



INFORMATICA MUSICALE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2018/19
Prof. Filippo L.M. Milotta

ID PROGETTO: 19

TITOLO PROGETTO: Dal walkman alle airpods: wired vs wireless

AUTORE 1: Montalto Marika

AUTORE 2: Quartarone Simone

Indice

1. Obiettivi del progetto	2
2. Riferimenti Bibliografici	11
3. Argomenti Teorici Trattati	12

1. Obiettivi del progetto

1.1 Una breve storia delle cuffie

Fine XIX secolo. Gli operatori ai centralini iniziano a utilizzare le cuffie con jack da 6,35 millimetri per rispondere e indirizzare le chiamate.

1891. L'ingegnere francese **Ernest Jules Pierre Mercadier** ottiene un brevetto americano per degli auricolari da utilizzare come ricevitori telefonici.

1910. L'ingegnere elettrotecnico **Nathaniel Baldwin** sviluppa delle cuffie all'interno della sua cucina. La marina militare americana le ha poi comprate per l'ottima qualità del suono.

1957. **Willard Meeker**, un ingegnere che lavorava alla Radio Corporation of America, crea delle cuffie capaci di ridurre il rumore, dimostrando così che le innovazioni tecnologiche provenienti dall'industria aerospaziale potevano essere utilizzate in un settore di più ampio consumo.

1958. Il musicista e audiofilo **John Koss**, che fondò la Koss Corporation, sviluppa e mette in commercio le prime cuffie stereo dopo aver ascoltato della musica con cuffie in dotazione all'esercito. Egli inoltre inventò un fonografo che incorporava cassa acustica e jack per cuffie.

1964. Sony mette in commercio la sua radio EFM-117J, dotata di connettore da 3,5 mm.

1979. Sony rilascia il suo primo **Walkman stereo**, il "TPS-L2", accrescendo a dismisura la diffusione delle cuffie. Il Walkman vide il primo utilizzo su larga scala della presa per jack da 3,5 mm. Il corpo del dispositivo era di colore blu metallizzato per richiamare la moda dei blue jeans; questa scelta ha segnato un cambiamento nell'approccio al design dei prodotti di Sony, sempre più casual e in linea con le tendenze del momento

1997. L'inventore olandese **Jaap Haartsen** realizza una delle prime ricerche sulla tecnologia wireless Bluetooth e ottiene un brevetto importante.

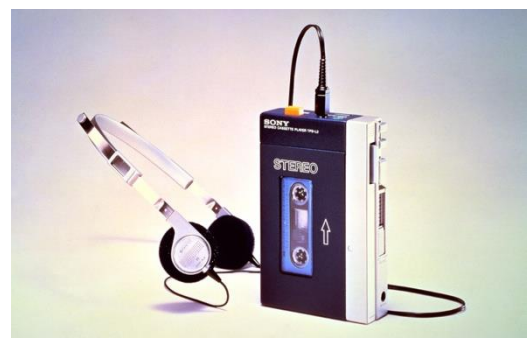
1999. La **Ericsson** lancia in commercio la tecnologia **Bluetooth**, che permette lo scambio di dati a breve distanza tramite onde radio.

2008. Sony svela le prime cuffie con cancellazione del rumore al 99%, le MDR-NC500D, capaci di ridurre rumori esterni come il rombo di un aereo.

7 settembre 2016. Apple rimuove il tradizionale jack audio. Chi compra l'iPhone 7 dovrà servirsi della porta Lightning oppure utilizzare un paio di auricolari wireless chiamati **Apple AirPods**, al prezzo di 159 dollari.

1.2 Il walkman

Il **Walkman** originariamente era un lettore di musicassette creato da Akio Morita, Masaru Ibuka e Kozo Ohsoe, e prodotto dalla Sony. Il primo Sony Walkman è stato venduto il 1° luglio del 1979. Gradualmente il Walkman di Sony si diffonde in modo tanto capillare che, nel linguaggio comune, il termine *Walkman* rappresenterà qualsiasi lettore di audiocassette portatile, anche se non prodotto dalla Sony.



Una **musicassetta** (abbreviato MC, conosciuta anche come audiocassetta, cassetta a nastro, cassetta audio o semplicemente cassetta) è un dispositivo a memoria magnetica, che memorizza dati ed informazioni in sequenza su nastro magnetico.

È composta da due bobine, racchiuse in un contenitore di materiale plastico, che raccolgono il nastro magnetico utilizzabile su ambo i lati (generalmente identificati come lato "A" e lato "B") per registrare o riprodurre materiale sonoro.

Erano disponibili in commercio cassette per registrazione di diversa durata (come ad esempio da 46, 60, 90 e 120 minuti) che utilizzavano quattro tipi di nastro. Per ottenere l'alta fedeltà si è sperimentato sulla composizione del nastro magnetico; il diossido di Cromo (CrO_2) è stata la prima soluzione, ma richiedeva speciali aggiustamenti da parte dei riproduttori di cassette, oltre a un interruttore per selezionare il tipo di nastro. Diverse case produttrici tra il 1970 e la metà degli anni 90 commercializzarono cassette ed erano suddivise, in ordine di qualità di resa e di prezzo, secondo quattro tipi unificati di nastro:

- **IEC I - ossido di ferro (tipo I - FeO_2)**
è quello più economico e dalle caratteristiche meno performanti, ma rimane comunque più versatile, essendo adatto a tutti gli usi; è un nastro con un basso rapporto segnale-rumore e una buona modulazione sia dei toni alti che di quelli bassi.
- **IEC II - biossido di cromo (tipo II - CrO_2)**
Venne introdotto nel 1970 allo scopo di garantire una migliore qualità del suono registrato. Rispetto al tipo I si ha una migliore modulazione degli acuti, ma è più carente sui toni bassi. Risulta particolarmente indicato per la registrazione da fonti digitali come cd ed mp3.
- **IEC III - ferrocromo (tipo III - Fe / Cr)**
Fu introdotto negli anni settanta per unire i vantaggi dei tipi I e II, ma non apportando migliorie significative fu presto soppiantato dal tipo IV.
- **IEC IV - ferro puro (tipo IV - "Metal")**
Introdotto nel 1979, è dotato di una ottima modulazione degli acuti. Si trattava del nastro più costoso, oltre che più performante. È stato prodotto fino agli anni novanta, ma è comunque ancora ricercato tra gli appassionati di musica su nastro per le sue qualità.

1.2.1 Funzionamento

Il nastro viene raccolto su due bobine; rispetto al lato che si ascolta, la bobina di destra è dedicata al riavvolgimento del nastro, mentre quella di sinistra contiene il nastro da svolgere. Il nastro è saldamente attaccato alle due bobine tramite appositi spinotti di fissaggio, che garantiscono che il nastro non si distacchi in caso di avvolgimento veloce o di trazione prolungata dopo la terminazione del nastro. Generalmente, per non danneggiare le parti di nastro che si trovano alle estremità (e per sfruttare pienamente la superficie registrabile), il nastro non è direttamente attaccato alle bobine, ma possiede dei brevi prolungamenti di plastica connessi a loro volta alle bobine.

Una volta che la musicassetta viene inserita in un lettore, il nastro viene fatto scorrere su di una testina, la quale viene a contatto con il nastro grazie a un'apertura centrale sul lato inferiore della cassetta. La testina riceve il segnale magnetico impresso sul nastro e lo converte in un segnale elettrico che dà origine al suono.

Il trascinamento avviene a una velocità costante di 4,76 cm/s (1 + 7/8 pollici al secondo), grazie alla rotazione di un piedino metallico, denominato capstan, che viene a contatto con il nastro grazie a un foro trasversale in cui il capstan va ad entrare.

Il nastro, generalmente, possiede quattro piste longitudinali in cui viene registrato il suono, due per lato; per ciascuna facciata, abbiamo una pista per il canale sinistro ed una per il canale destro (che si fondono in un'unica pista per le registrazioni monofoniche).

1.3 Gli auricolari e il protocollo bluetooth

Le cuffie, inventate nel 1910 da Nathaniel Baldwin, sono un dispositivo che permette ad un singolo di ascoltare la fonte audio alla quale sono collegati. Esse possono essere monocassa o bicassa, permettendo così l'ascolto stereofonico. Su ogni cuffia è presente una lettera, L (left) o R (right), per indicare il corrispettivo orecchio.

Generalmente per **cuffia** s'intende un dispositivo munito di grandi casse, solitamente con imbottitura, insonorizzante, unite tra loro tramite un supporto rigido. Le



casce esterne garantiscono una migliore resa del suono, sia grazie alla maggior dimensione della cassa stessa che all'insonorizzazione passiva attuata dalla copertura esterna.

Per **auricolari** s'intendono invece i dispositivi che si appoggiano nella conca del padiglione auricolare, precisamente tra targo e antitargo. Un accorgimento che può essere presente è il perimetro gommato o il rivestimento poroso rimovibile, che permettono una migliore adesione. Questa categoria di cuffietta però, pur garantendo una leggerezza e portabilità elevata, non permette un'insonorizzazione ottimale negli ambienti rumorosi.

Mentre per **auricolare in ear** ci si riferisce ai dispositivi che s'introducono nel condotto uditivo esterno e che vengono sorretti dallo stesso, quindi non richiedono supporti accessori o ne hanno di molto ridotti. Questa tipologia permette d'ottenere i vantaggi di portabilità e leggerezza delle cuffiette auricolari e l'insonorizzazione passiva delle cuffie esterne.

Gli auricolari possono funzionare secondo diversi metodi di trasmissione del suono:

- *Aereo* sistema più diffuso, dove la conduzione del suono avviene tramite la variazione di pressione dell'aria.
- *Osseo* la conduzione avviene tramite la via ossea.

Il collegamento degli auricolari può essere di vario genere:

- *Cablata*, soluzione che permette una struttura più semplice dell'auricolare.
- *Senza fili*, gli auricolari sono collegati con varie tecnologie senza fili al dispositivo che genera o trasmette la musica agli auricolari.
 - *Collegate tra loro*, gli auricolari sono connessi tra loro
 - *Completamente senza fili*, gli auricolari sono completamente senza fili.

1.3.1 Closeup sui componenti

La guarnizione attorno ai padiglioni delle prime versioni dello storico modello **PRO-4** dinamico erano costituite da una camera d'aria in materiale plastico flessibile, riempita al suo interno di olio.

Per ottenere buona qualità del suono riprodotto al pari dei diffusori, i padiglioni devono avere massima rigidità e insensibilità alle vibrazioni: per garantire ciò solitamente sono realizzati in resine plastiche ad alta densità.

Ad esempio nel 1989 la Sony mise in commercio un modello ad alte prestazioni (MDR-R10) il quale aveva i padiglioni realizzati con un legno particolare, stagionato 200 anni, ad un prezzo sul mercato italiano di 5 milioni di lire.

L'altoparlante, parte fondamentale di qualsiasi tipo di auricolari, è un attuatore che converte un segnale elettrico in onde sonore. Si può quindi definire un trasduttore elettroacustico. Il suono in sostanza è generato da una serie di compressioni e rarefazioni dell'aria, compito dell'altoparlante è generare tali compressioni e rarefazioni nell'ambiente d'ascolto.

Ne esistono vari tipi che impiegano differenti tecnologie:

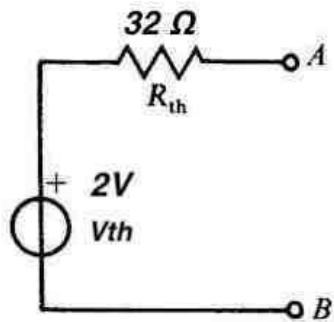
- **Magnetodinamici**: un magnete permanente genera un campo magnetico nel quale è immersa una bobina mobile, direttamente collegata alla membrana dell'altoparlante; ad essa viene applicato un segnale elettrico, opportunamente amplificato, il quale, grazie alla Forza di Lorentz la fa muovere permettendo alla membrana, la cui forma più diffusa è conformata a cono, di comprimere l'aria circostante e quindi di produrre un'onda sonora.
- **Elettrostatici**: usano un campo elettrico invece di un campo magnetico (concettualmente si può pensare ad un condensatore in cui un'armatura non è fissa ma con una possibilità di movimento: quando sulle armature è presente una carica con la stessa polarità queste si respingono e quindi si allontanano, nel caso contrario si attirano e si avvicinano).

Alcuni modelli di cuffie incorporano nei padiglioni piccoli potenziometri per permettere la regolazione del volume audio.

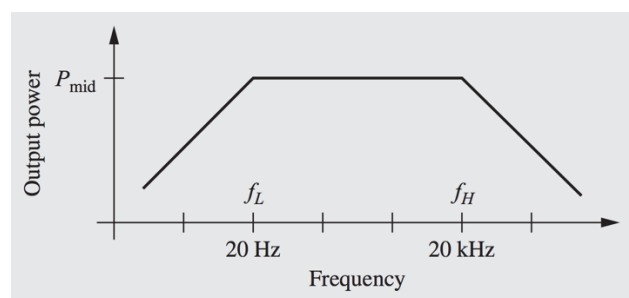
1.3.2 Modellizzazione delle cuffie

È possibile modellizzare le cuffie sotto forma di circuito equivalente di Thévenin in cui la resistenza R_{th} è intesa come utilizzatore del circuito di amplificazione (il device che sta materialmente riproducendo la musica).

Prendendo come esempio l'ipod Apple il circuito di Thévenin equivalente alle cuffie avrà una $V_{th}=2V$ e una $R_{th}=32\ \Omega$ e l'output è disegnato per generare una potenza di circa 15mW su ogni canale delle cuffie.



La potenza in uscita è approssimativamente costante nel range di frequenze tra 20Hz e 20kHz, frequenze percepite dall'orecchio. A frequenze maggiori della frequenza di taglio superiore (f_H) e minori di quella di taglio inferiore (f_L) la potenza sul carico si riduce di 3dB. Si sfrutta perciò la banda passante del segnale per utilizzare in regime lineare l'amplificatore e modellarlo come ideale.



Le distorsioni dell'amplificatore del device, che in questo modello vengono ignorate, sono molto importanti per poi determinare la qualità dell'audio riprodotto dalle cuffie.

Un sistema audio dovrebbe avere una specifica per la THD, distorsione armonica totale, minore dello 0,1% a piena potenza.

1.3.3 Auricolari senza fili

In questi casi il sistema è costituito da un trasmettitore collegato all'apparecchio riproduttore che trasmette il segnale al ricevitore integrato nella cuffia. La necessità di alimentare sia il circuito di ricezione che gli auricolari (venendo a mancare il cavo) introduce il problema dell'autonomia limitata nel tempo, ed il conseguente bisogno di ricarica.

Esistono diverse tipologie di cuffia ad alta fedeltà. Le due principali tecnologie impiegate per la costruzione di cuffie sono:

- **Magnetodinamica:** esattamente come per le cuffie standard è costituita da una coppia di altoparlanti del tutto simili a quelli utilizzati nei diffusori audio, ma di ridotte dimensioni.

Lo spessore del diaframma di emissione di alcuni modelli di cuffie Stax, storico costruttore giapponese di questa tipologia, è di soli 1,35 μm .

Questa caratteristica permette un'estensione molto ampia in frequenza, dichiarata da 6 Hz a oltre 40 kHz; in alcuni modelli di altri produttori, il limite superiore di frequenza dichiarato supera i 100 kHz.

- **Elettrostatica:** è di costruzione più complessa e per funzionare ha bisogno di una tensione ausiliaria, fornita da un circuito alimentatore, integrato normalmente all'interno del proprio preamplificatore dedicato. Una cuffia elettrostatica ha bisogno di un piccolo apparecchio in più; essa presenta una risposta in frequenza più lineare rispetto ad una cuffia dinamica, ma, di solito, è anche più costosa e delicata.

Per quanto riguarda le moderne cuffie bluetooth, all'interno si possono notare altri componenti oltre quelli standard dei comuni auricolari. Alcuni di essi sono:



- Un supercapacitore, spesso agli ioni di litio, che funge da batteria ricaricabile
- Un chip bluetooth

- Dei circuiti che si occupano dell'amplificazione e la gestione del segnale (spesso mancanti nelle cuffie con filo)

1.3.4 Il protocollo Bluetooth

Il Bluetooth, standard IEEE 802.15, dall'inglese "dente blu", è un protocollo di trasmissione dati sviluppato dalla Ericsson e in seguito formalizzato dalla *Bluetooth Special Interest Group* (SIG). La SIG, la cui costituzione è stata formalmente annunciata il 20 maggio 1999, è un'associazione formata da Ericsson, Sony, IBM, Intel, Toshiba, Nokia e altre società minori che ha il compito di pubblicare le specifiche dello standard, di proteggere il marchio ed evangelizzare sulla tecnologia. Inoltre ha il compito di concedere in licenza il marchio ai costruttori che ne fanno richiesta e che incorporano la tecnologia nei propri prodotti.

Il nome è la storpiatura inglese del nome Blåtand (dente blu in antico danese), soprannome di Harald I re di Danimarca che ebbe il merito di essere il primo ad unificare politicamente e religiosamente la

Danimarca. Il logo dello standard è infatti formato dalle rune nordiche  (Hagall) e  (Berknan), analoghe alle moderne H e B.



Forse si voleva intendere che lo standard bluetooth avrebbe unificato dispositivi differenti tra di loro e in effetti, così è stato.

Inizialmente, furono proprio i produttori di telefonino e auricolari a pensare allo sviluppo di questa tecnologia. L'idea iniziale era quella di permettere lo scambio di trasmissioni vocali semplici. E lo standard doveva permettere di collegare il proprio PC a periferiche come stampanti, tastiere, telefoni, microfoni, senza usare fili o cavi.

Permette di creare la cosiddetta rete personale, senza fili e a basso consumo energetico, detta **WPAN** Personal Area Network.

Il protocollo Bluetooth opera nella banda della frequenza medica scientifica, a 2,4 gigahertz, per ridurre eventuali interferenze radio. Esso trasmette utilizzando i time division multiplexing con slot di tempo di 625 microsecondi. In ogni slot si può trasmettere su uno tra 79 canali, cambiando il canale in modo pseudocasuale ad ogni slot (frequency hopping).

In generale, un apparecchio Bluetooth può gestire la comunicazione con altri 7 dispositivi ma solo un dispositivo online per volta può comunicare col master.

Per comunicare i dispositivi devono riconoscersi. Uno dei dispositivi si rende master mentre gli altri si rendono individuabili in modalità di attesa. La connessione vera e propria avviene quando si rende noto l'indirizzo dell'altro dispositivo. E quindi rispettare il processo di accoppiamento che si svolge tramite lo scambio di una chiave segreta condivisa.

Per le comunicazioni multimediali si utilizzano vari codec, programmi o dispositivi che si occupano di codificare e/o decodificare digitalmente un segnale perché possa essere salvato su un supporto di memorizzazione o richiamato per la sua lettura. Nel caso delle comunicazioni audio il codec base è SBC, ma nel caso di profilo distribuzione audio avanzato è possibile utilizzare il codec MPEG-1, il codec MPEG-2 / AAC, inoltre per alcune periferiche ad alte prestazioni e di particolari marchi detentrici di specifici brevetti è possibile utilizzare LDAC.

1.4 Curiosi fenomeni legati all'acustica

1.4.1 Il riflesso acustico

Il **riflesso stapediale** (o riflesso di smorzamento) è la contrazione bilaterale, involontaria, del muscolo stapedio (muscolo della staffa), dovuta ad eccessiva stimolazione dell'orecchio interno. Ha funzione protettiva verso le componenti dell'orecchio interno nonché di estensione del campo uditivo e di miglioramento della capacità discriminativa nel rumore.

Il muscolo stapedio è il più piccolo muscolo striato del corpo umano: lungo 8 mm, fuoriesce dall'eminanza piramidale della parete posteriore della cassa timpanica. È innervato dal VII nervo cranico. Si inserisce al collo della staffa e contraendosi trae quest'ultima fuori dalla finestra ovale, riducendo la pressione sui liquidi labirintici. Tuttavia, il riflesso acustico, per quanto veloce, non è una reazione istantanea. Per basse frequenze c'è bisogno di circa 20/40 ms perché si possa avere tale reazione ed è per questo che questa non offre protezione contro suoni molto forti ed impulsivi come esplosioni e colpi di pistola.

1.4.2 Fenomeno dei Battimenti

Nella teoria musicale, in fisica e particolarmente in acustica il **battimento** è la frequenza risultante dalla sovrapposizione di grandezze periodiche, in genere oscillazioni sinusoidali di diversa e vicina frequenza. Si basa sulle proprietà del principio di sovrapposizione. Oltre ai campi citati, tutti i fenomeni fisici che prevedono onde risentono del fenomeno del battimento, onde meccaniche ed onde elettromagnetiche comprese; battimenti si verificano, tra l'altro, in materia di elaborazione dei segnali, quando due frequenze di segnale si trovano vicine le une alle altre.

Interessante è il comportamento dell'apparato uditivo una volta esposto al fenomeno dei battimenti. L'orecchio interno è un sistema continuo costituito da una membrana basilare che si comporta come un complesso filtro passa-basso per separare le diverse frequenze. Quando una o entrambe le orecchie sono esposte ad un suono composto da due toni a frequenze poco distanti, le cellule ciliate presenti sulla membrana basilare in due aree contigue vengono stimulate, non permettendo così di distinguere in modo preciso i due toni che di fatto risultano sovrapposti.

1.4.3 Stereofonia

La stereofonia, abbreviata in stereo, è una tecnica di riproduzione/registrazione del suono che prevede molteplici flussi informativi sonori ognuno dei quali destinato ad essere riprodotto da un diverso diffusore acustico posizionato nell'ambiente d'ascolto diversamente rispetto a tutti gli altri secondo regole prestabilite.

Proprio perché prevede molteplici flussi informativi sonori, la stereofonia si contrappone alla monofonia che prevede invece un unico flusso informativo sonoro.

La stereofonia è una tecnica di riproduzione del suono che si basa sull'attitudine dell'udito umano (e non solo) a distinguere la provenienza dei suoni. Grazie alla presenza di due sistemi auditivi paralleli (due padiglioni auricolari, due timpani e due emisferi cerebrali) possiamo capire quale è la provenienza di un suono o di un rumore, attitudine molto importante sul piano dell'adattamento all'ambiente. Ecco perché l'ascolto della musica dal vivo comporta un senso di pienezza spaziale, proprio perché abbiamo completa rivelazione della posizione relativa di ogni singolo strumento musicale.

1.5 Wired vs Wireless

1.5.1 Auricolari: indici di qualità generale

Esistono quattro parametri principali da prendere in considerazione per valutare la qualità delle cuffie.

- Il **primo parametro** è la risposta in frequenza, ossia la gamma di frequenze che la cuffia è in grado di riprodurre. La Risposta in frequenza viene, di solito, espressa in Hz (o in multipli di Hz). Una buona cuffia deve poter offrire la possibilità di ascoltare tutti i suoni percepibili dall'orecchio umano. L'intervallo di suoni teoricamente percepibile dall'uomo va dai 18 Hz ai 22 000 Hz. Si parla, in questo caso, di "percezione teorica" perché, in realtà, solo un "orecchio" ben allenato, "sano" e giovane riesce a percepire tutti i suoni compresi in questa gamma dinamica: generalmente, invece, un orecchio medio percepisce una gamma di frequenze compresa tra i 20 Hz ed i 20 000 Hz. Pertanto, una buona cuffia dovrebbe avere una Risposta in frequenza di almeno 20 - 22 000 Hz (se risulta inferiore significa che verrebbero "tagliati" o perlomeno fortemente attenuati i suoni con frequenza molto bassa e quelli con frequenza molto alta, pertanto la cuffia non riprodurrebbe fedelmente il brano musicale), ancora meglio se la risposta in frequenza è pari a 18 - 22 000 Hz. Risposte in frequenza più ampie, anche se non sono percepite normalmente da un orecchio

umano non allenato, indicano comunque una migliore qualità della cuffia, e una migliore risposta sulla gamma 18-22.000 Hz.

- Il **secondo parametro**, strettamente legato al primo, è la linearità in frequenza, ovvero quanto sia costante il livello di suono emesso, spaziando tra i due estremi di frequenza dichiarati, ottenere la linearità assoluta non è tecnicamente possibile, in qualche punto nell'intervallo di frequenza dichiarato si avranno delle esaltazioni o attenuazioni del segnale riprodotto, lo scostamento medio rispetto ad un segnale di riferimento è espresso in dB, minore è il valore, migliore risulta la linearità della cuffia. Questo dato, sempre fornito allegato agli amplificatori, non sempre viene fornito dai produttori di cuffie, il miglior modo di rappresentarlo è fornirlo sotto forma di grafico, come avviene per gli amplificatori.
- Il **terzo parametro** è la sensibilità, ovvero quanta pressione acustica espressa in dB riesce a fornire, dato un preciso valore di tensione applicato. Questo dato indica il massimo livello di suono riproducibile fedelmente. Più il valore in dB è elevato (più è alta la Sensibilità), più alto è il volume di suono riprodotto in modo fedele. Delle buone cuffie dovrebbero avere una sensibilità pari o superiore ad 85 dB (valori inferiori a 85 dB potrebbero indicare una cuffia di basse prestazioni). Le cuffie audio ad alta fedeltà hanno generalmente un valore di sensibilità molto elevato e compreso tra i 95 dB ed i 109 dB (ottimo valore); alcune cuffie dichiarano valori pari o superiori a 110 dB.
- Il **quarto parametro** è l'impedenza, ovvero la resistenza di una bobina ad essere attraversata da un campo elettromagnetico in corrente alternata. L'unità di misura di entrambe è l'ohm. I valori di impedenza adottati dai costruttori per le cuffie dinamiche variano notevolmente, da un minimo di 8 a un massimo di 600. La notevole differenza di questo valore è in ragione delle diverse tipologie di amplificatore al quale la cuffia andrà collegata. L'intensità del suono prodotto dipende dal valore di corrente che circola nella bobina dell'auricolare, dissipando watt, ovvero potenza, secondo la legge di Ohm, $P = \frac{V^2}{R}$ dove R è l'impedenza della cuffia.

Ne consegue che maggiore è la tensione disponibile all'uscita dell'amplificatore, più alto può essere il valore di impedenza della cuffia. Un impianto Hi-Fi casalingo alimentato dalla rete non ha problemi a fornire il segnale per la cuffia a livelli anche di decine di volt; per contro, nel caso di un lettore mp3 portatile alimentato da piccole batterie, necessariamente il livello di tensione fornito all'uscita cuffia non potrà superare quello delle batterie che lo alimenta. Ne consegue che per avere un adeguato volume in uscita necessariamente si deve scendere col valore di impedenza. La qualità del suono di una cuffia è indipendente dall'impedenza dei trasduttori adottati, basti pensare alla storica cuffia ad alta fedeltà modello PRO-4 del costruttore Koss, avente nelle prime versioni un'impedenza di 8 ohm.



1.5.2 Wired

Misura della precisione del Walkman

Con il termine Wow and Flutter si sta ad indicare uno dei parametri che definiscono le caratteristiche di un apparecchio di riproduzione audio in tecnologia analogica, in particolare è riferito a registratori a nastro e giradischi.

Il valore misurato, espresso in percentuale, indica il grado di precisione e costanza di rotazione dei dispositivi meccanici preposti al trascinamento del supporto magnetico o alla rotazione del piatto giradischi per dischi in vinile. Il trascinamento del nastro registratore avviene tramite un albero motore (capstan), sul quale viene premuto il nastro da una ruota libera in gomma (pinch roller); eventuali irregolarità o variazioni di velocità del capstan o usura del pinch roller, provocano conseguenti irregolarità nella riproduzione del suono. **Per ridurre al minimo le variazioni di velocità dei motori questi sono azionati da un circuito pilotato da un oscillatore al quarzo.**

Cuffie wired: pro e contro

Le applicazioni wired hanno costituito per molto tempo l'unica scelta possibile in ogni ambito: i dispositivi di riproduzione musicale non fanno di certo eccezione. Seppur il supporto fisico sia negli anni sempre meno preferito dal consumatore medio, risulta forse ancora oggi la scelta migliore per quanto riguarda la qualità e l'affidabilità del suono.

Pro:

- **Estremamente versatili** – lo standard jack da 3.5mm è ancora presente, oltre che su molti smartphone, su console da gioco di ultima o vecchia generazione, casse esterne, radio, automobili, TV e tanto altro
- **Qualità audio** compatibile con gli standard più alti in assoluto dell'ascolto in Alta Risoluzione (Hi Res audio)
- **Equalizzazione** – tutti i lettori musicali per Android o iOS possono equalizzare delle cuffie analogiche
- **Rapporto qualità prezzo** quasi sempre affidabile; la tecnologia analogica si fa pagare poco
- **Plug & Play** – niente installazioni o accensioni/spegnimenti. È tutto analogico!
- **Niente batteria**: riproduzione musicale potenzialmente infinita

Contro:

- Col tempo **lo spinotto delle cuffie si usura**, creando difetti irrecuperabili sulla qualità d'ascolto, oltre che a fonti di rumore o possibili disconnessioni ogni volta che li si inserisce o estrae
- **I movimenti del lungo cavo** durante le passeggiate o in corsa potrebbero disturbare l'isolamento acustico, risultando in fastidiosi rumori interni durante l'ascolto
- A seconda della sorgente, potrebbe recare fastidio la **presenza di troppi fili** in uso, ad esempio se s'intende utilizzarle con un DAC/AMP o amplificatore esterno

1.5.3 Wireless

La tecnologia wireless sta invece lentamente soppiantando la sua controparte fisica. Ma è davvero la scelta migliore?

Pro:

- **Niente fili** – potrete poggiare il telefono sulla scrivania, scrivere messaggi e navigare senza fili dondolanti tra voi e il vostro da farsi
- **Nessun movimento del cavo** – solitamente, le cuffie Wireless hanno una lunghezza del cavo davvero ridotta, da poggiare attorno al collo: in questo modo il movimento del cordoncino è nullo o appena percepibile
- **Nessun deterioramento** – non vi è nessuno spinotto da collegare, quindi da usurare

Contro:

- **Qualità audio** massima data dal codec LDAC (se supportato dalle cuffie), che può trasmettere non più di 990 KB/s a 24bit e 96KHz
- **Richiedono una configurazione** – accoppiamento bluetooth iniziale e accensioni/spegnimenti per ogni utilizzo
- **Durata della batteria**: riproduzione musicale limitata alla capacità della batteria integrata, sostituibile in rarissimi casi; inoltre, a lungo andare, la batteria agli ioni di litio potrebbe perdere la propria capacità iniziale di carica
- La connessione potrebbe subire dei **disturbi o interferenze**, recando fastidio all'utente durante l'ascolto musicale
- Il **consumo di batteria della sorgente** (smartphone o lettore musicale) è maggiore rispetto a quello di una cuffia analogica
- **Rapporto qualità prezzo** quasi sempre insufficiente; la tecnologia wireless si fa pagare, e tanto

Wireless: Bluetooth per ascoltare musica

Gli audiofili si interrogano su quale livello di qualità audio abbia davvero il bluetooth, tuttavia non è fatto per l'alta qualità audio. Né ha mai avuto voluto ambire a trasmissioni Hi-Fi.

Nonostante oggi lo standard sia stato potenziato, il bluetooth risponde essenzialmente a tre bisogni.

1. La possibilità di non usare i cavi per la trasmissione di dati.
2. Un protocollo unico per mettere in contatto dispositivi di marche diverse.

3. Un basso consumo per la trasmissione dei dati.

Questo avviene, solo utilizzando una comunicazione radio a bassa potenza e corto raggio.

Esso è nato per evitare la scomodità dei cavi da attaccare i propri telefonini alle cuffie, auricolari e a kit vivavoce vari. Infatti, la banda è ristretta e il segnale audio di conseguenza viene notevolmente compresso.

Per questo motivo, se si vuole utilizzare il bluetooth, per ascoltare musica e si vuole godere del proprio sistema Hi-Fi sarebbe utile, anzi, è vivamente consigliato l'utilizzo di un adattatore audio.

Conclusioni

Da quanto riportato nei due elenchi precedenti pare proprio che vi sia una **vittoria** a mani basse per il vecchio standard da 3.5 millimetri. Ma dati tecnici a parte, **è davvero così?**

La **qualità audio percepita** dall'orecchio umano può essere estremamente variabile da individuo a individuo, ma in larga scala un essere umano adulto **non riesce a distinguere** un brano codificato in Alta Risoluzione da uno in formato FLAC fino a 1.2 MB/s. Accettato tale limite, per riuscire ad ascoltare senza troppi tecnicismi un po' di musica **basterebbe un paio di cuffie qualsiasi** per accontentarsi.

Rimane dunque prerogativa di professioni o audiofili la ricerca di un'ottima qualità del suono, in quanto in grado di riuscire a distinguere davvero la differenza. Per l'ascoltatore medio d'altra parte la totale assenza di fili è già un ottimo motivo per prediligere cuffie wireless.

2. Riferimenti Bibliografici

- Reti di calcolatori e internet: un approccio top-down – Kurose, Ross
Funzionamento e panoramica del protocollo bluetooth.
Livello fisico e trasmissione su filo.
- Microelettronica – Jaeger, Blalock
Modellizzazione delle cuffie sotto forma di circuito equivalente di Thévenin.
- <https://www.sony.it/electronics/i-walkman-hanno-rivoluzionato-il-modo-di-ascoltare-musica-in-movimento>
Storia del walkman e sua evoluzione.
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Auricolari>
Struttura, funzionamento, classificazione e generalità degli auricolari.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_reflex
Riflesso acustico e fisiologia dell'orecchio in rapporto al suono.
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Stereofonia>
Fenomeno della stereofonia.
- https://it.wikipedia.org/wiki/Registrazione_binaurale
Applicazione del fenomeno della stereofonia tramite un particolare tipo di registrazione delle tracce audio.

3. Argomenti Teorici Trattati

3.1 Trasmissione delle onde sonore

Suono: Il suono è un insieme di onde meccaniche longitudinali. L'oggetto che lo produce genera una vibrazione che si propaga attraverso il mezzo modificando nel tempo la pressione locale delle particelle che lo costituiscono.

Audio: L'audio è un segnale elettromagnetico che rappresenta e trasporta informazione sonora. Esso permette di trasportare il suono facendolo viaggiare attraverso apparecchiature elettroniche.

L'onda è una perturbazione di una grandezza fisica che si propaga nel tempo e trasporta energia o quantità di moto. Nelle onde meccaniche, poiché la perturbazione interessa particelle di materia, serve un mezzo materiale sia esso in forma gassosa, liquida o solida.

L'ampiezza, o intensità, di un'onda sonora determina il volume a cui essa viene percepita. Ampiezze elevate corrispondono a volumi alti.

L'ampiezza è un parametro fisico che descrive il contenuto energetico trasportato dall'onda e, nel caso delle onde sonore, tale parametro è strettamente legato alla variazione di pressione locale.

Nello spazio l'onda si propaga in forma sferica e la sua intensità sonora diminuisce secondo la legge dell'inverso del quadrato.

Interaural Time Difference

La differenza interaurale di tempo è la differenza di tempo di arrivo di un suono alle due orecchie. Essa è molto importante per la localizzazione dei suoni poiché, grazie all'interpretazione del nostro cervello di tale differenza, ci è possibile comprendere la direzione dalla quale provengono.

3.2 Conversione digitale-analogico

Un segnale si dice analogico quando è a tempo continuo e a valori continui e digitale se è a tempo discreto e valori discreti.

Per rendere più verosimile l'audio digitale e migliorare l'esperienza sonora vengono spesso utilizzati più flussi informativi differenti (audio multicanale) ognuno dei quali può essere considerato un segnale audio a sé stante.

Un suono rilevato da un trasduttore, trasformato in onde elettriche e registrato su un supporto analogico (dischi in vinile, audiocassette) diviene un audio analogico. Il suono originale può poi essere riprodotto interpretando le variazioni delle grandezze fisiche presenti sul supporto che sono state usate per registrare il suono originale. Per le audiocassette si tratta ad esempio della variazione dell'intensità del campo magnetico.

Un suono rilevato da un trasduttore e trasformato in onde elettriche può invece essere inviato ad un convertitore Analogico-Digitale che ci farà ottenere un segnale a tempo discreto e valori discreti. Tale segnale può infine essere rappresentato in un formato specifico e archiviato in una memoria di massa. Il suono originale può essere riprodotto mandando come input a un convertitore Digitale-Analogico il formato in cui il suono è stato registrato. Tale convertitore produrrà dei segnali elettrici interpretati da un dispositivo, come casse o auricolari, che genererà la vibrazione fonte dell'onda sonora.

3.3 Struttura fisiologica dell'orecchio

L'orecchio esterno

L'orecchio esterno è costituito dal padiglione auricolare che capta il suono e contribuisce a determinare da quale direzione proviene. Esso è formato dal condotto uditivo esterno e dal timpano. Quando il suono raggiunge il timpano, quest'ultimo inizia a vibrare e invia il suono all'orecchio medio.

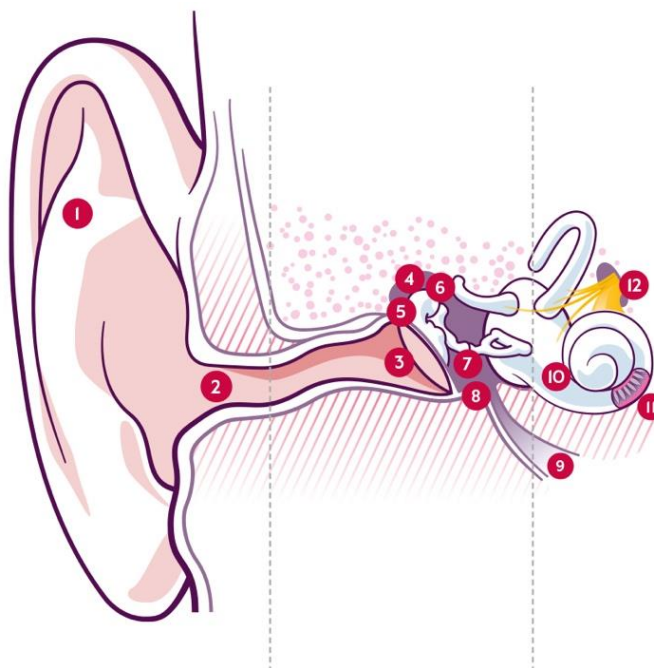
L'orecchio medio

Nell'orecchio medio si trovano in solo un centimetro quadrato i tre ossicini più piccoli dell'uomo: martello, incudine e staffa. I loro movimenti vengono attivati dal timpano. Per assicurare la trasmissione del suono all'orecchio interno, il suono viene amplificato di venti volte.

L'orecchio interno

Nell'orecchio interno si trova il vero e proprio organo dell'udito: la coclea o chiocciola. Questa possiede circa 20.000 piccole cellule sensoriali, le cosiddette cellule ciliate, che suddividono il suono in frequenze alte e basse. Tali cellule determinano il volume dei suoni e trasformano le vibrazioni meccaniche del timpano e degli ossicini in impulsi elettrici. Gli impulsi raggiungono tramite il nervo acustico il cervello dove vengono elaborati. Solo qui, nel cervello, vengono distinte le singole percezioni e vengono generate le diverse sensazioni.

- 1) Padiglione auricolare
- 2) Condotto uditivo
- 3) Timpano
- 4) Incudine
- 5) Martello
- 6) Labirinto
- 7) Staffa
- 8) Cavità timpanica
- 9) Tromba di Eustachio
- 10) Coclea
- 11) Cellule ciliate
- 12) Nervo acustico



3.4 Muscolo stapedio e soglia di tolleranza del rumore

Lo **stapedio** è il più piccolo dei muscoli striati del corpo umano. Esso si trova nell'orecchio medio e, con appena un millimetro di lunghezza, il suo scopo è quello di stabilizzare l'osso più piccolo del corpo, la staffa, aiutando così il controllo dell'ampiezza delle onde sonore provenienti dall'ambiente esterno all'interno dell'orecchio.

Si trova nell'eminenza piramidale, al di dietro della staffa. Dalla piramide fuoriesce il tendine che si inserisce sulla testa della staffa. Quando lo stapedio si contrae, la staffa viene tirata verso il cavo timpanico, cioè lateralmente.

Il riferimento normativo fondamentale in materia di prevenzione dai rischi da rumore è il **decreto legislativo 81/2008** (Titolo VII, artt. da 187 a 198) che prescrive i "requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione al rumore durante il lavoro".

In particolare, il D.Lgs. 81/2008 fissa **tre livelli di esposizione** (80, 85 e 87 decibel – dB(A) – ossia il valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa e i corrispondenti adempimenti ai quali sono tenuti i datori di lavoro qualora vengano superati i livelli stessi.

Il decreto stabilisce determinati obblighi.

Se il livello di esposizione è superiore agli **80 decibel**:

- messa a disposizione dei DPI (dispositivi di protezione individuale) dell'udito, da parte del datore di lavoro;
- obbligo di formazione e informazione dei lavoratori in merito ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore, alle misure adottate, ai DPI dell'udito, all'uso corretto delle attrezzature, al significato del ruolo del controllo sanitario e della valutazione del rumore.

Se il livello di esposizione è superiore agli **85 decibel**:

- obbligatorietà dell'utilizzo dei DPI dell'udito;
- obbligo di formazione e informazione dei lavoratori in merito ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore, alle misure adottate, ai DPI dell'udito, al significato del ruolo del controllo sanitario e della valutazione del rumore;
- controllo sanitario.

Detto controllo sanitario comprende:

- una visita medica preventiva, integrata da un esame della funzione uditiva per accertare l'assenza di controindicazioni al lavoro specifico ai fini della valutazione dell'idoneità dei lavoratori;
- visite mediche periodiche. Esse devono tenere conto, oltre che dell'esposizione, anche della sensibilità acustica individuale.

Se il livello di esposizione è superiore agli **87 decibel**:

- adozione immediata di misure atte a riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione (Dispositivi di Protezione e/o interventi su attrezzature, strutture o ambienti);
- individuazione delle cause dell'esposizione eccessiva;
- modifica delle misure di protezione e di prevenzione per evitare che la situazione si ripeta.

Sono poi riportate anche indicazioni relative ai dispositivi di protezione individuale.

Infatti laddove non si può intervenire a livello di protezione collettiva, "la tutela del lavoratore dai rischi provocati dal rumore avviene tramite dispositivi di protezione dell'udito".

Dispositivi che devono essere usati obbligatoriamente, come abbiamo già indicato, sopra gli 85 dB.

In ogni caso, per migliorare le condizioni di sicurezza il primo intervento da porre in atto è quello di "limitare la percezione del rumore. Le strade possibili sono due: la migliore consiste nel modificare il processo di produzione in maniera tale da ridurre in maniera definitiva il rumore prodotto (ad esempio sostituendo attrezzature obsolete con attrezzature nuove meno rumorose); la seconda consiste nella riduzione del rumore per mezzo di pannelli fonoassorbenti, pareti divisorie tra locali dove sono in uso attrezzature rumorose e altri locali, ecc.".