

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Neuroscienze – DNS

Corso di Laurea in Tecniche Audioprotesiche

Presidente Prof. Gino Marioni

**GESTIONE DELLA STANDARDIZZAZIONE E CALIBRAZIONE DEI
SISTEMI DI MISURA IN UN CENTRO ACUSTICO E
PRIVATO. NORMATIVE GENERALI SUL CORRETTO UTILIZZO
DELL'AUDIOMETRO. LO STUDIO DELLA TARATURA E LA
RAFFINAZIONE DEL SUONO AI FINI AUDIOMETRICI E
AUDIOPROTESICI**

RELATORE:

Prof.ssa Federica Baldin

CORRELATORE:

Prof.ssa Valentina Salviato

LAUREANDA:

[Valentina Lacedonia]

INDICE

INTRODUZIONE

CAPITOLO 1 – NORMATIVE IEC ISO E ANSI (389/91)

- 1.1 Le normative che regolano l'utilizzo degli strumenti medicali
- 1.2 L'audiometro (normativa IEC 60645-1:2017)
- 1.3 Taratura e calibrazione dell'audiometro

CAPITOLO 2 –L'ACUSTICA E L' IMPORTANZA DELLA TARATURA

- 2.1 La fisica del suono
- 2.2 La stimolazione acustica pura: l'onda sinusoidale
- 2.3 L'assorbimento acustico
- 2.4 Le misure cliniche: l'audiometria
- 2.5 Il Decibel
- 2.6 L'importanza dell'acustica
- 2.7 L'acustica ambientale nei centri acustici
- 2.8 Campo libero e cabina

CAPITOLO 3- STRUMENTI DI TARATURA

- 3.1 Utilizzo e caratteristiche del fonometro
- 3.2 Normative regolamentari
- 3.3 Taratura audiometro (IEC 60645)
- 3.4 Taratura stanze e cabine audiometriche
- 3.5 Il corretto posizionamento dello strumento di misura

CAPITOLO 4- TARATURE A CONFRONTO

- 4.1 L'acustica in stanza e l'acustica in cabina
- 4.2 Il rumore di fondo e il riverbero
- 4.3 Ricerca sulle tempistiche di taratura (ISO 6189)

CAPITOLO 5- UNA CORRETTA SOGLIA AUDIOMETRICA AI FINI PROTESICI

5.1 Raffinamento regolazioni protesiche

5.2 Il campo dinamico del paziente

5.3 Misurazione fisica rispetto alla sensazione del paziente

CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA

RINGRAZIAMENTI

INTRODUZIONE

In questo elaborato di tesi verranno trattati i temi della calibrazione e taratura degli strumenti di misura presso un centro acustico oppure in struttura pubblica. Illustrerò le diverse normative che regolano l'utilizzo degli strumenti di misura, il loro corretto utilizzo e le metodiche di misura. Verranno messe in risalto le caratteristiche del fonometro, le metodologie di taratura dell'audiometro e le sue caratteristiche. Il fine ultimo sarà quello di mettere in evidenza le diverse metodiche ai fini audioprotesici, per far sì che la regolazione sia quanto più affine possibile alla misurazione audiometrica, in accordo con l'ambiente di prova. Oltre all'ambiente di prova, in questo elaborato viene messa in evidenza la figura della persona in carico, le sue sensazioni psicoacustiche, in correlazione con una corretta prova audiometrica. Si è cercato di mettere in risalto anche lo scadenzario della taratura dei sistemi elettromedicali secondo uno studio condotto su diverse testimonianze di professionisti sanitari, effettuando una ricerca sulle tempistiche di ognuno. Inoltre, verrà trattato il tema del rumore di fondo e del riverbero in cabina e in campo libero, le loro differenze ai fini di una corretta rilevazione del campo dinamico con e senza apparecchi acustici.

CAPITOLO I, NORMATIVE IEC ISO E ANSI (389/91)

1.1 Le normative che regolano l'utilizzo degli strumenti medicali

Per poter parlare di una corretta gestione dei sistemi di misura, abbiamo bisogno di delineare la normativa che fa capo a questa disciplina, ovvero la normativa cardine, la IEC ISO 389/91 normativa Europea che riguarda la regolamentazione della taratura dell'audiometro. La corretta taratura dell'audiometro è di grande importanza ai fini dell'attendibilità dei risultati di prova. Difatti, il sistema di controlli previsto dalla norma è conseguente al fatto che l'audiometro non mantiene facilmente nel tempo le sue caratteristiche di produzione di segnali acustici all'interno delle tolleranze consentite. Le norme di riferimento, in conformità con la principale ISO 389, sono la UNI EN ISO 6189:1983 e la 8253-1:2010 rispettivamente la *“Pure tone air conduction treshold audiometry for hearing conservation purposes”* e *“Audiometric test methods: basic pure tone and bone conductoin treshold audiometry”*. La stessa normativa 389/91 ha al suo interno diverse sotto normative, in riferimento agli standard di calibrazione di toni puri di un audiometro, rispettivamente divisa in otto parti. Secondo questa normativa, abbiamo tre stadi di controllo di procedure di taratura (A, B, C). “Nello stadio A ci si occupa del controllo ordinario e delle prove soggettive giornaliere, quali il controllo cuscini cuffie, prese e cavi, la verifica della tensione di banda della cuffia e del vibratore osseo, il controllo di ascolto del buon funzionamento, assenza di distorsioni, di rumori di commutazione, contatti intermittenti (per almeno tre regolazioni a tutte le frequenze) all'inizio di ogni giorno di prova, il controllo soggettivo di taratura biologica almeno una volta a settimana, pulizia dell'audiometro e degli accessori.”*1 (“Spirometria e audiometria, C. Botti”). Dopo le prove soggettive, abbiamo la procedura B, ovvero le prove oggettive. Si eseguono ogni tre mesi, al massimo ogni 12 mesi da personale qualificato. Nello stadio B ritroviamo il controllo delle frequenze dei segnali di prova, il controllo dei livelli di pressione sonora emessi da una cuffia nell'accoppiatore acustico o nell'orecchio elettronico, il controllo del vibratore su accoppiatore meccanico, il controllo del mascheramento dell'attenuatore a livelli inferiori a 60 dB ed infine il

controllo della distorsione armonica. Nello stadio C infine parliamo delle prove di taratura di base, eseguita ogni anno o ogni due anni secondo la normativa ISO 6189.

*1 {Spirometria e audiometria, C. Botti}

1.2 L'audiometro (normativa IEC 60645-1:2017)

Per una corretta metodica di misura, bisogna avvalersi dunque di un buon audiometro, trovando sul mercato diversi modelli con diverse funzionalità. Lo stesso audiometro risulta normato (UNI EN ISO 8253-1:2010). L'audiometro è “uno strumento elettroacustico, dotato di cuffie d'ascolto, che fornisce toni puri di frequenze stabilite a livelli di pressione sonora noti. Può essere dotato di vibratore osseo e di mezzi di mascheramento”. *2 (“International standards, IEC 60645-3:1994”)



Figura 1, esempio di audiometro

È dall'inizio del secolo scorso che venne costruito il primo audiometro clinicamente utile. Data cruciale fu nel 1878, anno in cui venne messo a punto il primo audiometro elettrico. Gli sviluppi nel campo delle misurazioni uditive, della prevenzione e della riabilitazione hanno portato alla realizzazione di una vasta gamma di audiometri. Le parti essenziali di un audiometro sono costituite da un generatore di toni puri, un generatore di rumore mascherante, una manopola o un tasto per la selezione della frequenza da testare, un amplificatore tramite il quale inviare per via aerea o per via ossea suoni a livello variabile con intervalli predefiniti in un determinato ambito di intensità, una coppia di cuffie per l'invio del segnale di misura direttamente all'orecchio da esaminare, un vibratore osseo da applicare alla mastoide per l'invio del segnale per via ossea, un archetto o banda che tiene in sede le cuffie o il vibratore applicando una pressione nota sui padiglioni auricolari e sulle mastoidi.

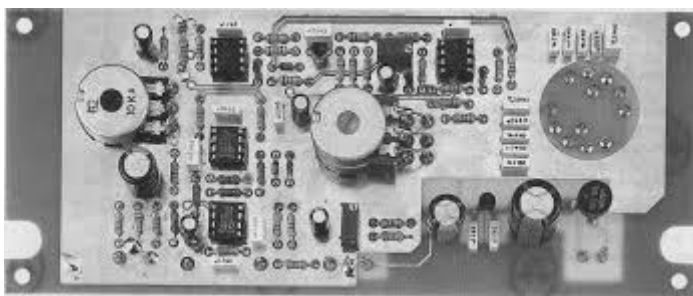


Figura 2. Esempio di un primo circuito utilizzato per la costruzione di un audiometro

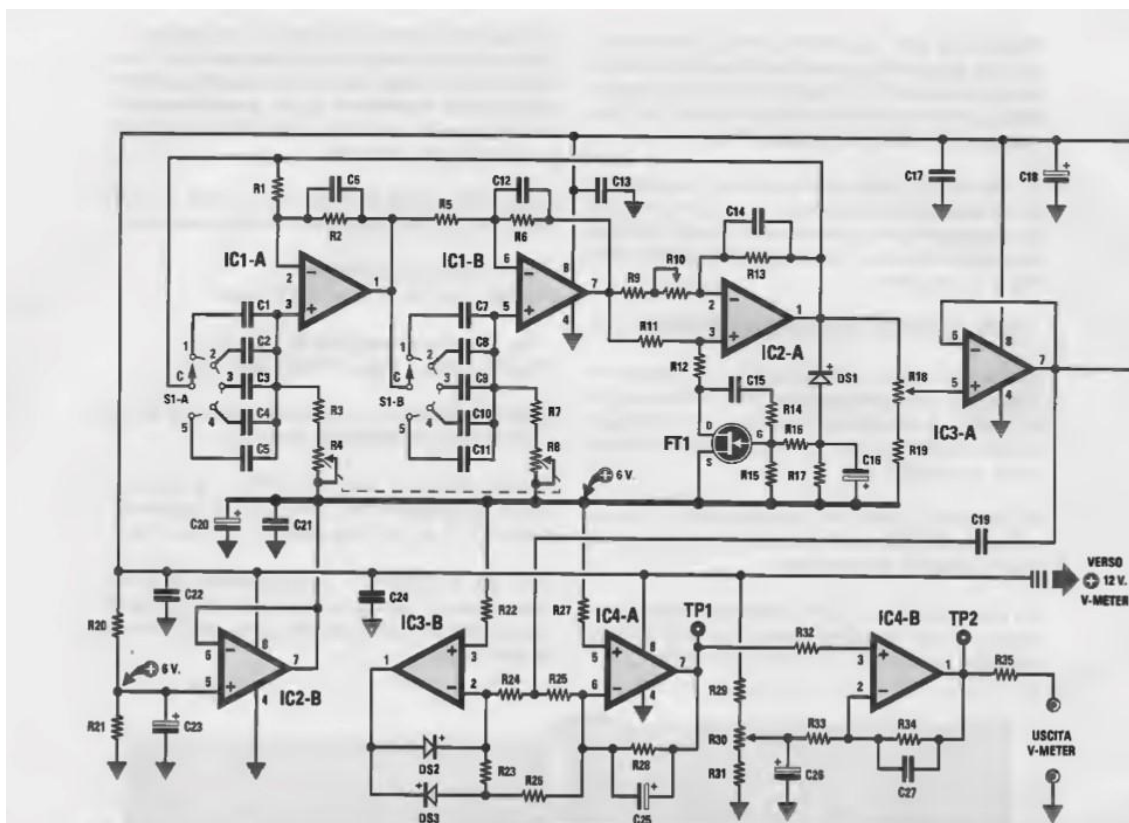


Figura 3, schema elettrico del generatore di BF in grado di fornire una sinusoide

Le norme tecniche di riferimento per l'audiometro a toni puri sono la IEC 60645-1:2017 (adottata in Italia come CEI EN 60645-1:2018) e la UNI EN ISO 8253-1:2010 (revisionata e confermata nel 2015). Queste normative vengono periodicamente revisionate e aggiornate, al passo con le evoluzioni tecnologiche e le esigenze di qualità ai fini diagnostici. Ogni norma ha una sua finalità riguardante la funzionalità dello strumento in oggetto. Nel caso dell'audiometro, gli obiettivi sono quello di assicurarsi che le prove uditive nel campo di frequenza, che va 125Hz a 16.000Hz su un determinato orecchio umano eseguite con differenti audiometrie e toni puri conformi alla normativa tecnica, diano gli stessi risultati; inoltre, servono a delineare uno schema di taratura. Gli audiometri a toni puri vengono suddivisi in quattro tipi, godendo dei requisiti richiesti dal punto quattro della normativa IEC 60645-1:2017. I quattro tipi si differenziano in base ai diversi usi, ovvero per uso clinico avanzato o di ricerca, per uso clinico, per uso diagnostico di base o per screening. Ad esempio, i livelli uditivi e le frequenze di prova, dunque i

toni di riferimento, possono essere alternati o simultanei per il tipo clinico avanzato e di ricerca e presentarsi in maniera alternata per l'audiometro clinico. I diversi audiometri, in base alle molteplici caratteristiche, rispondono ad un diverso uso. I requisiti generali invece, della normativa IEC 60645-1:2017 sono la sicurezza acustica, ovvero devono essere provvisti di un indicatore non sonoro di avvertimento per i segnali che superano i 100 dB, utile per l'esame della soglia del fastidio. Altro requisito è di tipo ambientale, ovvero l'audiometro deve essere utilizzato in un intervallo di temperature comprese tra i 15°C e i 35°C, con un'umidità relativa tra il 30 e il 90%, una pressione ambientale tra i 98k Pa e i 104k Pa. Al di fuori di questi intervalli ambientali, le misure potrebbero differire significativamente. Difatti sarebbe opportuno calibrare nel luogo in cui viene utilizzato l'audiometro.

Nel caso in cui il luogo di calibrazione e il luogo di utilizzo dell'audiometro non mostrassero condizioni ambientali simili, sarebbe opportuno apportare le dovute correzioni, difatti è molto importante la geometria del luogo di calibrazione e di utilizzo, i materiali utilizzati e la giusta fonoassorbenza del luogo. Anche il tempo di riscaldamento risulta importante e inserito nelle norme generali, in quanto prima di iniziare una sessione di prova occorre attendere il tempo specificato dal costruttore. Il tempo minimo non deve superare i 10 minuti quando l'audiometro è stato tenuto a temperatura ambiente nell'ambiente di prova. Inoltre, dall'audiometro, dal computer o dai trasduttori non deve provenire nessun rumore indesiderato che possa essere udito dal soggetto esaminato, ogni suono indesiderato deve essere inferiore a 0 dB HL (Hearing Level). Tutti i tipi di audiometri devono inoltre garantire la possibilità di cercare un livello minimo uditivo pari a -10dB, sia per gli audiometri avanzati che per gli audiometri da screening. Infine, per quanto riguarda le varie prestazioni degli audiometri, in termine di numero di frequenze minime e di estensione minima dell'intervallo di valori del livello uditivo da testare, queste migliorano quando ci si avvicina alla classe 1, ovvero degli audiometri clinici avanzati. Per quanto riguarda i trasduttori, abbiamo due differenti tipi di cuffie, sopra-auricolari e circumaurali oppure un vibratore osseo. Ritroviamo anche inserti auricolari e altoparlanti. Ogni trasduttore è tenuto in posizione da un archetto la cui forza statica è definita nella serie della ISO 389 (tarature audiometri). Sicuramente, le cuffie

circumaurali risultano maggiormente insidiose ai fini di una corretta calibrazione perché più grandi e pesanti. Il loro vantaggio però risiede nelle migliori prestazioni di abbattimento del rumore ambientale, contribuendo al rispetto di livelli di pressione sonora massimi consentiti nell'ambiente di prova.

*2 {International Standard, IEC 60645-3:1994, Spirometria e audiometria, C. Botti}

1.3 Taratura e calibrazione dell'audiometro

Secondo quanto riportato nell'appendice 1.1 di questo capitolo, abbiamo elencato la normativa cardine di cui si avvale l'audiometro. È bene però differenziare il discorso di taratura e calibrazione. Per taratura si intende testarlo con un elemento di paragone per verificare le funzionalità di misura, mentre per calibrazione si intende una regolazione, senza doversi confrontare con altri riferimenti. Nel nostro caso lo strumento di taratura indicato risulta essere il fonometro. Questa metodica viene effettuata solitamente una volta all'anno da un ente certificato; invece, la calibrazione ha come obiettivo quello di rendere lo strumento più accurato e viene effettuata tutte le volte che si usa lo strumento dall'utilizzatore, il nostro esempio può essere la misura elettroacustica, che si basa sul confronto della misura di riferimento dello strumento (l'audiometro) con il valore indicato dallo strumento operativo da calibrare. Dunque, importanti sono anche le definizioni che erroneamente si appongono dietro le diverse normative ISO. In questo caso, dunque, si parla di taratura.

CAPITOLO II, L'ACUSTICA E L'IMPORTANZA DELLA TARATURA

2.1 La fisica del suono

Dato che la taratura dell'audiometro e non solo, hanno un ruolo predominante in questa tesi, è bene riportare alla luce le caratteristiche fisiche della fisica del suono, strumento di misura della soglia uditiva, messa a punto dall'ingresso di un'onda sinusoidale proveniente dallo stesso audiometro. "Per onda sonora intendiamo un'onda longitudinale di compressione e rarefazione di un gas, un liquido o un mezzo solido. Vengono prodotte quando un corpo vibra determinando una perturbazione della massa volumica (densità) di un mezzo. La perturbazione viene propagata attraverso il mezzo dalle interazioni delle sue molecole. La vibrazione delle molecole avviene lungo la direzione di propagazione dell'onda. La funzione d'onda per le onde sonore è lo spostamento longitudinale delle molecole di gas rispetto alla loro posizione di equilibrio e la variazione della pressione del gas. Alcune proprietà sono l'interferenza, la diffrazione e la riflessione, tutte proprietà peculiari ai fini di una buona ricerca della soglia audiometrica. Ogni elemento agisce sul proprio vicino creando una reazione a catena che consente alla variazione di pressione di propagarsi come un'onda acustica. La velocità del suono in un aeriforme è proporzionale alla radice quadrata della temperatura assoluta." Hoepli, 1996. Nel caso dell'aria, $\gamma = 1.41$ e $\rho = 1.293 \text{ kg m}^{-3}$; per $p = 1 \text{ atm}$ e alla temperatura di e alla temperatura di 0°C , cioè 273 K , l'equazione predice per equazione predice per c il valore del valore di 333 m s^{-1} . Alla temperatura di. Alla temperatura di 20°C , cioè 293 K , si avrebbe: $c = 333 \times \text{radice quadrata } 293/273 = 345 \text{ m/s}$. La potenza con cui l'onda sonora trasmette energia può essere considerevole. L'intensità I rappresenta l'energia trasportata dall'onda attraverso l'unità di superficie nell'unità di tempo. Il rapporto tra le intensità acustiche alla soglia del dolore e alla soglia di udibilità è 10 al dodici. Per trattare una così vasta gamma di valori, bisogna ricorrere ai logaritmi in base dieci. L'intensità di riferimento standard è presa come $I_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$. L'unità di misura. L'unità di misura di β è il decibel Decibel (simbolo dB), (simbolo dB), unità di livello sonoro.

Si ha dunque che: $10 \text{ Intensità del suono Numero di dB} = 10 \log$. Il minimo aumento di livello sonoro percepibile dal sistema uditivo umano

corrisponde ad un rapporto di intensità pari a circa 1dB. Il dB su cui ci affidiamo per l'audiogramma di tipo clinico è il dB HL, ovvero l'unità fisica compresa la percezione fisiologica. L'orecchio inoltre è un rivelatore molto sensibile. "L'impedenza specifica dell'aria è di circa 415 N s m^{-3} . La sovrapposizione massima che l'orecchio può tollerare nel ricevere suoni intensi è di circa 28 Pa; invece, ad una frequenza di 1000Hz il più debole suono udibile è di $2.8 \times 10^{-5} \text{ Pa}$. All'interno dello scenario uditivo-ambientale, è molto importante la frequenza sonora, non solo per la ricerca della soglia uditiva. Maggiore è la frequenza sonora, più direzionale è l'emissione." Hoepli, 1996. Le intensità gravi difatti, riempiono una stanza, mentre le note acute si propagano per lo più in avanti. Per ogni data frequenza, maggiori sono le dimensioni della sorgente sonora e più direzionale è l'onda emessa. Inoltre, maggiore è la grandezza del trasduttore (nel caso di un audiometria in campo libero) e più l'onda sonora risulta piana e con una lunghezza d'onda maggiore.

*3

*3 {Manuale di acustica, Hoepli, 1996, Acoustics, Mc Graw- Hill, 1954}

2.2 La stimolazione acustica pura: l'onda sinusoidale

L'onda di cui ci avvaliamo per la ricerca della soglia uditiva è nello specifico l'onda sinusoidale. Questo tipo di onda si differisce dalle onde armoniche sovrapponibili poiché è un tono puro. Il segnale sinusoidale è dunque periodico e regolare, si ripete in un periodo di tempo t . L'importanza dei segnali sinusoidali è ulteriormente accresciuta dai risultati dell'analisi armonica, che sfrutta il fatto che qualsiasi quantità periodica può essere scomposta in una somma di termini sinusoidali utilizzando la scomposizione in serie di Fourier. Dunque, un suono o tono puro, non è altro che un suono avente una forma d'onda

sinusoidale, con la caratteristica di essere privo di ipertoni. La sua riga spettrale risulta inoltre singola, tutta l'energia si concentra su una sola frequenza, risultando monocromatica.

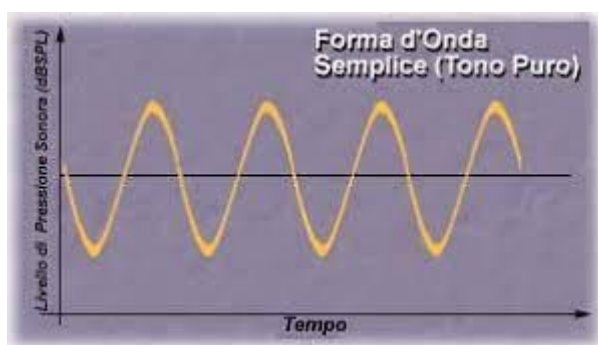


Figura 4 e 5. Esempi di toni puri sinusoidali

2.3 L'assorbimento acustico

Citando e argomentando riguardo il segnale utilizzato per lo svolgimento dell'audiometria tonale e soffermandosi o abilitativo siano garantiti adeguati requisiti, quali rumore di fondo contenuti e tempi di riverbero adeguati. A tal fine, la progettazione e la costruzione degli edifici devono tenere in debita considerazione le caratteristiche fonoassorbenti delle diverse partizioni (pareti, solai, pavimenti e infissi) allo scopo di assicurare un adeguato comfort acustico. Gli aspetti fisici che regolano la propagazione del suono all'interno degli ambienti chiusi è tanto complessa che non è possibile descrivere il fenomeno con mezzi matematici analitici. Tuttavia, sono disponibili modelli di calcolo che, per mezzo di ipotesi semplificative, permettono di ottenere previsioni sufficientemente attendibili." In un ambiente confinato, una sorgente sonora determina due campi sonori

sovrapposti: – un campo sonoro diretto, prodotto dal suono che si trasmette direttamente dalla sorgente al ricettore; – un campo sonoro riverberante, prodotto dalle riflessioni delle onde sonore sulle superfici che delimitano l'ambiente. L'onda sonora riflessa raggiungerà il ricettore dopo l'onda diretta, il cui ritardo dipende dalla lunghezza del percorso che ha compiuto a causa delle riflessioni. sull'utilizzo dell'audiometria in campo libero rispetto a quella in cuffia o inserto, bisogna riconoscere il ruolo fondamentale dell'assorbimento acustico in stanza. Per creare un ambiente acusticamente confortevole, infatti, non basta considerare solamente il grado di isolamento acustico tra le diverse unità abitative ma è necessario che all'interno di un ambiente di lavoro, di studio, di svago

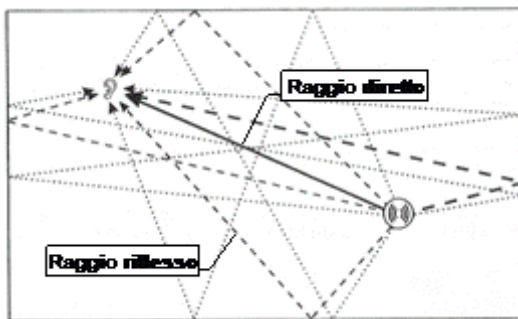


Figura 6, esempio di raggio diretto e riflesso

Il campo sonoro diretto dipende principalmente dalla distanza che intercorre fra sorgente e ricettore, il cui decadimento è legato alla relazione prevista per la propagazione del suono all'aperto (campo libero), mentre il campo sonoro riverberante dipende dalla geometria e dalle caratteristiche di assorbimento del rumore delle superfici che delimitano l'ambiente. Le proprietà assorbenti dei materiali sono quantificate attraverso il coefficiente di assorbimento acustico α , il quale è definito come rapporto tra la potenza sonora assorbita e la potenza sonora incidente. Il valore di α rappresenta quindi la frazione di energia sonora assorbita da un determinato materiale e può variare fra 0, nel caso in cui tutta l'energia incidente è riflessa, e 1, nel caso in cui tutta l'energia incidente è assorbita. Pertanto, se il valore di α è pari a 0,7 significa che il 70% dell'energia incidente sulla superficie del materiale è assorbita. Nelle schede tecniche fornite dal produttore, compare spesso il coefficiente di riduzione del rumore NRC (Noise Reduction Coefficient), il quale è calcolato mediando i valori di α_{sabin} alle

frequenze di 250, 500, 1000 e 2000 Hz.” Raffaele Gigante, 1996. In alternativa, è utilizzato il coefficiente di assorbimento acustico ponderato α_w ottenuto mediante confronto con una curva di riferimento secondo il metodo indicato dalla norma UNI EN ISO 11654. L’assorbimento acustico di un materiale avviene grazie alla conversione in calore di parte dell’energia incidente sul medesimo, anche se, nella realtà, tale meccanismo è certamente più complesso. I principi attraverso cui un sistema assorbe energia sonora sono diversi e vengono generalmente suddivisi in tre classi: – assorbimento per porosità; – assorbimento per risonanza di cavità; – assorbimento per risonanza di pannello. tema normalmente impiegato per migliorare l’efficienza del materiale alle frequenze medio-basse, evitando di impiegare materiali con spessori elevati, è quello di interporre un’intercapedine d’aria tra la superficie da trattare e il pannello assorbente, il quale dovrà essere posto ad una distanza dalla superficie (parete o soffitto) corrispondente al massimo dell’ampiezza dell’onda sonora, ossia a $\lambda/4$. Un altro sistema per migliorare l’efficienza del materiale alle medio-basse frequenze è quello di utilizzare materiali porosi con maggiore densità, quale ad esempio il poliuretano espanso (massa 30 kg/m³ ca.) o lane minerali con densità fino a 100 kg/m³. Infine, è importante la forma del materiale, in quanto può offrire una più estesa superficie di contatto con l’onda incidente, favorendo la dissipazione di una maggiore quantità di energia sonora. La soluzione più diffusa è quella in cui un lato del materiale è ricoperto da protuberanze a forma piramidale (come da figura), sia in stanza per la prova in campo libero, sia in cabina audiometrica. Nella scelta del materiale da impiegare risulta, quindi, di primaria importanza individuare la frequenza del suono incidente, caratteristica della sorgente sonora.

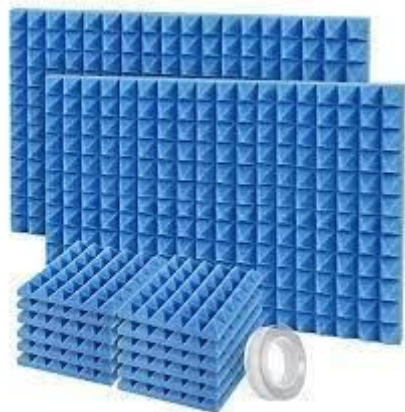


Figura 7, pannello fonoassorbente

“Il calcolo del livello di pressione sonora in un ambiente chiuso è basato sul principio che il campo sonoro prodotto da una determinata sorgente, in un punto di ricezione nell’ambiente, è costituito dalla somma della quota dell’onda diretta e di quella riflessa. L’onda diretta si comporta genericamente in maniera analoga alla propagazione sonora in campo libero, ossia decade per semplice divergenza geometrica, con una riduzione di 6 dB ad ogni raddoppio della distanza; mentre, nel campo riverberante, è necessario calcolare l’espressione della densità dell’energia nel campo riverberante. Infatti, la potenza emessa alla sorgente ha una prima interazione con le superfici dell’ambiente che la rinviano parzialmente all’interno. La quota di energia rinviata è dipendente dal coefficiente di assorbimento medio (α_m)” Spagnolo, 2001. Considerando il tipo di stanza utilizzata per eseguire un’audiometria tonale, il tipo di emissione risulta essere tra tre superfici ortogonali, con un fattore di direttività pari a 8 e con l’indice di direttività pari a 9dB. Per definire la qualità acustica di un locale è stato introdotto il tempo di riverberazione, il quale indica il tempo, in secondi, necessario affinché, in un punto di un ambiente chiuso, il livello sonoro si riduca di una certa entità rispetto a quello che si ha nell’istante in cui la sorgente sonora ha finito di emettere. Di norma, viene utilizzato il tempo di riverberazione T60, cioè l’intervallo di tempo in cui l’energia sonora decresce di 60 dB dopo lo spegnimento della sorgente. In un ambiente avente dimensioni abbastanza prossime fra loro il valore di T60 è calcolabile secondo la formula di Sabine. $T = 0,161 (s) \frac{A}{V}$ dove V è il volume dell’ambiente in m³ e A è l’area equivalente di assorbimento totale in m². La determinazione del tempo di riverberazione di un ambiente è pertanto fondamentale per poter giudicare le sue caratteristiche acustiche e decidere se intervenire sulle strutture che la delimitano aumentandone le capacità di fonoassorbimento. Al fine di poter impostare correttamente la progettazione acustica di una sala è necessario tener conto di alcuni importanti aspetti, quali: – la forma; – il trattamento acustico. La scelta della forma ha un’importanza fondamentale perché è necessario ridurre al minimo gli echi o la diffusione irregolare del suono. Sono, pertanto, da preferire le forme compatte in alternativa a quelle irregolari, specie se presentano uno sviluppo longitudinale molto

allungato, poiché si creerebbero zone d'ombra acustica. Il trattamento acustico consiste nel calcolare l'assorbimento acustico globale che deve avere un ambiente per assicurare una buona diffusione del suono riverberato, scegliendo il tipo di materiale fonoassorbente da impiegare e determinando la quantità di unità fonoassorbenti da mettere in opera al fine di conferire all'assorbimento globale il valore ottimale. *4

*4 {Rumore ed isolamento acustico, Gigante, 1996, Manuale di acustica applicata, Spagnoli 2001}

2.4 Le misure cliniche: L'audiometria

Determinati parametri acustici servono dunque, a ricercare la soglia uditiva corretta. L'audiometria tonale liminare consente di fornire informazioni diagnostiche quantitative e qualitative di una perdita uditiva, stimare il grado di disabilità uditiva, rafforzare una valutazione diagnostica in associazione con altri esami audiologici oggettivi e valutare l'efficienza dei dispositivi di protezione acustica. Le istruzioni, al soggetto esaminato, devono essere chiare e adeguate. Importante anche il posizionamento e la taratura dei trasduttori, quali cuffie e vibratore osseo. Sulla testa del soggetto non devono esserci impedimenti che possano inficiare la qualità del segnale. La presentazione dei toni puri parte da 1000 Hz, salendo poi sulle frequenze acute (2000, 4000,8000 Hz) per poi scendere sui gravi (500, 250,150 Hz), ritornando poi sulla frequenza cardine, ovvero i 1000 Hz.

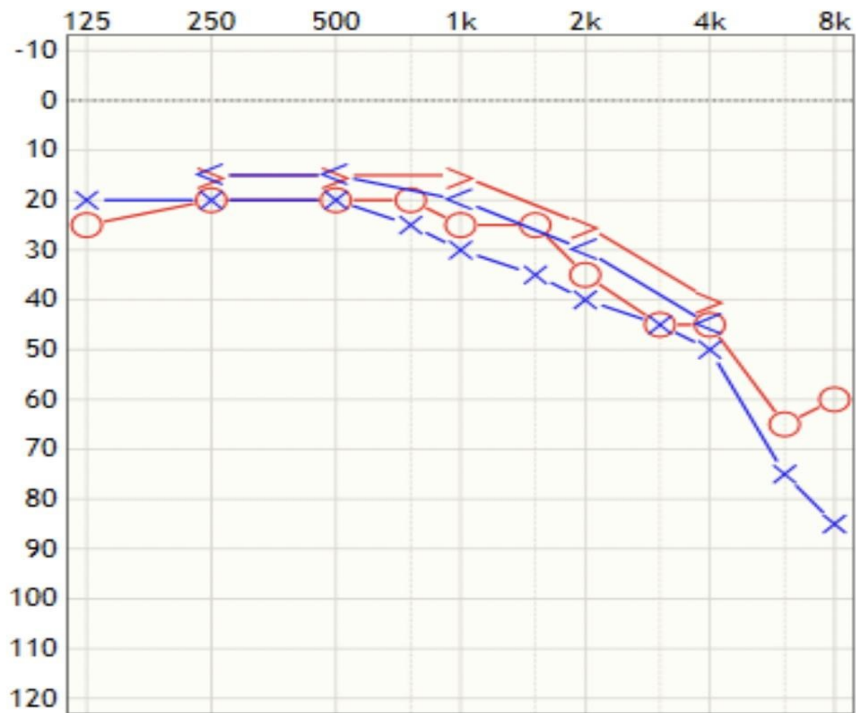


Figura 8, esempio di audiogramma

In questa immagine proposta, viene rappresentato un'audiogramma, con una chiara distinzione dei livelli di soglia e conseguentemente di perdita. In rosso viene rappresentata la soglia dell'orecchio destro, in blu la soglia dell'orecchio sinistro, rispettivamente con un cerchio e una "x". In questo caso specifico, parliamo di un calo lieve-moderato sulle frequenze acute.

2.5 Il Decibel

Il concetto di decibel entra in gioco ogni volta che ci troviamo a misurare una grandezza legata alla teoria del suono. L'orecchio umano percepisce la pressione sonora in maniera logaritmica, anziché lineare; quindi, risulta conveniente esprimere le grandezze legate all'ampiezza del suono in un'unità di misura logaritmica: il decibel.” Il decibel relativo ad una grandezza X generica viene espresso nella forma: Il concetto di decibel) $X \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{X}{X_0} \right)$. Il suono, in genere, viene misurato ricorrendo a microfoni ed alla loro risposta (che è approssimativamente proporzionale alla pressione sonora P). Tuttavia, il comportamento della potenza in un'onda sonora è differente rispetto a quello della pressione, ed in particolare è proporzionale al quadrato della pressione.” Salfi. Ogni volta che ci allontaniamo dalla sorgente sonora raddoppiando la distanza, riscontriamo una caduta pari a circa 6 dB SPL. Viceversa, se ci avviciniamo dimezzando la distanza, percepiamo un aumento della pressione sonora di circa 6 dB SPL. In natura i suoni hanno una certa dinamica. Un refolo di vento ha una dinamica piccola perché il suo valore massimo in dB non è molto superiore a quello che si ha in assenza di suono. La dinamica del suono generato da un uragano invece è molto più ampia. Inoltre, in natura è sempre presente un rumore di fondo che possiamo attestare, in un ambiente cittadino mediamente rumoroso, a circa 30 dB SPL. Suoni che producono un numero di dB SPL inferiore a 30 possono essere trascurati, nel senso che non vengono percepiti con chiarezza essendo mascherati dal rumore di fondo. Inoltre, la maggior parte dei suoni non va oltre i 100 dB SPL. Può capitare che per brevi periodi vengano prodotti suoni di intensità maggiore, diciamo non oltre un valore massimo di 120 dB SPL (valore che corrisponde approssimativamente alla soglia di dolore per l'orecchio umano). *⁵

*⁵ {Il Decibel, Massimiliano Salfi}

2.6 L'importanza dell'acustica

L'acustica svolge quindi un ruolo predominante per diversi motivi, sia che la prova audiometrica venga svolta in cabina, sia in stanza. Se parliamo della cabina, sappiamo anche che anche a porte chiuse (normalmente durante una prova), essendo spesso collocate in ambito ospedaliero, soprattutto se molto grandi, hanno anche diverse distorsioni provenienti dal mondo esterno, quali passi, voci e rumori. Anche lo stesso rumore di fondo può non aiutare ad avere un quadro audiometrico perfetto, nonostante si parli di cabine silenziose. Questo perché, spesso può capitare di dover svolgere la prova in campo libero, con una maggior imprecisione acustica rispetto all'uso della cuffia. In ambito ospedaliero, il campo libero viene molto spesso utilizzato per la prova del guadagno funzionale. Altro elemento importante è la dimensione della cabina e la sua manutenzione, compresa anche di trasduttori. Una corretta manutenzione consiste nell'ispezione delle cuffie, i cavi in connessione, l'inserito, l'archetto dell'inserito e la spugna della cuffia, l'integrità della spugna della cuffia, consente una migliore ricezione e ascolto del tono inviato, avendo dunque una maggiore aderenza e coprenza, comprendendo tutto il padiglione auricolare. Anche lo stesso audiometro, esternamente, può risultare usurato (nella parte riservata all'ingresso audio, bottoni). Oltre alla giornaliera calibrazione, dunque, è importante l'aspetto esterno dell'audiometro e che tutte le sue parti siano funzionanti. Tali considerazioni permettono di avere un tono puro in uscita corretto. Anche la dimensione della cabina risulta di rilievo, più è grande, più il suono si disperde e deve risultare maggiormente preciso. Ogni cabina ha una sua scheda tecnica di cui parleremo nei prossimi capitoli, proprio perché anche la sua dimensione risulta importante.

2.7 L'acustica ambientale nei centri acustici

Una volta che abbiamo definito i parametri generali e principali, di cui si parlerà in dettaglio nei prossimi capitoli, riguardo l'importanza dell'acustica e il suo corretto uso, bisogna definire quelli che sono i parametri da rispettare in un centro acustico. Nel caso in cui sottoponiamo il paziente alla prova audiometrica in stanza piuttosto che in cabina, con o senza trasduttore, pratica abbastanza comune nei centri acustici, dovremmo anche in questo caso rispettare le normative, in questo caso la UNI EN ISO 8253-1:2010.” Qualora si disponga di ambiente spazioso, di esperti in acustica e progettazione di ambienti insonorizzati, si può pensare di realizzare un ambiente specifico su misura. Attraverso l'analisi della norma si può indicare un iter da seguire, tra cui i valori massimi di pressione sonora consentiti, che servono a non inficiare e mascherare i toni prova. Le caratteristiche devono risultare ben definite, in quanto rappresenta una dei maggiori fattori di criticità che può appunto incidere sull'attendibilità dei risultati. Per quanto riguarda la geometria della stanza, il livello sonoro segue un tale andamento unicamente se la dimensione massima della sorgente acustica risulta essere tre volte più piccola della stanza di misurazione, così che l'ascoltatore percepisca una sorgente puntiforme. Il campo sonoro in una stanza chiusa non deve provocare il sovrapporsi di due campi sonori, prevalendo il suono diretto e non quello riflesso”. Giulianini A, Cocchi A, 1981. Minore è la distanza dalla sorgente, maggiore sarà l'incidenza del suono diretto. Durante una prova in campo libero, la distanza che deve interporre tra la sorgente e la persona esaminata è di 1 metro, questo perché il livello sonoro può essere attenuato, a maggiori distanze, da un aumento dell'assorbimento acustico proveniente dalle pareti fonoassorbenti stesse, fungendo dunque da arma a doppio taglio nella creazione di una stanza completamente insonorizzata. La distanza invece dove i suoni diretti e i suoni diffusi (audiometria vocale o tonale, ad esempio, ad un'intensità elevata) hanno lo stesso livello, si chiama raggi di riverberazione. *6

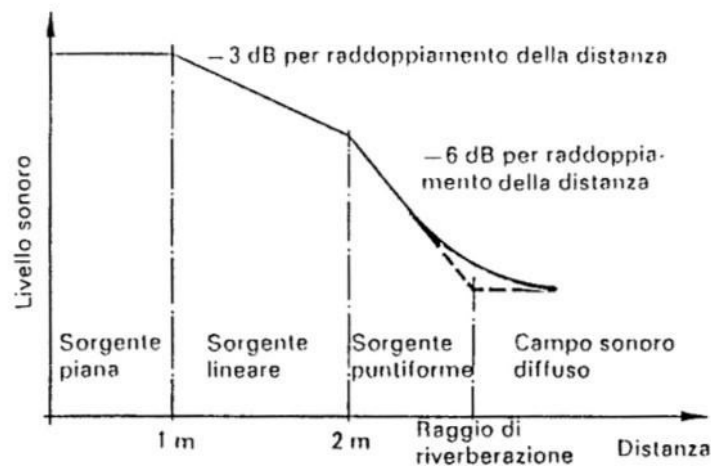


Figura 9, decorso del livello sonoro in una sorgente piana

*6 {Elementi di Acustica tecnica, 1981}

2.8 Campo libero e cabina

Definiti i parametri tra l'ambiente di prova ospedaliero e quello aziendale, comprese nei prossimi capitoli le differenze geometriche tra una cabina audiometrica, che differirà tra esse anche per la sua di grandezza e per le ulteriori prestazioni, e una stanza dedicata alle audiometrie, possiamo definire, seguendo anche la letteratura, che la cabina audiometrica sarà sempre maggiormente precisa rispetto alla stanza dedicata. La geometria della stanza può essere anche di poco irregolare rispetto ad una cabina, i materiali utilizzati potrebbero non coprire integralmente le pareti e i controsoffitti, sapendo anche che la misura della stanza può essere di diverse dimensioni, quali sferica o ortogonale. Di certo, per una maggiore completezza preferiamo la stanza ortogonale, con un fattore di direttività pari a 9dB. Risulta una questione aperta, non avendo effettuato delle misurazioni fonometriche con il giusto setup organizzativo. Teoricamente però, la cabina, seppur una cabina piccola, può favorire la giusta ricezione sonora. Naturalmente, con una cabina audiometrica molto piccola, differente dalla cabina audiometrica ospedaliera, è necessario l'utilizzo in cuffia o inserto,

altrimenti, con l'elevata fonoassorbenza e la minima dimensione, ci sarebbe un maggior riverbero, con un'onda incidente che cadrebbe perpendicolarmente contro la sorgente. La stessa stanza, non normalizzata e standardizzata in fabbrica come una cabina, non potrebbe avere una metratura troppo elevata per la dispersione sonora che si verrebbe a creare." Notoriamente, la stanza dedicata alla prova audiometrica, dovrebbe ospitare solo una scrivania con la strumentazione occorrente e l'esaminatore, di forma rettangolare o ancor meglio quadrata, senza ulteriori prolungamenti della stanza e senza altri oggetti o finestre a vetro senza una tenda." C. Botti. Questo perché l'onda viaggiante sonora, cadrebbe sul vetro per effetto incidente, riflettendo poi sull'esaminatore come onda riflessa, avendo assorbito già parte della potenza sonora, in base anche alla distanza e alla lunghezza d'onda dell'onda. Dunque, una corretta valutazione della struttura sarebbe appropriata prima di decidere di effettuare le prove audiometriche in stanza, per un eventuale campo libero, al posto della cabina, che per norma deve essere comunque presente in ogni centro acustico.

CAPITOLO III, STRUMENTI DI TARATURA

3.1 Utilizzo e caratteristiche del fonometro

Come strumento di taratura per eccellenza, andiamo a considerare l'idea di utilizzare un fonometro di precisione, utilizzato per tarare i nostri strumenti quali l'audiometro e le cuffie. Al fonometro stesso, prima di essere immesso nel mercato, viene eseguita una taratura, ripetuta da ente accreditato ogni due anni. Il fonometro è dunque un dispositivo elettroacustico per la misura del livello di pressione sonora. La sua funzione principale è quella di convertire un segnale acustico variabile nel tempo, in un valore numerico che esprime il livello di pressione. Il fonometro è uno strumento elettronico che reagisce al suono in maniera simile a quella dell'orecchio umano. Serve a rilevare e misurare l'esposizione all'inquinamento acustico e per registrare i livelli di rumore in un determinato ambiente. In un centro acustico o in un ambulatorio ospedaliero, nonché in cabina, viene verificato il rispetto dei

valori soglia del rumore tollerabile. “La pressione sonora viene tradotta in un segnale elettrico, a sua volta pesato con un filtro di ponderazione, ispirato alla curva isofonica di 40 phon dell’audiogramma normalizzato di Fletcher-Munson. Viene inoltre misurato il valore efficace della fluttuazione della pressione sonora, visualizzato in scala logaritmica (scala dei dB), al fine di simulare la risposta logaritmica agli stimoli sonori tipica del sistema uditivo umano. L’apparecchio è costituito da vari dispositivi: il trasduttore (microfono), l’amplificatore per i livelli sonori bassi, il circuito di pesatura, il banco di filtri, il dispositivo integratore e il corpo esterno che permette di leggere le informazioni. È il trasduttore che permette di trasformare le variazioni di pressione nelle rispettive grandezze elettriche. Una volta convertito il segnale, viene elaborato e misurato. Grazie al dispositivo integratore, il fonometro permette di calcolare il livello sonoro continuo equivalente, cioè il livello sonoro che un rumore costante dovrebbe produrre come quantità di energia acustica fornita dal rumore reale nel tempo. Con il banco dei filtri, a bande di ottava o di terzi di ottava, viene misurato lo spettro sonoro del rumore, più le frequenze tonali, cioè le frequenze alle quali il rumore è particolarmente intenso rispetto alle frequenze adiacenti. “Cravedi, 1999. È progettato generalmente per una gamma di frequenze comprese tra i 30 e i 16.000 Hz, ed è graduato per rumori che vanno da 40 a 130 dB. Uno strumento col certificato scaduto non può essere utilizzato per sicurezza, in quanto potrebbe fornire misure non precise. Prima di ogni sessione di misura, l’utente del fonometro (ente specializzato) deve effettuare la calibrazione. La calibrazione del fonometro consiste nel porre sul microfono, ovvero il suo trasduttore, il calibratore. Questo, emette un tono puro con un’ampiezza molto precisa (94 dB, a 1 Pa, a 1kHz) Il punto di ingresso del segnale è il rappresentato dal microfono (la parte più importante e costosa del fonometro) in cui si realizza la conversione tra pressione sonora e segnale elettrico. La caratteristica fondamentale di un microfono è la sua sensibilità, espressa dal rapporto tra la tensione prodotta in mV e la pressione sonora applicata, in Pa, con un range di valori che va da 2 a 100 mV/Pa. Teoricamente un microfono dovrebbe essere omnidirezionale. In pratica però non lo è mai perfettamente. Ad ogni misurazione dovremmo teoricamente fare uso due diversi microfoni, secondo le diverse condizioni. È necessario ricordare però che il microfono è la parte più costosa di un fonometro. Nella pratica quindi se ne acquista soltanto uno e poi, effettuata la misurazione, si riequilibrano le alte frequenze che sono state sovrastimate o sottostimate. Esistono anche delle

maschere di tolleranza che permettono di accertarsi di effettuare misure a norma di legge. Per esempio, in Italia le misurazioni fonometriche devono essere effettuate con microfoni di Classe 1 (ovvero microfoni di precisione), caratterizzati da una ristretta maschera di tolleranza e dal funzionamento a pressione, il che evita "effetti di prossimità" (significa che danno lo stesso risultato anche se posti molto vicini alla fonte che produce il suono, senza amplificare eccessivamente le basse frequenze). “ Il microfono non andrà a misurare pressioni statiche, ma solo variazioni rispetto alla pressione atmosferica, a partire dalla frequenza di taglio del condensatore applicato (che di solito è limitata a 2 o 3 Hz). I fonometri moderni sono anche in grado di effettuare l’analisi in frequenza del segnale captato. Ritornando a considerare la parte del microfono, ne abbiamo due in dotazione, ovvero per misure a “campo libero” o per misure a “campo diffuso”. I primi hanno una risposta piana, possono essere utilizzati anche all’aperto, puntando però verso la sorgente sonora. I secondi invece, vengono utilizzati in presenza di più sorgenti sonore e in presenza di rimbombi.” Battilocchi, Campanini, 2016. Nel nostro caso, sia in un centro acustico che in un ambulatorio ospedaliero, sapendo che le condizioni di riverbero debbano essere quasi pari a zero, vien da se che il fonometro più utilizzato risulta a “campo libero”, dato che la misurazione avviene su una sorgente sonora, più nello specifico in un centro acustico, in quanto si viene a sviluppare la condizione in campo libero, in stanza fonoassorbente, rispetto alla cabina audiometrica in ospedale, di dimensioni ridotte e con una forma quadrata rispetto alla stanza, che può avere una forma diversa o che può avere diversi oggetti al suo interno. La misura base con un fonometro consta di tre fasi:

1. -Calibrazione
2. -Regolazione
3. -Misura

1. La calibrazione è un procedimento che permette di tarare il fonometro in modo che rilevi dei valori corretti. Tuttavia, questo è possibile grazie al “calibratore” che ha un valore preciso e che, applicato in testa al microfono, deve far visualizzare sul display il valore prescritto sulla sua targhetta. Se questo non avviene, è possibile calibrare manualmente il fonometro tramite una vite, oppure viene utilizzato un calibratore elettronico.

2. La regolazione invece, è la fase in cui si setta lo strumento per avere una misura determinata in un particolare ambiente. Viene selezionata la ponderazione minima da avere e l'analisi in frequenza. Si cerca inoltre di posizionare il microfono distante dal fonometro stesso, per non inficiare la misura.

3. La misura invece è la fase in cui vengono rilevati i valori di livello di campo sonoro nell'ambiente in questione. In seguito, si fa partire lo strumento per dare inizio alla misura. Il fonometro sarà dunque in grado di misurare e memorizzare il valore istantaneo massimo della forma d'onda del segnale di pressione sonora, ovvero il livello di picco massimo. *7



Figura 10, rappresentazione/illustrazione/in figura di un fonometro digitale

*7 {Misure fonometriche a cura di Maurizio Cravedi, corso di fisica tecnica; Zetalab, 1999}

3.2 Normative regolamentari

Per una corretta audiometria, dunque, sono importanti diversi parametri di misura, tra cui, in primo luogo la taratura dell'audiometro, in conformità

con la normativa ISO 389 ed in secondo luogo, non per importanza, l'ambiente di prova, come si può evincere in questo capitolo, rispettando i requisiti della normativa ISO 8253-1:2010.

La UNI EN ISO 8253-1:2010, stabilisce i livelli massimi di rumore di fondo ammissibili per un ambiente acusticamente idoneo allo svolgimento delle misure audiometriche. Per verificare il rispetto dei valori limite, secondo questa normativa, ci avvaliamo dell'uso del fonometro, per misurare appunto il rumore di fondo. Anche lo stesso fonometro si avvale di alcune precise normative che fanno capo alla normativa 8253-1:2010.

In funzione della precisione, le norme internazionali ovvero IEC, ANSI ecc, hanno fissato tre diverse classi. Per una corretta audiometria, ci si avvale della classe 1, ovvero della classe di precisione. Secondo le norme Europee IEC 60651, ovvero la "Sound level Meters", nonché misuratori di livello sonoro, tra cui il fonometro, la lettura delle misure deve avere una precisione entro +/- 0,7 dB per la classe 1. I fonometri meno recenti riportano l'osservanza alla norma IEC 651, che divenne IEC EN 60651, quando venne recepita dalla comunità Europea.

La norma più recente però, risulta essere la IEC 61672. Questa norma ha inglobato la IEC 651 e la IEC 804 (fonometri di precisione e fonometri regolatori insieme). Tramite queste norme, i costruttori specificano come devono essere costruiti i fonometri e quali test devono superare per essere considerati nelle relative classi di precisione. Gli strumenti, inoltre, devono essere tarati annualmente presso uno dei centri accreditati al SNT (sistema nazionale di taratura). Anche il calibratore del fonometro fa capo ad una norma, la IEC 60942:2003. I fonometri più semplici danno la misura del livello istantaneo del rumore. Ci sono però strumenti più complessi che elaborano la misura per dare anche un valore energetico medio, analisi del rumore alle varie frequenze, analisi statica, di evento e di isolamento acustico: ovvero il tempo di riverbero RT 60 e la perdita di trasmissione attraverso le parate. Dato molto interessante se consideriamo la calibrazione in stanza.

Il caposaldo legislativo di tutte queste norme è senza dubbio il "D.Lgs. del 9 aprile 2008, numero 81" Testo Unico, 1981, ovvero il testo unico sulla sicurezza sul lavoro. *⁸

*⁸ {Zetalab, Univpm, agenti lesivi; Testo Unico 1981}

3.3 Taratura audiometro (IEC 60645)

La UNI EN ISO 8253-1:2010, in conformità con la normativa ISO 389, stabilisce la corretta taratura dell'audiometro, ai fini dell'attendibilità dei risultati di prova. I controlli vengono effettuati al mantenimento nel tempo delle caratteristiche di produzione di segnali acustici, in base alle tolleranze consentite.

La normativa CEI 60645-1, che fa da cappello alla 8253-1:2010 e alla 389, norme più generali, stabilisce i requisiti cui deve soddisfare un audiometro per poter essere classificato. Questa norma specifica, inoltre, le caratteristiche dei filtri, le frequenze di taglio sia al di sotto, sia al di sopra delle quali il segnale generato è escluso, ovvero l'intensità del segnale mascherante. La tolleranza degli apparecchi di misura viene suddivisa in cinque classi. In base al tipo di precisione che vogliamo ottenere, sappiamo che la classe 1 risulta esserlo, poiché offre una gamma più completa di funzioni. Difetti, solo le prime tre classi consentono di fare l'esame per via ossea. Ne consegue che la loro taratura debba essere ancor più minuziosa. Si va infatti dalla conduzione per via aerea tramite cuffie e inserti, fino alla comunicazione parlata tra operatore e soggetto, passando per la conduzione ossea, il mascheramento (tramite rumore a banda stretta o banda larga), la modalità di mascheramento (con cuffia o vibratore osseo), la commutazione dei toni e il tono di riferimento, il sistema risposta soggetto, l'uscita per segnale elettrico, l'ingresso per segnali esterni, l'indicatore di segnale ed il monitoraggio acustico del segnale.

“La norma CEI EN 60645-1 stabilisce anche un limite di tempo entro il quale il segnale, raggiunge il livello indicato o ricade al livello zero.

I controlli periodici da effettuare per verificare la rispondenza ai requisiti stabiliti dalla norma per la classe dello strumento e l'adeguatezza all'uso, sono riportati anche nelle norme UNI EN ISO 8253 e ISO 6189.

La norma ISO 6189 prevede una procedura di verifica regolarmente eseguita, completa di taratura come requisito minimo per assicurare che l'audiometro, quando in uso, sia in accordo con la norma ISO 389 e rispetti i requisiti di taratura della norma CEI EN 60645” Elia, 2001. Il sistema di

controllo, prevede inoltre che l'audiometro, non mantenga facilmente nel tempo le sue caratteristiche all'interno delle tolleranze consentite.

I controlli vengono suddivisi in quattro fasi: nella prima fase, bisogna attendere dopo l'accensione per il tempo specificato dal costruttore prima di utilizzarlo per le misure. In seguito, va regolato secondo le istruzioni del costruttore e va verificata la batteria di alimentazione per le apparecchiature che ne sono munite, bisogna verificare che il segnale fornito dall'audiometro sia corretto in base alla trasmissione, per via aerea e ossea, per livelli di 10 o 15 dB sopra la soglia in ambedue le cuffie ed i vibratorii ossei per tutte le frequenze. Inoltre, bisogna controllare che la cuffia in uso e l'audiometro siano correttamente accoppiati (in base anche al numero di matricola). Infine, controllare che il funzionamento sia corretto anche per livelli più elevati di ogni tipo di segnale, che non si percepiscono distorsioni, rumori di contatto alla commutazione da una frequenza o da un livello ad un altro, che spinotti e cavi siano regolari, che le spie luminose si accendono per i segnali ad intermittenza e che le manopole di regolazione abbiano posizioni e scatti ben definiti. Nella seconda fase, avviene la verifica soggettiva della taratura, almeno una volta a settimana (anche se potrebbe essere fatto anche nel quotidiano), effettuando un audiogramma di una persona avente un udito stabile conosciuto, e confrontando i risultati della prova con l'audiogramma noto.

Se i risultati indicano differenze di livelli di soglia uditiva superiori a 10 dB per qualsiasi frequenza, l'audiometro dovrà essere ritirato dall'utilizzo e soggetto ad una verifica soggettiva della taratura o alla taratura stessa.

Nella terza fase abbiamo la verifica oggettiva della taratura, almeno ogni tre mesi, consiste nel misurare la frequenza di tutti i toni di prova, misurare il livello di pressione sonora dei toni di prova ad ogni frequenza e ad ogni trasduttore auricolare. L'audiometro sarà ritirato in caso di scostamento tra i valori misurati.

Nella quarta fase, vediamo la taratura, effettuata si da un laboratorio competente ogni due anni o quando ritenuto necessario dai controlli periodici. La taratura viene eseguita in accordo con la normativa UNI EN ISO 389 dell'audiometro, rispettando i requisiti, stabiliti per il tipo cui esso appartiene, dalla norma CEI EN 60645 relativamente alla misura dei livelli di pressione sonora di soglia generati in un orecchio artificiale, dei livelli di forza di vibrazione applicati ad una mastoide artificiale, delle ampiezze dei

passi del regolatore di intensità di livello, della precisione delle frequenze dei toni puri di misura generate, della distorsione armonica dei segnali. La norma UNI EN ISO 8253 prevede una metodologia di taratura, applicabile a tutti i tipi di audiometri, non dissimile a quella contenuta nella norma ISO 6189 precedente.

“La taratura periodica dell’audiometro, per via aerea e per via ossea, avviene prescindendo dalla presenza di un soggetto. L’orecchio e la mastoide ai quali si dovrà applicare il suono o la vibrazione, sono in questa fase sostituiti da una cavità metallica di un dato volume e forma, chiamata orecchio artificiale che va a simulare l’orecchio umano medio. La pressione sonora o la vibrazione vengono misurate indipendentemente dalla taratura soggettiva. È normalizzata anche la forza esercitata dall’archetto su orecchie e mastoidi. Nella taratura, questa forza è sostituita da un peso di 450 g o 4,5 N nella misura di pressione sonora all’orecchio artificiale e di 540g o 5,4 N nella misura di vibrazione nella mastoide artificiale.” *⁹ Natalini, 1999.

La norma CEI EN 60645 stabilisce inoltre, per chi effettua la taratura degli audiometri, in accordo col sistema Europeo e Italiano di taratura, le tolleranze di frequenza e di ampiezza del segnale di misura. I singoli toni stabili in ampiezza e frequenza e gli stadi successivi non devono influire su queste due caratteristiche del segnale. Il passaggio da una frequenza all’altra di misura deve essere tale da non provocare rumori spuri al passaggio da un livello e frequenza all’altro. Lo strumento inoltre non deve trasmettere ronzii che accompagnino il segnale di misura, soprattutto quando questo ha livelli molto bassi e più vicini alla soglia. Inoltre, non deve generare rumori in corrispondenza di una variazione di contatto anche se ci fosse l’introduzione di un livello mascherante. L’amplificazione del segnale deve avere caratteristiche di linearità precise, per non indurre distorsioni alle componenti del segnale di misura. In questo caso viene operata la regolazione di livello di pressione sonora del segnale. Ne consegue che il risultato della misura audiometrica è espresso in dB dalla posizione del regolatore, in corrispondenza della soglia di percezione indicata dal soggetto. Questo stadio deve essere tarato e controllato periodicamente, prevedendo un’inserzione ed un’eliminazione del segnale di intensità graduale entro intervalli di tempo specificati dalla norma, per evitare che un segnale applicato troppo velocemente provochi una sensazione che falsi il giudizio di percezione richiesto. Lo stadio raggiunto sia in cuffia, sia con il vibratore osseo che trasmette il segnale percepito dal soggetto come suono

è molto delicato sia all'atto della taratura dell'audiometro, sia quando si tratta di applicare il suono all'orecchio in prova. L'archetto che assembla le cuffie o i vibratorii deve consentire la perfetta aderenza alla testa del soggetto da esaminare, poiché ogni sfuggita costituisce a livelli pratici, una riduzione dell'intensità del segnale applicato all'orecchio in prova, senza però esercitare una pressione eccessiva. La stessa incertezza della misura viene molto inficiata da una scorretta posizione di cuffie e vibratorii, ai fini del giudizio di percezione. La norma ISO 8253-1 citata in precedenza raccomanda di utilizzare auricolari sovraaurali, poggiando sul padiglione auricolare tramite un tampone in gomma o in spugna. Sono molto facili da tarare su orecchio artificiale, anche se dal 2003 i circumaurali possiedono norme di taratura. I circumaurali invece sono situati in un guscio che tende ad isolare il rumore, contenendo un cuscinetto. Oggi possiedono una buona taratura, abbastanza apprezzabile. Vengono tarati assieme all'audiometro, di regola una volta all'anno, considerando i livelli, le frequenze, la distorsione e la forma del segnale. Oltretutto, quando si ripete un'esame, è importante che i trasduttori siano allo stesso posto, per evitare ulteriore dispersione del suono soprattutto sulle basse frequenze e sulle alte frequenze per il mutamento del condotto anche solo in modalità test-retest. "Le circumaurali, tendono a ridurre un collasso del condotto" * ¹⁰Chaiklin e McClelland, 1971.

* ¹¹ {"Audiometria in medicina del lavoro e legale", Giuseppe Elia;

D.Lgs 277 del 1991, UNI EN ISO 8253-1:2000, UNI EN ISO 389-1:2000,

UNI EN ISO 389-3:1999, "Audiometri: l'importanza di una taratura e le problematiche connesse" di E. Natalini; Audiometric management of collapsible ear canals}

3.4 Tarature stanze e cabine audiometriche

In questo paragrafo, una volta chiarito nel paragrafo precedente il concetto di taratura degli strumenti medicali, nel nostro caso l'audiometro, è

importante parlare della taratura della cabina audiometrica e della stanza stessa, nel caso in cui la stessa audiometria non venga eseguita in cabina audiometrica. Un requisito essenziale dell'ambiente deputato all'audiometria è la silenziosità. La norma UNI EN ISO 8253-1 specifica i livelli di pressione sonora ammissibili, per bande di un terzo di ottava, al fine di effettuare una corretta audiometria. I parametri per stabilire i valori sono il livello minimo di soglia uditiva pari a 0 dB, un'incertezza di 2dB o di 5 dB sui minimi livelli sonori di prova, le vie di trasmissione del segnale acustico (aerea o ossea), la più bassa frequenza di prova e il tipo di cuffia utilizzata. C'è una tabella in letteratura che riporta i livelli sonori massimi ammissibili per ambienti in cui si svolgono esami audiometrici. Un'incertezza ipotizzata equivale a 2dB sui minimi livelli sonori di prova e un intervallo di frequenza di prova compreso tra 125 Hz e 8000 Hz. È inoltre prevista una cuffia per le alte frequenze avente valore di attenuazione. Chiaramente, i livelli sonori devono risultare molto bassi per essere tollerati, motivo per il quale si dovrebbe scegliere sempre la cabina fonoisolante, piuttosto che fono isolare una stanza intera. Altrimenti, l'isolamento acustico in stanza deve essere altamente efficace.

Le caratteristiche fonoisolanti di una cabina dovranno essere tanto più elevate quanto maggiore è il livello sonoro presente nell'area in cui la cabina è installata.

Frequenza Hz	Isolamento tipico di una cabina audiometrica a struttura metallica dB	Livello sonoro massimo ammissibile nell'ambiente in cui è situata la cabina dB	
		via aerea	via ossea
31,5	10	66	65
40	12	64	59
50	14	61	55
63	16	58	51
80	18	56	48
100	20	53	45
125	22	50	42
160	24	47	41
200	26	46	41
250	28	47	41
315	30	48	41
400	32	50	41
500	34	52	42
630	35	53	43
800	37	57	44
1000	38	61	45
1250	40	65	47
1600	41	68	49
2000	42	72	50
2500	43	75	49
3150	44	78	48
4000	44	80	46
5000	44	79	48
6300	44	78	53
8000	44	77	59

Questi livelli di pressione sonora possono essere incrementati di 8 dB se è accettata un'incertezza di 5 dB nella prova relativa

Figura 11, livelli di isolamento acustico

“Nella tabella sottostante è rappresentato l’isolamento acustico, ovvero la differenza aritmetica fra i livelli sonori rilevabili all’esterno della cabina e quelli riscontrabili contemporaneamente al suo interno, di una buona cabina audiometrica. Nella parte destra della tabella invece sono riportati i valori massimi ammissibili nell’ambiente in cui la cabina stessa è collocata, al fine di rispettare all’interno della cabina stessa i valori limite stabiliti, con un’incertezza di 2dB. Livelli sonori per terzi di ottava vicini ai 40 dB per le frequenze medio basse sono tipici di ambienti silenziosi. Pertanto, volendo avere risultati affidabili, anche quando abbiamo soggetti con soglie da

normo-udenti, non è possibile sistemare la cabina di prova in ambienti leggermente rumorosi, a meno che non si accetti un'incertezza più ampia (5dB a basso livello)” C. Botti. Se invece la cabina, dinanzi ad un centro acustico o in un ospedale, è posta in un ambiente silenzioso e meticolosamente tarato, le caratteristiche fonoisolanti possono essere meno severe. Nel caso in cui si abbiano dubbi sul rispetto dei valori limite e non si abbia la possibilità imminente di effettuare rilievi fonometrici (con la normativa vuole), la norma citata suggerisce di eseguire un rilievo audiometrico su due soggetti con soglia bassa e stabile. Se si riscontra per i soggetti una variazione massima di 5 dB nel livello di soglia, è necessario provvedere a ridurre ulteriormente il livello del rumore di fondo nella cabina. Per qualsiasi cabina audiometrica è essenziale una struttura di pareti, pavimento e copertura che presenti un buon isolamento acustico, sia per via aerea, sia per via solida, ovvero attraverso l'appoggio sul pavimento dell'ambiente nel quale è collocata. Se la cabina è in muratura, il potere fonoisolante delle pareti sarà superiore ai livelli minimi richiesti. “Per le cabine a struttura metallica invece, debbono essere previste pareti di adeguata massa, con pannelli a struttura multipla, aventi un elevato smorzamento della risonanza. I punti deboli sono la finestra, la porta ed il sistema di aerazione. La finestra risulta essere un elemento indispensabile per condurre un'audiometria e controllare il comportamento del soggetto in esame. Vengono utilizzati dei vetri stratificati multipli e con un telaio robusto. La porta, di per sé ha ottime caratteristiche isolanti non essendo trasparente come la finestra ma ha il suo punto debole nella chiusura.” American Speech Language Hearing Association, 2005. Questa deve avere una doppia o tripla battuta, con una guarnizione che la sigilli. Deve inoltre essere areata una cabina, essendo di piccole dimensioni, nonostante se ne trovino di diverse dimensioni in base al tipo di ambiente, ovvero ospedale (più grande), centro acustico (più piccola). Essendo ermetica, non ha un buon ricambio d'aria. Questo però, potrebbe inficiare sulla concentrazione del soggetto in esame, climaticamente sfavorito. Il sistema di areazione invece, quando abbiamo una cabina audiometrica più grande, può costituire un ulteriore punto debole nell'isolamento della cabina, mettendo in comunicazione l'interno con l'esterno e perché il ventilatore che movimentava l'aria emette rumore. Esistono però aeratori con condotto silenziato. Lo stesso rivestimento della parete deve essere fonoassorbente, per una questione di confort del soggetto che non sarebbe soggetto a riverbero ma anche per ridurre il livello di pressione ambientale all'interno della cabina.

Il rumore trasmesso dall'esterno si incrementa tanto più quanto maggiori sono le riflessioni acustiche sulle superfici interne della cabina, la riverberazione ha effetto di amplificazione del rumore emesso in cabina che ne va a limitare l'isolamento. Anche lievi emissioni sonore prodotte dal soggetto vengono amplificate. Si può misurare l'isolamento acustico della cabina dall'ambiente che la contiene, generando in questo un segnale sonoro avente uno spettro sonoro ampio (rumore rosa) e di adeguata intensità, rilevando il livello di pressione sonora che questo produce contemporaneamente all'esterno e all'interno della cabina in esame. Nella cabina chiusa invece è più difficile misurare il rumore di fondo, se non con specifici strumenti ad alta sensibilità che consentono di misurare livelli di rumore molto bassi. Per quanto riguarda la taratura della stanza, dunque del cosiddetto ambiente di prova, ci avvaliamo della medesima normativa, ovvero la UNI EN ISO 8253-1:2010, basandosi sui metodi di prova audiometrici. Questa stabilisce i valori massimi di rumore di fondo ammissibili, ovvero lo 0 audiometrico. Per consentire la misura dello 0 audiometrico non si devono superare i livelli $L_{max} = k + A$ (1). Se la rumorosità in bande di ottava supera anche solo 1 dei valori della tabella sottorappresentata, l'ambiente non è ritenuto valido.

1000 Hz	23 dB
2000 Hz	30 dB
4000 Hz	36 dB
8000 Hz	33 dB

Figura 12, prospetto livelli massimi ammessi di pressione sonora ambientale, nelle bande di terzo di ottava, per misurazioni audiometriche con conduzione per via aerea che arrivano a 0 dB con le normali cuffie sopra-auricolari

Per misurare un ambiente di prova, ci avvaliamo dei medesimi strumenti, ovvero in prima scelta un fonometro integratore, dotato di un set di filtri per analisi in frequenza per bande di ottave, effettuando un campionamento rappresentativo della variabilità del rumore di fondo nell'arco della giornata, oppure eseguendo in ambiente di prova un esame audiometrico su almeno due soggetto stabili. Nel caso in cui si trovasse

una variazione anche solo di 5 dB, ci fa dedurre che l'ambiente di prova non è idoneo.

- (1) K = livello di rumorosità espresso in dBA, A =valore di attenuazione {Qualità delle audiometrie, Botti; American Speech Language Hearing}

3.5 Il corretto posizionamento dello strumento di misura

Nel momento in cui avviene una taratura ad un ambiente di prova, nonostante sia fonoisolante, un requisito fondamentale per procedere con la misura della soglia audiometrica, è che durante il processo di taratura, la stanza adibita a misure audiometriche, nel caso in cui non ci sia una cabina, seppur piccola, sia fono isolato e non ci siano particolari oggetti che possano traslare la lunghezza d'onda del suono su un'altra superficie e che dunque possano inficiare la taratura.

Il segnale che viene emesso durante la taratura degli ambienti, misurando il rumore di fondo, tiene conto dei segnali che tendono a riflettere tra di essi, inficiando così sia la taratura, che l'audiometria stessa. Più il coefficiente di assorbimento ha un valore maggiore, più i segnali riflettenti si riducono, e questo è già un vantaggio. Inoltre, dato che gli stessi oggetti, quali sedie, scrivanie o cassette tendono a "smorzare" il segnale durante la taratura, riflettendo su di essi, è importante che lo stesso pavimento sia poco riflettente. Un materiale poco riflettente è la moquette. Questo aspetto però verrà approfondito e messo in risalto nel prossimo capitolo. Ancor di più di carattere tecnico, è l'aspetto del corretto posizionamento degli strumenti di misura stessi. Elemento per la misura del rumore di fondo, nonché della pressione sonora e del riverbero, è come abbiamo visto il fonometro. La parte principale risulta però il trasduttore, ovvero il microfono.

Permette di misurare la pressione acustica convertendola in tensione, dunque in un segnale elettrico. Il microfono è costituito da una parte

meccanica, la membrana, che viene posta in movimento dalle variazioni di pressione caratteristiche di una perturbazione acustica, suono e rumore, e da un sistema che trasforma tale movimento in variazioni di una determinata grandezza elettrica. “Le principali caratteristiche che definiscono le prestazioni di un microfono sono la sensibilità (1); il rumore di fondo, ovvero un rumore generato in assenza di pressione acustica, espresso in millivolt equivalenti o in dB di livello di pressione sonora equivalente. Parametro caratteristico del microfono e dello stadio di preamplificazione; la risposta in frequenza; la caratteristica di direttività (2); il massimo livello di pressione sonora misurabile e il campo dinamico che è costituito dalla differenza tra il massimo livello di pressione sonora misurabile ed il livello equivalente del rumore di fondo. I microfoni vengono forniti con la carta di calibrazione in cui si riporta la risposta in frequenza del microfono ed i dati caratteristici relativi alla sensibilità, al fattore correttivo k , alla capacità del microfono, unitamente alle condizioni di calibrazione. Generalmente tali dati sono forniti in [dB] riportando il valore di riferimento, indicato con r_e , ed in particolare la risposta di un microfono viene valutata all’interno di range di ± 2 dB e ± 5 dB, facendo riferimento a r_e 20 μ Pa, in quanto un Pascal corrisponde a 94 dB di SPL.” Zandegiacomo, Bruel & Kjaer 1979. La diffrazione inoltre produce la variazione della sensibilità del microfono con l’angolo di incidenza dell’onda di pressione acustica, effetto fortemente dipendente con la frequenza e particolarmente sensibile a partire dalle frequenze la cui lunghezza d’onda è dell’ordine delle dimensioni del microfono. La sensibilità del microfono comunque diminuisce nel tempo e risente delle sollecitazioni ambientali e meccaniche, richiedendo un’operazione di taratura periodica, svolta con l’ausilio di dispositivi detti calibratori acustici, i quali emettono un livello stabile e noto di pressione acustica. È importante considerare l’influenza del microfono sull’acquisizione dei dati, dell’eventuale presenza dell’operatore. Sia lo strumento che l’osservatore disturbano il campo sonoro, è quindi buona norma montare il microfono su un tripode, con l’operatore ad una sufficiente distanza. I cavi di connessione che collegano il microfono alla strumentazione devono essere corti, ben schermati e di bassa capacità altrimenti il potenziale generato dal microfono stesso ne risente. Normalmente viene usato con il microfono un piccolo amplificatore elettronico, il preamplificatore, per amplificare l’uscita del microfono e per trasmetterla al cavo, minimizzando in questo

modo l'effetto del cavo nell'introdurre un errore di misurazione. Il corpo del fonometro, inoltre, influenza la direzionalità del suo microfono alle alte frequenze e soprattutto per suoni provenienti dai 180°. In questo paragrafo, dunque, viene evidenziata l'importanza del corretto posizionamento dello strumento di misura, in grado esso stesso di produrre un difetto di misurazione.

-
- (1) valore del fattore di traduzione espresso in millivolt generati per Pa di pressione acustica incidente; tanto più è alta la sensibilità tanto più è piccolo il valore minimo di pressione che lo strumento misuratore riesce a percepire sotto forma di tensione elettrica.
 - (2) variazione della sensibilità con l'angolo di incidenza del fronte d'onda
{Dispense di Acustica Zandegiacomo, Acoustic noise measurements, 1979}

CAPITOLO 4, TARATURE E NORMATIVE A CONFRONTO

4.1 L'acustica in stanza e l'acustica in cabina

Nel momento in cui avviene una taratura ad un ambiente di prova, nonostante sia fonoisolante, un requisito fondamentale per procedere con la misura della soglia audiometrica, è che durante il processo di taratura, la stanza adibita a misure audiometriche, nel caso in cui non ci sia una cabina, seppur piccola, sia fono isolato e non ci siano particolari oggetti

che possano traslare la lunghezza d'onda del suono su un'altra superficie e che dunque possano inficiare la taratura.

Il segnale che viene emesso durante la taratura degli ambienti, misurando il rumore di fondo, tiene conto dei segnali che tendono a riflettere tra di essi, inficiando così sia la taratura, che l'audiometria stessa. Più il coefficiente di assorbimento ha un valore maggiore, più i segnali riflettenti si riducono, e questo è già un vantaggio. Inoltre, dato che gli stessi oggetti, quali sedie, scrivanie o cassetti tendono a "smorzare" il segnale durante la taratura, riflettendo su di essi, è importante che lo stesso pavimento sia poco riflettente. Un materiale poco riflettente è la moquette. Una volta stabilita la taratura, sia nella stanza, ovvero l'ambiente comune di prova e la cabina audiometrica, possiamo affermare che un problema comune sia per la taratura che per la stessa misurazione audiometrica risulta essere il rumore di fondo, nonostante l'uso della cuffia e della sua normale taratura. Questo perché entrambi gli ambienti, se non adeguatamente predisposti a misurazioni, inficiano in principio la taratura, in secondo luogo lo stesso esame in cuffia, con un possibile riverbero, a frequenze ed intensità medio gravi che lo stesso paziente potrebbe percepire. Gli stessi pannelli fono-assorbenti non risolvono completamente il problema del rumore di fondo secondo diverse variabili, quali la struttura di riferimento nel caso della stanza o la grandezza della cabina, in base al materiale con cui è costituito il pannello e in base all'intensità della misurazione in fase di taratura. Anche lo stesso soffitto risulta essere riflettente. È possibile però ridurre le riflessioni tramite dei buoni tendaggi o scaffalature in legno. Nel caso in cui l'ambiente non sia del tutto anecoico, troveremmo maggiori interferenze tra onde dirette e onde riflesse, sia in fase di taratura, sia nel caso in cui si utilizzi il campo libero per il guadagno funzionale. Altro elemento da considerare, considerando sempre sia una taratura, sia l'utilizzo delle cuffie in audiometria, ad esempio ad intensità elevate, è che l'energia acustica incidente su una parete di un ambiente chiuso verrà in parte rimandata nella stanza o cabina, in parte verrà assorbita e in parte verrà trasmessa all'esterno dell'ambiente. L'onda incidente sarà sicuramente minore in cabina piuttosto che in stanza, nel caso in cui parlassimo di un tipo di cabina audiometrica di ridotte dimensioni, "ovvero una *single wall screening booths*", con un coefficiente di assorbimento che va da 0,79 a 1,00 e una riduzione del rumore che va da 27 a 60 dB." Acoustic Systems. Inoltre, le dimensioni e la massa cambiano

drasticamente. Un suono seppur in cuffia, mandato in una stanza fono-isolante, risulta essere molto meno attendibile rispetto alla cabina audiometrica, considerando le porzioni di suono che possono provenire dall'esterno. Stessa cosa al momento della taratura, dove il suono risulta essere maggiormente disperso. Questi potrebbero essere i principali problemi, dunque, mettendo in risalto le caratteristiche di un'audiometria fatta in cabina e una fatta in una stanza fono-isolata. La normativa UNI EN ISO 8253-1:2010 mette in risalto gli stessi requisiti per entrambi gli ambienti. Non c'è da escludere però che ci siano difetti su entrambi gli ambienti di prova, quali il riverbero maggiore, la taratura inficiata dai rumori maggiorati di fondo in base alla dimensione dell'ambiente di prova e i suoni esterni. *12



Figura 13, esempio di cabina audiometrica single wall screening booths RE-125 (28x36x65), weight (832). Center frequency Hz 500 (38), 1000 (44), 2000 (52), 4000 (53), 8000 (52).

*12 {Acoustics Systems, modular screening booths brochure}

4.2 Il rumore di fondo e il riverbero

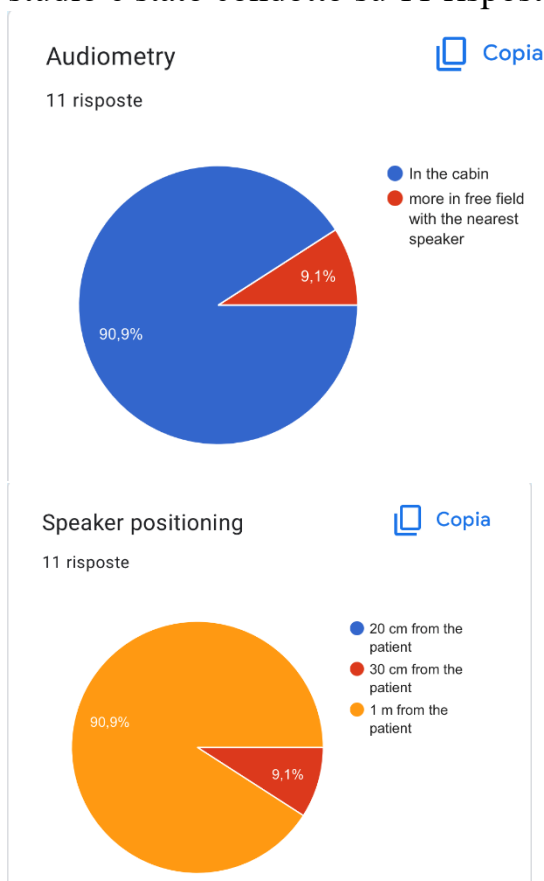
“La precisione delle misure fisiche, come è noto, trova il suo limite negli errori di misura: questi sono una manifestazione del rumore (noise), al quale si devono anche gli effetti di deriva (drift) che sono associati alle sue componenti a bassissima frequenza. Ricordiamo a questo proposito che la quantità d’informazione (a volte chiamata entropia) H associata a un campione (cioè il valore assunto a un dato istante) di un segnale è dato dalla formula di Hartley $H = \log_2 n$, dove n è il numero dei diversi valori che il campione può assumere, nell’ipotesi che tali valori siano equiprobabili” Pallottino, 2011. Ne consegue che la quantità d’informazione di un segnale diminuisce all’aumentare del rumore, che riduce il numero di valori effettivamente distinguibili: ciò spiega l’importanza del rumore nei problemi di comunicazione e in generale di elaborazione dell’informazione. Il rumore, del quale ci occupiamo per la sua importanza centrale in elettronica e in tutta la fisica sperimentale, consiste di fluttuazioni dovute a proprietà fondamentali della materia e in quanto tali di origine “interna” e ineliminabili in linea di principio: fluttuazioni di natura spontanea (rumore termico) oppure associate a flussi di oggetti quantizzati (rumore shot). Queste fluttuazioni, che si osservano a livello macroscopico, costituiscono una finestra aperta sul mondo microscopico in quanto derivano da fluttuazioni di grandezze microscopiche. Esse si manifestano nella forma di segnali casuali, il cui andamento nel tempo non è descrivibile analiticamente ma soltanto in termini statistici e il cui spettro non è costituito da righe ma è di tipo continuo, cioè si estende su una regione di frequenze più o meno vasta. Nello studio del rumore, di solito, più che il suo valore in termini assoluti, ha importanza la sua entità rispetto al segnale, che è rappresentata solamente dal rapporto segnale/rumore (signal-to noise ratio) SNR, definito come rapporto fra il valore quadratico medio del segnale e quello del rumore (un concetto analogo a quello di errore relativo nelle misure).

Nella maggior parte dei casi di interesse pratico il rumore si combina linearmente con il segnale (rumore additivo), cioè vale il principio di sovrapposizione degli effetti. Menzioniamo anche l'impiego del rumore come segnale a larga banda nella misura della caratteristica di risposta di circuiti e sistemi (eccitando l'ingresso con rumore a larga banda, dello spettro d'uscita se ne ricava la funzione di trasferimento) e i molteplici impieghi di "rumore artificiale" (per le nostre tarature). Gli elementi presenti all'interno di un ambiente chiuso, tra cui le persone, come dicevamo nel capitolo precedente, condizionano i tempi di propagazione acustica e di conseguenza, assorbendo ed incidendo l'onda acustica, potrebbe generare un rumore di fondo e allo stesso tempo inficiare una taratura. Nello studio del rumore, elemento essenziale è anche il tempo di riverberazione. Il tempo di riverbero rappresenta l'indicatore di qualità acustica di una sala. La riverberazione è una condizione naturale della fruizione acustica di un ambiente chiuso. Essa viene dosata per evitare effetti indesiderati. Con il termine riverbero quindi si intende la persistenza del suono o tono in un ambiente chiuso, dopo che la sorgente sonora ha cessato di irradiare (nel caso di una taratura della stanza, di un'audiometria in campo libero, o di un'audiometria in cuffia ad elevate intensità, che sia in cabina o in stanza), a causa della riflessione continuata dell'onda sonora sulle pareti. Il sistema più comune per cambiare il tempo di riverbero è quello di variare le unità assorbenti, con coefficienti di assorbimento che variano in base alle varie frequenze. I materiali porosi sono assorbenti per le frequenze medio alte. Per le frequenze basse invece, si utilizzano risuonatori acustici o pannelli vibranti. * ¹³

* ¹³ {Dispensa di elettronica, Università Sapienza, Pallottino, 2011}

4.3 Ricerca sulle tempistiche di taratura (ISO 6189)

In questo paragrafo, verrà riportato uno studio da me condotto riguardo le tempistiche di taratura dei sistemi elettromedicali, mediante un sondaggio proposto sul sito “*Linkedin*”, ovvero dei quesiti riguardo il corretto posizionamento degli *speaker* in campo libero e la taratura dell’audiometro, con un inquadramento generico sul rumore di fondo constatato in ambiente di prova. In questo studio, ho riportato cinque diverse domande che riguardano la posizione degli *speaker*, la modalità dell’audiometria (in cabina o in stanza), le tempistiche di taratura (se ogni anno o ogni sei mesi), la posizione degli *speaker* (se vicino alle pareti di vetro o se in stanza con finestre lontane e ben squadrate), la quantità di rumore di fondo misurato (meno di 20 dB o più di 20 dB). Lo studio è stato condotto su 11 risposte ottenute.



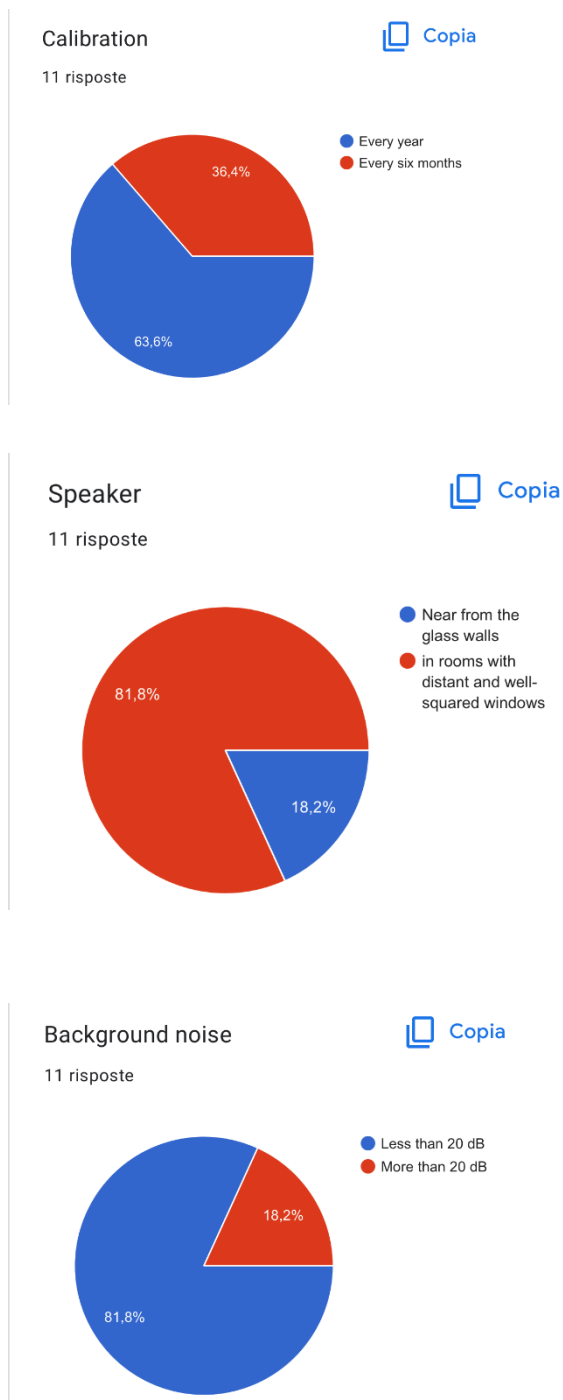


Figura 14, dati raccolti dal sondaggio

Prima di esaminare i dati raccolti, bisogna fare un passo indietro esplicando ulteriormente le normative di riferimento da seguire. Le norme UNI EN ISO 8253 già esplicata nei precedenti capitoli e la ISO 6189 riportano i controlli periodici da effettuare per verificare che

l'audiometro, elemento preso in oggetto nel sondaggio e di primaria importanza ancor prima della posizione degli speaker, sia in condizioni di poter svolgere delle audiometrie che rispettino i criteri di affidabilità e oggettività.” La norma ISO 6189 prevede delle verifiche regolarmente eseguite dall'operatore e una completa taratura ogni anno o ogni due anni come requisito minimo per assicurare che l'audiometro rispetti la norma CEI EN 60645 che stabilisce le tolleranze di frequenza e di ampiezza del segnale di misura” International standards. Nel sondaggio vedremo come la taratura possa essere eseguita anche ogni sei mesi, in base alle esigenze e ad una costante ricerca della perfezione dello strumento in atto. Secondo le undici persone che hanno partecipato al sondaggio, solo il 36,4 % effettua una taratura ogni sei mesi, a fronte del 63,6 % che effettua la taratura ogni anno. Il 90,9 % dei partecipanti effettua l'audiometria in cabina, a fronte del 9,1 % che effettua l'audiometria al di fuori della cabina. Dato estremamente confortante e che mette in risalto l'importanza di una buona audiometria. Come abbiamo già constatato, sono molteplici le problematiche legate al rumore di fondo e alla corretta taratura degli strumenti elettromedicali ma, constatare di avere il 90% dei partecipanti che perlomeno effettua l'audiometria nella sua corretta postazione è un dato valido. Secondo il 90,9 % dei partecipanti, lo speaker va posizionato ad un metro dal paziente, essendo questa la posizione corretta; mentre il 9,1 % dei partecipanti posiziona lo speaker a 30 cm dal paziente, non essendo questa la posizione corretta nel momento in cui effettuiamo un'audiometria in campo libero ad esempio. Anche lo stesso speaker, per l'81,8 % dei partecipanti va posto a debita distanza dalle finestre e in un'ambiente ben squadrato per evitare il riassorbimento acustico, rispetto al 18,2 % che lo colloca vicino alla finestra, col rischio di avere una riflessione dell'onda sonora al momento della taratura dello speaker stesso e dell'ambiente di prova. Infine, l'81,8 % dei partecipanti constatano un rumore di fondo minore di 20 dB, a fronte del 18,2 % che constata un rumore di fondo maggiore di 20 dB, perlomeno essendo collocato quasi al valore limite di tolleranza. Si stima dunque, secondo i dati riportati, che gran parte dei partecipanti adotti una corretta metodologia di taratura e posizionamento degli speaker. * 14

* 14 {Normativa ISO 6189, International standards }

CAPITOLO 5, UNA CORRETTA SOGLIA AUDIOMETRICA AI FINI PROTESICI

5.1 Raffinamento regolazioni protesiche

Per poter essere sicuri che i dati forniti dal dispositivo diagnostico siano veritieri e affidabili, come abbiamo visto nel corso di tutto l'elaborato, una corretta taratura è importante sia ai fini diagnostici che ai fini manutentivi. Errori e limiti di incertezza, superiori a quelli accertati, possono rendere la qualità dell'audiometria e conseguentemente la qualità d'ascolto mediante fitting audioprotesico inadeguata. Un errore di circa 2-5 dB HL, nella trasposizione fisica in dB SPL misurato secondo diverse conformità, può regalare una sensazione di enfattizzazione eccessiva.

Un' audiometria errata, va anche ad influire sul calcolo della curva target nelle misure in situ. Anche una non corretta posizione della cuffia va a modificare la sensazione acustica del paziente. Una non corretta taratura, con una molteplicità di problematiche legate ai parametri elettroacustici dell'audiometro, può modificare i nostri risultati, anche da un punto di vista funzionale. Non solo l'audiometro, ma anche l'ambiente di prova fa sì che la nostra regolazione protesica possa essere quanto più precisa possibile. Un

rumore spurio, presente nell'ambiente di misurazione (cabina o stanza), può influire anche sulla misurazione in cuffia (esempio: telefono che squilla). In questo caso le basse frequenze (a lunghezza d'onda maggiore) hanno un maggiore peso. Quando andiamo ad effettuare una prova in "campo libero", l'ambiente di prova risulta ancor più fondamentale, in quanto le orecchie del nostro paziente sono completamente libere di captare qualsiasi rumore e "sporcare" la nostra prova. E' importante inoltre, che il nostro paziente non venga sottoposto ad uno "stress acustico", nel caso in cui volessimo ripetere la prova. Un rumore di fondo può distrarre il paziente, riducendo la concentrazione necessaria, per una buona esecuzione dell'esame. Questo perché, anche in base all'età e alle abilità cognitive, la nostra risposta attesa può variare. Un guadagno elevato o troppo basso, derivante da misurazioni poco accurate, andrà sicuramente ad allungare i tempi di adattamento del paziente all'amplificazione.

5.2 Il campo dinamico del paziente

Il campo dinamico residuo, ovvero la differenza tra la minima soglia udibile e la soglia del fastidio (UCL), ci permette di avere un range chiaro e preciso entro il quale l'apparecchio acustico può agire. La scrupolosità nella ricerca della reale soglia, ci permette di avere un quadro chiaro di quelle che sono le possibilità di recupero ed il possibile fitting protesico, assieme all'accoppiamento acustico corretto. I parametri di amplificazione, possono variare, seppur non di molto, il nostro fitting. Volendo fare un esempio pratico, anche lo stesso ricevitore, subirebbe l'influenza di una misurazione errata, modificando il campo applicativo dell'apparecchio acustico. La nostra figura è atta alla più corretta valutazione dell'udito del paziente. Per questo è fondamentale che il nostro paziente non abbia il minimo dubbio sulle sensazioni uditive che riceve.

5.3 Misurazione fisica rispetto alla sensazione del paziente

La realtà sensoriale dell'uomo non corrisponde in tutto alla realtà fisica, motivo per il quale è importante che il tono trasmesso sia il più preciso possibile quando si tratta di audiometria. L'uomo, ad esempio, tende a privilegiare le modalità sensoriali che gli permettono un'esperienza globale e sintetica senza un contatto diretto, quali ad esempio i registri dell'udito. Si definisce stimolo sensoriale ogni tipo di energia o evento fisico che sia in grado di indurre una risposta a livello dei recettori. La soglia percettiva, infatti, è un punto variabile. Secondo la teoria della detezione del segnale, anche quando non c'è stimolazione, il recettore non è completamente silente. Mantiene invece un certo grado di attività che forma il cosiddetto "rumore di fondo", avvalorando sempre di più la tesi che, un ulteriore rumore di fondo provocato dall'ambiente di prova o dall'audiometro, potrebbero influire negativamente sulla sensazione del paziente stimolando ulteriormente il recettore. Tale rumore è variabile, dunque la soglia percettiva viene misurata come la differenza fra la media del rumore di fondo e la media del rumore di fondo più lo stimolo. Questa potrebbe essere una misurazione valida da sostenere per avere un quadro più preciso delle nostre misurazioni, dovendo però misurare il rumore di fondo a diverse frequenze e stilare una media, per avere il 50% delle sensazioni alle stimolazioni. Gli aspetti fisici del segnale, gli aspetti psicoacustici binaurali nonché gli aspetti cognitivi possono alterare la valutazione dell'ambiente sonoro. La valutazione della loudness di toni puri ha essenzialmente interesse in quanto passaggio intermedio per valutare la loudness di suoni complessi. La testa e l'orecchio esterno, di base, provocano già picchi e attenuazioni nella risposta in frequenza dei suoni ricevuti che variano a seconda dell'angolo di incidenza del suono e della posizione della sorgente. Nel caso del campo libero, è importante che venga fatta la taratura della sorgente, e che il soggetto sia posizionato nel punto giusto. La qualità di un segnale acustico viene valutata in base al volume, alla nitidezza, alla rugosità e alla

fluttuazione. *

* ¹⁵ {Introduzione alla psicoacustica e ai possibili campi di impiego
Nell'acustica ambientale, Pavone, 2013}

CONCLUSIONI

L'obiettivo di questo elaborato è l'analisi dal punto di vista tecnico della corretta rilevazione della soglia audiometrica al fine di trarre delle indicazioni sulla metodologia in base alle normative internazionali di riferimento. Sono diverse le regole da seguire per poter ottenere una corretta misurazione della soglia audiometrica. I fattori in gioco sono molteplici e riguardano l'assistito, l'operatore, l'ambiente di prova e lo strumento utilizzato. L'ambiente di prova può presentare delle problematiche, in quanto ambiente complesso, seppur in situazioni di "assoluto silenzio". La causa principale riguarda il rumore di fondo e le situazioni di riverbero. D'altra parte, la sensazione fisica che si ottiene è quella della distorsione in frequenza, caratterizzata dallo stesso ambiente di prova, e conseguentemente ai trasduttori (esempio cassa). Un'altra variabile e cofattore in gioco è l'assistito. L'assistito, può compromettere la rilevazione della soglia audiometrica per due motivi, ovvero la condizione psicoacustica e la collaborazione. Difatti, una buona concentrazione durante l'esame e una condizione psicoacustica favorevole, rendono l'esame corretto e non soggetto a ripetizioni. Altra variabile in gioco è l'operatore, figura non scontata, sia nella rilevazione della soglia, sia al momento della taratura dell'ambiente e dello strumento elettromedicale. L'operatore, dovrà dunque seguire

passo dopo passo le fasi della taratura in accordo con le normative IEC/ISO citate durante tutto l'elaborato. Mantenere una corretta posizione in fase di taratura, dove per posizione si intende quella dell'operatore stesso e degli oggetti presenti nell'ambiente di prova, abbiamo visto come non siano elementi da sottovalutare. Per ultimo, ma non per importanza, viene messa in discussione anche la stessa funzionalità dello strumento elettromedicale, quale l'audiometro e le cuffie. È fondamentale tenere conto sia della taratura annuale che della taratura giornaliera soggettiva, fatta dall'operatore, assicurandosi che lo strumento sia funzionante. Indubbiamente, una volta citate le quattro variabili in gioco, l'azione principale da svolgere risulta essere semplicemente la taratura. Il fonometro, i microfoni di misura e le normative servono a dare una guida alle nostre misurazioni, con una precisione fisica altamente minuziosa. Chiaramente, ogni misurazione ha i suoi limiti. I principali limiti riguardano i rumori esterni nel momento in cui andiamo a rilevare la soglia in campo libero, ed in realtà anche in cabina, considerando le condizioni esterne e il punto in cui si trova la nostra struttura, sia pubblica che privata. Questo tipo di situazione potrebbe non essere controllabile. Un altro limite che a monte va a inficiare la nostra misura sono le condizioni dell'assistito. Nonostante l'ambiente di prova e lo strumento favorevoli alla misurazione, la condizione dell'assistito non permette in alcun modo il proseguirsi dell'esame se non collabora. Dunque, in conclusione, bisogna avere consapevolezza dei limiti che possono intercorrere durante il nostro esame e bisogna porre la massima precisione, seguendo le indicazioni delle linee guida internazionali, che troviamo nelle normative citate nei precedenti capitoli. Tali normative, se lette e eseguite correttamente, permettono di donare la miglior sensazione acustica all'assistito durante l'esame e una precisione nella regolazione protesica in fase di *fitting*, essendo il nostro obiettivo sia da un punto di vista tecnico-diagnostico che tecnico-assistenziale.

BIBLIOGRAFIA

- (1) “Spirometria e Audiometria, C. Botti”
- (2) “International Standards, IEC 60645-3:1994”
- (3) “Manuale di acustica, Hoepli, 1996, Acoustics, Mc Graw- Hill, 1954”
- (4) “Rumore ed isolamento acustico, Gigante, 1996, Manuale di acustica applicata, Spagnoli 2001”
- (5) “Il Decibel, Massimiliano Salfi”
- (6) “Elementi di Acustica tecnica, Giulianini A, Cocchi A, 1981”
- (7) “Misure fonometriche a cura di Maurizio Cravedi, corso di fisica tecnica; Zetalab, 1999”
- (8) “Zetalab, Univpm, agenti lesivi; Testo Unico 1981”
- (9) “Audiometri: l’importanza di una taratura e le problematiche connesse” di E. Natalini”
- (10) “Audiometric management of collapsible ear canalis, Chaiklin J.B McClelland M.E, 1971”
- (11) “Qualità delle audiometrie, Botti; American Speech Language Hearing”
- (12) “Dispense di Acustica Zandegiacomo, Acoustic noise measurements, 1979”
- (13) “Acoustics Systems, modular screening booths brochure”
- (14) “Dispensa di elettronica, Università Sapienza, Pallottino, 2011”
- (15) “Introduzione alla psicoacustica e ai possibili campi di impiego nell’acustica ambientale, Pavone, 2013”

