.

Nella percezione musicale di un suono gli effetti descritti fino ad ora appartengono al caso in cui sia il mascherante che il mascherato agiscono nello stesso intervallo di tempo. Ma esistono casi in cui il fenomeno del mascheramento si manifesta come un fenomeno non simultaneo. In particolare, esistono due casi specifici:

• Il **post-masking**, in cui un tono può mascherarne un altro dopo la cessazione del primo verificandosi in intervalli temporali fino a circa 30 ms tra la fine del mascherante e l'inizio del mascherato;

• Nel **pre- masking**, invece il mascherato può essere sovrapposto da un suono che sopraggiunge successivamente, iniziando fino a 10 ms dopo la sua conclusione.

Moltissime fonti sonore sia di origine naturale che artificiale possono essere prese in considerazione come ottimi casi di fonti di rumori mascheranti: dal ventilatore al climatizzatore, dal rumore del traffico fino al rumore delle cascate.

Nel caso in cui il mascherante sia costituito da un rumore a banda larga o rumore bianco, le componenti presenti a tutte le frequenze vengono mascherate in modo lineare.
Situazioni di questo tipo possono verificarsi nella registrazione degli strumenti come il rullante suonato con le spazzole o con la presenza del rumore di fondo.

Le proprietà del mascheramento trovano anche importanti applicazioni anche nei sistemi digitali di memorizzazione e trasmissione dell'audio poiché vengono sfruttati per ridurre la quantità di dati da elaborare, trasmettere o archiviare sfruttando le limitazioni percettive dell'udito umano. Esempi noti sono i formati audio estremamente compressi molto usati in passato come il formato **MP3** ma anche i vari sistemi di distribuzione di musica via Internet, nei lettori portatili, nella trasmissione audio multicanale per radiodiffusione e televisione satellitare
Proprio per questo il mascheramento è il principale fenomeno di investigazione psicoacustica, essenziale per la progettazione di nuovi spazi aurali, permettendo un ulteriore controllo dei rumori ambientali **[15] [16]**.



2.5 Il ruolo del pitch

In base alle considerazioni precedenti, la membrana basilare riveste un ruolo chiave nella lettura e nella scomposizione dei pattern sonori. Tuttavia, l'abilità di distinguere un suono da un rumore è condotta attraverso tre attributi fondamentali: pitch, loudness e timbro.
Sebbene ciascuno di questi attributi sia riconducibile a meccanismi fisici di elaborazione delle informazioni, essi non possono essere misurati attraverso la raccolta di dati oggettivi ed empirici.

In base alla definizione formale dell'American National Standards Institute: **"Si definisce pitch come l'attributo uditivo nel quale i suoni possono essere ordinati in scala dal più basso al più alto"**.
Il pitch, per essere misurato, necessita di dati di natura soggettiva, come la percezione soggettiva dell'udito, la quale può entrare in contrasto con misurazioni più oggettive, come la presenza o meno di una frequenza fondamentale di una nota. Tale caratteristica consente di definire con esattezza la natura intrinseca dell'elemento sonoro in questione: generalmente, i suoni presentano un pattern definito e una presenza definita del pitch, mentre nei rumori risulta assente o instabile.
Per poter descrivere la capacità dell'udito

umano nel cogliere le variazioni della frequenza fondamentale e quindi anche del pitch, sono state elaborate due teorie sulla sua percezione:

• La **teoria della posizione** afferma che la percezione del pitch è direttamente influenzata dal punto della membrana basilare stimolato dal contatto con un input sonoro o da diverse componenti di frequenza. Tuttavia, attraverso solo la teoria della posizione, non è possibile spiegare alcuni fenomeni particolari come il grado di accuratezza percepito da un soggetto o la percezione del pitch di suoni che detengono uno spettro continuo o di frequenze inferiori ad una certa soglia.

• La **teoria temporale**, invece, ipotizza che il sistema nervoso elabori gli input uditivi attraverso una parallela analisi della frequenza e di conseguenza anche del periodo dell'onda sonora **[17]**.

Il pitch viene definito come il fattore decisivo che converte la musica in emozione. Una singola nota può essere veicolo di emozioni come la felicità o l'euforia, nel caso dei toni alti, oppure trasmissione di emozioni come la tristezza nei toni bassi. Con la sovrapposizione di note, è possibile ottenere configurazioni più complesse **[18]**.
In base all'accostamento delle frequenze è possibile ottenere suoni omogenei e armonici, percepiti come piacevoli da udire, definiti consonanze, e altri dove l'accostamento di due o più pitch crea una risultante aspra ed instabile che risulta ostica all'udito dell'utente ascoltatore, chiamata dissonanza **[19].**

Non è un caso che moltissimi prodotti d'uso comune sfruttino sensori o segnali acustici che generino dissonanza o consonanza, permettendo di agevolare l'esperienza d'uso all'utente in funzione del contesto. Pensiamo ai casi come i sensori delle cinture di sicurezza di un veicolo o il feedback sonoro di un microonde. L'elevato pitch emesso da questi dispositivi stimola l'utente a una sensazione di urgenza portando la sua attenzione direttamente all'interazione con il prodotto stesso.

2.6 Localizzazione



La localizzazione indica la nostra capacità di rilevare la direzione o la distanza di una o più sorgenti sonore all'interno di un ambiente. L'apparato uditivo esterno non riceve lo stesso segnale simultaneamente su entrambe le orecchie: al contrario, data la loro separazione spaziale, l'input sonoro ricevuto non sarà recepito né allo stesso intervallo di tempo né con la stessa intensità. Per descrivere tale fenomeno si considera di analizzarlo sotto due dinamiche parallele con i nomi di **Interaural Time Difference (ITD)** e **Interaural Intensity Difference (IID)**.

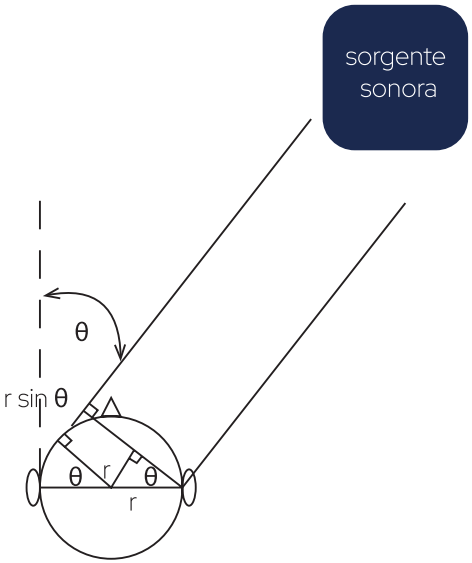


Figura 7. ricostruzione dello schema ITD di Woodworth.

L'**Interaural Time Difference** si definisce come la **differenza del tempo** di arrivo del suono tra le due orecchie, localizzato sul piano orizzontale **[19]**.
Questo principio, formalizzato per la prima volta nel 1962 da Woodworth, presuppone che la posizione dell'ascoltatore sia a una distanza adeguatamente grande dalla sorgente sonora per rendere trascurabile la curvatura del fronte d'onda. Nel momento in cui un input sonoro viene posizionato più vicino ad un orecchio rispetto ad un altro, esso sarà il primo dei due padiglioni a riceverlo. Pertanto, è deducibile che se il suono verrà percepito prima dall'orecchio destro, esso sarà il primo a ricevere il segnale sonoro e viceversa. Tuttavia, se il suono dovesse provenire dal piano mediale, sia frontalmente che da dietro, il suono arriverebbe ad entrambe le orecchie in maniera simultanea. Ad un angolo di direzione che non sia né nullo né piatto, l'onda sonora per raggiungere l'orecchio più distante deve percorrere un tratto aggiuntivo che Woodworth suddivide in due parti: una distanza lineare che l'onda ha percorso per raggiungere il lato della testa. È una seconda parte dove la curvatura su cui l'onda sonora viaggia lungo la superficie della testa fino all'orecchio opposto. Considerando che i due padiglioni sono posizionati da un estremo all'altro della testa con una distan-

za di 18 cm, i valori di ritardo risultanti possono toccare valori minimi di 10 millisecondi fino ad un massimo di 700 millisecondi.
L'ITD può dipendere da parametri come le dimensioni della testa, l'angolo di incidenza tra la testa del soggetto e la sorgente sonora e la velocità del suono.
La sola Interaural Time Difference risulta pressoché limitante per una completa esperienza di localizzazione del suono. A basse frequenze la differenza di fase risulta avere un ritardo nel tempo piuttosto basso. Ma un progressivo aumento del valore della frequenza comporta anche un accentuato sfasamento del ritardo, rendendo l'ITD non propriamente consono per una corretta localizzazione sulle alte frequenze **[19] [20]**.

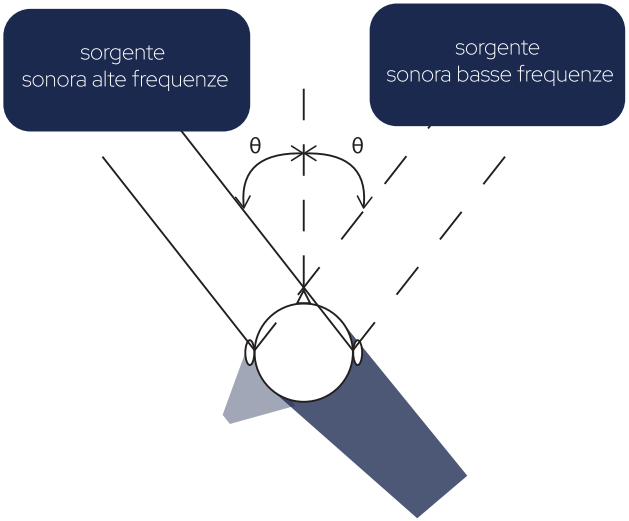


Figura 8. ricostruzione dello schema IID di Woodworth.

L'**Interaural Intensity Difference**, invece, descrive la **differenza dei livelli di intensità** percepite tra le due orecchie. Analogamente a quanto accade per ITD, i livelli di intensità su ciascun orecchio rimangono invariati se la fonte sonora è posizionata sul piano mediale e un suo progressivo movimento lungo il piano orizzontale può comportare uno sbilanciamento verso un lato. Accade frequentemente che i padiglioni possano interferire l'uno con l'altro, causando un effetto di oscuramento dell'ascolto con valori che risultano difficili da calcolare.
Studi sperimentali hanno dimostrato che, in base alla direzione della sorgente, la differenza di livello può variare con un intervallo che va da 0 db fino a 20 db **[20] [21]**.

È stato dimostrato che i due modelli di ascolto direzionale non vengono usati simultaneamente, ma che sono due processi che il nostro cervello utilizza in modo del tutto complementare.
Dato che si dimostrano efficienti nel catturare



degli specifici intervalli di frequenza piuttosto che di altri, per la localizzazione delle alte frequenze il nostro cervello predilige IID, mentre ITD viene usata per captare le basse frequenze.

Un ulteriore effetto di ciò che viene definito dagli studiosi come ITD e IID trading viene nominato come effetto di precedenza o **effetto Haas**.
Secondo le scoperte di Haas, l'orecchio predilige la direzione del suono che arriva per primo ai padiglioni ignorando completamente le riflessioni che possiedono un ritardo inferiore ai 30 ms. Al contrario, le riflessioni oltre i 30 ms vengono percepite come echi distinti.
Nella riprogettazione di stanze ad hoc per studi e sale da concerto, tali risultati riportano delle importanti implicazioni sul trattamento acustico. Ad esempio, in una sala da concerto dove spesso si cerca un risultato acustico come "intimo", si dimostra come sia di fondamentale importanza che le prime riflessioni sonore arrivino al pubblico non prima dei 30 ms per evitare di essere percepite come eco.

I due modelli di ascolto direzionale, sebbene al loro modo funzionali, non si dimostrano particolarmente esaustivi nei casi di ambiguità della sorgente sonora posta non alla stessa altezza della testa dell'ascoltatore. Ci sono difatti altri meccanismi percettivi che permettono di colmare tali latenze.

Il primo meccanismo consiste nello sfruttare l'effetto del nostro orecchio nell'elaborare i suoni percepiti al fine di determinare l'angolo di direzione e la provenienza.

Questa dinamica avviene nel momento in cui le onde sonore colpiscono il padiglione auricolare riflettendo all'interno del condotto uditivo attraverso un'articolata conformazione di pieghe e rilievi presenti su tutto il padiglione. Tali riflessioni inducono un breve ritardo che genera effetti di interferenza a pettine nel segnale percepito. Il ritardo subito dall'onda è il risultato della direzione da cui arriva in tutte e tre le dimensioni dello spazio.

Tale fenomeno varia da persona a persona dato che ognuno possiede orecchie con forme diverse e impara ad interpretare tali input nel corso del suo percorso di crescita **[16]**.

Un altro importante aspetto da considerare nelle ambiguità direzionali è il movimento della testa. Quando desideriamo concentrarci su una determinata sorgente sonora rispetto ad un'altra, tendiamo a ruotare la testa verso di essa. Il movimento della testa modifica la direzione di arrivo del suono e questa variazione dipende dalla posizione della sorgente rispetto a noi. Di conseguenza, un suono proveniente da dietro cambierà direzione in modo diverso rispetto a uno situato davanti o sopra l'ascoltatore. Proprio per questo motivo il suono percepito in cuffia viene elaborato e descritto come se fosse "dentro la nostra testa".

Il motivo è che le cuffie non riproducono correttamente l'effetto della testa e, dato che vengono posizionate all'interno del condotto uditivo, i processi di elaborazione del padiglione portano il sistema nervoso ad elaborarlo come un "suono interno", bypassando i processi di elaborazione appena descritti **[16]**.

2.7 Loudness e fatica uditiva

Un concetto analogo è applicabile alla loudness di un suono che misura l'ampiezza e quindi l'intensità di un suono espressa in decibel. Tuttavia, non è tecnicamente corretto definirla meramente come una correlazione diretta a tale aspetto. Essendo un effetto psicoacustico, la loudness è più corretta definirla come una grandezza percettiva influenzata anche dal contesto e dall'interpretazione dell'ascoltatore.

Prendiamo come esempio il momento in cui, tendenzialmente, quando si ascolta la musica da un impianto stereo o da un paio di cuffie, si ha l'impulso di aumentarne il volume. Come risposta, il sistema uditivo compie un'operazione di compressione dell'onda sonora, attenuando possibili danni alle parti più sensibili del medio orecchio e dell'orecchio interno **[5]**. Nonostante ciò, l'orecchio a seguito di prolungati periodi di esposizione agli input sonori, può manifestare segni di lesione e danneggiamento attraverso tre principali forme:

- **Perdita di efficienza** da parte delle cellule ciliate poste nell'orecchio interno nel compiere la trasduzione dell'input sonoro in impulsi nervosi, causando una perdita della sensibilità uditiva. Questa perdita di sensibilità è manifestabile attraverso un aumento della soglia

uditiva che, in base all'intervallo di tempo trascorso, può rivelarsi temporanea nel caso di brevi esposizioni oppure irreversibile, impedendo alle cellule ciliate di riprendersi.

• **Danneggiamento** del meccanismo di amplificazione posto all'interno della coclea. Questo meccanismo è risultato essere facilmente suscettibile ai suoni intensi e ai rumori eccessivi, portando a un allargamento delle bande critiche e causando una perdita di acutezza uditiva. Di conseguenza le abilità di comprensione di un discorso parlato o di focalizzazione di una sorgente sonora rispetto ad un'altra vengono gravemente compromesse. Inoltre, tale deficit uditivo può portare a percepire con maggiore dissonanza e fastidio suoni che prima erano consonanti.

• Talvolta, i danni indotti alle cellule ciliate possono portare al fenomeno conosciuto come acufene, dove la coclea genera improvvisamente un rumore che può essere sia tonale sia casuale o un insieme di entrambi [21].



Bibliografia breve

[8] Schafer,R.M (1994). Our Sonic Environment and the soundscape, the Tuning of the world. Destiny Books. (p. 129-130).

[9] Schafer,R.M (1994). Our Sonic Environment and the soundscape, the Tuning of the world. Destiny Books. (p. 133-155).

[10] Kettler, L., Carr C.E. (2019). Neuroethology of Sound Localization in Birds. Encyclopedia of Animal Behavior https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/interaural-time-difference

[11] Bull, M. (2015). Sound Moves: iPod Culture and Urban Experience. (p. 12-13).

[12] https://fashion.sustainability-directory.com/term/psychoacoustic-design-principles

[13] Roederer. J.G (2008). The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction. Springer. (p.1-3)

[14] Howard, D. Angus, J. (2008). Acoustic and psychoacoustic fourth edition. Elsevier Ltd. (p.74-79).

[15] Schafer,R.M (1994). Our Sonic Environment and the soundscape, the Tuning of the world. Destiny Books. (p. 223-225).

[16] Howard, D. Angus, J. (2008). Acoustic and psychoacoustic fourth edition. Elsevier Ltd. (p.260-264).

[17] Howard, D. Angus, J. (2008). Acoustic and psychoacoustic fourth edition. Elsevier Ltd. (p.132-142).

[18] Levitin, J. Daniel. (2006). This Is Your Brain on Music. Dutton.

[19] Howard, D. Angus, J. (2008). Acoustic and psychoacoustic fourth edition. Elsevier Ltd. (p.151).

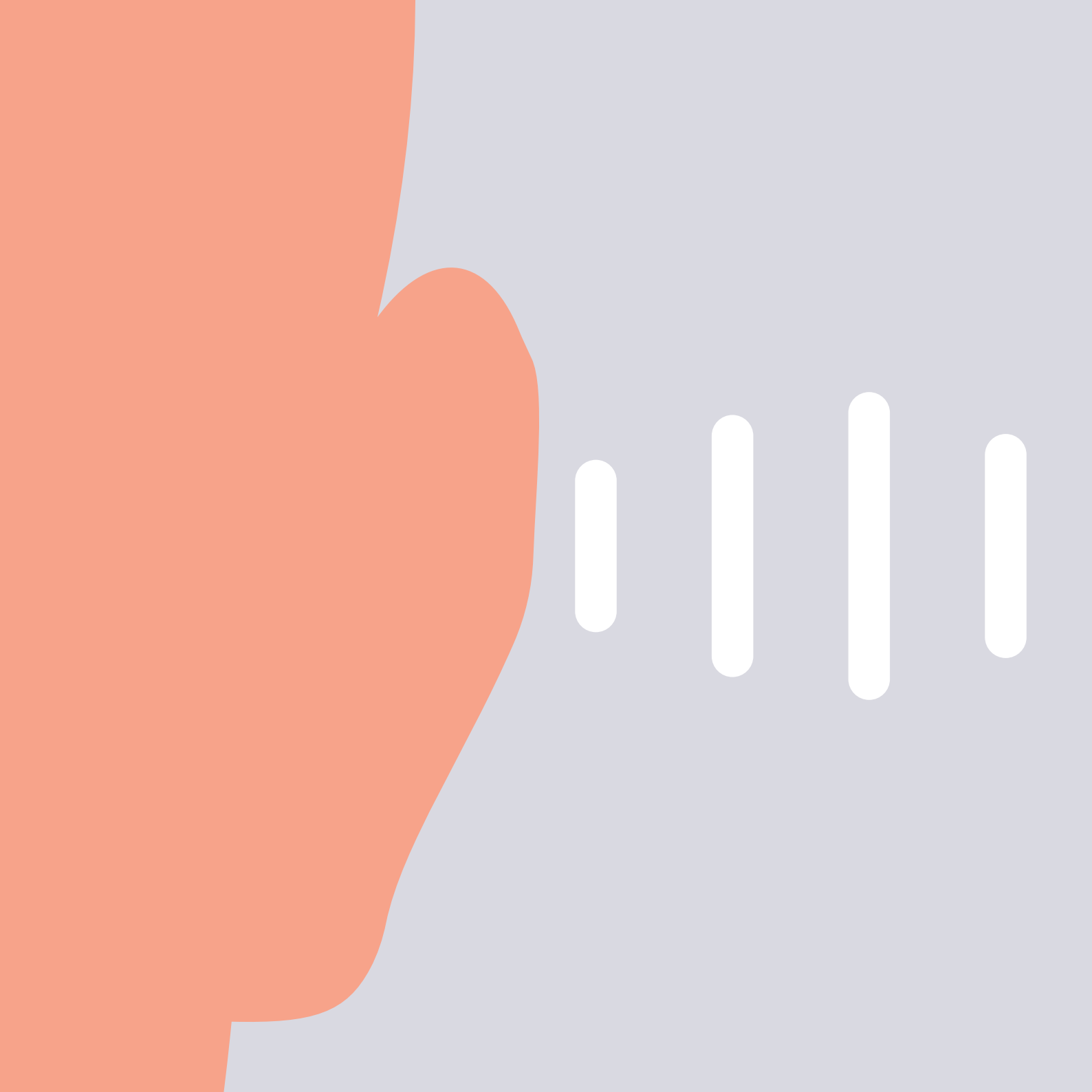
[20] Tollin, D.J. (2008). Encoding of Interaural Level Differences for Sound Localization, The Senses: A Comprehensive Reference https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/interaural-time-difference

[21] Zhong, X. (2015). Dynamic Spatial Hearing by Human and Robot Listeners, Arizona State University https://www.sciencedirect.com/topics

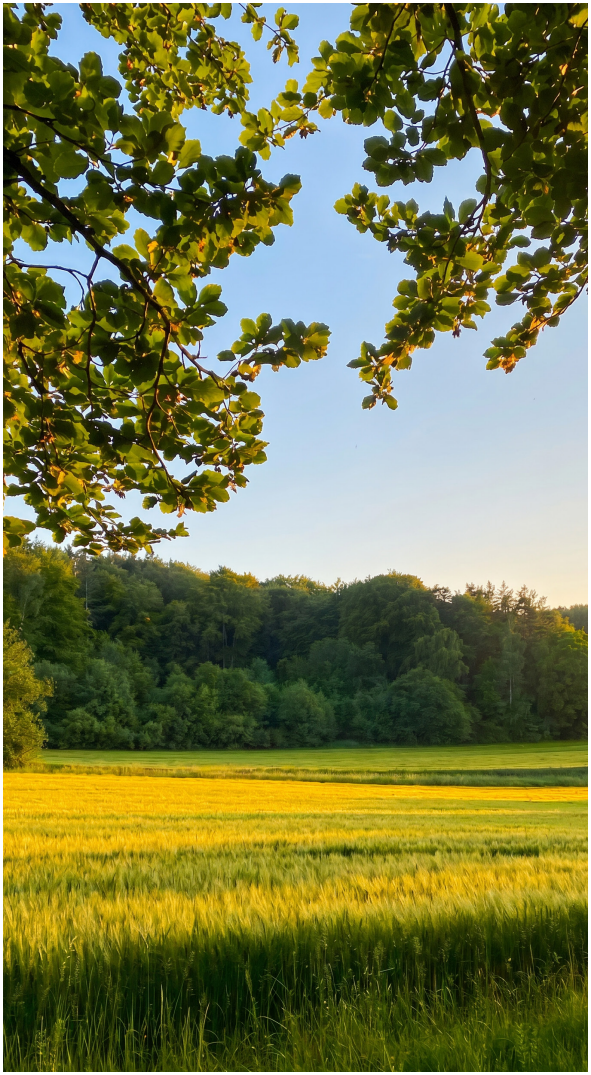
Capitolo 3

L’ascolto.

Il terzo capitolo si interroga ed analizza le cause epistemiologiche e sociali che hanno portato l’essere umano a cambiare il proprio modo di relazionarsi con se stesso e con l’altro all’interno del contesto sonoro del XXI secolo.



3.1 Da Hi-fi a Lo-fi



Oltre a dedicarsi agli studi teorici relativi all'acustica e alla psicoacustica, la figura di Schafer è risultata pionieristica nel porre il suono come **fattore determinante** di influenza nell'esperienza sensoriale dell'individuo sull'ambiente.
A lui è dovuta la prima sistemazione teorica dell'esperienza aurale attraverso il termine di paesaggio sonoro, un concetto che ha rivoluzionato il modo in cui comprendiamo e interagiamo con il mondo sonoro che ci circonda. Proprio come è possibile catturare un panorama attraverso una fotografia, fissando su pellicola o in formato digitale ogni singolo particolare che lo compone, analogamente il paesaggio sonoro può essere analizzato come una "**fotografia acustica**" dell'ambiente, in cui è possibile identificare e studiare le varie componenti che lo caratterizzano, dalle sorgenti sonore più evidenti ai rumori di fondo più impercettibili. Questo approccio permette di comprendere non solo la composizione sonora di un luogo, ma anche l'impatto che essa ha sull'individuo e sulla sua percezione dell'ambiente [22].
Come già discusso nel paragrafo sul rumore, il paesaggio sonoro attuale è stato oggetto di una radicale trasformazione correlata all'introduzione di nuovi rumori e di nuove sorgenti sonore, frutto dell'evoluzione tecnologica e dell'espansione urbana.

L'avvento delle due rivoluzioni industriali e della rivoluzione elettrica ha esercitato una forte influenza sulla **progressiva transizione** da quello che Schafer definisce paesaggio sonoro **hi-fi** verso una configurazione sonora progressivamente più **lo-fi**. Questa trasformazione ha avuto un impatto significativo sulla nostra esperienza uditiva, modificando il rapporto tra l'individuo e l'ambiente sonoro.

Per **paesaggio hi-fi** si intende il paesaggio sonoro "originale" antecedente alla massiva trasformazione antropica, tipicamente associato ai **contesti naturali** e caratterizzato da una **ridotta presenza di rumore ambientale**. In questo tipo di paesaggio, l'ambiente essenziale era soggetto a un dettagliato resoconto acustico che consentiva all'ascoltatore di **distinguere** con elevata precisione i singoli eventi sonori anche a distanze considerevoli. Questa capacità di percezione acuta permetteva una lettura dettagliata dell'ambiente circostante, favorendo, in termini evolutivi, l'individuazione di potenziali minacce o variazioni contestuali rilevanti, contribuendo così alla sopravvivenza dell'essere umano.

Nel **paesaggio lo-fi**, invece, il rapporto dell'individuo con le proprie percezioni uditive cambia notevolmente. Nel nuovo paradigma, le sorgenti sonore **si svincolano nello spazio e nel tempo** dai loro corrispettivi suoni, creando una sorta di disconnessione tra la fonte sonora e il suono percepito.
Così facendo, esso si configura come un ambiente caratterizzato da un'**elevata densità di eventi sonori** sovrapposti, tale da ridurre la distinguibilità dei singoli segnali.
Il rapporto segnale-rumore risulta compromesso: i suoni individuali vengono subordinati al rumore di fondo, facendo perdere la capacità di percepire chiaramente le fonti sonore distanti o discrete.
Questa sovrapposizione sonora può portare a un senso di confusione e disorientamento, influenzando negativamente il benessere e la qualità della vita dell'individuo. L'ascolto diventa un'attività più difficile, spesso trascurata, a causa della continua presenza di rumori che mascherano i suoni più importanti **[23]**.

3.2 Verso la normativizzazione

Sulla base di tali considerazioni, negli anni Novanta del secolo scorso inizia un articolato processo di normativizzazione del paesaggio sonoro, volto a riconoscere il ruolo che l'ambiente acustico ricopre nella qualità della vita e nella tutela del patrimonio naturale e culturale.

Nel **1993** viene fondato il **World Forum For Acoustic Ecology (WFAE)**, un'associazione internazionale che riunisce organizzazioni e ricercatori provenienti da ambiti multidisciplinari come acustica, urbanistica, ecologia, sociologia e studi culturali. L'obiettivo comune del WFAE è **analizzare** e migliorare la condizione dei paesaggi sonori a livello globale, considerando gli aspetti **sociali**, **culturali** ed **ecologici** e promuovendo un approccio consapevole e sostenibile alla gestione dell'ambiente acustico.

Nel **2002**, con la pubblicazione della **Direttiva Europea sul Rumore Ambientale (END)**, l'Unione Europea introduce nel dibattito pubblico e tecnico nuovi strumenti per l'identificazione e la conservazione delle cosiddette "**aree silenziose**". La direttiva rappresenta un passo importante verso la regolamentazione del paesaggio sonoro, ma presenta alcune criticità: ad esempio, la **mancanza** di una definizione chiara di cosa costituisca effettivamente un'a-

rea silenziosa, di come debba essere identificata e di quali criteri oggettivi possano essere utilizzati per valutarla. Queste lacune rendono complessa un'applicazione uniforme delle conoscenze dell'epoca, sollevando questioni interpretative tra i diversi Stati membri.
Nel **2013**, il contributo del ricercatore **Jian Kang**, figura di spicco negli studi di acustica ambientale e paesaggio sonoro, ha fornito un importante avanzamento nella strutturazione disciplinare di questo campo di ricerca. Kang definisce un quadro teorico, dove è possibile una distinzione tra i **principi generali** e le **applicazioni pratiche**, individuando **cinque tematiche** fondamentali per lo sviluppo della disciplina: **comprensione e scambio**, **raccolta e documentazione**, **armonizzazione e standardizzazione**, **creazione e progettazione** e infine, **sensibilizzazione**.

Queste tappe evidenziano come lo studio del paesaggio sonoro sia passato da una fase di osservazione e sensibilizzazione a un vero e proprio **percorso di definizione** normativo e disciplinare, con l'obiettivo di proteggere e valorizzare la dimensione acustica dell'ambiente.
La **prima tematica** enfatizza la necessità di **sviluppare strumenti e metodologie** per l'analisi e l'interpretazione dei suoni ambientali, promuovendo al contempo un dialogo

interdisciplinare tra studiosi e professionisti di settori affini.

Nel **2014**, l'**Organizzazione Internazionale per gli Standard (ISO)** ha compiuto un passo significativo nella definizione e nella comprensione del paesaggio sonoro pubblicando la norma **ISO 12913**. Questa normativa ha stabilito tutti gli elementi del costrutto percepito del paesaggio sonoro, fornendo un quadro chiaro per la sua interpretazione. La prima parte della norma definisce **l'ambiente acustico** come **"il suono proveniente da tutte le sorgenti sonore che viene modificato dall'ambiente circostante"**. Questa definizione sottolinea l'interazione dinamica tra le sorgenti sonore e l'ambiente, evidenziando come l'ambiente circostante possa alterare le caratteristiche del suono.
Conseguentemente, la normativa introduce il concetto di **paesaggio sonoro**, descritto come **"l'ambiente acustico percepito, vissuto e/o compreso da una o più persone nel contesto specifico"**. Questa definizione sottolinea l'aspetto percettivo del paesaggio sonoro, riconoscendolo in maniera univoca come un'esperienza soggettiva che varia da individuo a individuo e dipende dal contesto specifico. Le due definizioni suggeriscono chiaramente che la comunità scientifica stia

progressivamente **abbandonando** l'idea di considerare il paesaggio sonoro solo come un fenomeno fisico, privo di **componente umana**. Al contrario, per comprenderne a pieno il fenomeno, è necessario considerarlo soprattutto nel suo aspetto di costrutto percettivo all'interno dell'individuo, tenendo conto delle esperienze personali e del contesto

La normativa descrive dettagliatamente il processo di elaborazione attraverso il quale un individuo **interpreta e interagisce** con il proprio ambiente acustico all'interno di un contesto specifico. Un processo articolato tale, coinvolge le interrelazioni dinamiche tra la **persona**, le sue **attività** e il **luogo** in cui si trova, sia nello spazio che nel tempo.

Queste interrelazioni sono profondamente influenzate dalla **sensazione uditiva**, che rappresenta **la base della percezione acustica**. Sebbene i processi meccanici della sensazione uditiva siano stati già approfonditi in un paragrafo dedicato nelle pagine precedenti, la normativa sottolinea l'importanza cruciale di considerare anche **l'interpretazione** soggettiva del fenomeno uditivo e le risposte individuali all'ambiente acustico. Reazioni, emozioni e comportamenti, infatti, possono modificare significativamente la percezione complessiva del contesto, influenzando il modo in cui un individuo percepisce e interagisce con il proprio



Figura 9. Rielaborazione del processo di elaborazione del paesaggio sonoro da parte della normativa ISO 12913-1:2014.

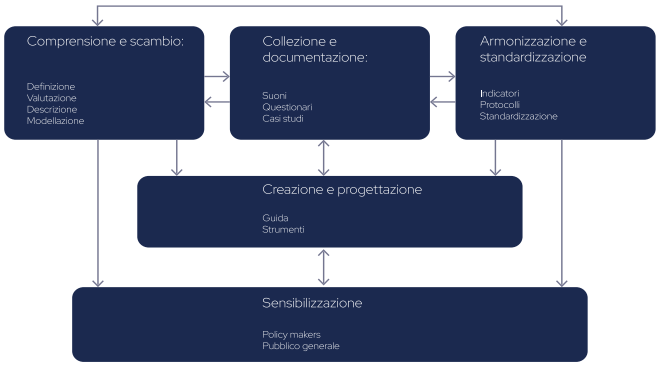


Figura 10. Rielaborazione dello schema di analisi del paesaggio sonoro di Jian Kang

ambiente sonoro. Dalle risposte individuali, a loro volta, derivano i risultati a lungo termine, o **Outcomes**, responsabili di un impatto duraturo e profondo sull'individuo e sul suo rapporto con l'ambiente acustico circostante **[24]**.
In base alle definizioni fornite dall'ISO, si agisce con una valutazione del paesaggio sonoro. È un'attività che si basa su diverse prospettive teoriche e disciplinari, che possono essere correlate a delle macro-tipologie psicologiche e fisiologiche.
Sul **versante fisiologico**, la letteratura risulta ancora limitata, ma vi sono disponibili diversi risultati in vari indicatori fisiologici, tra cui la frequenza cardiaca, la frequenza respiratoria e i livelli di elettromiografia frontale, impiegando anche strumenti avanzati come la risonanza magnetica funzionale.
Per quanto riguarda la valutazione psicologica, sono state prese in esame una vasta gamma di spazi e funzioni e molteplici tipologie di sorgenti sonore con diverse categorie di utenti. Ad esse sono state considerate caratteristiche sociali, demografiche e culturali tra le quali bambini, persone ipoacusiche e non vedenti.
La seconda tematica, **raccolta e documentazione**, si concentra sulla **raccolta sistematica** di registrazioni sonore e sulla creazione di archivi volti alla preservazione e all'accessibilità del patrimonio acustico dei diversi contesti

ambientali.
La raccolta e la gestione di un archivio di dati del paesaggio sonoro risultano fondamentali, specialmente in un ambito in cui è necessario un intervento inter- e transdisciplinare come l'argomento trattato nei capitoli successivi.

La terza tematica, **armonizzazione e standardizzazione**, mira a stabilire criteri condivisi per la descrizione e la misurazione dei paesaggi sonori, consentendo confronti affidabili tra studi e progetti. Pur essendo fondamentale avere degli standard per la raccolta e l'analisi dei dati dal punto di vista della pianificazione, nell'ottica del design e della progettazione, potrebbe essere considerato come un elemento vincolante. La seconda e la terza parte della norma ISO presa in esame soddisfano a pieno il primo ambito, fornendo indicazioni dettagliate sulle modalità di raccolta, rendiconto e analisi dei dati.
Purtroppo, durante la consultazione delle normative ISO, non è stato possibile accedere alla **quarta parte**, dove si approfondisce la questione dal punto di vista del **design e della progettazione**, poiché è **ancora in fase di stesura**. Nell'attesa dello sviluppo di tale normativa, nelle ricerche di **Kang** si fa riferimento al fatto che nella progettazione di un paesaggio sonoro dovranno essere presenti delle **linee guida pratiche** sulla gestione degli spazi acustici, con particolare attenzione alla **partecipazione pubblica** e alla **conservazione dei siti** di interesse architettonico e storico.
Per raggiungere tali obiettivi, **strumenti digitali e software** risultano essere un contributo fondamentale all'attività progettuale.
Tra i più frequenti vi sono gli **strumenti di auralizzazione**, i quali consentono di simulare le caratteristiche acustiche di uno spazio. Inoltre, permettono di valutare in anticipo l'impatto dell'intervento contribuendo alla tutela del patrimonio e alla creazione di ambienti armoniosi.
Infine, la **quinta tematica**, quella della **sensibilizzazione**, riguarda l'educazione e la diffusione di una cultura dell'ascolto, fondamentale per promuovere la consapevolezza del valore del paesaggio sonoro al pubblico generale. Il processo di sensibilizzazione non si limita a fornire informazioni, ma mira a incoraggiare comportamenti responsabili e pratiche quotidiane capaci di rispettare e valorizzare l'ambiente acustico. In questo contesto il coinvolgimento delle istituzioni e delle politiche si dimostrerebbe come un ottimo catalizzatore nel trasferimento di tali ricerche in pratica. Esempi significativi sono rappresentati dalle azioni politiche dei governi del Regno Unito e del Galles, dove il paesaggio sonoro non è un problema da mitigare ma bensì da gestire **[25]**.

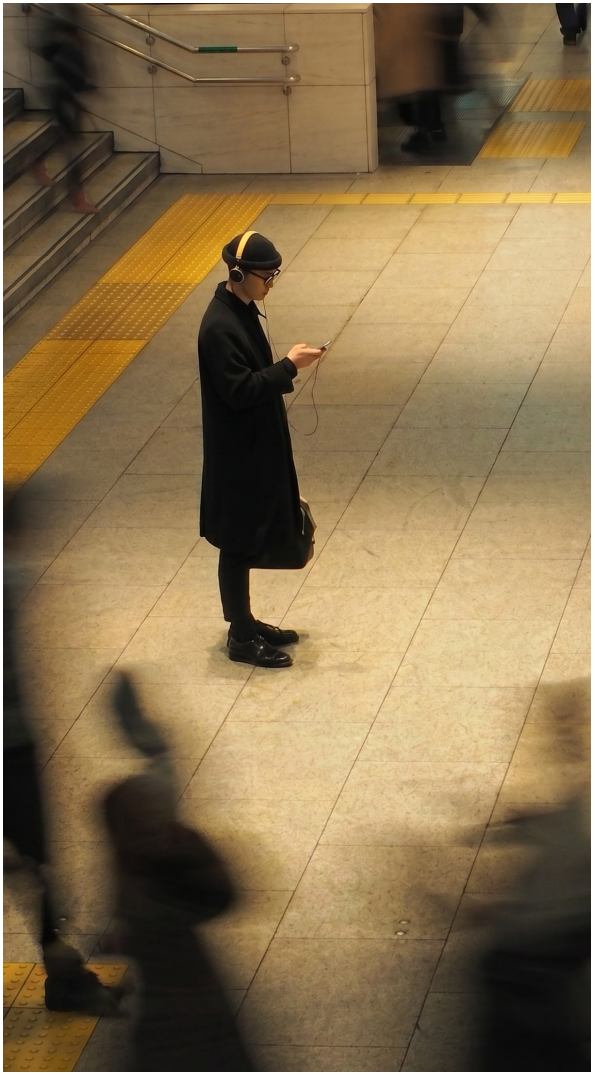
3.3 La bolla sonora

Schizofonia: Dal greco Schizo=separare e fonia= voce, termine coniato per la prima volta da Schafer per indicare in modo negativo la sovrastimolazione sonora del paesaggio contemporaneo dato dalla presenza di un suono originale e una suona riproduzione elettroacustica.

La digitalizzazione della vita quotidiana è stata portatrice di innumerevoli cambiamenti delle dinamiche intrapersonali, portando di conseguenza ad un'ulteriore trasformazione del paesaggio sonoro sotto i nostri occhi. L'origine è da ritrovarsi già agli **albori della rivoluzione elettrica**. Come evidenziato dagli studi di **Sterne** al riguardo, le nuove tecnologie di comunicazione della Belle Époque quali il telefono, il fonografo e la radio non solo sono i principali moventi che hanno arricchito "**Schizofonicamente** " il paesaggio sonoro preesistente, ma sono anche il segno evidente di una nuova pratica di ascolto culturale strettamente individuale. Una **nuova consapevolezza**, da parte della classe dirigente, di generare una **forma di spazio privato** che avrebbe ridefinito in modo permanente i rapporti tra il corpo dell'ascoltatore e l'ambiente circostante **[26]**.

Proprio da questa logica, Bull definisce il concetto di **bolla sonora**: una metafora finalizzata a definire un **costrutto sociale** di "non-spazio" in cui l'utente, attraverso la musica, plasma il suo intorno in funzione dei propri stati emotivi. Il primo dispositivo a rendere diffuso il fenomeno su larga scala e quotidiano è stato **il Walkman**, lanciato da Sony **nel 1979**, raggiungendo una dimensione autenticamente

soggettiva e mobile: l'utente non era più vincolato al palinsesto radiofonico costruendo autonomamente la propria colonna sonora. Un fattore dimostratosi cruciale in questo primo fenomeno di diffusione di massa fu l'introduzione degli **auricolari accessori** che segnò una ridefinizione della soglia corporea tra sé e il mondo, circoscrivendo lo spazio sonoro all'interiorità dell'ascoltatore e sottraendolo fisicamente all'ambiente condiviso.
Con il lancio **dell'IPod** nel **2001**, il fenomeno ha assunto una rilevanza culturale più ampia. Bull identifica nell'IPod la prima vera **icona culturale** del nuovo millennio in quanto, meglio di altri prodotti presenti sul mercato antecedentemente o in parallelo, è stato capace di sintetizzare i valori di **mobilità**, **individualità** e **controllo** dell'esperienza.
Nell'ambito di quella che ormai viene chiamata **iPod culture**, i nuovi dispositivi di comunicazione rappresentano un nuovo modo di "**essere nel mondo**", anche come risposta alla sovrastimolazione urbana. Non è più solamente una disposizione psicologica diffusa e collettiva, ma uno spazio acustico individuale e portatile che ciascuno costruisce e gestisce autonomamente. Così facendo lo spazio intorno non è semplicemente abitato, ma viene anche estetizzato, alterando il paesaggio sonoro in una scenografia personale di un'esperienza



interiore. Al suo interno vengono articolate modalità e relazioni distinte che vengono analizzate con la dicotomia concettuale di "**caldo**" (warm) e "**freddo**" (chill).
L'accezione di "**caldo**" si riferisce a un uso delle tecnologie di comunicazione volte a **creare connessioni**, evocando persone assenti e ricordi condivisi. Questo approccio include chi è lontano ed esclude chi è fisicamente vicino ma non ama affettivamente.
Al contrario, la modalità "**chill**" è un uso difensivo e schermante della tecnologia, che segnala **l'indisponibilità** all'interazione. In questo caso, le cuffie o auricolari diventano un **marcatore visibile** e sonoro di **inaccessibilità**, una soglia corporea che comunica agli altri l'assenza di disponibilità.
La scissione della presenza fisica e la presenza soggettiva non sono prive di conseguenze.
Se da un lato la bolla sonora offre una sensazione di padronanza del paesaggio sonoro, dall'altro la dimensione di attenzione condivisa e reciproca viene portata ad una lenta erosione **[27]**.

Il fenomeno delle bolle sonore **non è intrinsecamente negativo**. Piuttosto, mette in luce come l'urbanizzazione abbia trasformato le dinamiche sociali, spingendo le persone a cercare nuovi spazi per sfuggire al rumore

costante. Ripartendo dalle idee dei suoi precedenti colleghi, **De Silva** sottolinea all'interno della propria ricerca, l'importanza di mantenere un **grado di permeabilità** della bolla sonora. Tale fattore risulta fondamentale poiché si valuta il grado in cui l'ambiente acustico esterno riesca a penetrare e a interferire con lo spazio sonoro costruito dall'ascoltatore attorno a sé. Nella sua forma massima, uno spazio sonoro è quasi del tutto permeabile:come nel caso in cui vengano indossate delle cuffie o auricolari senza riproduzione di alcun contenuto audio. Nella sua forma minima, la permeabilità si riduce drasticamente, avvicinandosi a una condizione di impermeabilità che tuttavia non è ancora disponibile con le odierne tecnologie.

Una delle variabili più influenti nel definire il grado di permeabilità è la distinzione tra **ascoltare** e **sentire**. Quando l'ascoltatore presta **attenzione attivamente** al contenuto audio in fase di riproduzione da una qualsiasi fonte sonora, la permeabilità verso l'esterno si riduce in modo significativo; al contrario, la permeabilità aumenta e l'ascoltatore rimane più ricettivo agli stimoli sonori dell'ambiente circostante.
Consecutivamente un altro fattore di riferimento è il **livello di concentrazione** applicato. Solitamente la permeabilità viene ridotta nel

caso in cui l'ascoltatore deve focalizzarsi su compiti paralleli come, ad esempio, monitorare la fermata dei mezzi pubblici, rispondere ai messaggi o interagire con degli estranei. In certi casi, tali circostanze possono portare alla temporanea scomparsa della bolla sonora a causa di quello che **ThiBaud** chiamava "**Parassiti sonici**".
Per riappropriarsi dello spazio perso, l'ascoltatore attua alcune strategie come la r**ipetizione del contenuto perso**, **l'aumento del volume** o l'attesa che le condizioni di ascolto tornino favorevoli.

Il terzo fattore ritenuto decisivo è il **tipo di contenuto** che viene riprodotto. Nel caso in cui si coinvolgano simultaneamente più sensi, l'immersione si fa più profonda e di conseguenza la permeabilità risulta più bassa.

Il quarto e il quinto fattore sono generalmente legati all'ambito dei dispositivi indossabili, ai quali si riferiscono alla **modalità di utilizzo** fisico del dispositivo e alla tipologia delle cuffie. L'uso di un solo auricolare permette all'utente di mantenere aperto un canale di ascolto ambientale aumentando la permeabilità. L'uso di entrambi gli auricolari tende invece a isolare l'ascoltatore dall'ambiente circostante. Inoltre, anche il fatto che il padiglione

viene coperto dal dispositivo può incidere o meno sulla permeabilità. Ad oggi, in base a come vengono posizionati sul padiglione dell'orecchio i dispositivi indossabili si dividono in due grandi categorie: **over-ear** e **in-ear**. I primi, posizionati sopra il padiglione tendono ad essere i meno permeabili rispetto ai secondi, ai quali è necessaria una posizione più interna corrispettiva all'interno del condotto uditivo. Nonostante questo, in entrambe le tipologie vengono implementate le tecnologie di cancellazione attiva del rumore, il quale rendono l'esperienza di ascolto più impermeabile sul mercato **[28]**.

All'interno del contesto presentato, si osserva un **nuovo orientamento** sia nella ricerca scientifica sia nel mercato tecnologico, che sta puntando verso una categoria innovativa di dispositivi progettati per offrire un'esperienza di ascolto radicalmente diversa rispetto a quella proposta dai dispositivi indossabili tradizionali. Questa nuova tendenza sembra voler rispondere in maniera precisa alle esigenze dell'utente contemporaneo, sempre più interessato a un ascolto che sia meno individuale e isolato, e che consenta un maggiore controllo e una connessione consapevole con l'ambiente circostante.

Bibliografia breve

[21] Schafer, R. M. (1994). Our Sonic Environment and the soundscape the Tuning of the world. Destiny Books. (p 7-8)

[22] Schafer, R. M. (1994). Our Sonic Environment and the soundscape the Tuning of the world. Destiny Books. (p 42-43)

[23] International Organization for Standardization. Definition and conceptual framework (2014) (ISO12913 1:2014). ISO.

[24] Kang, K. (2023). Soundscape in city and built environment: current developments and design potential. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9833864/

[25] Schafer, R. M. (1994). Our Sonic Environment and the soundscape, the Tuning of the world. Destiny Books. (p. 88-90)

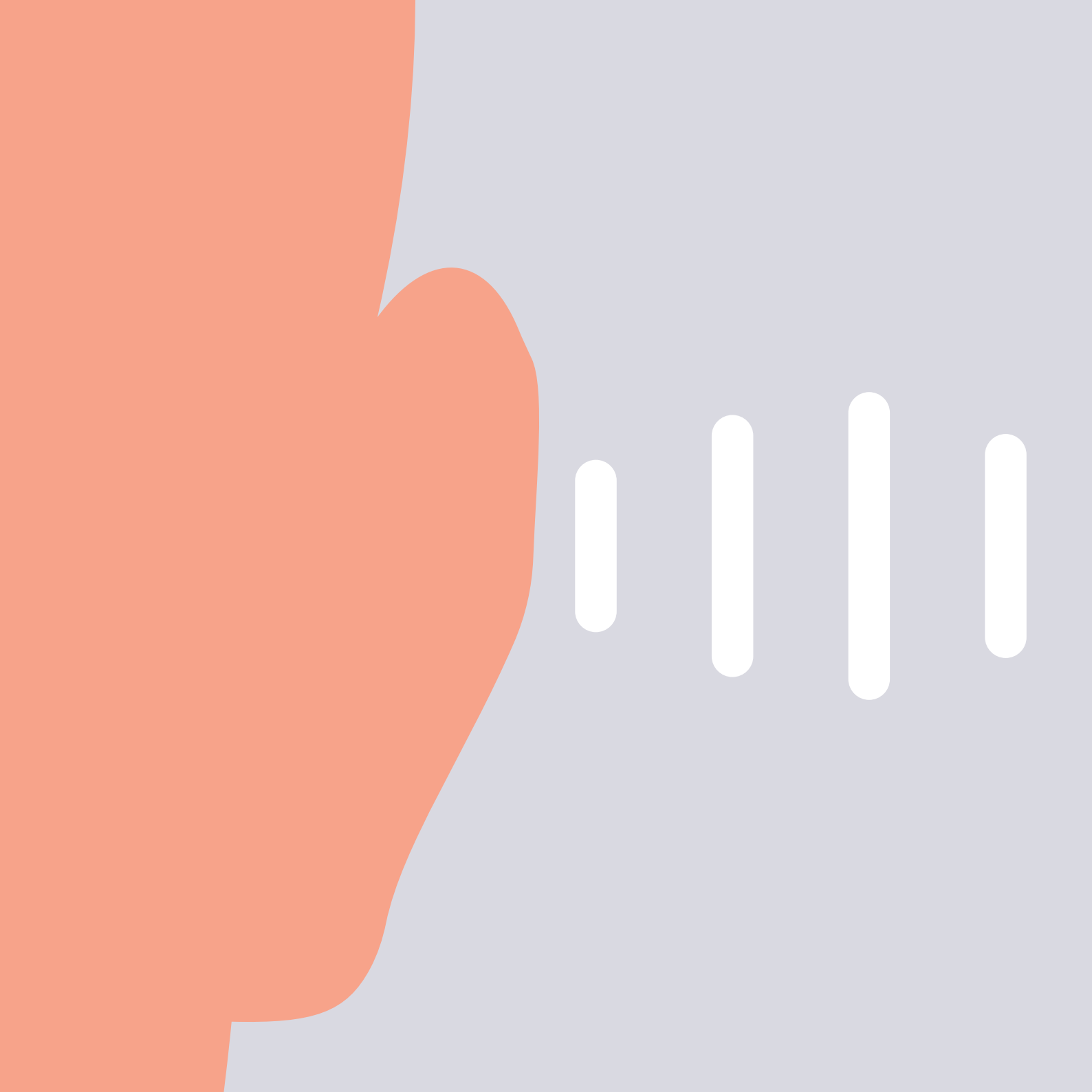
[26] Bull, M. (2015). Sound Moves: iPod Culture and Urban Experience. (p.21-22)

[27] De Silva, Chathurthi S. (2021) “Private sound environments in public space: Use of headphones in public parks and public transit”. Dissertations. 1514.

Capitolo 4

Open ear.

Nel quarto capitolo si andrà ad analizzare il nuovo paradigma dei dispositivi audio attraverso un'analisi dell'andamento di mercato e attraverso la discussione di vari casi studio che andranno ad analizzare le diverse tipologie presenti sul mercato.



4.1 L’ascolto non occlusivo e i casi studio

Una delle soluzioni applicate nel contesto analizzato precedentemente e di cui approfondiremo all’interno di questo capitolo riguarderà l’adozione crescente delle tecnologie **open-ear**. Ad oggi non è ancora presente una normativa volta alla definizione di questa nuova metodologia di ascolto. Il termine open-ear, in altre parole, è una categoria commerciale, non usata in modo uniforme dai produttori, ma che converge nella capacità di trasmettere il suono senza occludere il condotto uditivo.
Spesso, come mezzi di trasmissione, vengono sollecitate altre parti del corpo che agiscono “da medium” delle vibrazioni sonore, confluendo in direzione della coclea.
In base alla tipologia di trasmissione, i dispositivi open-ear si dividono in dispositivi a conduzione **ossea, aerea, cartilaginea e soundbeaming**.

Questo capitolo approfondisce **nove casi studio** tra i più rilevanti sul mercato attualmente, classificati in base al tipo di tecnologia d’ascolto. Ogni caso include una sezione introduttiva che spiega il funzionamento della tecnologia, accompagnata da un’illustrazione che evidenzia le diverse traiettorie. Ogni schedatura si estende su due pagine e fornisce una spiegazione dettagliata del funzionamento della tecnologia in questione.
Nella parte sinistra sono state posizionate in due parti distinte le immagini del prodotto al di sopra, mentre nella parte sottostante è stato inserito un grafico comparativo tra il profilo audio dei prodotti analizzati e quello degli auricolari **Apple AirPods 4**, ad oggi definiti i più venduti nelle principali piattaforme di vendita online.
A destra, invece, sono stati riportati i relativi dati tecnici, tra cui il nome dell’azienda produttrice, la sede, l’anno di uscita e, eventualmente, il prezzo, se il prodotto è attualmente disponibile sul mercato o meno.
A seguito sono stati estesi le relative descrizioni generali che pongono una visione generale sul prodotto e infine una sezione relativa alle prestazioni tecnologiche del prodotto.

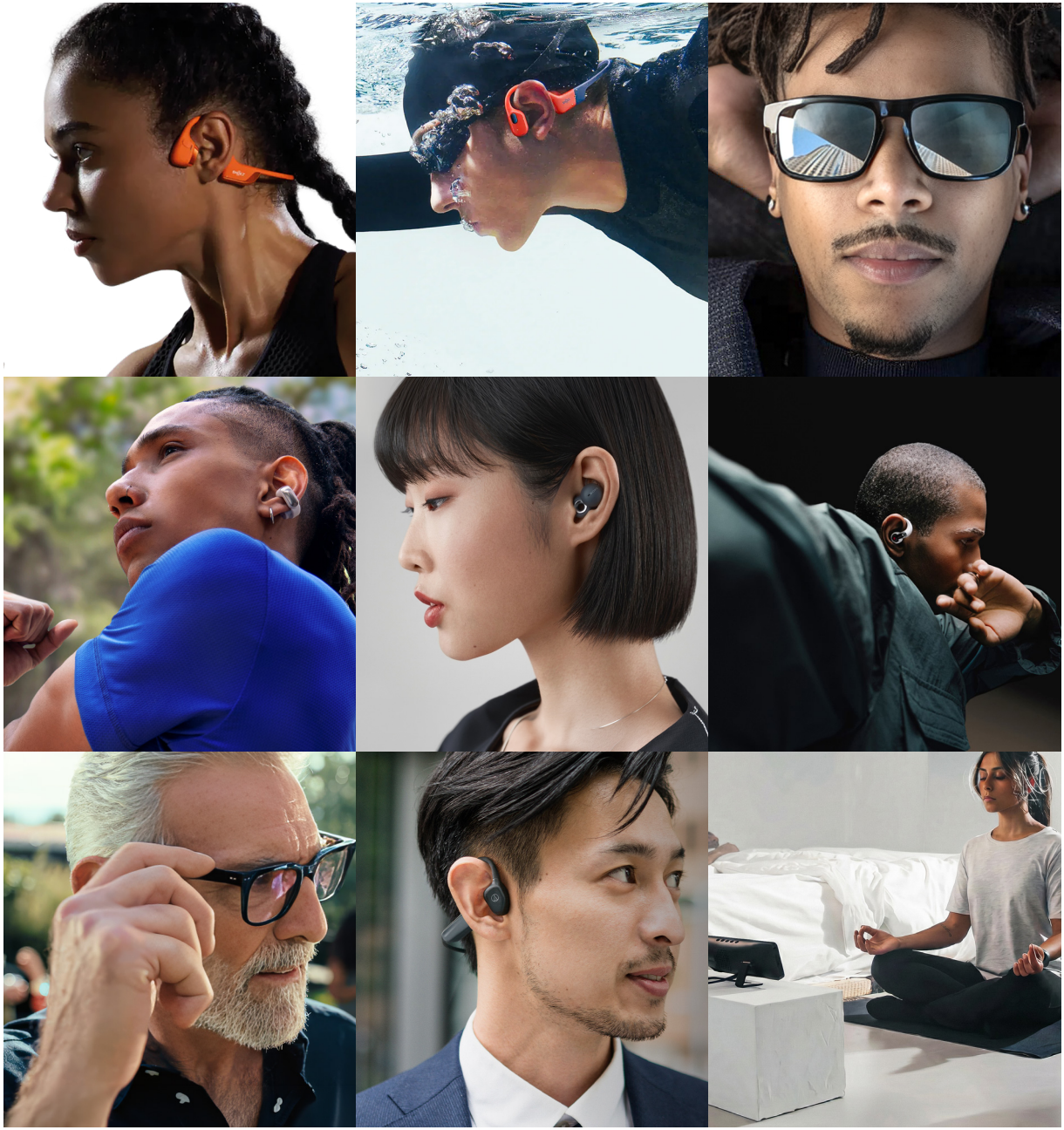
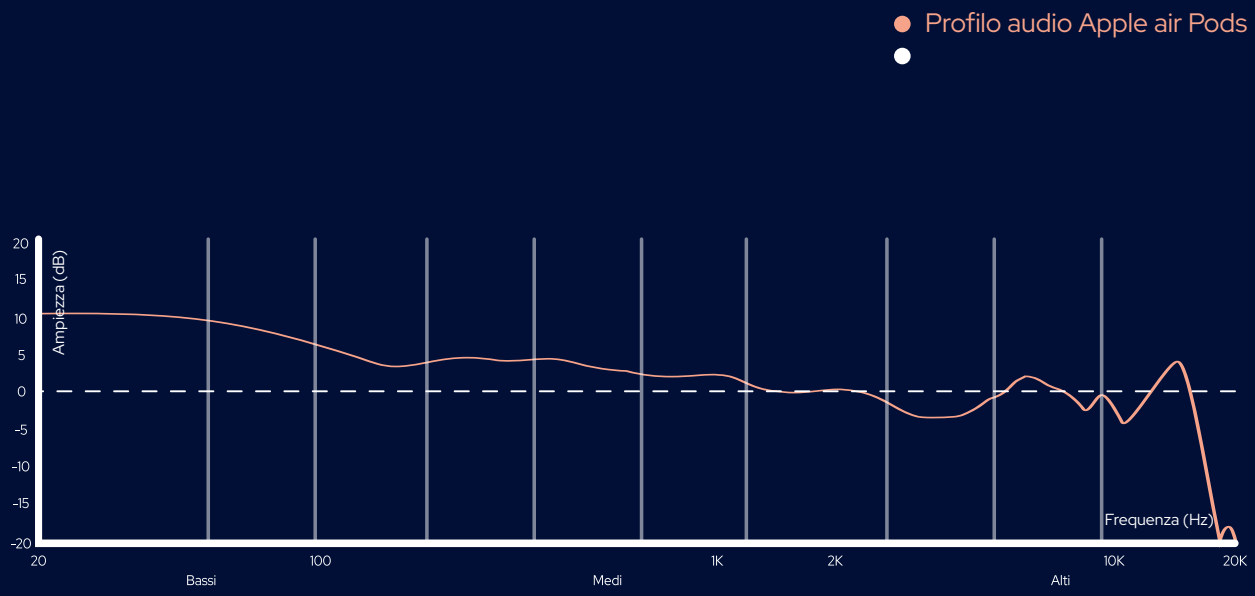


Immagine del prodotto



00 - NOME PRODOTTO

Produttore: --

Sede: --

Anno: --

Prezzo: --

TIPOLOGIA

Descrizione generale: Us et ipid ex eiunt libus acius.
Nem eiciet quiat eosapitaqui si am, ium solupta ecerovitem. Liquias volorum reste porepti ncilit laborest, anihit voluptas esti cus, solo temporia quas sition rehent, sectium eum utatibus natus. Vit, architatur rem quatum la con reruntios poria

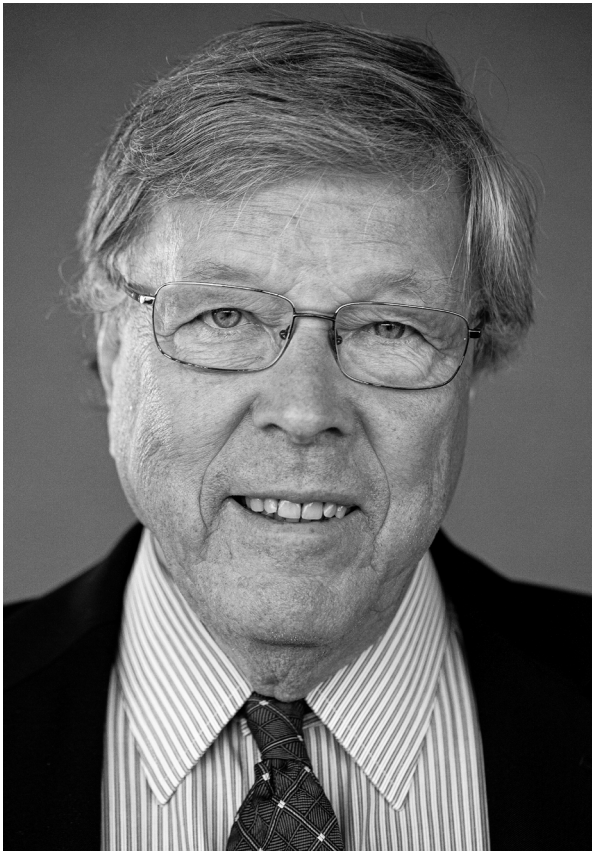
Tecnologia: Cumquas ute nes culparum faccae dolore netum si doloreperrum eat inimod et, con conem que labo. Adiorporerum ex eum net pos doluptibus.
Ximo quibus. Mus antoris eseribusae. Aquam re vellam, sum amet pro modi doloreperum faceped quam re qui tem quamusdam repernatecte od

Fonti: https://it.esempio.com

4.1.1 Conduzione ossea

Il primo metodo preso in analisi è la conduzione ossea. Si tratta di una metodologia di conduzione del suono dove la coclea viene stimolata direttamente attraverso le vibrazioni dei tessuti ossei del cranio, evitando la stimolazione del timpano.
Una volta che il dispositivo cattura un suono qualsiasi, un trasduttore converte le onde sonore in vibrazioni meccaniche che attraversano le ossa del cranio e che vengono incanalate verso il condotto dell'orecchio interno. In questa fase i processi di elaborazione rimangono esattamente identici alla conduzione aerea tradizionale, già esposta nei paragrafi precedenti del capitolo due [27].
Le prime osservazioni che riconducono alla capacità intrinseca dell'essere umano di riuscire a udire tramite i tessuti del cranio risalgono ai trattati di **Girolamo Cardano**, nel XVI secolo. All'interno del trattato De Subtilitate, in particolare, viene descritto un rudimentale dispositivo di assistenza dove, afferrando con i denti un'asta o una canna metallica, si sarebbe fornito un input vibrazionale tale da raggiungere le orecchie dell'ascoltatore.
Per avere un'applicazione pratica della conduzione ossea è necessario attendere la seconda metà del secolo scorso, quando il dottor **Anders Tjellström** e il professor **Per-Ingvar Brånemark** dell'Università di

Sahlgrenska impiantano per la prima volta nella storia un dispositivo **Baha** (Bone Anchored Hearing Aid).
Affidandosi alle precedenti scoperte di Brånemark sull'osteointegrazione per gli impianti dentali, nel 1977 Tjellström ebbe l'intuizione di collegare un **vibratore osseo** a un impianto sottocutaneo preesistente, il tutto connesso a un **audiometro** [28].
Negli anni '80, l'interesse e la consapevolezza dei sistemi Baha tendono a diffondersi in tutta Europa con un incremento del numero di pazienti che hanno riscontrato gli effetti positivi a lungo termine rispetto agli impianti preesistenti sul mercato. Dal rilascio del primo dispositivo sul mercato nel 1982, la conduzione ossea ha catturato l'attenzione di molti altri settori esterni all'ambito medico, portando a una varietà di prodotti in grado di soddisfare le diverse esigenze [29].



A.Tjellström

Ad oggi la conduzione ossea è riscontrabile principalmente in: auricolari, ideali per attività in cui è necessario che l'utente rimanga vigile sull'ambiente circostante, in special modo nel settore sportivo, outdoor o per le attività di tutti i giorni; apparecchi acustici, progettati per gli individui con perdita dell'udito parziale o unilaterale; e infine impianti cocleari, che permettono di intervenire in contesti di gravi

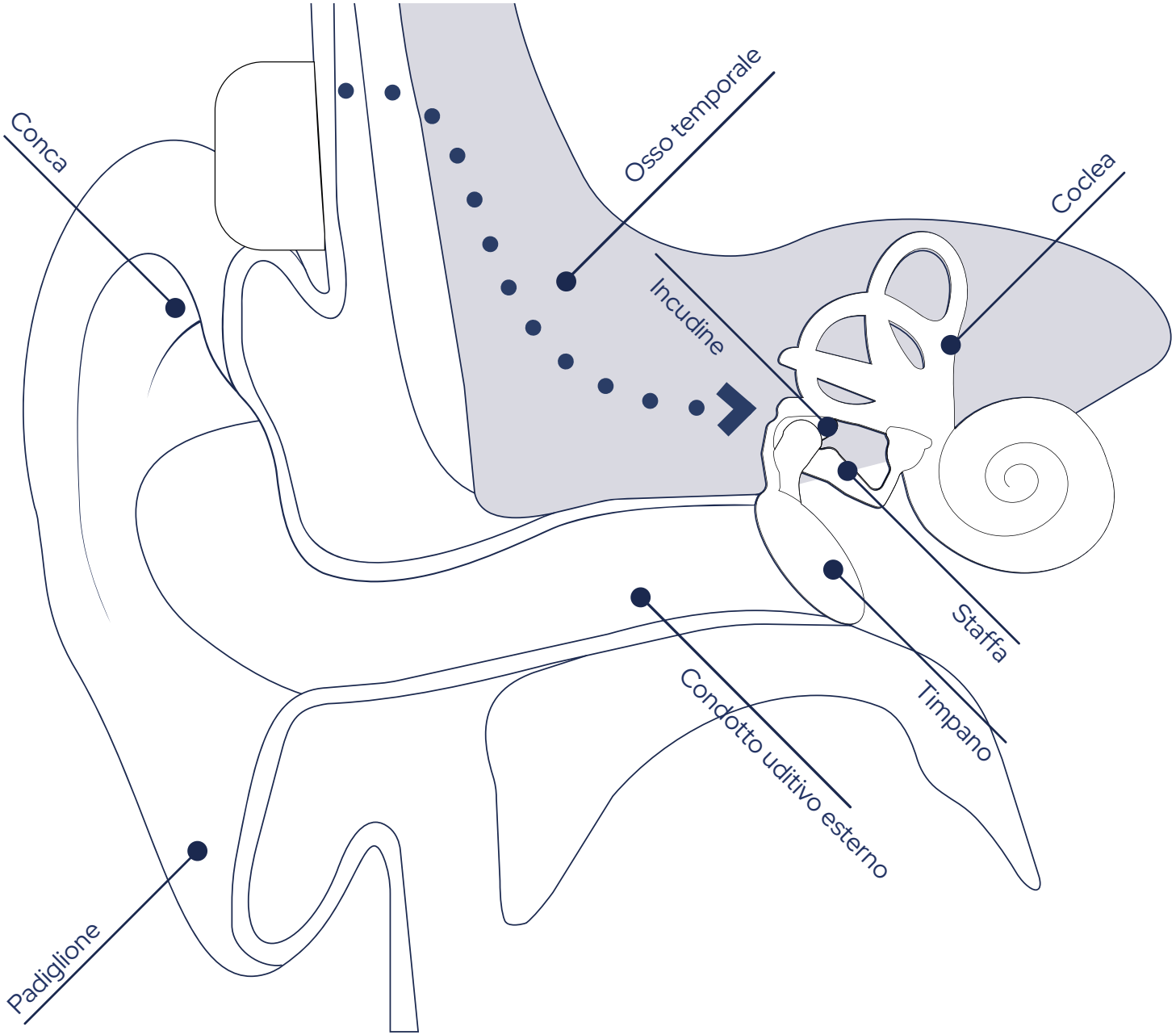


Illustrazione di un impianto cocleare BAHA.

deficit uditivi o sensoriali, spesso causati da un deficit legato all'attività delle cellule ciliate, stimolando direttamente il sistema nervoso.
In linea generale, al giorno d'oggi è una tecnologia non ancora del tutto soddisfacente ma che dimostra di avere un ampio margine di miglioramento, considerando fattori chiave come:

- **Risposta in frequenza**, in genere sensibilmente inferiore rispetto a quella dei dispositivi tradizionali.
- **Qualità del suono**, che viene fortemente influenzata dalla capacità del trasduttore di elaborare un suono chiaro e ben definito.
- **Autonomia** della batteria, fondamentale soprattutto per i dispositivi wireless.
- **Ergonomia**, che ne va a influenzare la piacevolezza d'uso per l'utente e quindi a condizionare il tempo d'uso complessivo **[30]**.

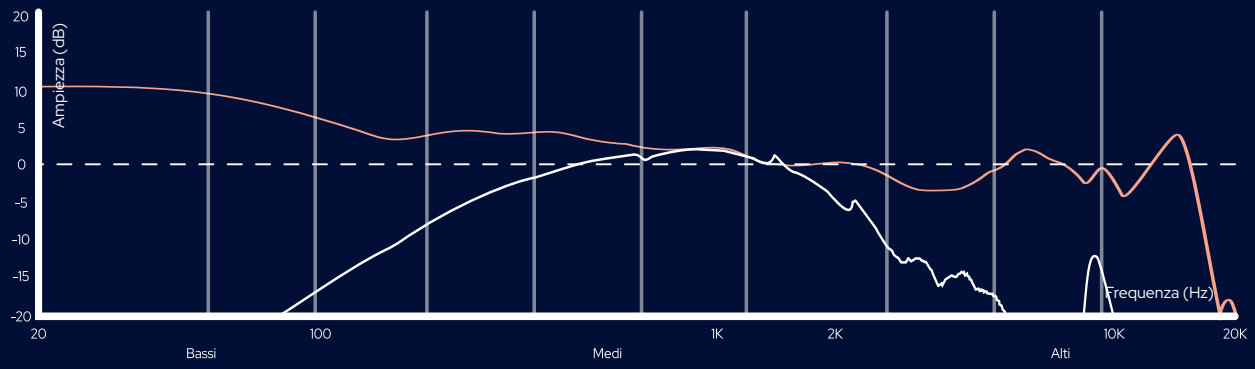
Da Essi vengono implementati principalmente all'interno di auricolari, impianti acustici e impianti cocleari.Dato l'argomento che si affronta all'interno di questa tesi, si andranno ad affrontare dei casi studio in relazione ai soli dispositivi destinati ad uso personale.


Conca
Osso temporale
Coclea
Incudine
Staffa
Timpano
Condotto uditivo esterno
Padiglione

Casi studio



Profilo audio Apple air Pods
Profilo audio Openrun Pro 2



01 - OPENRUN PRO 2

Produttore: Shokz **Sede:** Shenzhen (CHI)

Anno: 2024 **Prezzo:** 199 €

Conduzione ossea

Descrizione generale: Openrun Pro 2 è l'ultimo prodotto di punta di Shockz, azienda leader nel settore di dispositivi wearable dedicati a sportivi e atleti di qualunque tipologia. Essi sfruttano la tecnologia a conduzione ossea per la realizzazione di auricolari che permettono di ottenere un audio immersivo mantenendo libero il condotto uditivo.

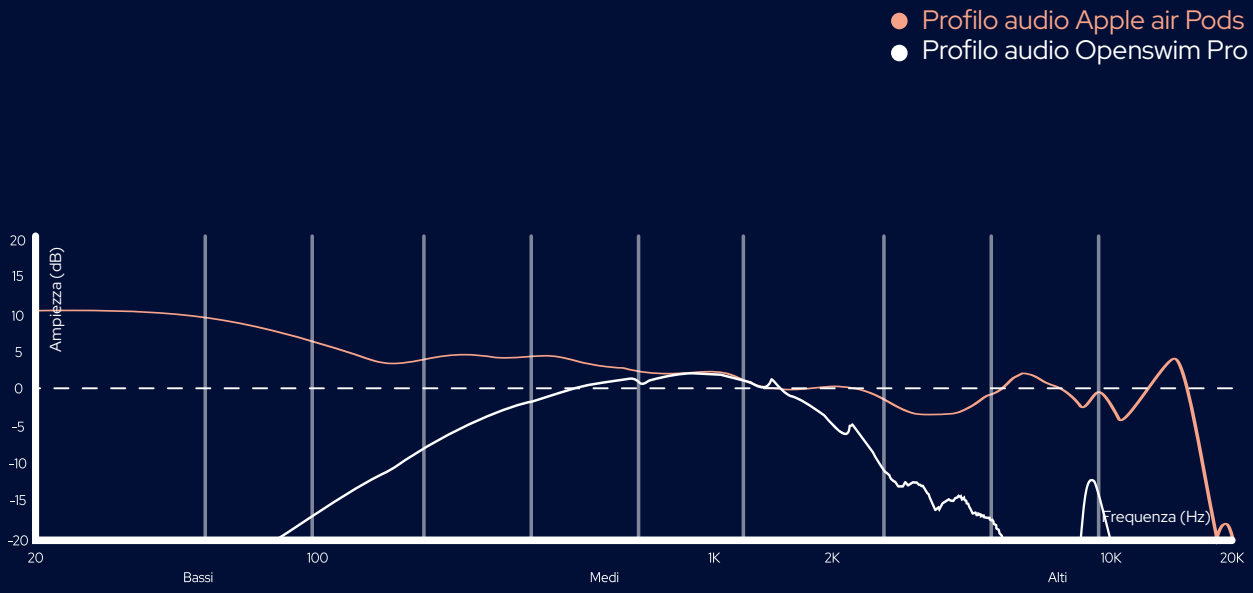


https://it.shokz.com/products/openrun-pro2

Tecnologia: A differenza del modello precedente vengono implementati driver dedicati per ogni elemento sonoro presente nel file audio riprodotto, creando un esperienza sonora tridimensionale, dinamico e coinvolgente.
Attraverso la tecnologia **Dynamic Range Compression (DRC)**, gli elementi di distorisione presenti in un'esperienza di ascolto ad alto volume vengono completamente dissolti. Nonostante che la sua forma non passi il condotto uditivo interno, dispone di una tecnologia di **riduzione del volume intelligente** basato su IA che permette di catturare la voce umana eliminando ogni elemento di rumore in sottofondo anche in situazioni piu dinamiche ed estreme.
Per un esperienza personalizzata, è dotata di un applicazione scricabile su tutti i principali store digitali, dove è possibile equalizzare l'audio attraverso impostazioni predefinite dalla casa madre. Dispone di un autonomia di **12 ore** e nel caso fosse necessario, una carica rapida di **5 minuti** può garantire un' autonomia di **2,5 ore** .

Fonti: https://it.shokz.com/products/openrun-pro2


https://it.shokz.com/products/openswim-pro?variant=48878349746460


Profilo audio Apple air Pods
Profilo audio Openswim Pro
Ampiezza (dB)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
Frequenza (Hz)
20
100
1K
2K
10K
20K
Bassi
Medi
Alti

02 - OPENSWIM PRO

Produttore: Shokz **Sede:** Shenzhen (CHI)

Anno: 2024 **Prezzo:** 229 €

Conduzione ossea

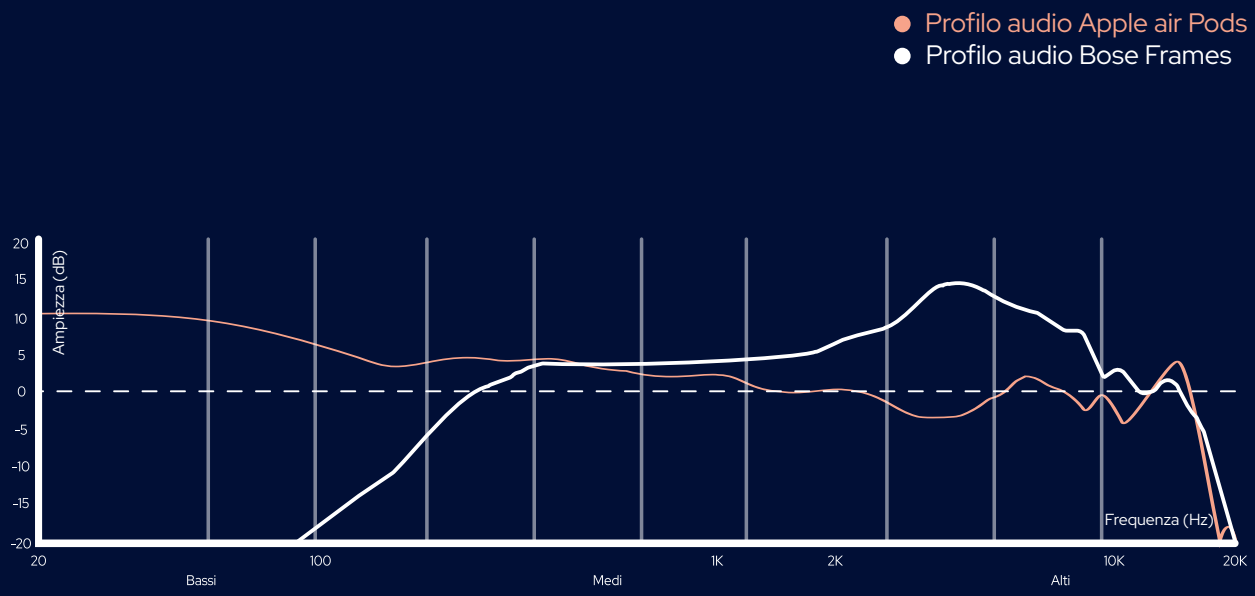
Descrizione generale: **Openswim Pro** è una variante del modello OpenrunPro 2, con ganci auricolari più flessibili e morbidi che permettono di essere integrati in comodità e senza fastidi da qualunque accessorio sportivo: dagli occhiali da nuoto ai caschi sportivi.

Tecnologia: Per garantire una maggiore libertà d'uso dell'utente, può essere utilizzato anche senza l'accoppiamento per via bluetooth, attraverso una modalità **MP3** con una capacità di archiviazione di **32 GB** che è in grado di memorizzare fino a **8.000 brani** da cui è possibile accedervi sia premendo un pulsante fisico oppure attraverso l'applicazione apposita. Si adattano in modo intelligente all'ambiente circostante attraverso le due tecnologie di riduzione del rumore **ENC** e **DNS**, portando le chiamate ad un suono cristallino eliminando il rumore ambientale.
Dispongono del grado di impermeabilità IP68 dove assieme alla membrana traspirante per i microfoni e un sistema di materiali stratificati permettono l'impermeabilità in ambienti acquatici fino a **2 metri** di profondità per **2 ore**, anche sui terreni accidentati.



Fonti: https://it.shokz.com/products/openswim-pro?variant=48878349746460


https://global.bose.com/content/consumer_electronics/b2c/europe/


Profilo audio Apple air Pods
Profilo audio Bose Frames
Ampiezza (dB)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
Frequenza (Hz)
20
100
1K
2K
10K
20K
Bassi
Medi
Alti

03 - BOSE FRAMES

Produttore: Bose **Sede:** Framingham (USA)

Anno: 2019 **Prezzo:** 230 €

Conduzione ossea

Descrizione generale: Con la linea di occhiali Frame, Bose pone il quesito di rendere gli auricolari Open-ear non solo un dispositivo non occludente, ma in un certo senso anche "invisibile" agli occhi degli altri, creando un nuovo connubio tra stile, funzionalità e innovazione.

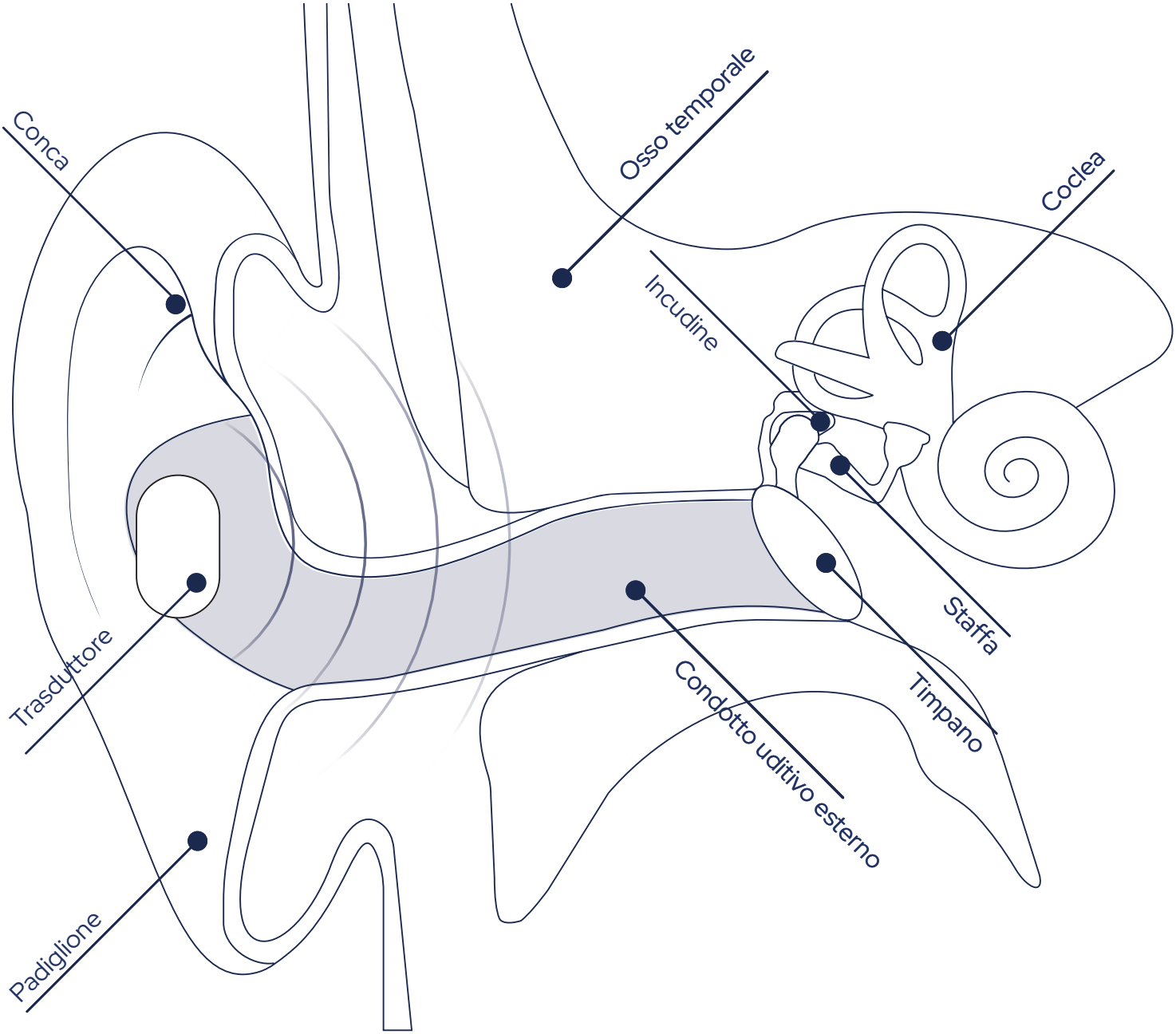
Tecnologia: Con la tecnologia Bose OpenAudio™ implementata tra le aste laterali è possibile rimanere consapevole dell'ambiente circostante anche ad alte velocità fino a 40 km/h. Dispone di un montatura nylon TR-90 con certificazione di resistenza IPX4 che permette di tenere lontani acqua e detriti. Sono dotati di comandi capacitivi con sensore di movimento integrato lungo l'asta destra che permettono di regolare il volume. Toccare due volte per accedere all'assistente vocale del telefono e una volta rovesciati, indurranno il dispositivo allo spegnimento.



Fonti: *https://global.bose.com/content/consumer_electronics/b2c/europe/*

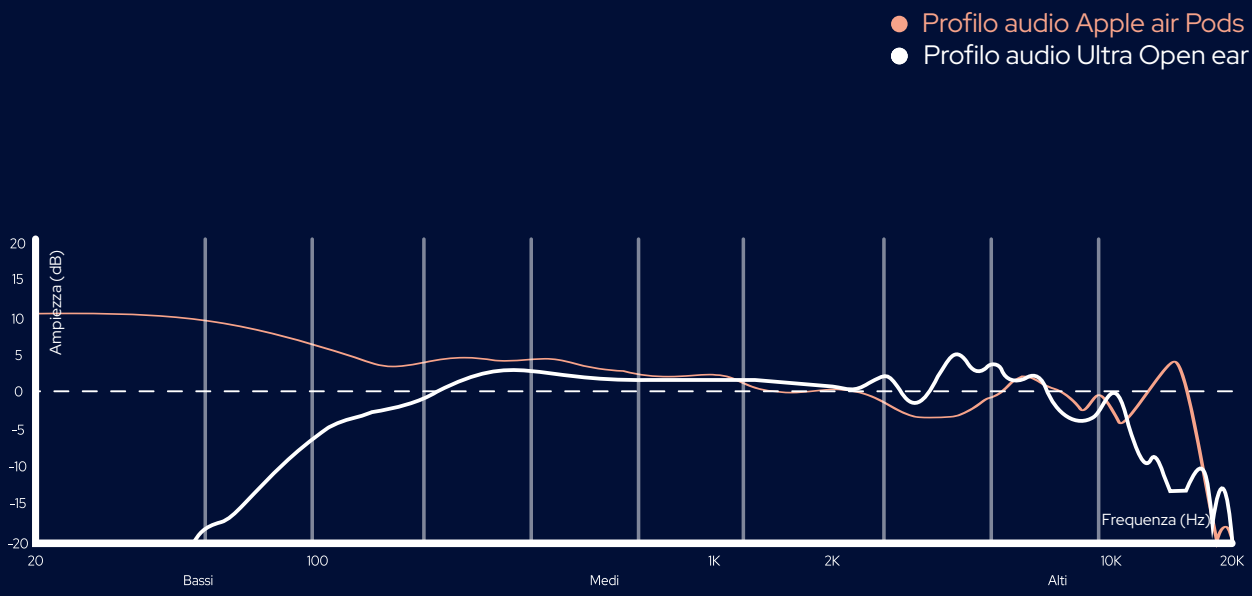
4.1.2 Conduzione aerea

La conduzione aerea è il termine tecnico per delineare la metodologia di ascolto tipica dell'ascolto tradizionale che sfrutta l'aria come "mezzo" di informazioni sonore. Per raggirare le limitazioni e gli impatti negativi dei dispositivi audio tradizionali, si è deciso di cambiare completamente il rapporto tra i componenti in modo tale da ottenere un punto di incontro dei benefici di entrambi i mondi: la libertà dall'occlusione delle open-ear, abbinato all'audio di alta qualità della conduzione aerea tradizionale. A differenza delle tradizionali cuffie in-ear, l'audio viene posto leggermente all'esterno tramite un driver dinamico, che tende a convogliare l'audio all'interno del canale uditivo, esattemente come un dispositivo tradizionale.


Conca
Osso temporale
Coclea
Incudine
Staffa
Timpano
Condotto uditivo esterno
Trasduttore
Padiglione

Casi studio




Profilo audio Apple air Pods
Profilo audio Ultra Open ear buds
Ampiezza (dB)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
Frequenza (Hz)
20
100
1K
2K
10K
20K
Bassi
Medi
Alti

04-ULTRA OPEN EARBUDS

Produttore: Bose **Sede:** Framingham (USA)

Anno: 2024 **Prezzo:** 350 €

Conduzione aerea

Descrizione generale: Con la stessa filosofia applicata agli occhiali a conduzione ossea della gamma Frames, Bose decide di sperimentare anche con le **tecnologie più tradizionali** creando un **nuovo rapporto** tra i vari componenti dell'architettura di un dispositivo di audio.

Tecnologia: Con la tecnologia **OpenAudio**, Bose realizza un dispositivo open-ear che non rinuncia alla qualità sonora. Grazie alla sua forma " a gancio ", ha permesso la disposizione dei driver dinamici **all'esterno** dell'orecchio piuttosto che al suo interno, agevolando l'utente ad essere sempre vigile dell'ambiente circostante in qualsiasi occasione.
Come è notabile dal grafico affianco a sinistra, è presente una maggiore informazione delle basse e delle medio-basse riuscendo a raggiungere i 50 Hz di frequenza seppur con lieve intensità.

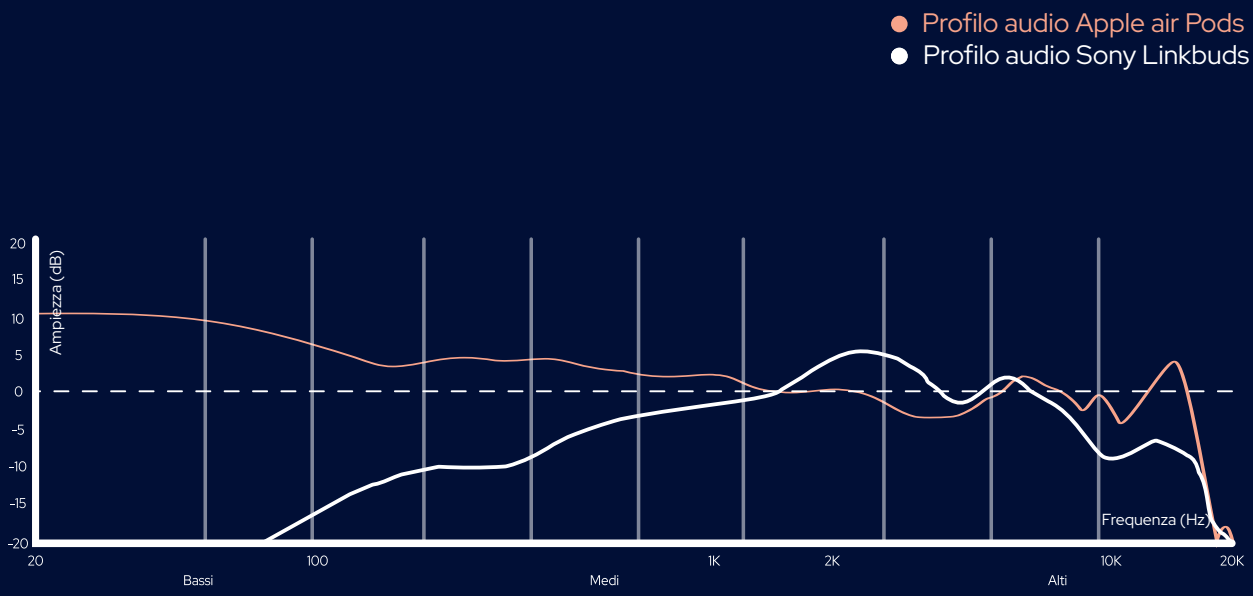


Fonti:

https://www.bose.com/stories/what-are-open-ear-headphones?srsltid=AfmBOorMytksjTQECJslkgAbD-W2GAJbQ-4gFu_1OLPUJ1xPyhd6nsvGc

https://www.soundguys.com/bose-ultra-open-earbuds-review-113271/




Profilo audio Apple air Pods
Profilo audio Sony Linkbuds
Ampiezza (dB)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
Frequenza (Hz)
20
100
1K
2K
10K
20K
Bassi
Medi
Alti

05 - SONY LINKBUDS

Produttore: Sony **Sede:** Minato, Tokyo (JP)

Anno: 2022 **Prezzo:** 99 €

Conduzione aerea

Descrizione generale: Analogamente a Bose, **Sony** decide di rompere il paradigma dell' isolamento acustico non solo attraverso i soli criteri di performance tecnica, ma considerando la **forma** stessa un **valore progettuale** che permette di raggiungere il valore della permeabilità acustica.

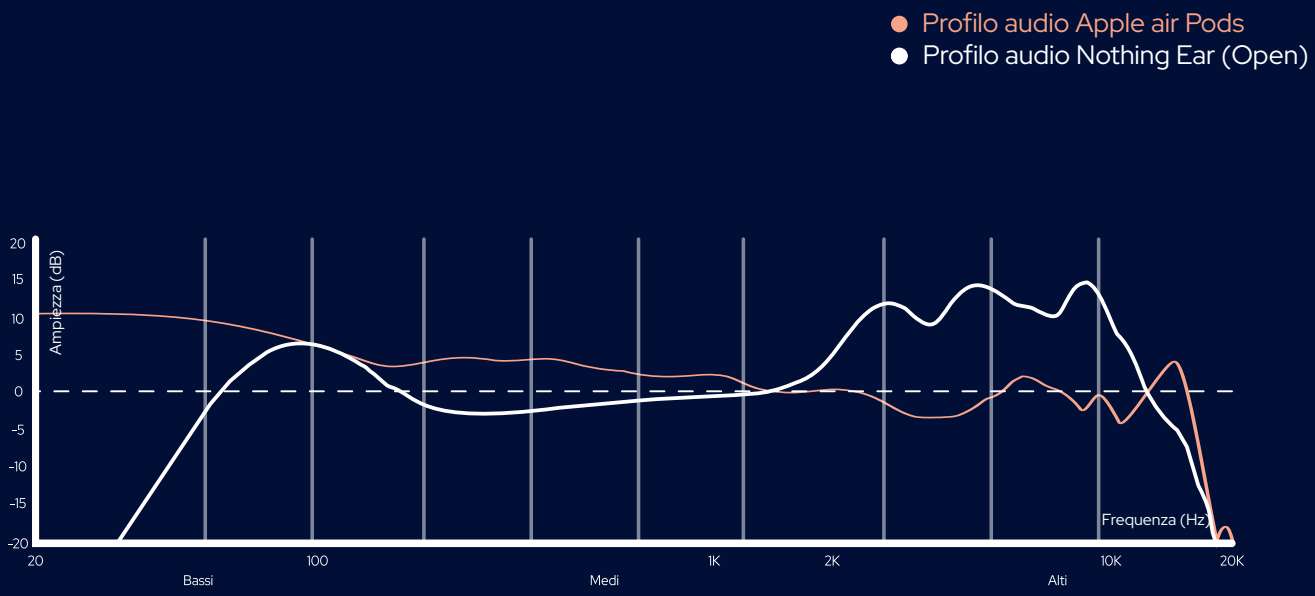
Tecnologia: L'elemento cardine risiede nella realizzazione di un **trasduttore brevettato** dalla stessa Sony **a forma di anello**, che consente il passaggio diretto dei suoni ambientale attraverso una **cavità centrale**. Dispone di una connessione wireless via **Bluetooth** di ultima generazione, che viene **trasmessa contemporaneamente** su ambedue gli auricolari per garantire una **bassa latenza** del segnale audio. Con un'autonomia totale di **5,5 ore**, gli auricolari posso ampliare il loro tempo di utilizzo grazie alla custodia ricaricabile che permette di raggiungere un totale di **17,5 ore** di ascolto. Dato che la forma del trasduttore possa portare ad una inevitabile dispersione sonora, risulta fondamentale la modalità **Speak-to-Chat** che mette automaticamente in pausa la musica non appena viene iniziata la converazione con qualcuno e riprendersi non appena quest'ultima si conclude captando i rumori ambientali circostanti.



Fonti: *https://www.sony.it/electronics/true-wireless/wf-l900#product_details_default*

https://www.soundguys.com/sony-linkbuds-wf-l900-review-67631/




Profilo audio Apple air Pods
Profilo audio Nothing Ear (Open)
Ampiezza (dB)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
Frequenza (Hz)
20
100
1K
2K
10K
20K
Bassi
Medi
Alti

06 - NOTHING EAR (OPEN)

Produttore: Nothing **Sede:** Londra (UK)

Anno: 2024 **Prezzo:** 99 €

Conduzione aerea

Descrizione generale: Nothing decide di avvalersi dei limiti attuali delle tecnologie open-ear per realizzare un prodotto che combini esperienza d'uso e anche identità visiva del brand.

Tecnologia: Le Nothing Ear (open) integrano un driver dinamico da **14,2 mm**, progettato per **minimizzare** la dispersione sonora in uno spazio aperto e garantire un equilibrio tra chiarezza e naturalezza dell'audio. Tuttavia, il design aperto implica una **dipendenza diretta** dalle condizioni ambientali: la presenza di rumori esterni può influenzare significativamente la percezione del suono, riducendo l'efficacia dell'ascolto in contesti particolarmente rumorosi.
Questa caratteristica evidenzia una precisa scelta progettuale: **privilegiare** la continuità con il contesto rispetto al controllo totale dell' esperienza sonora. Ne deriva un **modello d'uso situazionale**, in cui il dispositivo risulta particolarmente efficace in ambienti dinamici, ma meno adatto a contesti che richiedono isolamento o immersione.



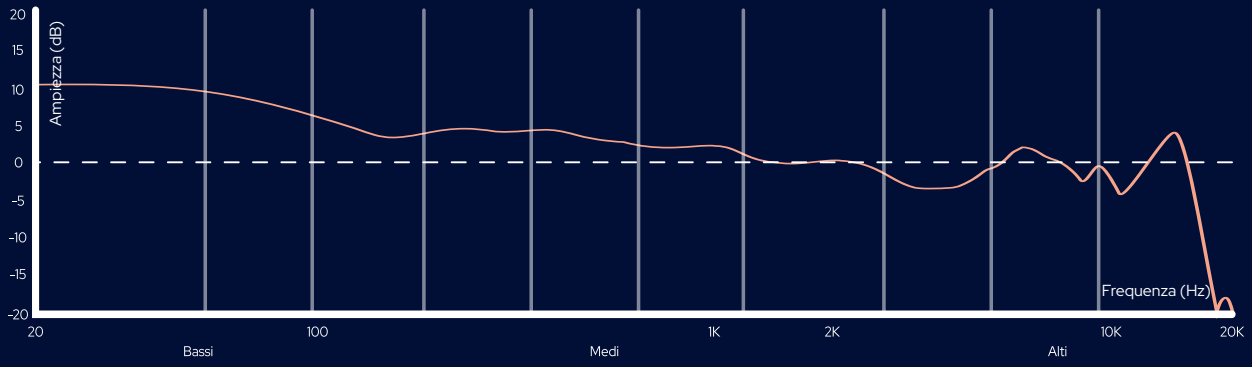
Fonti:

https://it.nothing.tech/products/ear-open?srsltid=AfmBOor-Xd-mgLw_DztC3-Olf1JAFeZCUI1HCFP8D8UJ3ucpK2SPnHb-3D&Colore=White

https://www.soundguys.com/nothing-ear-open-review-124038/



Profilo audio Apple air Pods
Profilo audio non disponibile



07-NUANCE AUDIO

Produttore: EssilorLuxottica **Sede:** Parigi (FR)

Anno: 2025 **Prezzo:** 770 €

Conduzione aerea

Descrizione generale: Nuance Audio si dimostra come il passo decisivo di Luxottica nell'entrare all'interno del mercato dei nuovi dispositivi di ascolto Open-ear. In questo caso non si dimostrano solo un accessorio come nel caso dei Bose Frames ma si è cercato nell'applicazione di queste nuove tecnologie una soluzione alternativa per combattere la stigmatizzazione estetica dei dispositivi acustici.

Tecnologia: Il dispositivo si basa su un paradigma di ascolto aumentato, in cui il suono ambientale non viene isolato ma elaborato e migliorato. In particolare, i microfoni direzionali integrati permettono di amplificare selettivamente le voci e ridurre il rumore di fondo, facilitando la comprensione del parlato in contesti complessi come ristoranti o ambienti affollati. Dal punto di vista progettuale, questa scelta rappresenta un cambiamento rilevante: il dispositivo audio non è più un oggetto separato, ma una funzione invisibile integrata in un accessorio quotidiano. Ciò riduce la percezione di invasività e migliora l'accettabilità sociale del prodotto. Il tutto è possibile gestirlo attraverso l'apposita App, scaricabile in tutti gli store digitali permettendo di regolare il volume e diminuire il rumore di fondo.

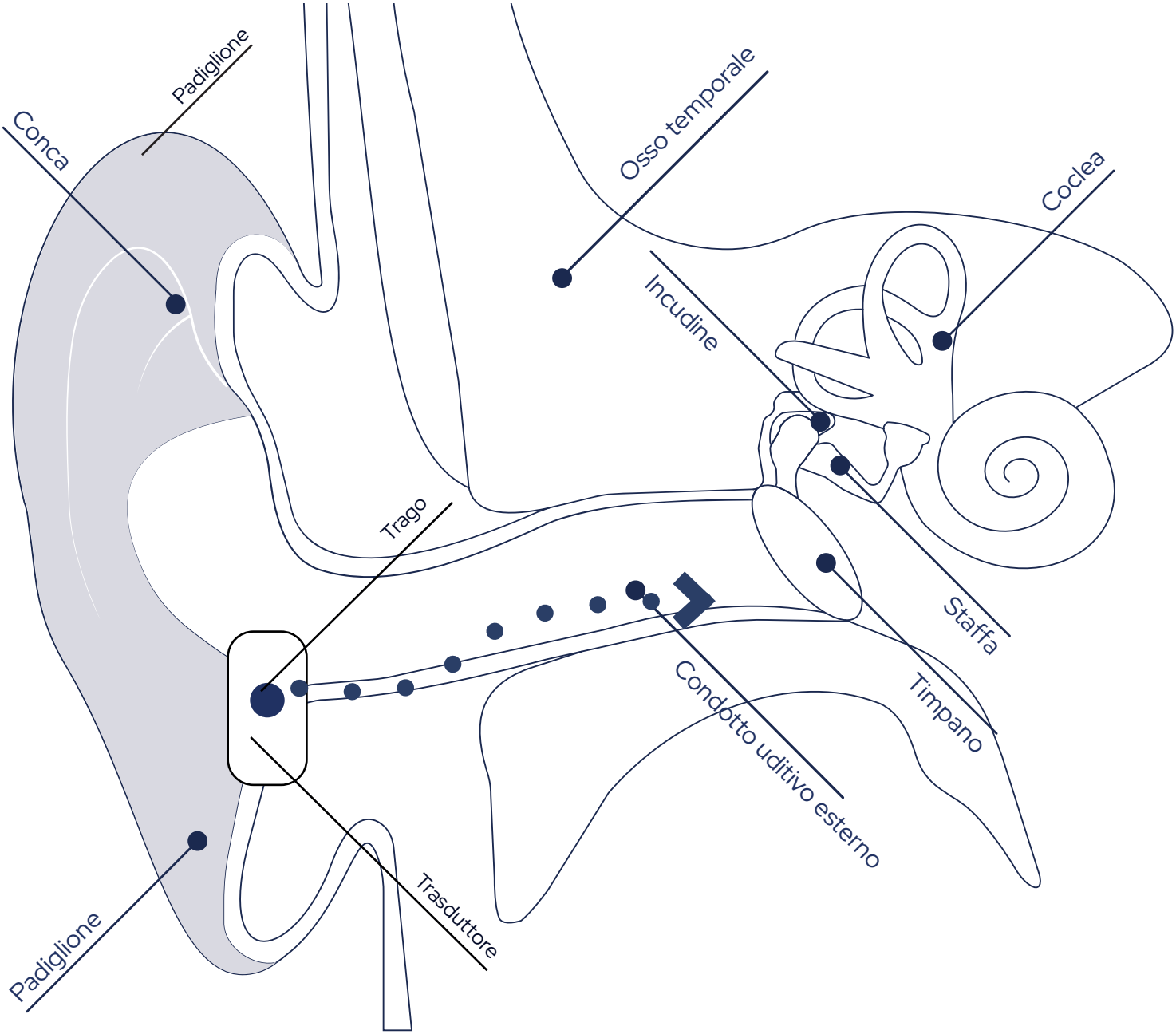


Fonti:

https://www.nuanceaudio.com/en-int/c/hearing-eyewear

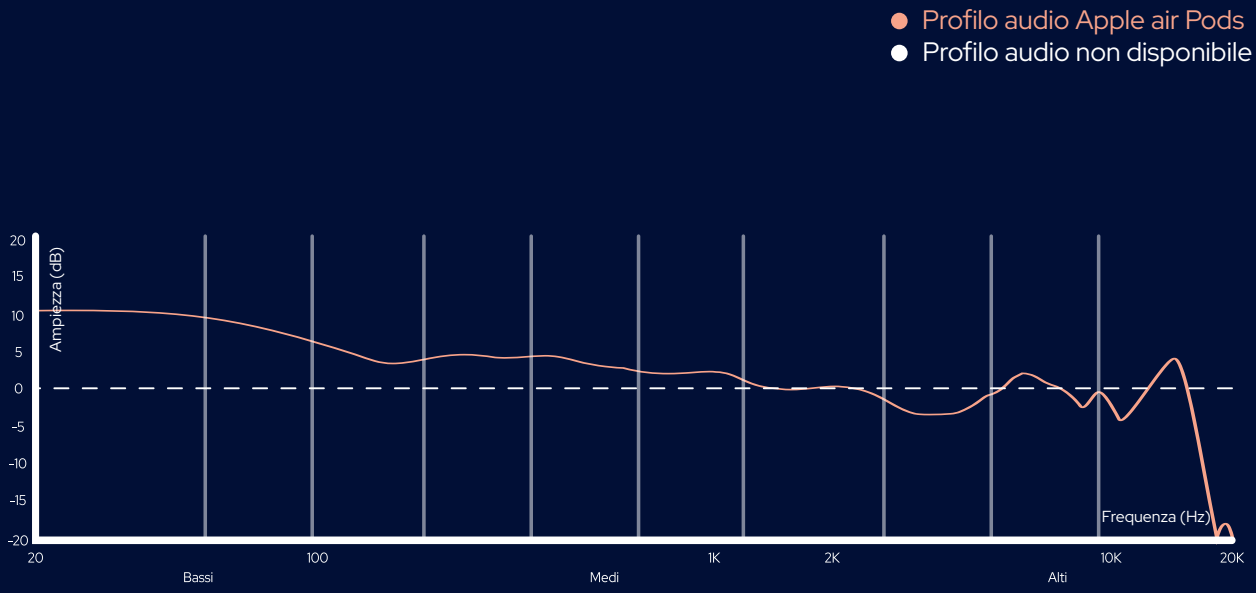
4.1.3 Conduzione cartilaginea

La **conduzione cartilaginea** si dimostra la più recente tecnologia contrapposta al modello classico di trasmissione sonora. Nasce nel **2004** dagli studi scientifici del ricercatore **Hiroshi Hosoi**, il quale scoprì che, posizionando un trasduttore con una leggera pressione sulla cartilagine e più efficacemente sul **trago**, si otteneva una possibile alternativa nel generare un suono udibile, definendola come la "**terza via**" di conduzione del suono.
Sebbene per gli studiosi rimangano ancora ignoti i processi di passaggio del segnale dalla cartilagine alla coclea, sono stati ipotizzati **tre possibili percorsi**:
- Una prima possibilità plausibile è il passaggio direttamente **tramite l'aria**, dove il trasduttore posto sulla cartilagine induce una vibrazione all'aria che entra all'interno del condotto uditivo.
- La seconda riguarda un passaggio del suono per via **cartilagine-aerea**. Il trasduttore eccita la cartilagine aurale e i tessuti circostanti, creando un procedimento di passaggio analogo a quello della conduzione aerea, dove il suono generato nel condotto uditivo raggiunge il timpano.
- Una terza avviene attraverso un percorso **cartilagine-osso** dove le vibrazioni indotte nella cartilagine passano in direzione della coclea attraverso i tessuti ossei **[31].**


Padiglione
Conca
Osso temporale
Coclea
Incudine
Trago
Staffa
Timpano
Condotto uditivo esterno
Trasduttore
Padiglione

Casi studio




Profilo audio Apple air Pods
Profilo audio non disponibile
Ampiezza (dB)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
Frequenza (Hz)
20
100
1K
2K
10K
20K
Bassi
Medi
Alti

08 - ATH-CC500BT2

Produttore: Audio Technica

Sede: Shinjuku, Tokyo (JP)

Anno: 2025

Prezzo: 139 €

Conduzione cartilaginea

Descrizione generale: Il caso delle **ATH-CC500BT2**, sviluppate da Audio-Technica, rappresenta un'evoluzione significativa nel panorama degli auricolari **open-ear**, introducendo una **tecnologia alternativa** rispetto ai più diffusi sistemi a conduzione ossea o a diffusione aerea.
L'obiettivo progettuale non è solo quello di mantenere la consapevolezza dell'ambiente, ma anche di migliorare la **qualità percepita** rispetto alle soluzioni open-ear tradizionali, attraverso una **diversa** modalità di trasduzione sonora.



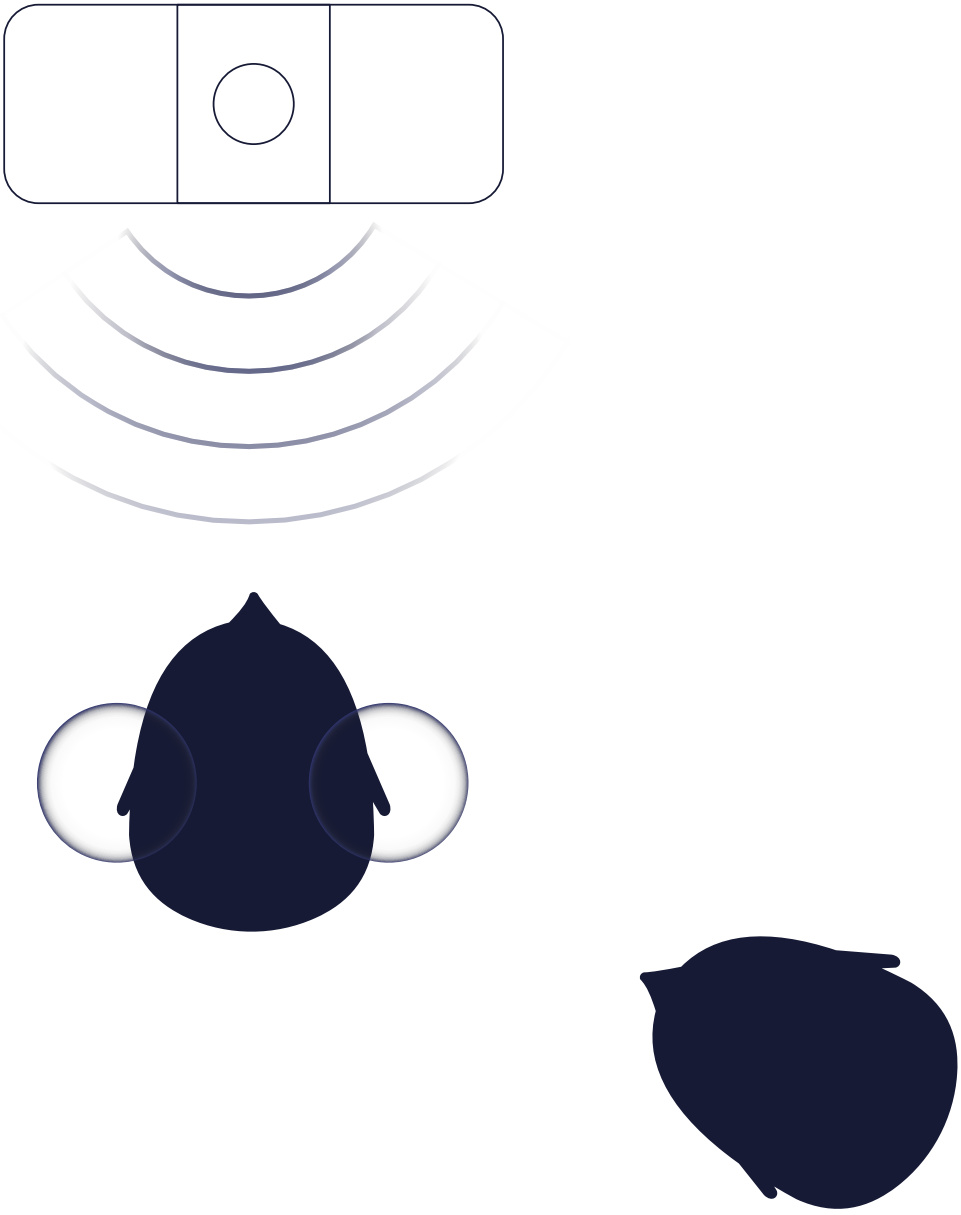
Tecnologia: Sebbene per il momento non è presente ancora nessun dato riguardante il suo profilo sonoro, dato l'uscita molto recente sul mercato, dal punto di vista formale, le ATH-CC500BT2 adottano una struttura a neckband in **titanio flessibile** rivestito in silicone, progettata per garantire stabilità e leggerezza di circa **32 grammi.** L'autonomia dichiarata raggiunge circa **20 ore** di riproduzione continua, con possibilità di ricarica rapida tramite **USB-C**. Il sistema include inoltre microfoni **MEMS** omnidirezionali e tecnologie di riduzione del rumore basate su intelligenza artificiale **(AIVC)**, progettate per **migliorare** la qualità delle chiamate.

Fonti:

https://www.audio-technica.com/en-eu/headphones/type/wireless/ath-cc500bt2

4.1.4 Soundbeaming

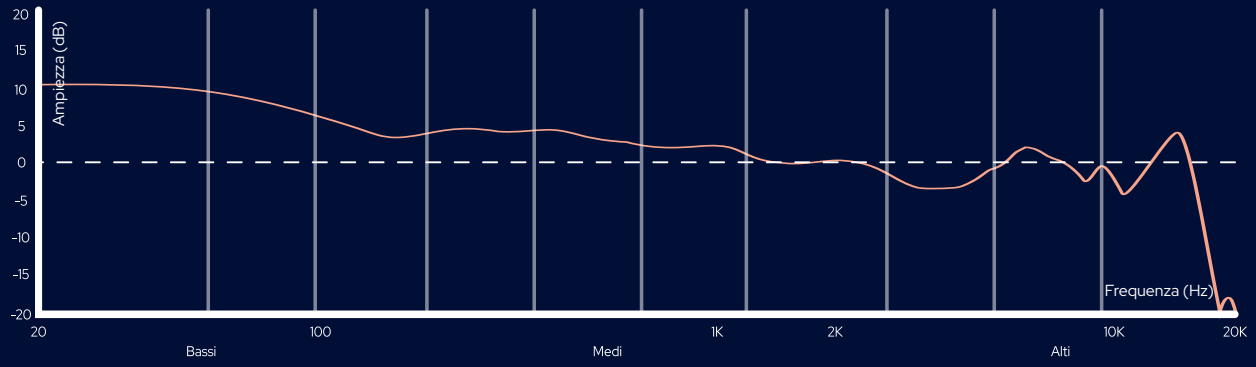
Negli ultimi anni il concetto di open ear si sta sempre di più allontanando dall'idea di **dispositivo indossabile tradizionale**, per adottare un **nuovo concetto** di come attraverso il suono sia possibile riempire gli spazi. Se fino ad adesso i tradizionali speakears o impianti stereo risultavano come l'unica alternativa per espandere il suono in un determinato spazio, con l'avvento dei nuovi dispositivi Soundbeaming, sempre di più start-up iniziano a coinvogliare il concetto di privatizzare l'audio **circoscrivendolo** allo spazio limitrofo delle orecchie dell'utente. In questo modo si ottiene un prodotto che nella forma risulta un normale diffusore audio hi-fi, ma con l'esperienza d'uso di un dispositivo indossabile. Premetto che in letteratura questa tipologia di prodotti non viene catalogata come open-ear in quanto non si parla di una categoria wearable in senso stretto.



Casi studio



● Profilo audio Apple air Pods
● Profilo audio non disponibile



09 - NOVETO I3DS

Produttore: Noveto

Sede: Petah Tikva, (ISR)

Anno: 2021

Prezzo: N/D

Soundbeaming

Descrizione generale: Il caso della tecnologia **Noveto i3DS™**, sviluppata da Noveto, rappresenta una discontinuità radicale nel panorama dell'audio personale contemporaneo.
A differenza delle soluzioni tradizionali come auricolari o cuffie, questo sistema **elimina** completamente la necessità di dispositivi indossabili, introducendo un **nuovo paradigma** di ascolto basato sulla proiezione del suono nello spazio.

Tecnologia: Dal punto di vista esperienziale, la tecnologia Noveto consente di **ricreare una condizione assimilabile** a quella delle cuffie, ma senza alcun contatto fisico con il corpo. L'utente percepisce un audio tridimensionale e immersivo,attraverso un sistema di sensori gestiti da un software di intelligenza artificiale che permette di analizzare le immagini e localizzare il viso degli utenti e le loro orecchie. Il suono viene percepito dall'utente come localizzato attorno alla testa, creando una sorta di "bolla sonora personale" che coesiste con l'ambiente reale.
Questa caratteristica amplia significativamente i contesti applicativi, che possono andare dagli **ambienti domestici** (intrattenimento, Home fitness e contenuti multimediali), agli **ambienti lavorativi** (videochiamate, open office) fino agli **spazi pubblici**.



Fonti:

https://www.noveto.com

4.2 Lettura critica dei casi studio

Dai casi studio presi in analisi, è possibile dedurre come le diverse tecnologie open-ear siano in una fase **eterogenea**, mostrando uno sviluppo tecnologico a **diverse velocità**. È evidente che **l'assenza di normative** stia esortando i vari produttori a sperimentare varie alternative nella relazione tra i componenti, al fine di ottenere un equilibrio tra qualità audio, consapevolezza situazionale ed immersività d'uso.

La conduzione ossea si dimostra la tecnologia più consolidata all'interno di un settore specifico come quello **sportivo e dell'outdoor,** evidente anche dalla presenza di caratteristiche come **l'alta impermeabilità** agli agenti atmosferici, una buona autonomia della batteria e una bassa sensibilità del microfono ricevente al vento. Nonostante l'avanzamento tecnologico dei trasduttori, la qualità audio rimane ancora contenuta tra le medie e le medio-alte, impedendo un chiaro ascolto al di sotto dei **100 Hz** e al di sopra dei **5 kHz**.

Così facendo, il suono ottenuto risulta piuttosto "medioso", il che potrebbe essere un'ipotesi di una scelta progettuale precisa per non indurre l'utente a distogliere l'attenzione dal contesto.

Al contrario, la tecnologia a **conduzione aerea** si rivela la più soddisfacente da un punto di vista prestazionale, garantendo di occupare

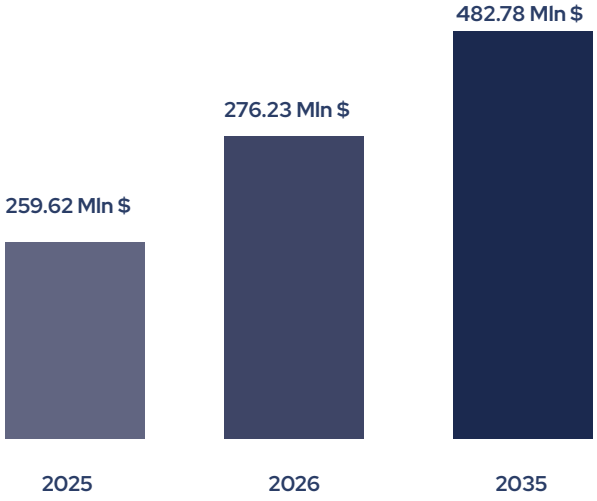
un intervallo di qualità sonora decisamente più ampio rispetto alle altre tecnologie alternative. Con esso si accompagna anche uno sviluppo di forme che vanno ad adattarsi completamente alla forma dell'orecchio quasi a renderle invisibili durante l'uso.

La conduzione cartilaginea, vista la scarsità di dati al riguardo e una valutazione non ancora consolidata, dimostra che la dicotomia tra la ricerca e un prodotto maturo è ancora ben presente.

Un'ipotesi attendibile è **l'esclusività dei brevetti** riconducibili alla CCH Sound Inc., che attraverso i propri canali di vendita coopera per la realizzazione di prodotti da immettere sul mercato, proprio come nel caso degli auricolari di Audio Technica.

Il mercato dei dispositivi open-ear è caratterizzato da una moderata concentrazione di competitor di alto livello tra le quali si comprende **Sony Corporation, Bose Corporation e Shokz** occupando approssivamente il **47.3%** dei ricavi totali del mercato dello scorso anno. Il restante del totale appartiene a brand emergenti da Cina, Corea del Sud e Stati Uniti dove competono in prezzo, design e caratteristiche tecniche.

Da queste considerazioni i dati raccolti da Omdia relativi al CES 2026 possono entrare in supporto alla lettura critica.



Attualmente, **il valore complessivo** a livello globale del segmento open-ear raggiunge una quota pari a **259,62 milioni** di dollari, con una previsione di crescita a **276,23 milioni** alla fine del **2026** e un'ulteriore espansione a **482,78 milioni** entro il **2035**, con un **CAGR del 6,4%.** Si stima che più del **10%** del mercato globale dei dispositivi audio personali appartenga solo alla tipologia open-ear, con una quota dei volumi di vendita di **30 milioni** di unità nello scorso anno.

Per quanto riguarda le prospettive del mercato regionale, **l'Asia** si dimostra come la regione dominante del mercato dei dispositivi open-ear con importanti sedi produttive in Giappo-

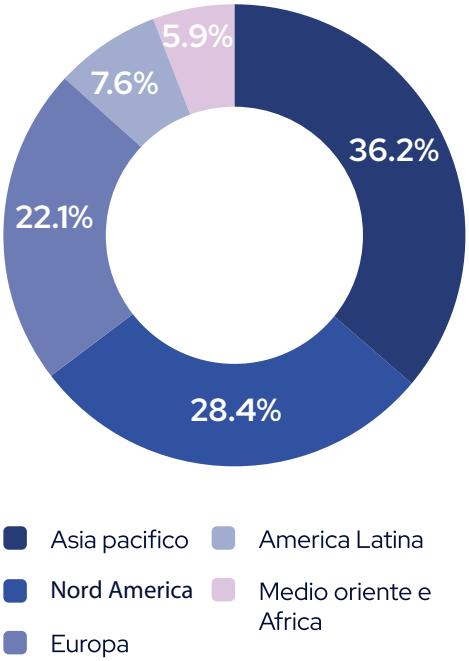


Figura 11. *Diagramma sulle prospettive di mercato dei dispositivi open-ear 2025-2034.*

ne, Corea del Sud e Cina di cui quest'ultima, assieme alla rapida crescita di una classe media che mostra una alta affinità nell'acquisto di tecnologie audio di ultima generazione.
Il mercato del **sud-est asiatico** come India, Indonesia e Vietnam ha registrato una rapida crescita dei volumi grazie all'espansione dell' e-commerce e all'incremento di adozioni degli smartphone. Il **Nord America** rappresenta il secondo più importante mercato regionale con il **28.4%** delle entrate globali. Gli Stati Uniti guidano il mercato Americano grazie alla massiva presenza di pratiche di sport outdoor e la pratica sempre più diffusa e consolidata della modalità di lavoro da remoto o ibrido. Parallelamente anche il Canada mostra un significativo contributo grazie ai numerosi incentivi che incentivano l'adozione dei dispositivi di assistenza per l'udito. **L'Europa** con il **22.1%** detiene la terza percentuale del mercato con il Regno Unito uno delle principali contribuenti che ha registrato un notevole incremento del settore del fitness e delle attività outdoor dalla fine della pandemia con canali di vendite come Currys,Argos e Amazon Uk, che riportano un incremento delle vendite per la categoria dei prodotti open-ear.
Infine **America Latina, Africa e Medio Orien-**



Figura 12. *Linea cronologica sulla diffusione dei sistemi open-ear dal 2009 al 2026*

te rappresentano le frontiere novizie ed emergenti del mercato con valori di percentuali corrispettivi del **7.4%** per la prima e il **5.9%** per i secondi dove fattori come l'urbanizzazione e l'importante presenza di una popolazione prevalentemente giovane in
continuo aumento la quale presenta dimostra di avere un interesse crescente per il modo fitness e con esso una proporzionale richiesta di prodotti open-ear **[32].**
Da quello che si evince dalla loro analisi si possono capire anche le dinamiche dietro questa maturazione tecnologica eterogenea.
Tra il **2009 e il 2018**, la conduzione ossea ha contribuito come entry level all'innesco iniziale per lo sviluppo del settore, rispondendo alle esigenze d'uso sulla sicurezza in ambito sportivo, già citate precedentemente.
Tra il **2019 e il 2025**, l'adozione della conduzione ossea ha portato a una maggiore consapevolezza dei consumatori, favorendo una diversificazione delle architetture e prediligendo maggiormente la conduzione aerea, in quanto risulta il migliore compromesso tra la capacità di mantenere la consapevolezza situazionale e la qualità audio.
Ad oggi, **nel 2026**, le aziende competitor prendono sempre più visione dei limiti tecnologici che le nuove tecnologie impongono, cercando di esplorare nuovi ipotetici scenari in cui possono creare un valore aggiunto. In questo senso emergono due possibili direzioni: la prima riguarda la qualità audio nel mondo reale, andando specificamente a restituire delle chiamate vocali cristalline e allo stesso tempo restituire i suoni dell'ambiente circostante. Un'altra direzione riguarda la specificità contestuale in cui l'open ear non diventa più un semplice dispositivo di riproduzione del suono, ma un sistema che media attivamente il rapporto tra l'utente e il proprio ambiente sonoro, selezionando, filtrando e integrando informazioni in tempo reale **[33] [34]**.

Bibliografia breve

[27] Kachhadiya, P. (2023). Bone Conduction Technology: Revolutionizing Sound Transmission and Applications in Hearing Impairments Limitations Compared to Traditional Hearing Aids. ReasearchGate. https://www.researchgate.net/publication/369328124_Title_Bone_Conduction_Technology_Revolutionizing_Sound_Transmission_and_Applications_in_Hearing_Impairments_Limitations_Compared_to_Traditional_Hearing_Aids

[28] Mudry, A., Tjellström, (2011) A.Historical Background of Bone Conduction Hearing Devices and Bone Conduction Hearing Aids. https://www.researchgate.net/publication/50351748_Historical_Background_of_Bone_Conduction_Hearing_Devices_and_Bone_Conduction_Hearing_Aids

[29] Brånemark, P; Hansson, B; Adell, R; Breine, U; Lindström, J; Hallén, O; Ohman, A (1977). Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery. Supplementum

[30] Martinez, A., (2021, 20 Aprile). The Evolution of the Baha system 1977-2021.Cochlear.https://hearandnow.cochlear.com/hearing-solutions/bone-conduction/evolution-of-baha/

[31] Hosoi, A. , Nishimura, T., Shimokura, R., Kitahara, T., (2019) Cartilage conduction as the third pathway for sound transmission https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038581461830943X

[32] Patel D., Chandola.V, Bhat.S Open Ear Headphones Market Research Report 2034 https://dataintelo.com/report/open-ear-headphones-market#

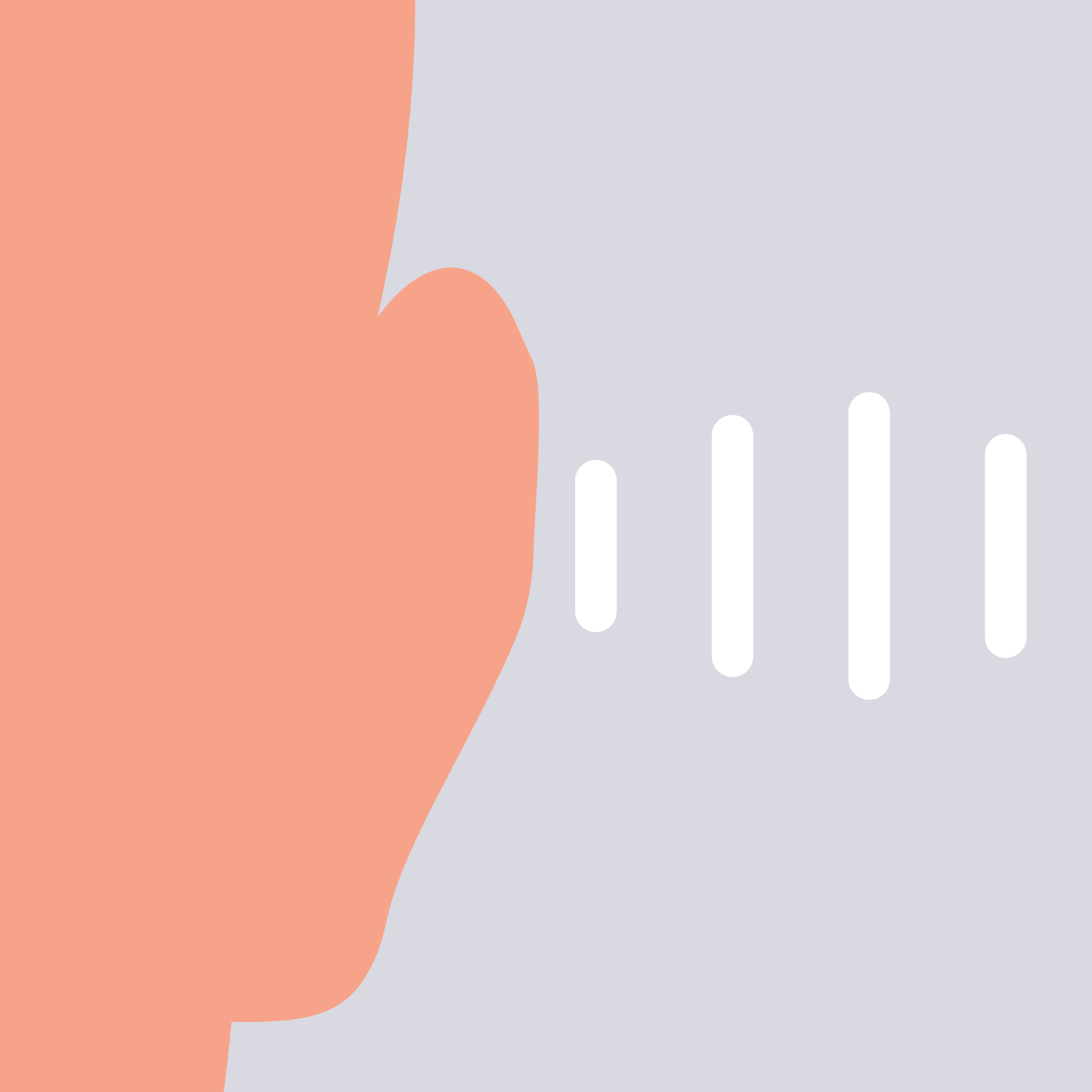
[33] Chen, C. (2026, 10 Feb). Open-ear headphones move beyond form-factor differentiation [PDF]

[34] Open-ear Headphones Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Types (Wired, Wireless), By Applications (Running, Workout, Others) , and Regional Insights and Forecast to 2035 https://www.globalgrowthinsights.com/market-reports/open-ear-headphones-market-122625

Capitolo 5

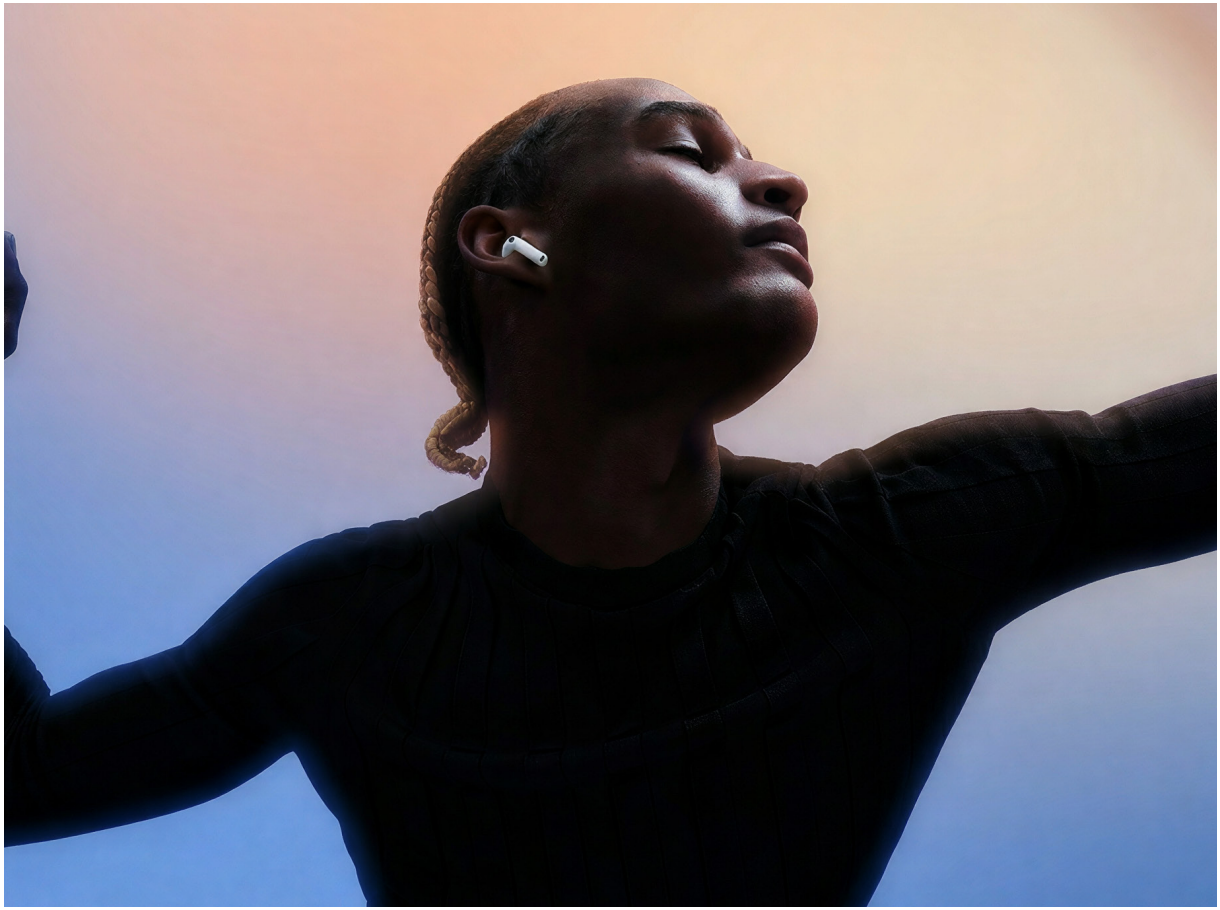
Nuovi contesti applicativi.

Nel quinto capitolo, si andranno ad ipotizzare i possibili scenari futuri in cui la tecnologia open-ear, possa essere applicata come una valida alternativa allo stato dell'arte contemporaneo.



Alla fine del capitolo precedente è emerso come le tecnologie open-ear si trovino all'inizio di una nuova fase di **rivalutazione** e ridimensionamento dell'attuale configurazione di mercato, in cui le aziende competitor mostrano una **crescente consapevolezza** dei vincoli tecnici ed esperienziali che tali soluzioni presentano ancora oggi. In un simile scenario, la figura del **designer** assume un ruolo potenzialemente rilevante nella ricerca e nell'indagine di contesti che si distanziano dal concetto tradizionale di prodotto wearable, portando alla luce nuovi contesti e configurazioni in cui il valore della permeabilità selettiva possa ridefinire il rapporto tra utente, suono e spazio .

Muovendosi da tale premessa, nel presente capitolo sono stati proposti alcuni possibili ambiti applicativi in cui le tecnologie open-ear potrebbero trovare un riscontro concreto nel prossimo futuro. Sulla base delle limitazioni emerse nella lettura critica condotta nei capitoli precedenti, sono stati proposti quattro contesti ipotetici: la mobilità collettiva e il trasporto pubblico, l'automotive, la micromobilità e la comunicazione adattiva.



Linee guida:

Consapevolezza ambientale



L'audio emesso deve poter garantire il mantenimento della consapevolezza ambientale durante il tragitto, evitando atteggiamenti di auto-esclusione da parte dei passeggeri.

Gerarchia



L'audio emesso dai sedili, deve essere soggetto a una gerarchia di priorità che regoli la gestione degli output in uscita. Le comunicazioni ufficiali diffuse dallo staff come gli annunci operativi,
avvisi di sicurezza e i vari aggiornamenti del servizio, costituiscono una priorità ai fini di efficienza del servizio stesso: al loro avvio,
il sistema interrompe la riproduzione audio cedendo il canale alla comunicazione in corso.

Privatizzazione



I sedili devono disporre di poggiatesta angolati in modo tale da minimizzare la dispersione sonora, senza invadere lo spazio acustico dei passeggieri vicini.

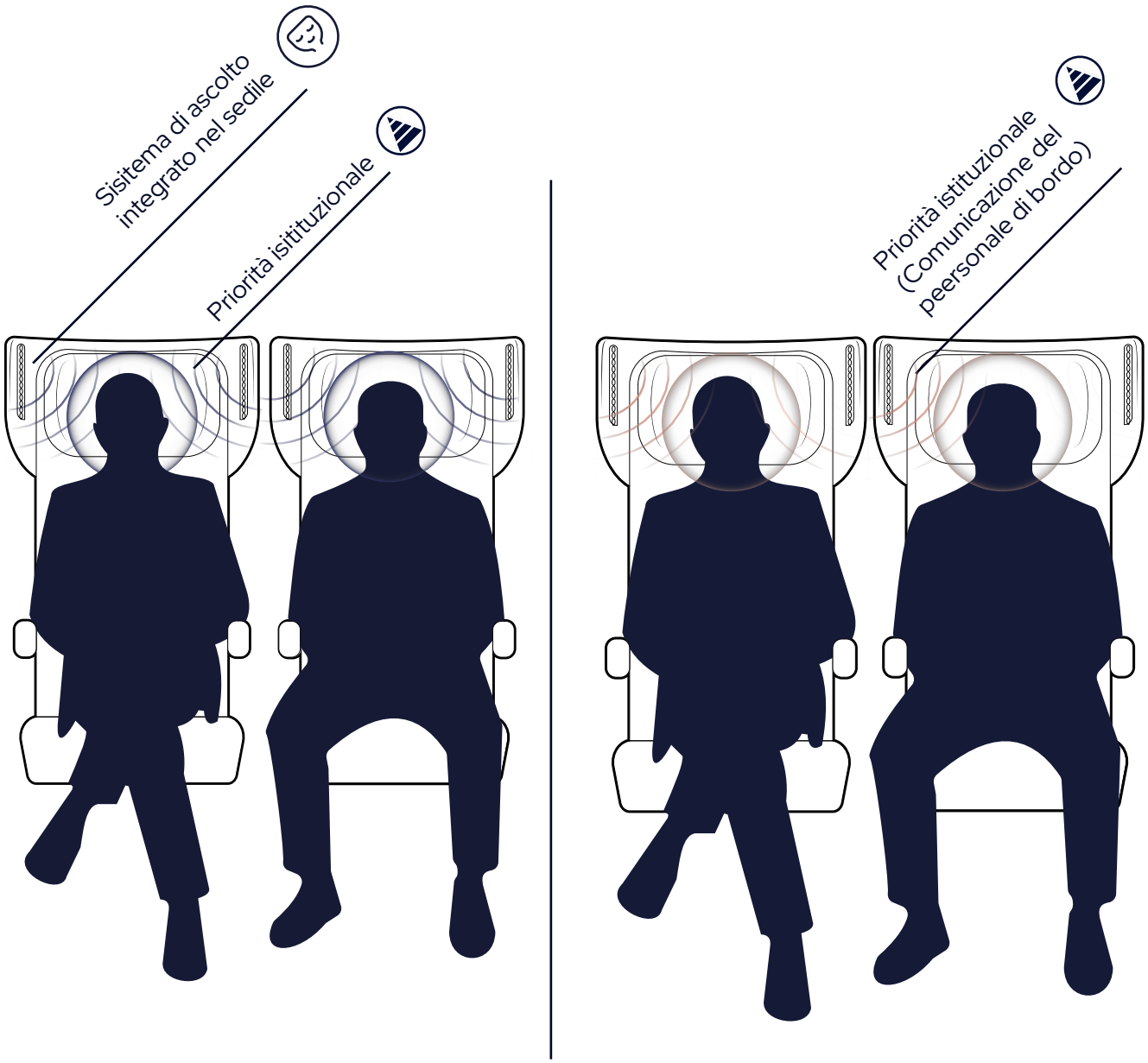
Comfort



Il dispositivo open-ear deve integrarsi all'interno del sedile in modo tale da non risultare ingombrante durante l'uso integrandosi nell'ergonomia del sedile stesso, favorendo così un uso prolungato e comfortevole, anche per i viaggi di lunga percorrenza.

Scenario applicativo: mobilità collettiva




Sisitema di ascolto integrato nel sedile
Priorità isitituzionale
Priorità istituzionale (Comunicazione del peersonale di bordo)

5.1 Open-ear nella mobilità collettiva



Il **primo scenario applicativo** delle tecnologie open-ear preso in analisi è quello della **mobilità collettiva** articolandolo nel **trasporto ferroviario ad alta velocità**. All'interno di un contesto come quello del treno, l'utente si trova immerso in un paesaggio sonoro piuttosto denso in cui rumori a bassa frequenza, annunci periodici e le conversazioni altrui lo inducono a un **auto isolamento** all'interno della propria bolla sonora. Il passeggiero che indossa i propri auricolari tradizionali costruisce uno spazio privato sonoro che lo isola fisicamente dall'ambiente condiviso mostrando tutta la sua indisponibilità agli altri passeggeri del vagone in sua prossimità e rinunciando alla ricezione delle comunicazioni ufficiali di bordo.

L'implicazione delle tecnologie open-ear, in particolare quelle correlate alla **conduzione aerea**, permetterebbero all'utente di indurlo all'apertura verso l'esterno. Invece di dare all'utente la sola scelta di isolarsi tramite i propri dispositivi personali, il passeggiero riceve l'audio attraverso l'implementazione di **driver direzionali** nel poggiatesta. In questo modo, il suono diventa **parte integrante dell'esperienza** di viaggio offerta dall'operatore ferroviario.

Questa architettura ha una prima ricaduta positiva sulla **qualità del servizio**: ogni comunicazione del personale di bordo come gli annunci di fermata, le avvertenze sulla sicurezza e le informazioni di eventuali ritardi o cambi del percorso, verranno comunicati tramite gli appositi audio direzionali nei poggiatesta, interrompendo in modo graduale la riproduzione audio in corso affinché ogni passeggiero abbia recapitato l'avviso del personale. Questa funzione rende in modo sistematico la tecnologia open-ear da mera scelta estetica a **infrastruttura operativa**.

La seconda ricaduta riguarda la **dimensione sociale dello spazio**: il sedile non costituisce una barriera di esclusione dal resto dell'ambiente e degli altri passeggeri, ma riesce a creare una **zona sonora permeabile** in cui il passeggiero rimane presente all'interno dello spazio del vagone, dimostrando una maggiore **propensione all'interazione spontanea** con il vicino di posto e disponibile al momento del passaggio del controllore.



Linee guida:

Consapevolezza ambientale



L'audio emesso deve poter garantire il mantenimento della consapevolezza ambientale durante il tragitto sia per il conducente che per i passeggeri, evitando un atteggiamento di auto-esclusione da parte dei passeggeri.

Stratificazione



L'abitacolo deve poter permettere che il proprio paesaggio sonoro possa essere diversificato, in caso di necessità, tra il conducente e i passeggeri.

Carico cognitivo



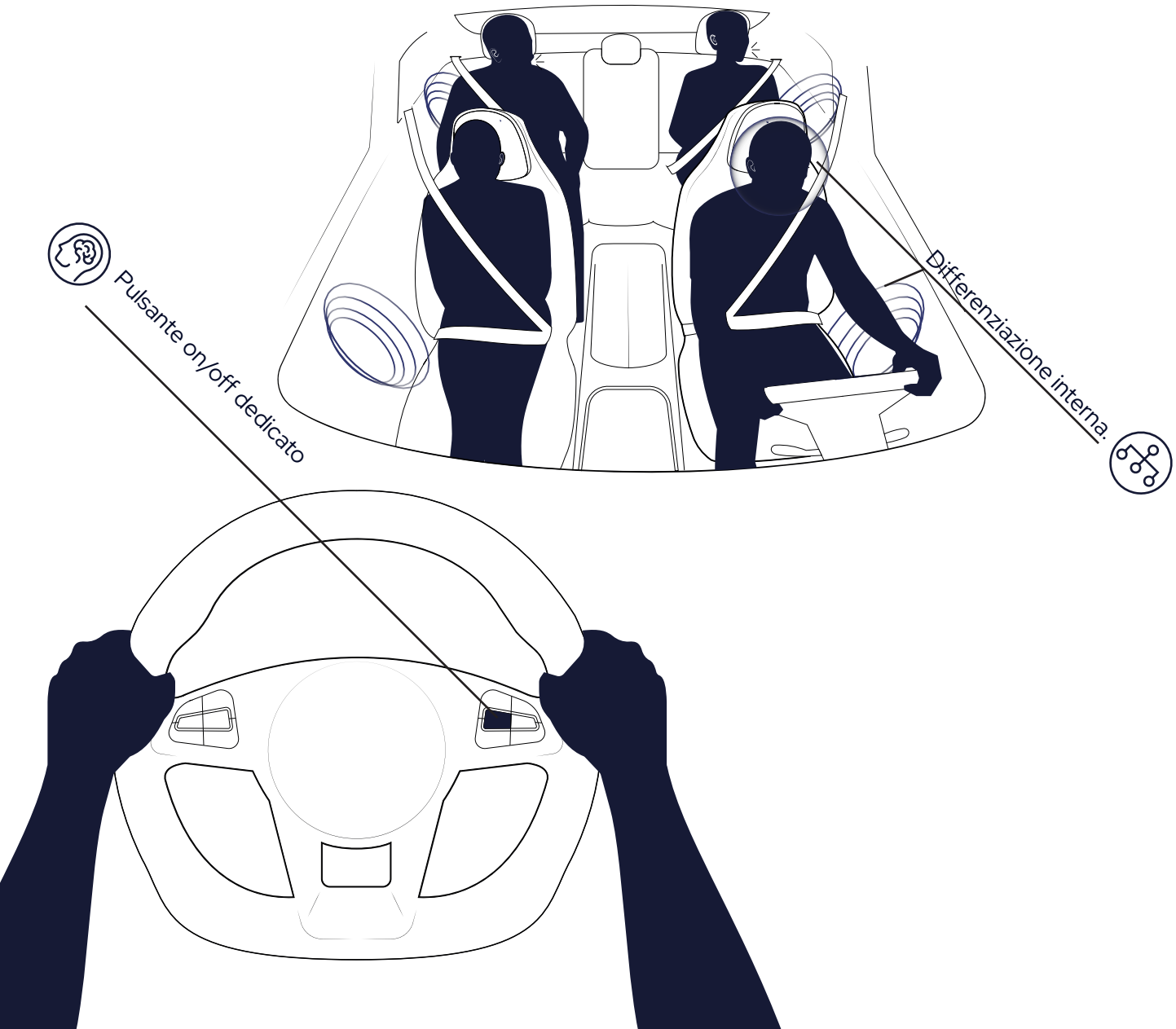
L’interfaccia del sistema audio privato del sedile deve risultare di rapida accessibilità senza distrazioni dell’utente.

Privatizzazione



Il sedile deve emettere l’audio in modo che arrivi direttamente al conducente, favorendo la privacy per le chiamate personali o di altri contenuti , che in base al giudizio del guidatore vengano ritenuti di natura confidenziale.

Scenario applicativo: trasporto privato




Poggiatesta con trasduttore per conduzione ossea.
Sensori feedback aptico all'interno del sedile.

5.2 Open-ear nel trasporto privato

Una seconda alternativa è correlata all'applicazione delle tecnologie open-ear è in ambito automotive. Riprendendo i concetti Bull, l'abitacolo rappresenta **un'estensione dell' utente stesso** in cui in esso riflette la propria personalità e il proprio stato emotivo, uno spazio in cui la tecnologia gioca un ruolo fondamentale per rendere l'esperienza di guida più piacevole, in special modo per percorrenze ben estese [35].

Con l'avvento dell'ipod e della musica streaming, l'utente esercita un controllo totale sull'ambiente sonoro decidendo cosa ascoltare, quando e a che intensità di volume.

Così facendo si sono creati degli spazi esclusivi il quale riflettono il piacere dell'ascoltare a tal punto da provare **fastidio** in compresenza di possibili passeggeri che potrebbero condividere lo stesso spazio [36] .

L'evoluzione tecnologica recente dell'abitacolo ha portato a una **stratificazione** di livelli sempre più complessi di gestione dell'ambiente sonoro, ottenendo come risultato un ambiente **acusticamente denso** e potenzialmente caotico il quale può risultare un importante **distrazione alla guida**.

L'introduzione delle tecnologie open-ear potrebbero essere una risposta a questa problematica agendo come da **separatore** dei flussi audio all'interno dell'abitacolo.
Un sistema di ascolto tramite **conduzione ossea** integrato all'interno del poggiatesta del conducente, consentirebbe la differenziazione delle informazioni destinate al conducente da quelle destinate al resto dell'abitacolo,**limitando** probabili presenze di **dispersioni sonore**.
Informazioni come le indicazioni del navigatore, gli avvisi di sicurezza del veicolo e le notifiche prioritarie del sistema di bordo attraversano il canale open-ear in modo privato, evitando di diffondersi negli altoparlanti del veicolo. Così facendo si creano **due strati sonori** personali che possono essere gestiti indipendentemente attraverso l'impostazione del sistema infotainment.

Un'altra dimensione correlata in modo diretto alla gestione degli strati è la **privatizzazione** delle chiamate telefoniche. Il vivavoce tradizionale dell'impianto stereo del veicolo, già garantisce una gestione semplice e intuitiva delle chiamate telefoniche, ma non peremtte al conducente di valutare se il contenuto della chiamata in arrivo possa essere condivisa o meno dagli altri passeggeri presenti. Dalle considerazioni appena esplicitate è possibile definire che tali cambiamenti porterebbero ad una **riconfigurazione della bolla sonora** all'interno del contesto abitacolo.
Essa assume una nuova forma, articolandosi non più in una sola grande bolla sonora esclusiva, ma come un insieme di tante bolle sonore che possono essere permeate l'una con l'altra diventando dei costrutti sociali che possono variare e favorire l'interazione degli utenti.



Linee guida:

Consapevolezza ambientale



L'audio emesso deve far mantenere l'utente concentrato verso l'ambientale durante il tragitto in modo da garantire uno stato di vigilanza.

Integrazione



il dispositivo open-ear deve essere integrato nel veicolo stesso, garantendo maggiore libertà di movimento e minore occlusione della testa da parte dell'utente.



Carico cognitivo

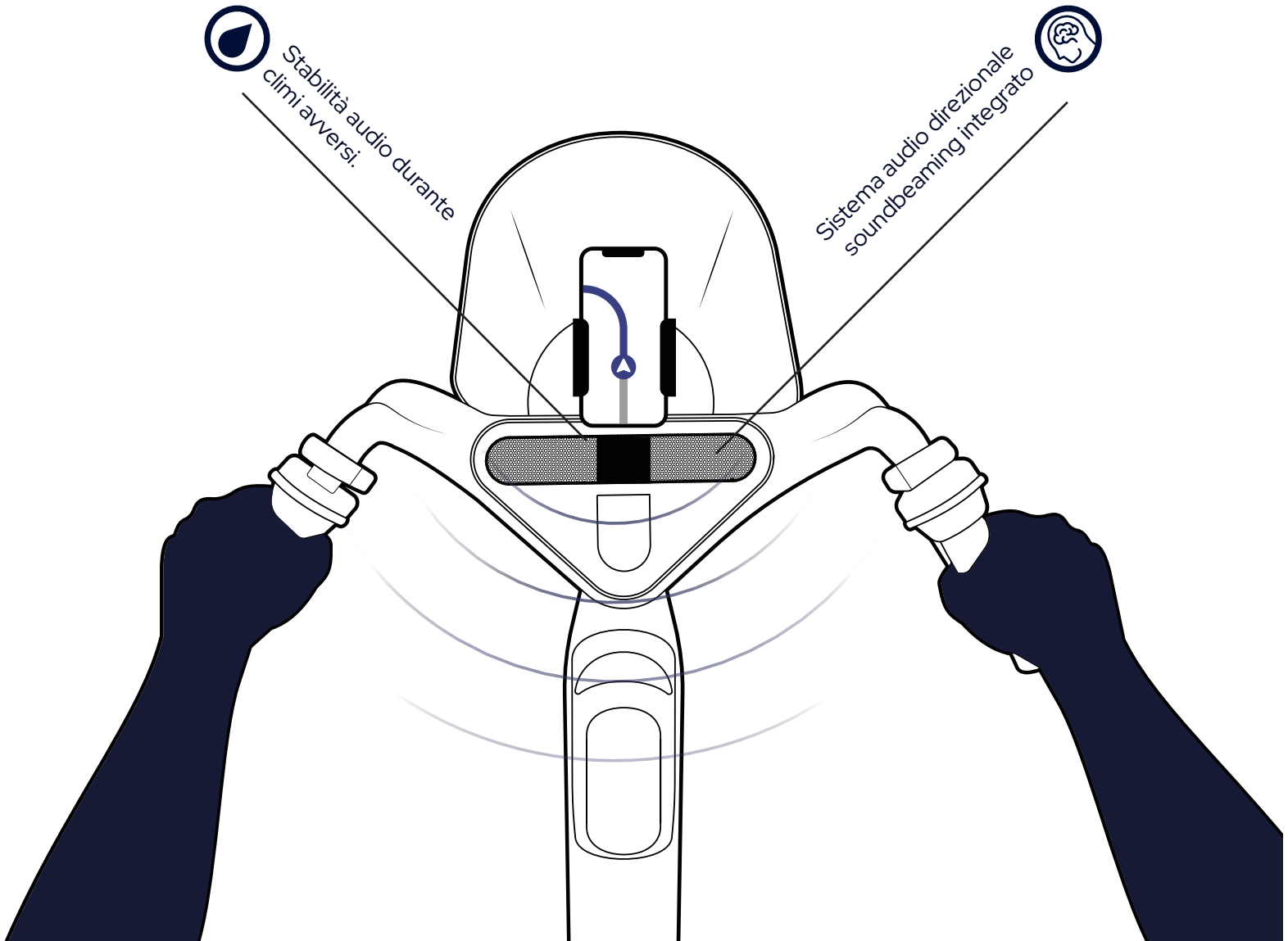
Il veicolo deve disporre di un’esperienza d’uso minimale che non permetta di distogliere lo sguardo dell’utente e ridurre al minimo il carico cognitivo sul veicolo a due ruote.



Impermeabilità

Il veicolo integrato con i sistemi open-ear deve riuscire a garantire un output dell’audio stabile anche in condizioni avverse come pioggia, vento o traffico ad alta intensità.

Scenario applicativo: micromobilità




Agevolazione nell'uso dei dispositivi di protezione
Mantenimento della consapevolezza ambientale

5.3 Open-ear nella micromobilità



Un ulteriore alternativa deriva dall' **ambito della micromobilità** .
Spesso, lo spostamento con questi mezzi, induce l'utente a gestire la necessità di ricevere indicazioni audio dal navigatore, entrando in **conflitto** con la necessità di mantenere la propria percezione sull'ambiente sonoro limitrofo.
Nonostante il quadro normativo attuale in materia di sicurezza stradale vieti l'impiego di dispositivi wearable durante la circolazione, si registra da parte degli utenti a eludere tali prescrizioni attraverso una fruizione parziale della tecnologia, occludendo solo uno dei due padiglioni. L'adozione delle tecnologie open-ear consentirebbe all'utente di mantenere una totale percezione dell'ambiente stradale senza rinunciare alla fruizione delle indicazioni del navigatore.
Tra i vantaggi che si otterrebbero comprenderebbe il **mantenimento** del livello di concentrazione situazionale dell'utente dedicato solo all'ambiente stradale: l'utente è esposto direttamente al traffico, privo di protezioni al di fuori del casco, rendendo di fatto la sua capacità di reagire agli stimoli dell'ambiente come una componente diretta della sua sicurezza.

Tra le tecnologie analizzate nel capitolo precedente, potrebbe risultare adatto l'implementazione del **soundbeaming** all'interno del manubrio, permettendo di proiettare le indicazioni del navigatore direttamente sulle orecchie dell'utente. Inoltre, a differenza delle altre tecnologie open-ear disponibili, ha un ulteriore vantaggio di non richiedere **nessun dispositivo indossato** sul proprio orecchio, evitando di creare sensazioni di fastidio e discomfort durante l'utilizzo del casco protettivo.

Tale contesto potrebbe trovare maggiore efficacia se applicato nei veicoli dei **servizi sharing**, in cui l'utente non ha una relazione stabile con il mezzo e non richiede di portare con sé una propria attrezzatura personale. Una volta avuto accesso al servizio a noleggio, l'utente può configurare la propria esperienza d'uso prima o alla fine del percorso.



Linee guida:



Trasparenza

Il dispositivo deve affiancare la voce dell'interlocutore senza sostituirla preservando le componenti del linguaggio paraverbale come tono di voce, timbro e ritmo permettendo una migliore veicolazione del significato originale.



Naturalezza

La traduzione deve essere percepita dagli interlocutori entro una soglia massima di latenza per non alterare la percezione della conversazione senza interferirne nella fluidità.



Accessibilità

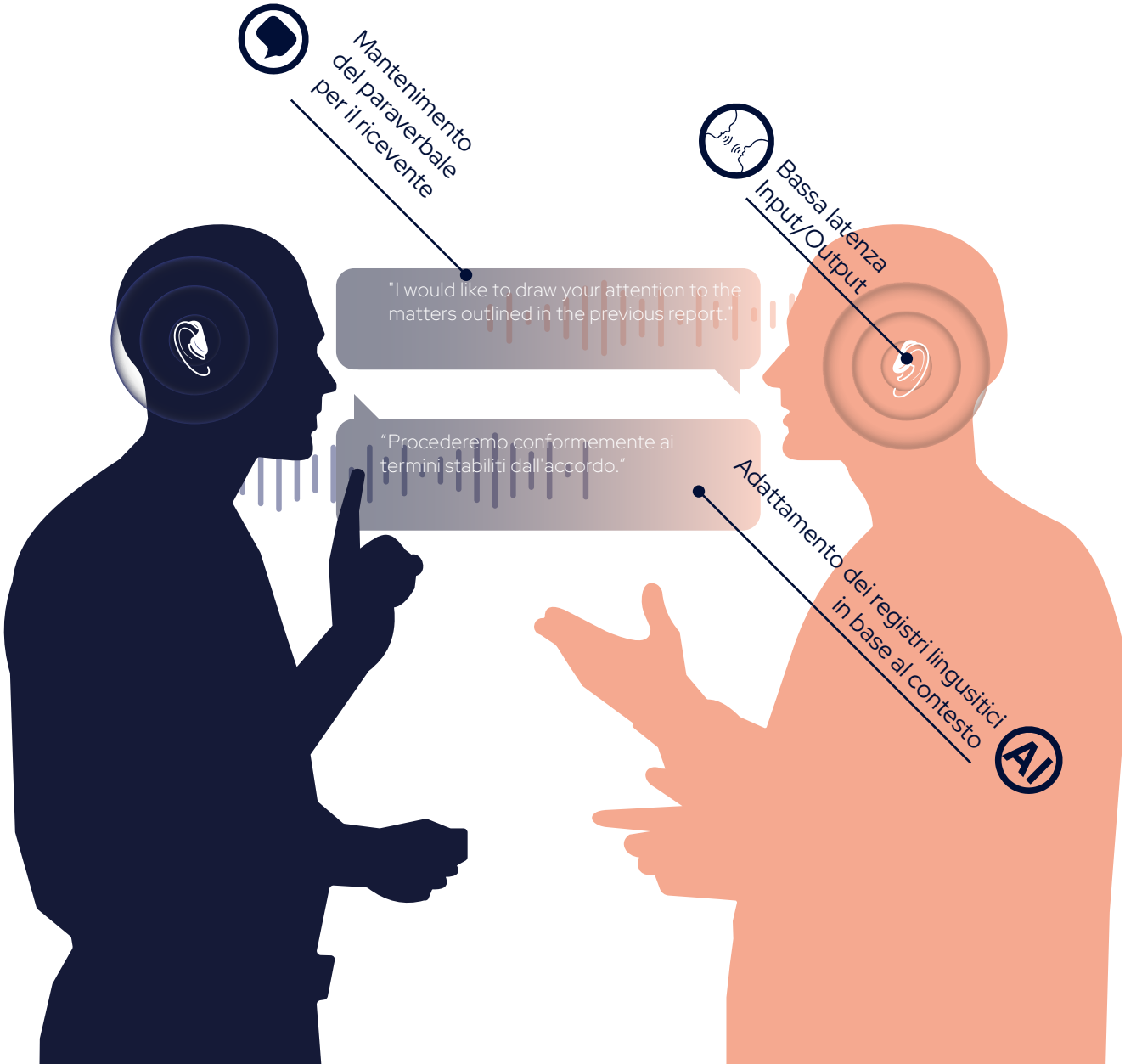
I sistemi di traduzione tendono a eccellere con le principali lingue globali mentre possono dimostrare lacune sulle lingue o dialetti minoritari.
Il dispositivo di comunicazione dovrebbe prediligere un sistema di machine learning che permetta di espandere i perimetri linguistici di questi ultimi.

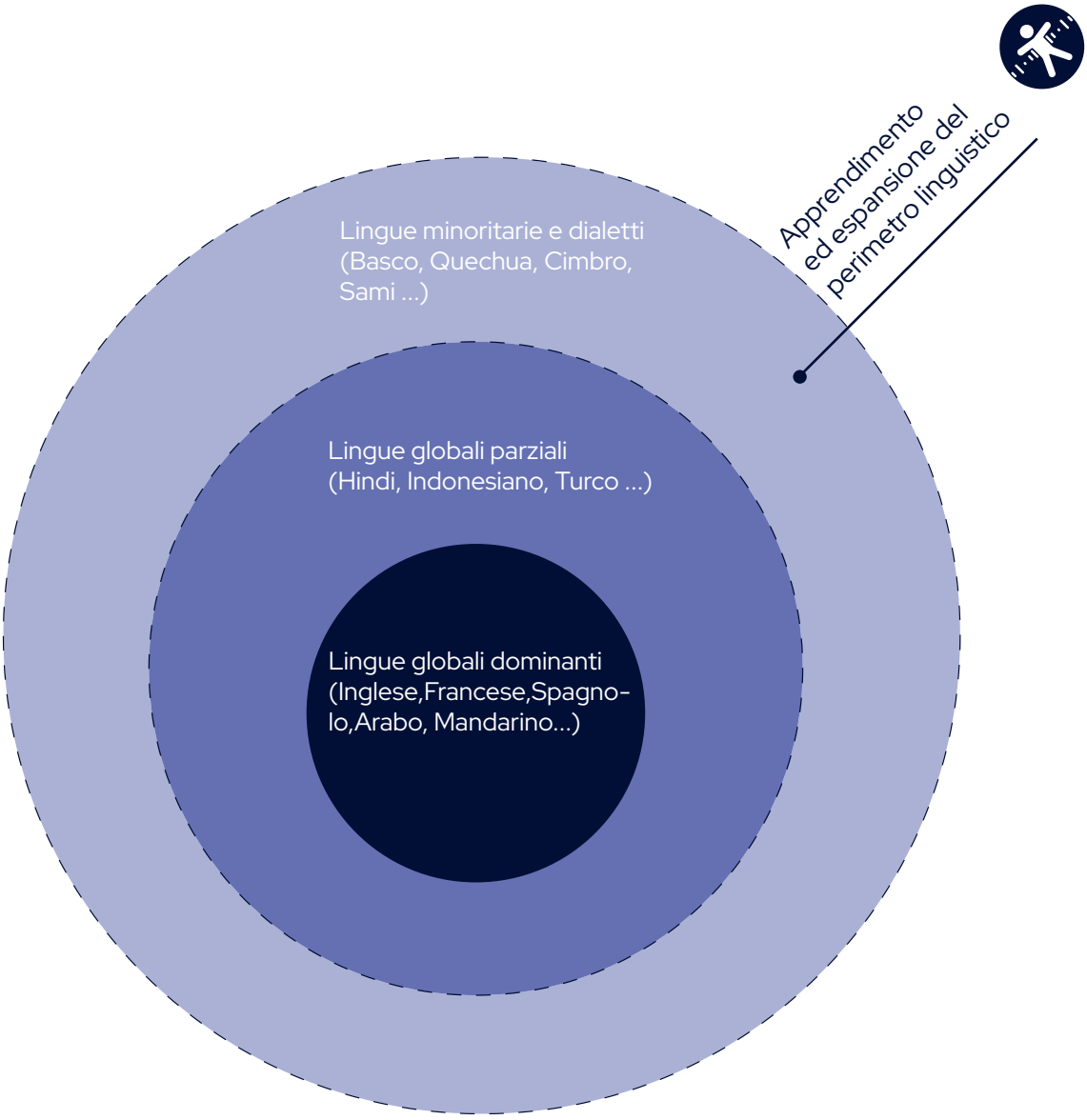


Adattività

Integrazione di modelli di Intelligenza artificiale che permetta di riconoscere i vari registri linguistici di una lingua e che adatti la sua resa traduttiva di conseguenza

Scenario applicativo: Comunicazione adattiva




Apprendimento
ed espansione del
perimetro linguistico
Lingue minoritarie e dialetti
(Basco, Quechua, Cimbro,
Sami ...)
Lingue globali parziali
(Hindi, Indonesiano, Turco ...)
Lingue globali dominanti
(Inglese,Francese,Spagno-
lo,Arabo, Mandarino...)

5.4 Open-ear nella comunicazione adattiva



La comunicazione tra persone che provengono da diverse regioni del mondo, rappresenta uno dei **limiti** più significativi della comunicazione contemporanea sia nei contesti formali che nei contesti quotidiani e turistici. Ad oggi, con la diffusione delle applicazioni di traduzione su smartphone e i servizi di interpretariato personali come google traduttore o DeepL, hanno permesso una rilevante **riduzione** della barriere linguistiche. Nonostante i diversi strumenti che la società contemporanea dispone, in essi sono ancora ben presenti elementi che non rendono la comunicazione del tutto "coinvolgente": la necessità di mediare **tramite uno schermo** e la presenza di latenze percepibili, rendono la **comunicazione passiva** e alterano la naturalezza della conversazione.

Lo sviluppo di modelli di **Intelligenza artificiale** sempre più complessi può aprire la possibilità alla creazione di modelli linguistici con **traduzioni** più articolati rispetto ai modelli attuali gestendo varianti dialettali, registri formali e informali e riferimenti culturali impliciti adattando la resa traduttiva non solo al contenuto lessicale ma anche all'intenzione comunicativa complessiva.

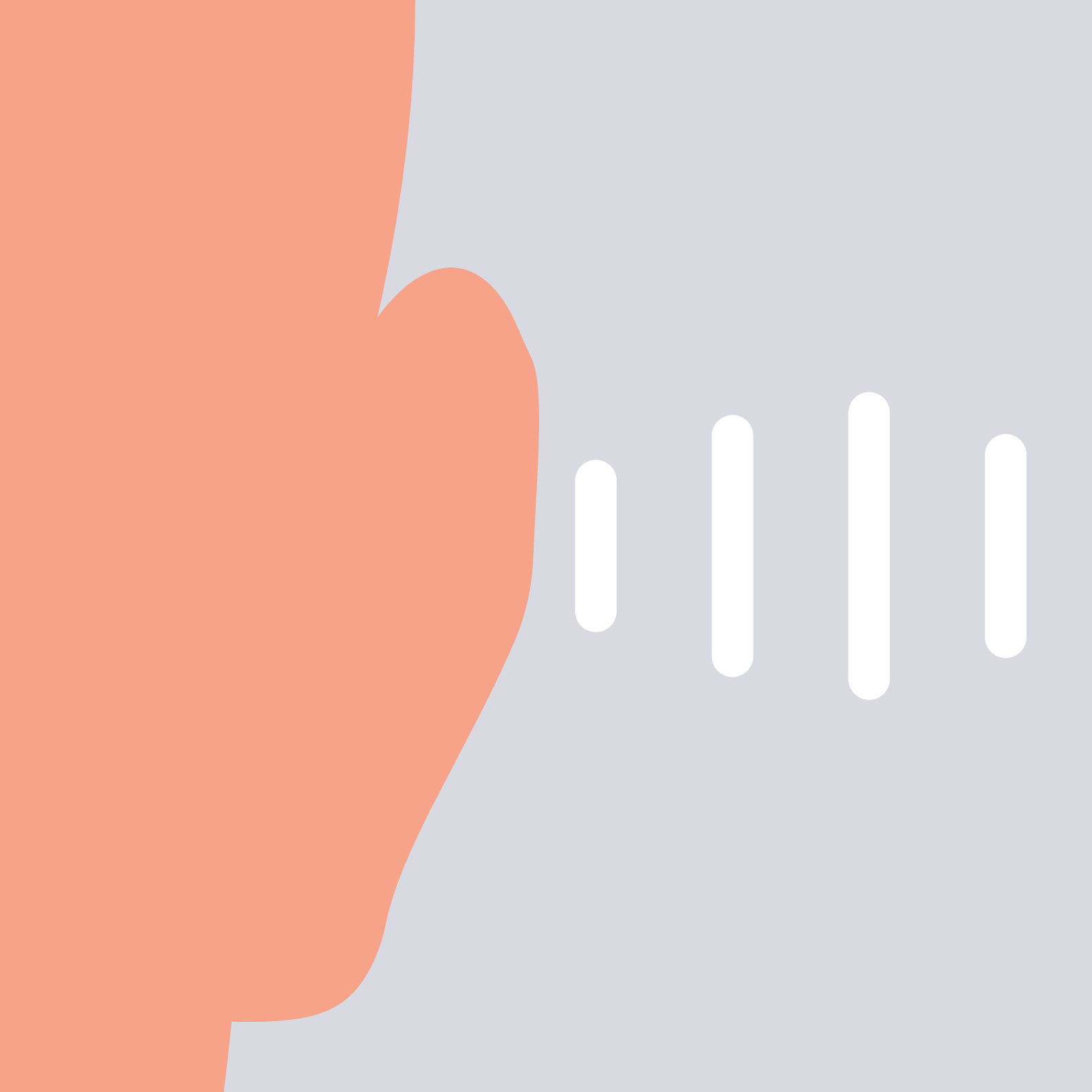
Abbinata alle tecnologie open-ear, può aprire la possibilità di un sistema di **comunicazione adattiva** che non si limiti alla sola traduzione

ma che **accompagni l'interazione** in modo quasi invisibile sia nella **forma** che nell'**esperienza** stessa. In questo scenario il dispositivo assume un ruolo di **infrastruttura relazionale** che lascia che gli interlocutori coinvolti, comunichino con fluidità fino a rendere invisibile la percezione del dispositivo.
Le implicazioni di questa tipologia di dispositivi possono riscontrare benefici in molti contesti come il **turismo** o nelle **relazioni diplomatiche** internazionali. In ambito sanitario, la presenza di tali dispositivi può portare a un impatto diretto sulla condizione psicologica del paziente in cui sovente la barriera linguistica può risultare indice di **compromissione** della qualità della **relazione terapeutica** medico-paziente e rendere meno complessa l'analisi della storia clinica da parte del medico stesso.
Un ulteriore ambito nel quale tale soluzione assumerebbe una rilevanza fondamentale è quello correlato alle grandi **organizzazioni internazionali** composte da gruppi multiculturali ed eterogenei. In questo scenario, la mitigazione delle asimetrie comunicative condurrebbe allo svantaggio dei membri che non possiedono la piena padronanza della lingua dominante, favorendo così un ambiente lavorativo più equo ed efficiente.



Capitolo 6

Coclusioni.



Riepilogando...

Nei primi tre capitoli è stato mostrato come il **rapporto tra individuo e ambiente** sonoro sia il prodotto di una **lunga stratificazione** storica che nel corso del tempo ha portato ad una trasformazione culturale, sociale e tecnologica. Dal sovraccarico sensoriale delle due rivoluzioni industriali, passando per la formulazione della teoria dei paesaggi sonori di Schafer e per le riflessioni sulla cultura dell'ascolto personale di Bull fino alla stipulazione delle prime norme ISO a riguardo, sono indice di un processo di consolidamento e dell'acquisizione di una nuova consapevolezza riguardo al ruolo che l'ambiente acustico esercita sul benessere e sull'esperienza umana. Tuttavia, solo in **tempi relativamente recenti**, si sono avviati i processi di normativizzazione volti a definire delle linee guida per la valutazione, raccolta dati e progettazione dei paesaggi sonori.

A ridosso della **lettura critica** dei casi studio, è stata restituita l'immagine di un **settore eterogeneo**, privo di normative di riferimento, nel quale non risulta esserci la possibilità, attualmente, di poter definire un andamento generale di maturazione della tecnologia.
Difatti è evidente come i diversi produttori stiano sperimentando soluzioni differenti per **bilanciare** qualità audio, consapevolezza am-

bientale e immersività d'uso. **La conduzione ossea** si conferma come la categoria tecnologica con il quale si ha raggiunto la **maturità tecnologica**, soprattutto in ambito sportivo-outdoor, ma resta **vincolata** a un profilo audio dove i valori di frequenza non risultano completamente soddisfacenti nelle basse frequenze e portando di conseguenza a una scarsa affluenza da parte dell'utenza più generalista; **la conduzione aerea** si dimostra la categoria **più prestante** sia in termini qualitativi che di esperienza d'uso generale grazie ad un processo di miniaturizzazione dei trasduttori tradizionali; **la conduzione cartilaginea**, invece, rimane all'interno di una zona di ricerca alquanto "**acerba**", in sospeso tra la **ricerca brevettuale ed esclusività industriale** della tecnologia. Per quanto riguarda il soundbeaming, dimostra di possedere potenziale per la nascita un nuovo metodo di ascolto in cui sarà possibile ascoltare privatamente senza l'obbligo di indossare un dispositivo.

Nella definizione di alcuni **contesti applicati**, è stato dimostrato, in particolare nei casi della mobilità collettiva e del trasporto privato che l'integrazione dei sistemi open-ear siano in grado di **ridefinire la bolla sonora** da spazio **individuale** ed **esclusivo** a un **costrutto relazionale**: non è più un'unica grande bolla

che isola il singolo passeggiero, ma un insieme di bolle sonore permeabili, capaci di **coesistere** e di **comunicare** tra loro all'interno dello stesso spazio. Analogamente, le ipotesi avanzate per la micromobilità e per il trasporto privato, conducono le nuove tecnologie di trasmissione non occlusiva nel raggiungere e soddisfare i requisiti di sicurezza oltre che ad essere un elemento di comfort che influenzi in modo significativo l'esperienza d'uso dell'utente. Tuttavia, la presenza di varie soluzioni eterogenee potrebbe dimostrarsi come una **garanzia progettuale** al fine di una **ricerca adattiva** tra privacy d'ascolto e mantenimento della consapevolezza circostante in base al contesto progettuale.

Tra le proposte metaprogettuali mostrate in precedenza, reputo personalmente che il **settore del trasporto privato** si dimostrerebbe **il più promettente** per uno sviluppo concreto nel breve e nel medio termine, se non addirittura già una realtà in fase di consolidamento in contesti geografici come quello asiatico. Difatti come visto anche dalle analisi di Bull, il guidatore mostra sempre un'esigenza inconscia nel cercare forme di controllo e di selezione degli stimoli sonori all'interno dell'abitacolo stesso. In tale contesto, risulta spontaneo ipotizzare una sostanziale differenza nell' approccio alla **ricerca tecnologica** tra i prin-

cipali attori del **mercato automobilistico** occidentale con quelli asiatici. Questi ultimi mostrano una maggiore propensione nell' **adottare soluzioni tecnologiche** fortemente innovative introducendo **nuove** modalità di **interazione** tra l'utente e il veicolo. Sebbene molte di queste tecnologie non dimostrano eccellenti prestazioni, la loro implementazione riflette la volontà dei competitor asiatici di **ottenere il primato** nel **ridefinire l'esperienza di guida** attraverso l'integrazione di sistemi avanzati di comunicazione e intrattenimento.
Al contrario, i competitor occidentali tendono a privilegiare **soluzioni** maggiormente **consolidate** e più affidabili che garantiscono di rispecchiare i valori di eccellenza, identità e qualità del marchio. Ciò non significa una repulsione totale delle nuove tecnologie, ma una diversa interpretazione dell'innovazione adottandola in maniera più **graduale**, e introdurli a pieno regime fino a che non vengono soddisfatti gli **standard qualitativi** tali che rispecchino le aspettative dei consumatori e i valori dell'azienda stessa.

Alla luce di quanto riportato nei vari capitoli della tesi, è possibile affermare che le tecnologie open-ear e la loro incrementale diffusione, rappresentino una **evoluzione** del concetto di **privatezza acustica** individuale in cui la bolla sonora diventa progressivamente più permeabile, selettiva, negoziabile, integrandosi nello spazio. Tuttavia, il lavoro di ricerca ha presentato alcune **limitazioni** da segnalare come **l'assenza** di una normativa tecnica condivisa per la progettazione delle tecnologie open- ear, rendendo **difficile** una **valutazione univoca** delle prestazioni dei diversi prodotti, e una scarsità di letteratura disponibile su alcune tecnologie quali la conduzione cartilaginea e il soundbeaming che ha limitato la profondità dell'analisi dedicata a queste specifiche categorie.

Tali limiti possono suggerire di ipotizzare altrettante direzioni per la ricerca futura: sul piano tecnologico l'evoluzione dell'**intelligenza artificiale** come strumento di mediazione contestuale, potrà permettere di **modulare** in tempo reale il grado di permeabilità sonora in base all'ambiente, all'attività e allo stato dell'utente.

In definitiva, l'ascolto open-ear sembra preludere a un **cambiamento** più profondo del rapporto tra **individuo** e **paesaggio**: dopo quasi due secoli di oppressione e di reclusione dalla

congestione di suoni che stava portando dietro con sé il progresso tecnico industriale, per la prima volta è visibile una concreta **inversione di tendenza**: l'essere umano sta riuscendo a riappropriarsi di uno spazio sonoro che si sente proprio senza dover rinunciare all'esterno, senza doversi più affidare in maniera del tutto esclusiva alla sfera privata, tenendo insieme finalmente, il bisogno di intimità sonora e quello, altrettanto umano, di rimanere in ascolto con il mondo che ci circonda.

Da queste considerazioni, concludiamo questa tesi augurando che con questo lavoro sia solo il punto di partenza per futuri approfondimenti progettuali, di un settore che è ancora in fase di sviluppo come quello dell'open-ear, esplorando più nel dettaglio anche i vari aspetti tecnici, ergonomici ed esperienziali, nella speranza che in futuro possa contribuire allo sviluppo di tali innovazioni entrando a far parte di piccole o grandi realtà industriali di ogni tipo che si impegnano nel trasformare il suono non solo nell' esperienza d'uso ma di plasmare una visione di come l'essere umano possa vivere il suono.

BIBLIOGRAFIA

Brånemark, P; Hansson, B; Adell, R; Breine, U; Lindström, J; Hallén, O; Ohman, A (1977). Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery. Supplementum

Bull, M. (2015). Sound Moves: iPod Culture and Urban Experience

Chen, C. (2026, 10 Feb). Open-ear headphones move beyond form-factor differentiation [PDF]

De Silva, Chathurthi S. (2021) "Private sound environments in public space: Use of headphones in public parks and public transit". Dissertations. 1514.

Grew.S Come è nato il linguaggio. https://www.iltascabile.com/scienze/linguaggio-collaborativo-sverker-johansson/

Hosoi, A. , Nishimura, T., Shimokura, R., Kitahara, T., (2019) Cartilage conduction as the third pathway for sound transmission https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038581461830943X

Howard, D., Angus, J., (2008) Acoustic and psychoacoustic fourth edition, Elsevier Ltd.

International Organization for Standardization. Definition and conceptual framework (2014) (ISO12913 1:2014). ISO.

Kachhadiya, P. (2023). Bone Conduction Technology: Revolutionizing Sound Transmission and Applications in Hearing Impairments Limitations Compared to Traditional Hearing Aids. ReasearchGate. https://www.researchgate.net/publication/369328124_Title_Bone_Conduction_Technology_Revolutionizing_Sound_Transmission_and_Applications_in_Hearing_Impairments_Limitations_Compared_to_Traditional_Hearing_Aids

Kang, K. (2023). Soundscape in city and built environment: current developments and design potential. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9833864/

Kettler, L., Carr C.E. (2019). Neuroethology of Sound Localization in Birds. Encyclopedia of Animal Behavior https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/interaural-time-difference

Levitin, J. Daniel. (2006). This Is Your Brain on Music. Dutton.

Martinez, A., (2021, 20 Aprile). The Evolution of the Baha system 1977-2021.Cochlear.https://hearandnow.cochlear.com/hearing-solutions/bone-conduction/evolution-of-baha/

Mudry, A., Tjellström, (2011) A.Historical Background of Bone Conduction Hearing Devices and Bone Conduction Hearing Aids. https://www.researchgate.net/publication/50351748_Historical_Background_of_Bone_Conduction_Hearing_Devices_and_Bone_Conduction_Hearing_Aids

Pierce, J., (1987) La scienza del suono. Zanichelli Editore.

Roederer, J., G., (2008) The Physics and Psychophysics of Music An Introduction, Springer.

Schafer, R. M., (1994). Our Sonic Environment and the soundscape the Tuning of the world. Destiny Books.

Tollin, D.J. (2008). Encoding of Interaural Level Differences for Sound Localization, The Senses: A Comprehensive Reference https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/interaural-time-difference

Zhong, X. (2015). Dynamic Spatial Hearing by Human and Robot Listeners, Arizona State University https://www.sciencedirect.com/topics

SITOGRAFIA

https://www.audio-technica.com/en-eu/headphones/type/wireless/ath-cc500bt2

https://www.bose.com/stories/what-are-open-ear-headphones?srsltid=AfmBOorMytksjT-QECJslkgAbD-W2GAJbQ4gFu_1OLPUJ1xPyhd6nsvGc

https://global.bose.com/content/consumer_electronics/b2c/europe/

https://fashion.sustainability-directory.com/term/psychoacoustic-design-principles

Open-ear Headphones Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Types (Wired, Wireless), By Applications (Running, Workout, Others) , and Regional Insights and Forecast to 2035 https://www.globalgrowthinsights.com/market-reports/open-ear-headphones-market-122625

https://it.nothing.tech/products/ear-open?srsltid=AfmBOorXd-mgLw_DztC3-OIf1JAFeZCU-I1HCFP8D8UJ3ucpK2SPnHb3D&Colore=White

https://www.noveto.com

https://www.nuanceaudio.com/en-int/c/hearing-eyewear

https://it.shokz.com/products/openrun-pro2

https://it.shokz.com/products/openswim-pro?variant=48878349746460

Fonti: https://www.sony.it/electronics/true-wireless/wf-l900#product_details_default

https://www.soundguys.com/bose-ultra-open-earbuds-review-113271/

«Rumóre - Significato ed etimologia - Vocabolario». Treccani, https://www.treccani.it/vocabolario/rumore/.

https://staticmy.zanichelli.it/catalogo/assets/9788808634733_04_CAP.pdf