



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**Valutazione dell'effetto di dispositivi di protezione individuale
delle vie respiratorie sull'emissione acustica del parlato in
relazione al confort indoor**

*Evaluation of the effect of personal protective equipment on the acoustic emission of
speech with regard to indoor comfort*

Relatore:
***prof.ssa Milena
Martarelli***

Tesi di laurea di:
Sabrina Calderisi

A.A. 2019/2020

INDICE

1. Introduzione	5
2. Cenni di acustica	6
2.1. Comfort acustico	6
2.2. Il suono e la voce	6
2.3. Acustica delle sale	10
2.4. Indici e normative per la classificazione del comfort	14
3. Analisi del comfort di una stanza di ufficio	18
3.1. Geometria della stanza	18
3.2. Set-up sperimentale	20
3.3. Analisi dei dati	22
4. Influenza di una mascherina sull'emissione acustica e sulla percezione	24
4.1. Set-up sperimentale	24
4.2. Analisi dei dati	29
5. Conclusioni	33
6. Bibliografia	35
Bibliografia immagini	37
Appendice	38
A1- Caratteristiche sorgenti acustiche e datasheet sensori	38

1. Introduzione

I primi studi sull'emissione acustica risalgono agli anfiteatri dell'Antica Grecia dove spesso venivano utilizzate delle maschere con l'intento non solo di modificare l'aspetto affinché non fossero distinguibili elementi come l'età ed altre peculiarità degli attori, ma anche modificarne, per quanto possibile, il timbro vocale ed amplificarne il suono. Le strutture venivano studiate poiché, in ovvia assenza di amplificazione elettroacustica, il suono arrivasse e in maniera chiara a tutto il pubblico e si documentano, quindi, l'utilizzo di pareti che permettevano di sfruttare anche il suono riflesso e un particolare uso generale dell'architettura.

Oggi, non solo studiamo in modo più approfondito il suono e come materiali e geometrie, per esempio di una stanza, possono modificarne le frequenze e, attraverso il fenomeno di riflessione, la pressione sonora totale. Sfruttiamo anche l'utilizzo di fenomeni fisici calcolabili per stabilire dei parametri oggettivi e, attraverso questi, indici di confort calcolabili per poter imporre delle caratteristiche standardizzate da rispettare nella progettazione di impianti e strutture. Inoltre, è di particolare interesse anche il modo in cui il suono stesso, quando indesiderato, può modificare comprensione e benessere psicofisico delle persone in maniera provvisoria e, talvolta, permanente.

Con la diffusione della pandemia del Covid-19 e la conseguente diffusione mondiale di dispositivi di protezione delle vie respiratorie è di particolare interesse non più solo la caratterizzazione delle sale dal punto di vista della diffusione del suono e del rumore di fondo, ma anche il modo in cui tali strumenti, posti in prossimità dell'apparato orofaringeo modificano l'emissione sonora, non solo riducendone la pressione sonora, ma influenzando in maniera differente le diverse bande di frequenza.

2. Cenni di acustica

2.1. Comfort acustico

È stato studiato come l'inquinamento acustico può avere molteplici effetti negativi sulla salute, oltre l'ovvia perdita o il danneggiamento dell'udito. Per esempio, dopo l'inaugurazione di un nuovo aeroporto internazionale a Monaco, secondo uno studio effettuato su bambini di età compresa tra 9 e 11 anni è stato registrato un aumento dello stress psicofisiologico (pressione sanguigna a riposo e adrenalina notturna e norepinefrina) e depressione di altri indicatori di qualità della vita nell'arco di 2 anni dovuto al rumore degli aerei ^[1].

I danni non si fermano solo all'incremento dello stress della vita quotidiana: un rumore di fondo troppo alto in un ambiente lavorativo –seppur troppo basso per causare problemi all'apparato uditivo- può provocare un abbassamento di noradrenalina o cortisolo, comportando quindi dei deficit nel livello di motivazione e capacità di problem solving ^[2] e aumenta le probabilità di abbandonare delle posizioni ergonomiche e posturali corrette, aumentando il rischio di sviluppare disturbi muscoloscheletrici ^[2]. Si registrano anche un incremento di probabilità di sviluppare malattie cardiovascolari ^[3], aumento del senso di affaticamento ^[4], danneggiamento della memoria a lungo termine dovuto a disturbi della qualità del sonno a onde lente (slow wave sleep ^[5]).

È fondamentale considerare anche che, se l'inquinamento acustico produce tali effetti su delle persone neurotipiche, può essere un fattore stressante (stressor) di maggiore importanza per chi presenta disturbi di elaborazione sensoriale (in inglese: sensory processing disorder) come, per esempio, persone nello spettro autistico (ASD), persone con disturbo da deficit di attenzione/iperattività (ADHD) e/o disturbo generalizzato dell'ansia. Questo può ostacolare alcuni individui piuttosto che altri e causare disuguaglianze in ambito lavorativo.

L'inquinamento acustico non influenza solo la salute e le prestazioni lavorative, ma anche la qualità di ascolto e di comprensione di una conversazione all'interno di una stanza. Per questo motivo sono oggetto di studi gli elementi che possono influenzare la diffusione del suono come la geometria delle sale, i materiali utilizzati nella costruzione degli ambienti e lo studio di parametri globalmente riconosciuti per classificare la qualità acustica ed eventuali caratteristiche di una stanza.

2.2. Il suono e la voce

Per comprendere meglio tali fenomeni, occorre partire dallo studio delle onde acustiche.

Il suono è definito come una perturbazione di pressione in un mezzo, sia esso fluido o solido. Questa si muove al suo interno senza che ci sia uno spostamento di massa e le particelle del mezzo, sollecitate dall'onda sonora, oscillano rispetto ad una posizione di equilibrio. Per caratterizzare il fenomeno sonoro si analizzano quindi le

grandezze ampiezza, frequenza, periodo ed i meccanismi di emissione, propagazione e ricezione (come mostrato in *Figura 1*) [6].

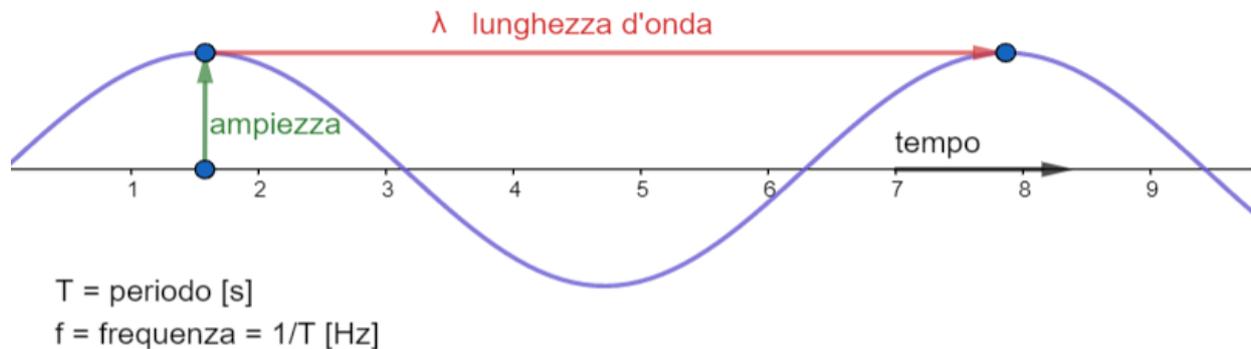


Figura 1 Rappresentazione dei parametri caratteristici di un'onda acustica

In aria le fluttuazioni di pressione avvengono attorno ad un valore di riferimento (portante) pari alla pressione atmosferica, dell'ordine di 10^5 [Pa]. La differenza tra l'ampiezza massima e la pressione atmosferica è quindi definita Pressione Sonora, ampiamente utilizzata in ambito sperimentale sotto forma di Livello di Pressione Sonora, misurabile usando un microfono (misura in aria), un idrofono (misura in acqua) o un catodofono [6].

Il campo di variazione della pressione sonora udibile dall'essere umano va dalla soglia di udibilità minima pari a 20 [μ Pa] sino alla soglia del dolore pari a 100 [Pa]. Eventi in grado di generare perturbazioni di pressione superiori a tale soglia, come ad esempio i suoni esplosivi, possono creare danni irreversibili all'apparato uditivo [6].

La pressione sonora viene definita come una differenza tra la pressione totale e quella media, che sommata nel tempo corrisponde a un valore che oscilla attorno allo zero, la cui media può portare un valore nullo. Per calcolare l'intensità dell'onda acustica, viene introdotta la Pressione Efficace.

Nel caso dell'onda sinusoidale il valore della pressione efficace sarà:

$$p_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [p_{max} \cos(\omega t - kr + \varphi)]^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} p_{max}^2 \frac{T}{2}} = \frac{p_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

dove p_{max} indica la massima ampiezza dell'onda [6].

Se una generica grandezza X mostra delle variazioni in un campo molto ampio di valori, la sua rappresentazione su una scala lineare diventa poco utile, in quanto si rischia di perdere alcune informazioni significative.

È per questo motivo che si introduce la scala logaritmica, che per sua stessa definizione contrae il campo di variazioni agevolando le comparazioni di diversi fenomeni. La scala logaritmica prevede la comparazione della grandezza che stiamo analizzando con un opportuno valore di riferimento X_0 .

$$L_X = \text{Log}_{10} \frac{X}{X_0} \quad [B] \quad (2)$$

L_X è adimensionale, per cui il Bell non è una vera e propria unità di misura ma ci ricorda che il valore considerato è il suo livello, valutato su scala logaritmica, rispetto al valore di riferimento ^[8].

I caratteri distintivi del suono sono tre: altezza, intensità, timbro e dipendono rispettivamente dalla frequenza delle vibrazioni (altezza), dall'ampiezza delle vibrazioni (intensità), dal numero, dall'ampiezza e dalle modalità di associazione delle componenti armoniche (timbro) ^[9].

Un suono corrispondente ad una variazione perfettamente sinusoidale della pressione con un'unica frequenza è detto tono puro. In realtà la maggior parte dei suoni è una composizione di varie frequenze e cioè di suoni perfettamente sinusoidali, definiti quindi suoni complessi ^[10].

Lo spettro di udibilità dell'essere umano copre un range compreso fra 20 e 20k [Hz]. La musica ed il parlato coinvolgono aree differenti sia in termini di spettro di frequenze sia in termini di livelli di pressione sonora ^[6].

Per analisi legate alla percezione sonora si effettua l'analisi per bande di frequenza (bande critiche o normalizzate). Queste sono divise in bande di ampiezza costante, utilizzate per lo più per lo studio di vibrazioni meccaniche, e bande ampiezza percentuale costante (bande di ottava, *Figura 2*, o bande di 1/3 di ottava, *Figura 3*).

Le bande di ottava sono lo standard in campo acustico, sono caratterizzate dal fatto che la frequenza superiore di taglio di ciascuna banda è uguale al doppio della frequenza di taglio inferiore e sono identificate dalla frequenza centrale di ognuna standardizzate secondo la norma ISO R 266-1975.

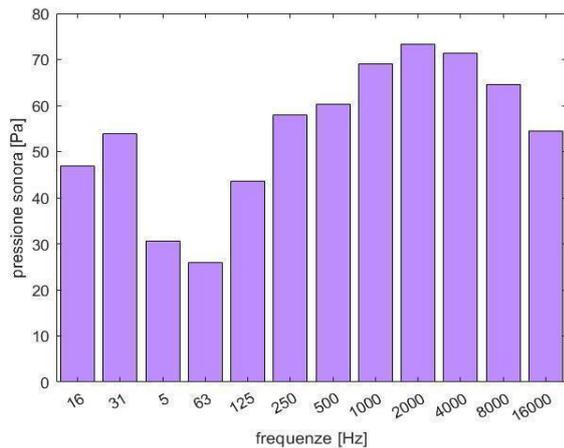


Figura 2 Esempio di un segnale in bande d'ottava

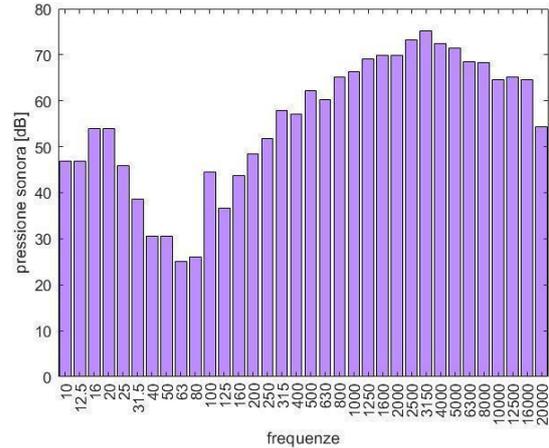


Figura 3 Esempio di un segnale in bande di 1/3 d'ottava

La sensibilità del sistema uditivo umano varia in modo significativo al variare della frequenza. In particolare, l'orecchio umano è, a livelli bassi, molto meno sensibile alle basse frequenze rispetto alle medie frequenze. Questo è il motivo per cui vengono utilizzati dei filtri di ponderazione di frequenza, che derivano dall'inversione delle curve isofoniche che vedremo con il concetto di volume (capitolo 2.4). L'intenzione originale era di simulare un orecchio umano a vari livelli, ma da tempo si è capito che l'udito umano è molto più complesso di quanto si possa prevedere utilizzando una singola curva di ponderazione e per questo vengono utilizzate ponderazioni differenti in base alle frequenze e alle intensità di interesse, e talvolta una combinazione di diverse ponderazioni [18].

La più utilizzata oggi per scopi generali è la ponderazione A, perché riproduce meglio l'impressione sonora dell'orecchio umano, talvolta in combinazione con i filtri di ponderazione C che invece è la più adatta per misure di livelli sonori più elevati [18][6], dunque per il rumore in ambienti industriali [19].

I filtri di ponderazione D invece, sono ad oggi poco utilizzati [18] e solo per lo studio del rumore prodotto dagli aeroplani [6].

Le frequenze del parlato vanno da 200 a 5000 Hz. La maggiore potenza acustica si ha al di sotto dei 1000 Hz e la più grande dinamica si trova tra 200 e 600 Hz. Le vocali hanno maggiore energia e occupano le basse frequenze mentre le consonanti hanno minore energia e occupano le alte frequenze (da 1000 a 4000 Hz) [6].

La percettibilità delle consonanti ha un ruolo fondamentale nella intelligibilità (basti considerare la grande quantità di coppie di parole simili che differiscono solo per una consonante, come "tènda" e "bènda") per cui le frequenze al di sopra di 1000 Hz, soprattutto tra 2000 e 4000 Hz, sono fondamentali per l'intelligibilità del parlato. Ragionando in bande di ottava, le tre bande da 1 kHz, 2 kHz e 4 kHz forniscono il 75% del contenuto dell'intelligibilità. Generalmente le consonanti durano meno di 65 millisecondi mentre le vocali tendono a

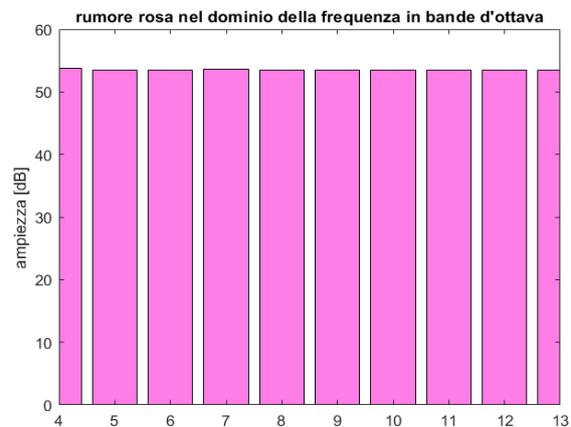
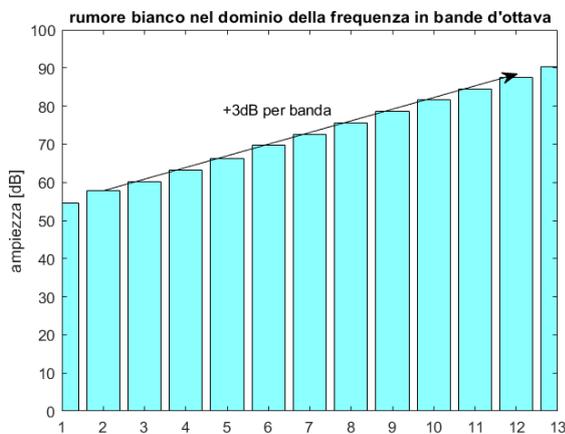
durare più di 100 millisecondi. Le sillabe possono durare dai 300 ai 400 millisecondi, le parole da 600 a 900 millisecondi, a seconda della velocità della persona che parla [6].

Affinché la riflessione di un elemento della parola non mascheri un elemento precedente occorre un tempo di riverbero relativamente basso.

SEGNALI STANDARD: RUMORE BIANCO E RUMORE ROSA

Il rumore bianco è un particolare tipo di rumore caratterizzato dall'assenza di periodicità nel tempo e da ampiezza costante su tutto lo spettro di frequenza, con quindi un aumento di 3 dB per banda se consideriamo come dominio la frequenza in bande d'ottava, la cui energia quindi è distribuita uniformemente su tutte le frequenze della banda considerata. È chiamato bianco per analogia con il fatto che una radiazione elettromagnetica di simile spettro all'interno della banda della luce visibile apparirebbe all'occhio umano come luce bianca [11].

Il rumore rosa (o rumore flicker), invece, è un suono di natura casuale la cui energia non è distribuita uniformemente su tutte le frequenze considerate ma decresce di 3 dB per ogni banda d'ottava, quindi assume un valore costante se consideriamo il dominio in bande d'ottava. L'energia associata ad ogni banda di ottava risulta costante su tutto lo spettro [11].



rumore bianco (Figura 4) e rosa (Figura 5) nel dominio della frequenza in banda d'ottava

2.3. Acustica delle sale

Le caratteristiche della sala possono influenzare la trasmissione del suono e per questo, oggi, sono oggetto di studio.

Le sale sono suddivise in due categorie: quelle in cui viene offerto un servizio al pubblico, come può essere una sala d'attesa, e quelle dove vengono svolte determinate funzioni, quali teatri, auditorium o cinema.

Le prime richiedono prestazioni elevate per favorire il confort, come un tempo di riverbero e rumore di fondo molto bassi, in modo da favorire il benessere psicofisico e la comprensione di eventuali annunci attraverso una protezione del rumore di origine interna, a volte disturbato dal brusio delle persone, dal rumore degli impianti di condizionamento dell'aria o dalla cattiva acustica dello spazio ^[12].

Le sale ideate per delle funzioni, invece, vengono distinte in sale destinate all'ascolto di musica e sale destinate all'ascolto del parlato.

Per quanto riguarda le prime: oggi sappiamo che il suono percepito in una sala dipende da una somma delle onde acustiche dirette e quelle riflesse da pareti e varie superfici, per cui anche il tempo di riverbero ottimale per l'ascolto può dipendere dal tipo di musica riprodotta, basti pensare alla differenza tra una riproduzione dei brani di Mozart e i Canti Gregoriani. Questo è dovuto al fatto che il segnale musicale è espressione di un sentimento e di una idea legata al compositore che ha operato nell'ambito di uno stile musicale, e il luogo a cui era destinato il pezzo ha contribuito con le sue caratteristiche ^[12].

Un elemento che influenza la propagazione del suono e la qualità della trasmissione, è la quantità di suono diretto che arriva all'ascoltatore e il ritardo provocato dalle onde riflesse: quando un'onda sonora incide su una superficie, che sia una parete o un oggetto presente nella sala, parte del suono viene assorbito, un'altra parte viene trasmessa e una terza parte riflessa, in modo diverso in base al materiale e alla forma delle superfici presenti.

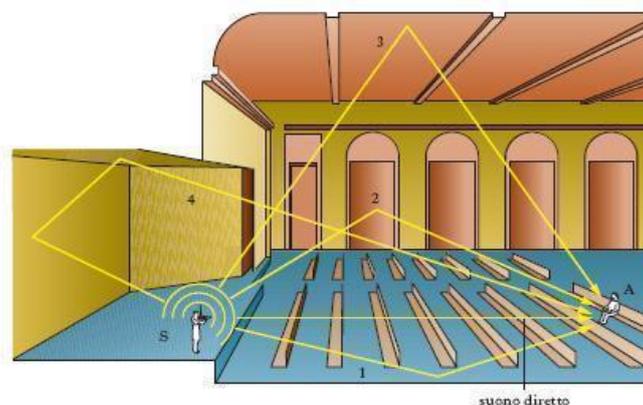


Figura 6, suono diretto e percorsi di riflessione (1, ..., 4) [28]

Nello specifico, la sala interviene sul suono musicale prodotto dall'orchestra in diversi modi:

- attenuando l'energia stessa durante la propagazione nell'aria;
- alterando lo spettro di emissione dell'onda sonora dopo la riflessione sulle pareti e soffitto;
- aggiungendo al suono l'effetto della riverberazione;

- alterando le relazioni di ampiezza e temporali di aliquote di energia sonora che globalmente determinano il suono ricevuto in un determinato posto ^[12].

L'ascoltatore lo percepisce soggettivamente mediante il meccanismo di ricezione binaurale ed elaborazione del segnale a livello cerebrale. Tali processi percettivi sono alla base della vasta gamma di impressioni soggettive che contribuiscono tutte a creare una immagine sonora di qualità per l'ascoltatore.

Le qualità del segnale musicale influenzate dal processo di acustica introdotto dalla sala sono:

- Pienezza del tono: corrisponde ad una maggiore intensità soggettiva (loudness) in ambiente raggiungibile con una minore potenza sonora emessa, una maggiore permanenza del suono dopo che è cessata l'emissione, un maggiore livello di suono sul rumore di fondo ed una maggiore aliquota dell'energia riverberata rispetto a quella diretta. Questa qualità è quindi legata all'entità del tempo di riverberazione ed alla intensità del suono diretto ^[13].

- Definizione o chiarezza: rappresenta la capacità di distinguere suoni che si susseguono nel tempo (chiarezza orizzontale) o che giungono simultaneamente da diversi strumenti (chiarezza verticale). La chiarezza orizzontale è influenzata dalla durata della riverberazione e dal rapporto tra suono diretto e suono riverberato, cioè dagli stessi due fattori che determinano la pienezza del tono ma in senso inverso: essa risulta tanto maggiore quanto minore è il tempo di riverberazione ^[13].

I requisiti dello spazio sonoro dal punto di vista di chi esegue la musica devono far fronte a difficoltà differenti:

- devono consentire l'ascolto del proprio strumento senza che gli altri lo sovrastino

- devono consentire di sentire gli altri gruppi strumentali nel momento di insieme senza che il suono ritardi, quindi non deve essere percepita la risposta della sala in termini di prolungamento del suono ^[14].

A tale proposito è importante citare gli studi effettuati da Marshall, Gottlob e Alrutz che stabiliscono alcune caratteristiche acustiche per ottenere facilità di assieme in una piccola orchestra d'archi:

- sono considerate favorevoli le riflessioni comprese tra 17 e 35 ms.

- lo spettro utile delle riflessioni è compreso tra 0,5 e 2 kHz.

- l'equilibrio tra tutte le sezioni strumentali dell'orchestra è raggiunto quando la somma dei livelli provenienti dalle diverse sezioni strumentali e percepite da un singolo professore d'orchestra non supera ± 3 dB ^[14].

Per quanto riguarda le sale dedicate all'ascolto del parlato, possiamo prendere come esempio il teatro di prosa.

I requisiti da ricercare per la progettazione di una sala di prosa sono tutti legati ad una ottima comprensione del parlato e a condizioni tali da evitare all'attore di sforzare il proprio organo vocale.

Lo studio può partire da quelli che sono i primi e più celebri teatri di origine greca e romana. Già per il tempo infatti, abbiamo numerosi aneddoti che si tramandano, quali l'uso di apposite maschere con bocca a forma di megafono indossate dagli attori anche per amplificare la voce, la posizione in prossimità di pareti altamente riflettenti in cui gli stessi attori si collocavano quando volevano dare più potenza e colore alla propria voce in particolari passaggi della recitazione, la presenza di particolari cavità risonanti (vasi di Vitruvio) per dare più potenza al suono, presumibilmente aumentando il tempo di riverberazione ^[15]. L'anello di congiunzione che lega il teatro greco e romano al teatro di prosa moderno è il teatro Olimpico di Vicenza, caratterizzata da una forma di anfiteatro e un'area libera dal pubblico sotto il palco ed ha una platea a sezione molto ripida, tempo di riverberazione non eccessivamente basso e, soprattutto, con una forte intensità del suono diretto, legata proprio alla ridotta distanza tra spettatore e scena ^[15].

Possiamo oggi affermare che, per non ricorrere all'amplificazione elettroacustica, è necessario che vengano rispettati i seguenti requisiti ^[15]:

- si mantengano distanze ridotte tra ascoltatori e scena
- il tempo iniziale di ritardo sia contenuto entro 20 ms perché le prime riflessioni rinforzino il suono diretto
- ci sia una buona distribuzione del livello sonoro in sala per tutte le posizioni che l'attore può assumere sulla scena
- si introducano poche superfici fonoassorbenti che sottraggono energia sonora al campo acustico
- si ricerchi una buona intensità del campo diretto per evitare le negative implicazioni del campo riverberato
- il rumore di fondo e il brusio in sala siano mantenuti bassi per ottenere un buon rapporto segnale-rumore che giova all'intelligibilità.

Per quanto riguarda le sale dedicate al parlato con amplificazione elettroacustica, come nel caso di auditorium, le richieste prevedono: buona integrazione dell'acustica con un impianto di amplificazione, mancanza di inneschi sonori tra microfono e altoparlante, assenza di particolari coloriture della voce (che possono ostacolare la comprensione), impressione di spazialità e di direzionalità del suono, ovvero l'uditore deve poter avere informazioni sulla direzione di provenienza della voce in modo da individuare immediatamente, ad esempio un parlatore in una tavola rotonda ^[15].

2.4. Indici e normative per la classificazione del comfort

Per lo studio del confort e della qualità del suono e della stanza in cui viene emesso, si utilizzano degli indici che hanno lo scopo di oggettivizzare e classificare in modo quantitativo tali caratteristiche.

TEMPO DI RIVERBERO ^[16] (formula di Sabine)

Come già citato, quando un'onda sonora prodotta da una sorgente si propaga all'interno di un ambiente chiuso, essa subisce riflessioni da parte delle pareti che delimitano la sala. Il parametro usato per quantificare la capacità di riverberazione di una stanza viene chiamato tempo di riverbero, ovvero l'intervallo temporale necessario affinché il livello di pressione sonora all'interno di una stanza, considerando come istante iniziale quello in cui la sorgente sonora viene interrotta, diminuisca di 60 decibel ad un tasso di decadimento indicato dalla regressione lineare dei minimi quadrati della curva di decadimento misurata da un livello minore del livello iniziale da -5 dB fino a -65 dB (UNI EN ISO 3382). Definiamo inoltre "camera riverberante" una sala in cui vi è una buona diffusione del suono e il tempo di riverbero è relativamente alto.

T60 viene definito il tempo di riverbero ottenuto sperimentalmente, espresso in secondi, secondo la normativa sopra indicata. Molto spesso però, si utilizzano altri metodi per ottenere questo valore, denominati T20 e T30, che permettono di utilizzare valori iniziali di pressione sonora più bassi di 70 dB sopra il livello stazionario (rumore di fondo).

Per il T30 (decadimento di 30 decibel) utilizziamo il tempo di decadimento da -5dB a -35dB.

Per il T20 (decadimento di 20 decibel) utilizziamo il tempo di decadimento da -5dB a -25dB.

Per calcolare il tempo di riverbero un'altra formula molto utilizzata è quella di Sabine, che mette in relazione il Tempo di riverbero, il volume della stanza e il fonoassorbimento delle pareti.

$$RT = 0.16 \frac{V}{A} \quad (3)$$

Dove V è il volume della stanza, T è il tempo di decadimento e A è dato dalla seguente equazione:

$$A = \sum_i S_i \alpha_i + \sum_j n_j A_j + 4mV \quad (4)$$

S_i corrisponde alla superficie di una tale area i della parete, il cui coefficiente α_i dipende dal materiale e dal suo fonoassorbimento, denominato coefficiente di assorbimento, n_j è il numero di oggetti contribuenti nell'assorbimento con la loro area A_j , V è il volume della stanza e m è un fattore che dipende dalla temperatura e dall'umidità relativa dell'aria.

Inoltre, sappiamo che l'orecchio umano può distinguere, in media, dieci impressioni sonore (monosillabiche) al secondo. Quando giunge all'ascoltatore con un ritardo maggiore o uguale a 100 millisecondi rispetto al suono diretto i due suoni vengono percepiti come separati, ovvero si manifesta quello che definiamo fenomeno dell'ECO ^[6].

CHIAREZZA O DEFINIZIONE (DEFINITION) ^[17]

Definisce il grado di distinzione di vari suoni coinvolti una performance musicale. È un parametro che dipende principalmente delle caratteristiche della sala, dei musicisti e dell'acutezza uditiva dello spettatore. La si può calcolare come relazione tra l'energia sonora che raggiunge l'ascoltatore nei primi 80 ms e l'energia che lo raggiunge dopo i primi 80 ms. Il valore ideale di per una stanza vuota secondo Beranek, è compreso tra 0 e -4 dB, e in generale più maggiore è il valore, migliore è l'intelligibilità della parola.

VOLUME (LOUDNESS)

Il concetto di volume (loudness) è molto importante per la valutazione dell'esposizione al rumore. L'orecchio umano, infatti, ha sensibilità diverse a frequenze diverse, ovvero è meno sensibile a frequenze estremamente basse ed estremamente alte. Ad esempio, un tono puro a 1000 Hz con livello di intensità di 40 dB risulterebbe all'orecchio umano più forte di un tono puro a 80 Hz di 50 dB, così come un tono puro a 1000 Hz di 70 dB darebbe la stessa impressione soggettiva di volume di un tono a 50 Hz di 85 dB ^[19].

Il volume di un suono è determinato regolando il livello di pressione sonora di tono puro a confronto di frequenza specificata fino a quando non viene giudicato, da normali osservatori udenti, uguale in volume. Il livello di sonorità è espresso in foni, che hanno lo stesso valore numerico come il livello di pressione sonora a 1000 Hz ^[19]. Con questi livelli, otteniamo le curve sensibilità-frequenza dell'udito dette isofoniche, standardizzate IEC 651/79, mostrate in *Figura 7* ^[29].

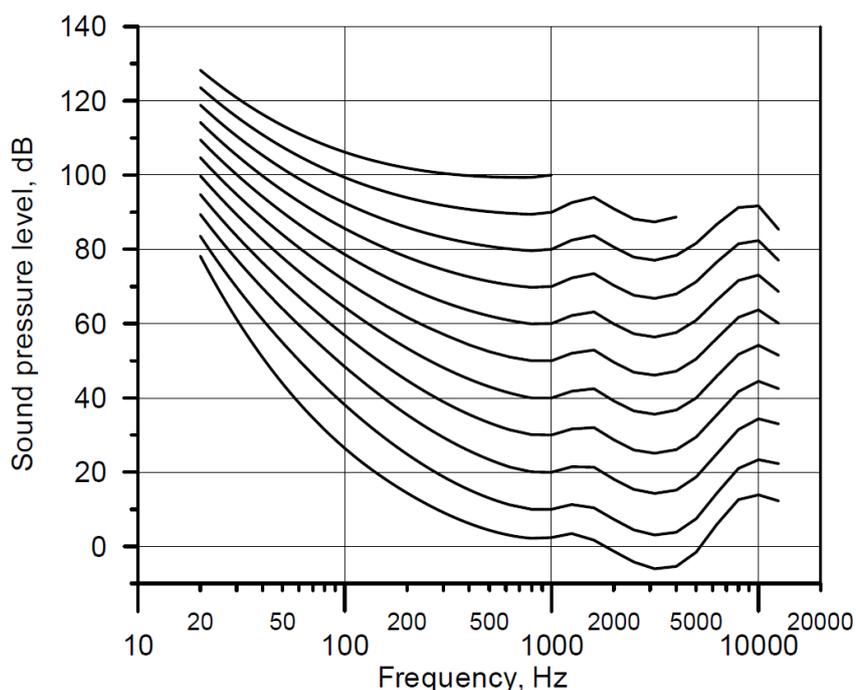


Figura 7 Curve isofoniche [29]

NITIDEZZA (SHARPNESS) ^[20]

Una sensazione rilevante per la gradevolezza di un suono è la sua "nitidezza", che consente di classificare i suoni come striduli (taglienti) o "opachi". La sensazione di nitidezza è fortemente correlata al contenuto spettrale e alla frequenza centrale dei suoni a banda stretta e non dipende dal livello di volume o dal contenuto spettrale dettagliato del suono.

Approssimativamente, corrisponde al primo momento spettrale del volume specifico, con una preenfasi per le frequenze più alte. È stata proposta una procedura quantitativa, che esprime la nitidezza nell'unità "acum". Il suono di riferimento di 1 acum è un rumore a banda stretta, larga una banda critica, a una frequenza centrale di 1 kHz e con un livello di 60 dB.

NOISE RATING ^[20]

Come già citato precedentemente, quando l'obiettivo è la comprensione del parlato, il suono di fondo o il rumore hanno un'influenza negativa sia alla comprensione del parlato, sia ai fattori psicofisici delle persone. Le curve NR, o curve di valutazione del rumore, sono state introdotte da Kosten e Van Os (National Physical Lab. Symp. 12 - 1962) per determinare se l'ambiente interno è accettabile per la conservazione dell'udito, la comunicazione vocale e il fastidio. In molti casi vengono utilizzati anche dai produttori di macchinari per specificare i livelli di rumore dei macchinari, in modo da proteggere i lavoratori.

Le curve del rumore vengono generate per adattarsi alla tendenza della percezione delle persone in ambienti rumorosi. Il valore di Rumorosità in decibel corrisponde al livello di pressione sonora sopra il quale il rumore ambientale diventa fastidioso.

SPEECH INTERFERENCE LEVEL ^[20]

È stata sviluppata una classificazione del rumore denominata "Livello di interferenza vocale" (SIL). Beranek lo definì originariamente come la media aritmetica dei livelli di pressione sonora nelle bande 600-1200, 1200-2400 e 2400-4800 Hz. Dalla definizione dei nuovi limiti di banda d'ottava preferiti, questa definizione è stata cambiata in Livello di interferenza vocale preferito o PSIL, definito come il livello medio di pressione sonora nelle bande d'ottava di 500, 1000 e 2000 Hz.

ARTICULATION INDEX ^[20]

La misura dell'interferenza causata dal rumore al mascheramento del parlato può essere calcolata ponderando lo spettro del rumore (in bande di 1/3 di ottava) in base alla sua importanza per la comprensione del parlato. Da questo spettro ponderato viene derivato l'indice di articolazione (Articulation Index), che può essere letto come un valore, compreso tra zero e uno, che mi indica la percentuale di parlato comprensibile per l'ascoltatore.

3. Analisi del comfort di una stanza di ufficio

3.1. Geometria della stanza

La stanza presa in esame è caratterizzata da un perimetro di 4.43 x 3.25 metri, e l'altezza di 3,38 metri.

Al centro sono situati il tavolo (1.30 x 2.40 metri), su cui è posta una sorgente acustica omnidirezionale dodecaedrica ntek OMNI5", e 4 aste agli angoli dello stesso, su cui sono fissati i 20 microfoni (5 per asta) in modo che distino 1 metro dalle due pareti più vicine, come mostrato in *Figura 8*. I microfoni sono microfoni prepolarizzati da ½ pollice PCB 378B02 (sensibilità 50 mV/Pa e campo di frequenza 3.15 Hz - 20 kHz).

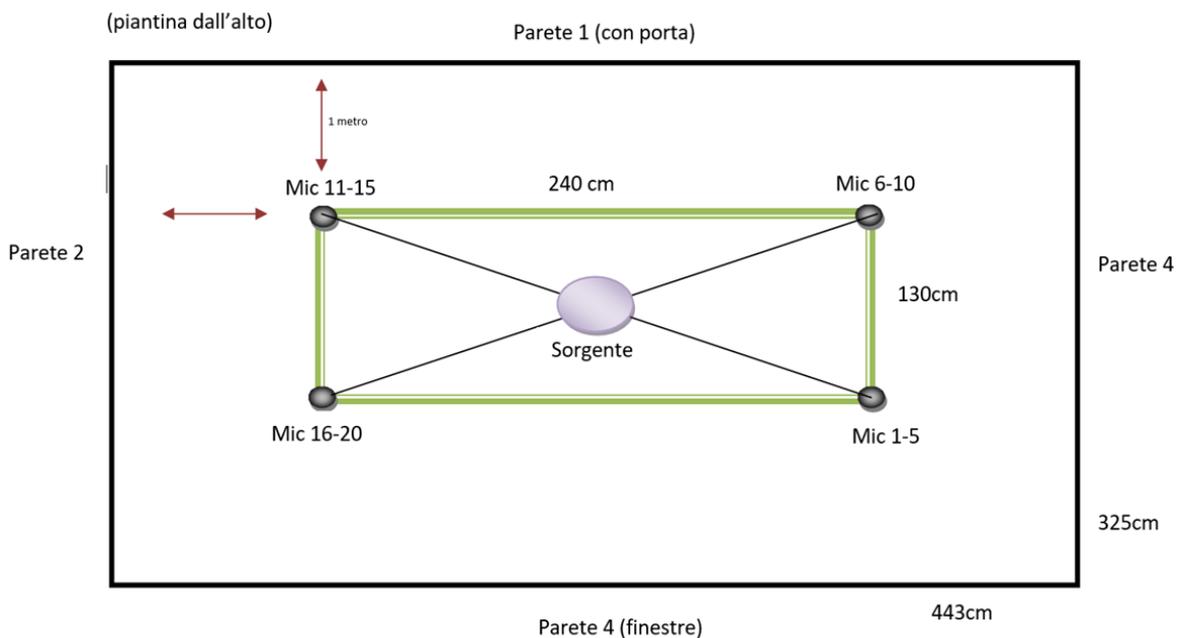


Figura 8 Piantina della stanza presa in esame, vista dall'alto

La prima parete è caratterizzata dalla presenza della porta e di una finestra (chiusa) in vetro, delle dimensioni segnate in *Figura 9*.

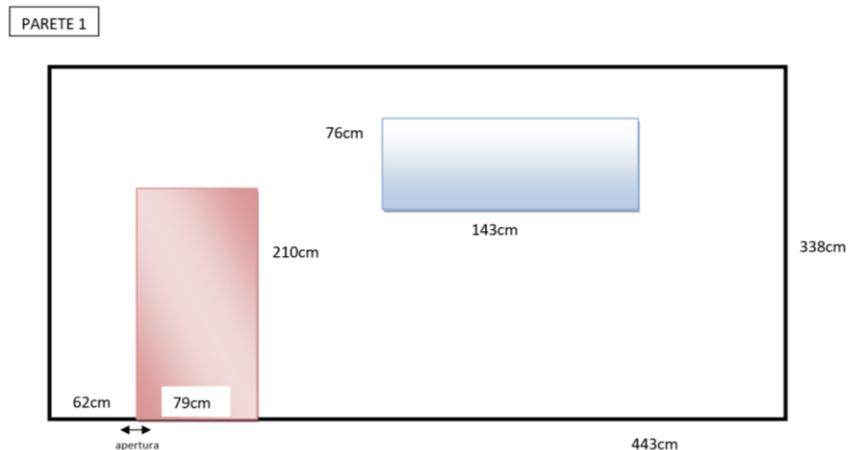


Figura 9 Parete 1

La seconda è caratterizzata da una colonna che copre parte della superficie, le cui dimensioni sono riportate in *Figura 10*, mentre la terza è caratterizzata dalla presenza della colonna e di una finestra in vetro che ricopre la parte superiore, come mostrato in *Figura 11*.

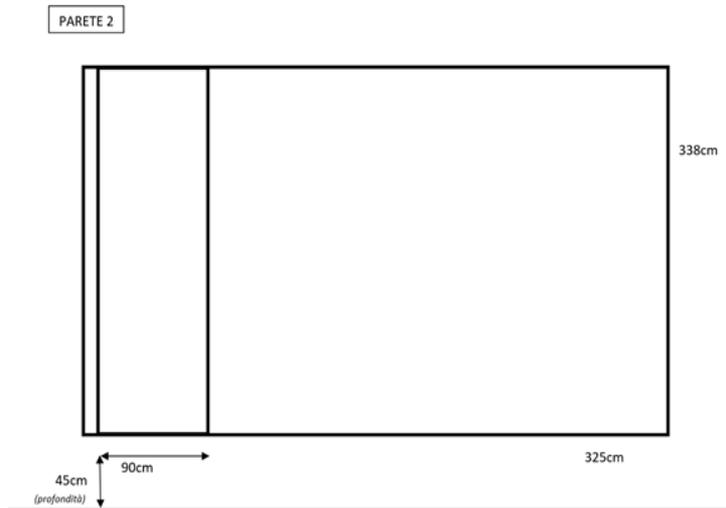


Figura 10 Parete 2

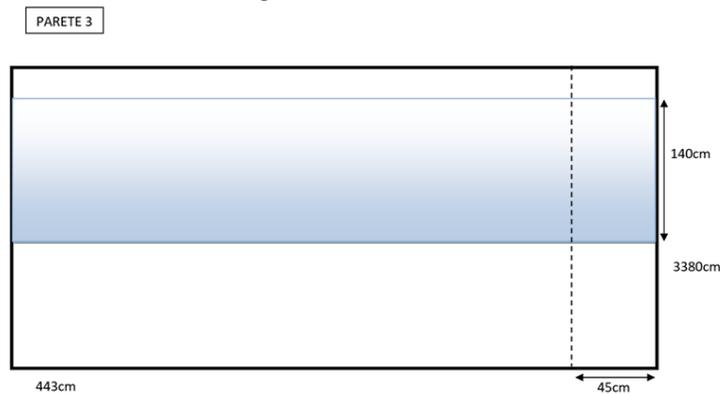


Figura 11 Parete 3

Mentre la quarta parete è caratterizzata da una semplice finestra, delle stesse dimensioni di quella presente nella prima, come schematizzato in *Figura 12*.

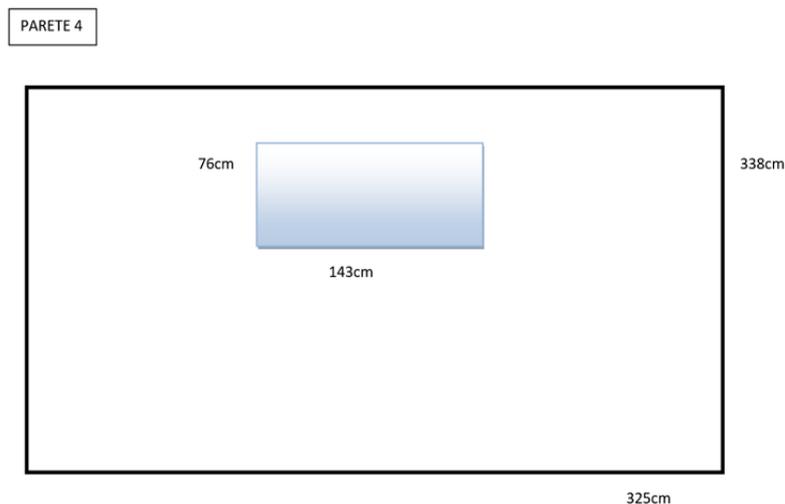


Figura 12 Parete 4

3.2. Set-up sperimentale

L'esperimento è stato svolto grazie all'utilizzo dei 21 microfoni posizionati, come già descritto, i primi 20 agli angoli del tavolo e il 21^{esimo} in prossimità della sorgente.

Attraverso l'emettitore è stato trasmesso del rumore bianco per misurarne, una volta spenta la sorgente, il tempo di decadimento del suono e quindi l'assorbimento del suono da parte della stanza, attraverso l'ambiente di programmazione Matlab.

La registrazione della pressione sonora è poi avvenuta, attraverso l'utilizzo dei microfoni, con una frequenza di campionamento pari a 51200 Hz. La pressione sonora è stata portata in decibel attraverso l'equazione (5)

$$SPdB = 20 \times \log_{10}\left(\frac{SP}{20^{-6}}\right) \quad (5)$$

dove SP è la pressione sonora. Attraverso la funzione Matlab `splMeter` è stato calcolato il livello di pressione sonora equivalente (L_{eq}) che corrisponde al livello espresso in dB (ma più solitamente in dBA), di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale per lo stesso intervallo di tempo, comporterebbe la stessa quantità totale di energia sonora. Viene calcolato come mostrato in equazione (6)

$$L_{eq} = 10 \times \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \quad (6)$$

A questo punto è stato calcolato il picco più alto del segnale campionato ogni secondo, come rappresentato in *Figura 20*, segnando con un segmento tale altezza per il dato secondo.

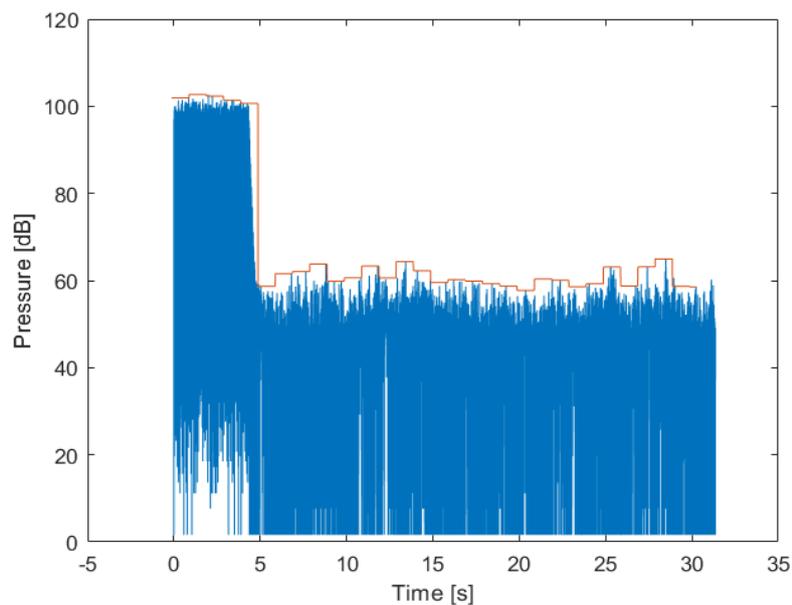


Figura 20 Rappresentazione del campionamento e della selezione della pressione sonora più alta per ogni secondo. L'esempio riportato mostra il segnale rilevato dal secondo microfono

È stato successivamente selezionato per ogni microfono il valore più alto ottenuto a sorgente accesa, e selezionato il metodo utilizzato (caso T20 o caso T30).

Per il caso T20, è stato registrato il punto di intersezione tra l'involuppo del segnale (ottenuto con la funzione envelope) e la retta costante uguale al valore in decibel calcolato sottraendo 5 dB al picco più alto del segnale a sorgente accesa, e il punto di intersezione dell'involuppo con la retta costante uguale al valore che si ottiene sottraendo altri 20dB al valore precedente, come mostrato in Figura 21. Per il caso T30 basta sottrarre per il secondo punto 30dB e non 20, come appunto suggerito dal nome.

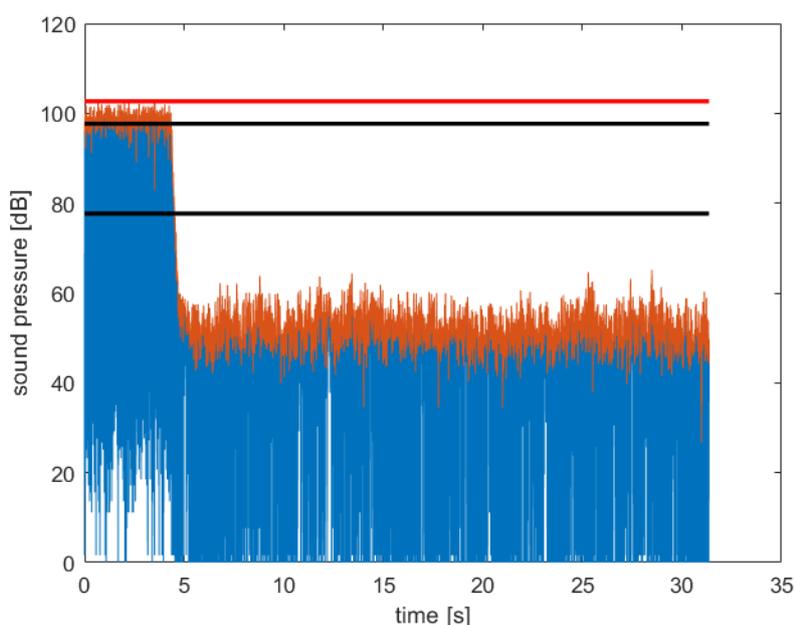


Figura 21 involuppo (in arancione) e rette che delimitano la zona di decadimento di interesse, tra -5dB e -25dB

Questo metodo ci permette di utilizzare delle pressioni sonore più basse, in quanto la norma prevede di considerare un tempo finale di decadimento maggiore del rumore di fondo di almeno 5 decibel, e un punto iniziale di decadimento inferiore della pressione sonora utilizzata di almeno 5 dB. Un segnale di 100 dB non può essere utilizzato per tale scopo, ma è sufficiente se consideriamo il metodo T20 o T30, successivamente riportati, e poi moltiplicare tali risultati rispettivamente per 3 o per 2.

Per il calcolo del T20, infine, è stato calcolato il tasso di decadimento in quanto pari al coefficiente della curva polinomiale di ordine uno che congiunge questi due punti, con la funzione “polyfit”.

Il tempo di decadimento è dato dalla sottrazione della pressione sonora del primo punto meno quella del secondo, successivamente diviso per il tasso di decadimento.

Il tempo di riverbero, T60, è stato calcolato moltiplicando il T20 per 3 (mentre, se fosse stato selezionato il caso T30 sarebbe bastato moltiplicare tale valore per 2) ed è stata calcolata la deviazione standard, ottenendo i valori riportati nella tabella seguente.

microfono 1	T60 = 0,5734
microfono 5	T60 = 0.5567
microfono 6	T60 = 0.5627
microfono 10	T60 = 0.5286
microfono 11	T60 = 0.6121
microfono 15	T60 = 0.6455
microfono 16	T60 = 0.6959
microfono 20	T60 = 0.5879
MEDIA MICROFONI	T60 = 0.5954
DEVIAZIONE STANDARD	±0.0541

3.3. Analisi dei dati

Esistono più metodi per il calcolo del tempo ottimale di riverbero, qui utilizzeremo quello più frequentemente utilizzato.

Il seguente ^{[21][6]} propone le due formule che distinguono i locali in base all’ascolto della musica o del parlato.

Locali di ascolto musicale:

$$T60_{\text{ottimale}} = 0,1 \times V \quad (7)$$

Locali per ascolto del parlato (inclusi ristoranti, uffici, etc.):

$$T60_{\text{ottimale}} = 0,5 + 10^{-4} \times V \quad (8)$$

La sala presa in esame è stata pensata come un luogo dedicato all'ascolto del parlato, quindi utilizzeremo la seconda, ottenendo un valore di 0,50487 circa.

Quindi possiamo considerare il tempo di riverbero calcolato, $0,5954 \pm 0,0541$ un valore consono al confort di tale stanza se destinata all'ascolto del parlato e meno adatta all'ascolto della musica, per cui si ottiene $T60_{\text{ottimale}} = 4,8663$ circa.

4. Influenza di una mascherina sull'emissione acustica e sulla percezione

4.1. Set-up sperimentale

Per valutare una eventuale modifica del campo acustico emesso da una sorgente sonora schermata da un dispositivo di protezione individuale quale una mascherina chirurgica, si è utilizzato un torso di manichino sulla cui bocca è stato posizionata una sorgente acustica. La sorgente utilizzata è la Q-Source di Siemens Mid-High Frequency (Q-HMF) che permette di generare un campo acustico da 150 a 10,000 Hz. Per misurare il campo acustico nell'ambiente, in questo caso la stanza già studiata nel capitolo precedente, sono stati utilizzati 5 microfoni prepolarizzati da ½ pollice PCB 378B02 (sensibilità 50 mV/Pa e campo di frequenza 3.15 Hz - 20 kHz). Il setup sperimentale è riportato in *Figura 13*.

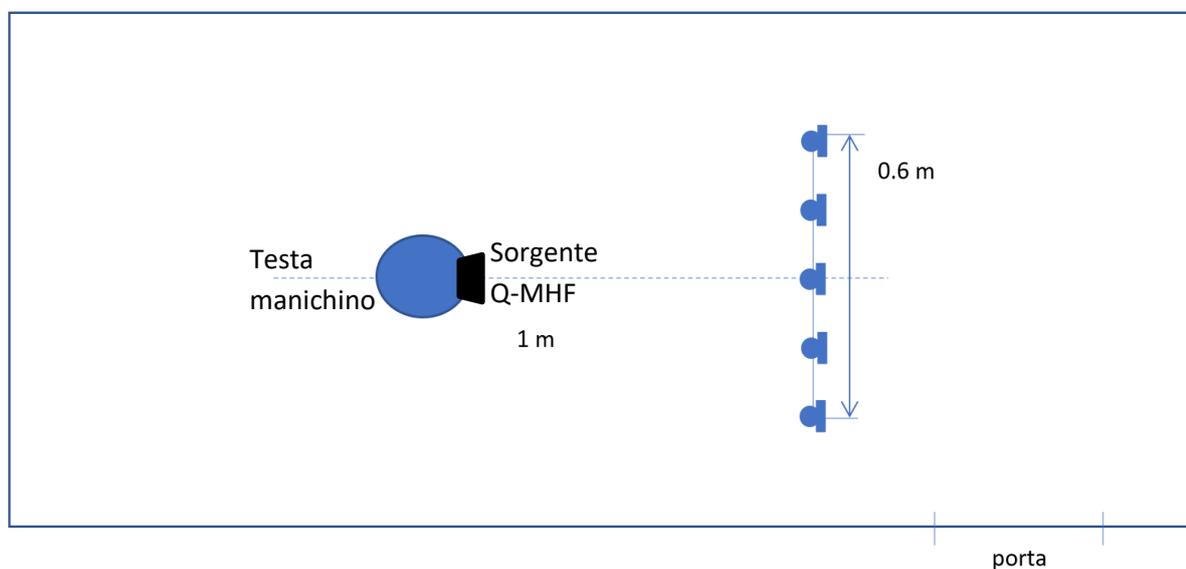


Figura 13 Disposizione microfoni e sorgente durante il test sulle mascherine

La sorgente è stata accesa, in modo da farle riprodurre un rumore bianco nella banda di frequenza da 200 a 10,000 Hz, è stata posta la mascherina sul “volto” e, successivamente, è stata tolta ripetendo da capo i passaggi per 5 volte, quindi disponiamo di 5 campioni di rilevazioni di cui abbiamo calcolato la media. È successivamente stato utilizzato il programma Testlab Sound Diagnosis, mostrato in *Figura 14*, per il calcolo dell'indice di articolazione, Loudness, Sharpness e Roughness presenti tra le metriche disponibili e visualizzabili. Tali dati poi sono stati esportati ed elaborati grazie all'ambiente di programmazione Matlab, come successivamente descritto.

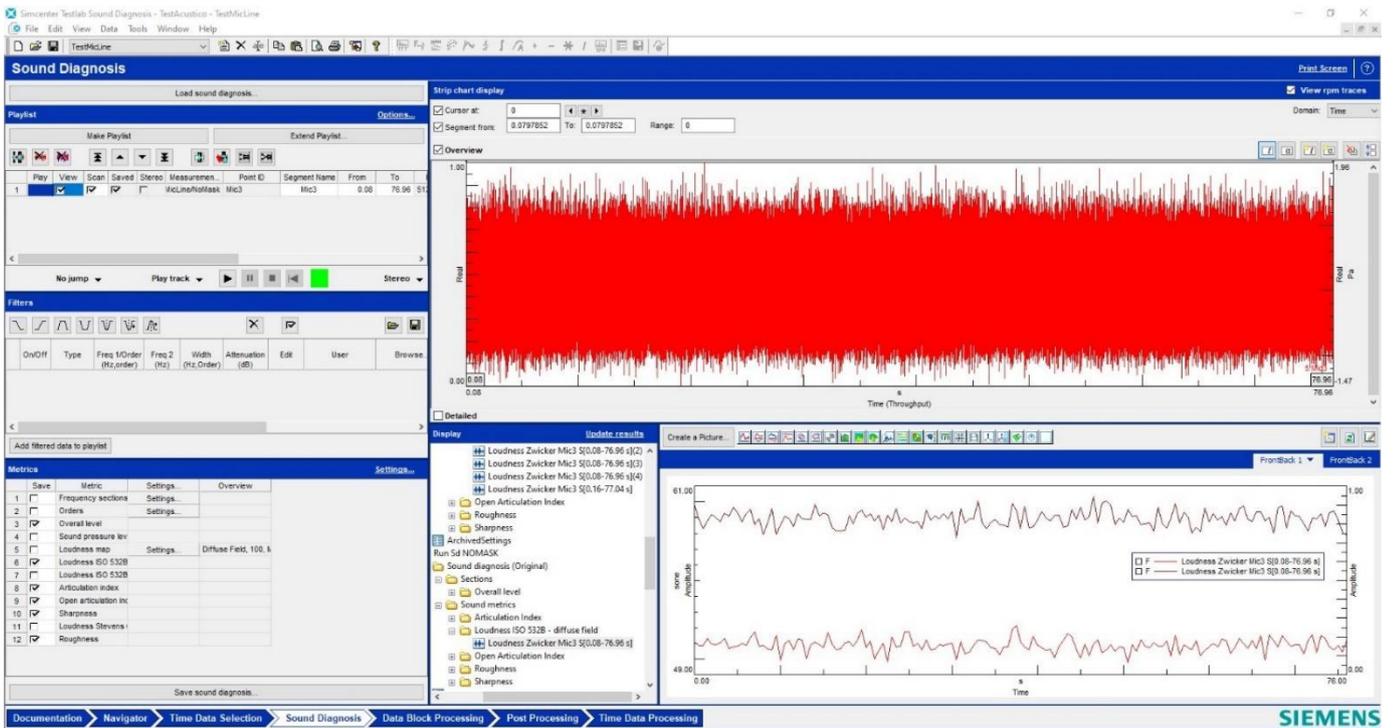


Figura 14 schermata del programma utilizzato "Testlab"

Tali metriche vengono solitamente utilizzate per la classificazione e caratterizzazioni di suoni e sono state scelte per comprendere come, indossando differenti dispositivi di protezione delle vie respiratorie, il suono della voce può essere modificato e cambiare i livelli di comprensione del parlato nella nostra vita quotidiana durante l'attuale situazione di emergenza sanitaria.

Una prima analisi può essere svolta sulla quantità di pressione sonora rilevata per le diverse frequenze nelle diverse casistiche: con e senza mascherina.

Con il seguente codice, utilizzando l'ambiente di programmazione Matlab, è stato possibile porre a confronto le due casistiche.

```
data = load('Octave1_3Dimar.mat');
Dimar = data.FrequencySpectrum.y_values.values;
Dimar_dB = 20*log10(Dimar/20e-6);
dataNoMask = load('Octave1_3NoMask.mat');
NoMask = dataNoMask.FrequencySpectrum.y_values.values;
NoMask_dB = 20*log10(NoMask/20e-6);
figure, bar(xt1_3,NoMask_dB)
title('Dimar')
ylabel('Pa - dB')
xlabel('Hz');
xlim([xt1_3(xlim11_3) xt1_3(xlim21_3)])
hold on
bar(xt1_3,Dimar_dB)
legend('Senza Mascherina','Con Mascherina')
```

Il file caricato con il nome di “data” corrisponde al segnale registrato in funzione della frequenza, suddiviso per bande di 1/3 d’ottava, quando la sorgente indossa la mascherina, “NoMask” indica la casistica senza mascherina, il passaggio in decibel permette di confrontare i dati in maniera più consona allo studio di un segnale acustico (come spiegato nei capitoli precedenti) e si ottiene la seguente raffigurazione (Figura 22).

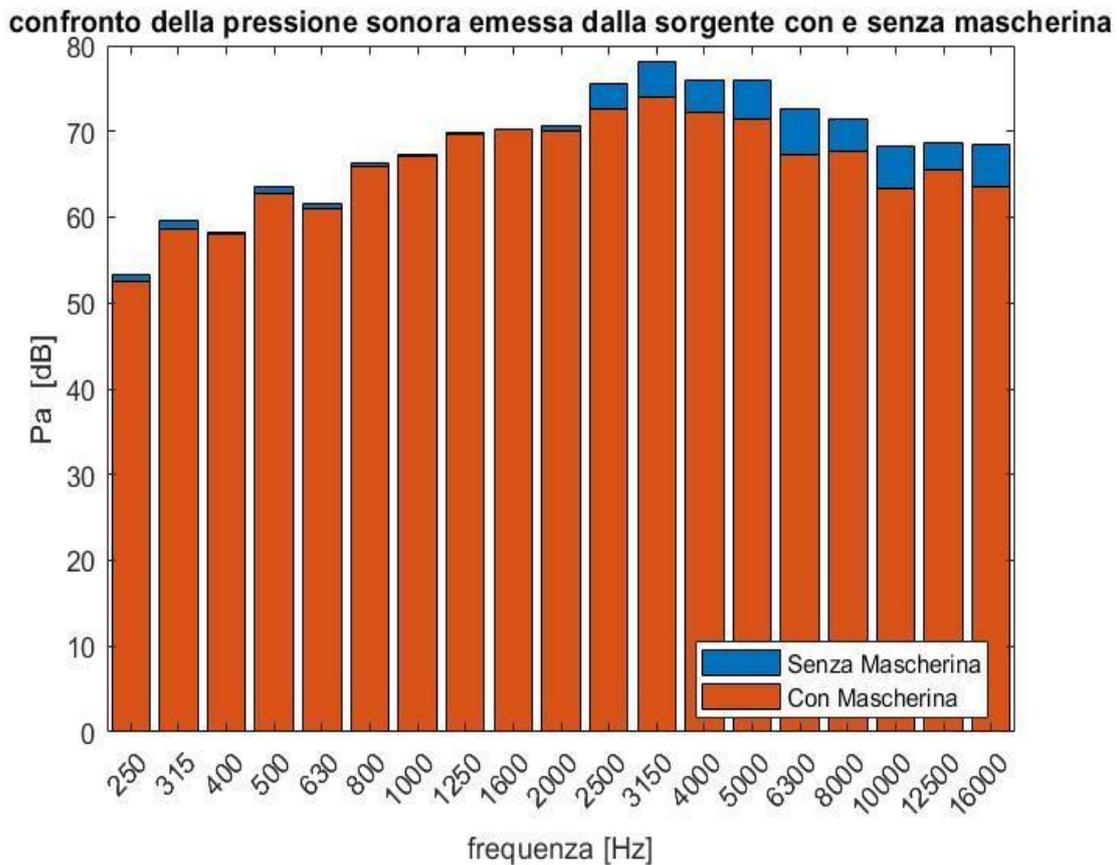


Figura 22 Confronto della pressione sonora emessa con e senza mascherina

Per quanto riguarda l’articulation index, è stato ugualmente esportata una matrice di rilevazioni (che sono state ripetute 5 volte), il vettore temporale che chiaramente deve essere identico per tutti i segnali, insieme alla frequenza di campionamento, ed è stata calcolata la media dei 5 vettori di AI. Successivamente è stato prelevato il vettore riguardante tale indice nel caso senza mascherina ed è stato inserito un filtro mediano (medfil1) per permettere di eliminare eventuale rumore e ottenere una maggiore precisione. Il grafico ottenuto è mostrato in Figura 16. Sono poi stati calcolati valore medio e deviazione standard di entrambi i segnali.

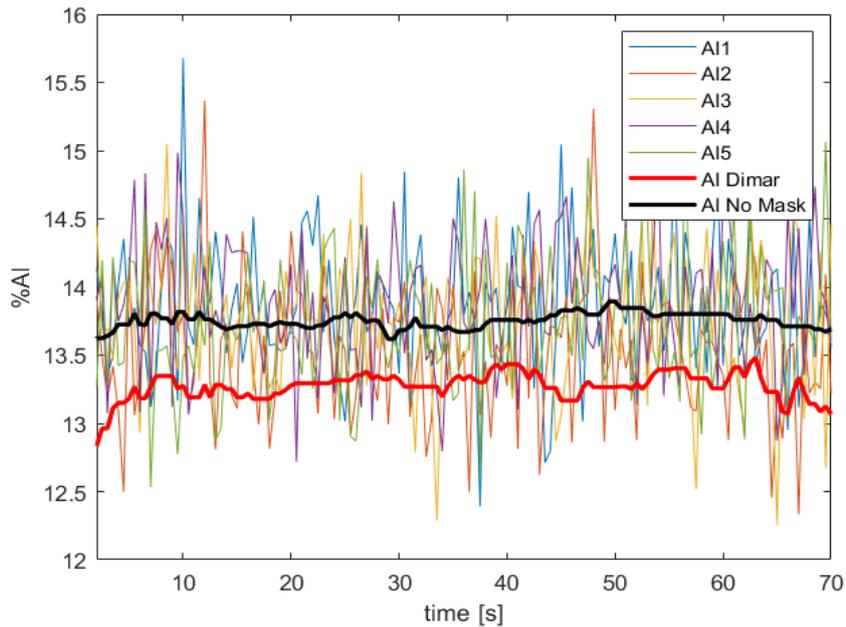


Figura 16 Confronto dell'indice AI con e senza mascherina

Lo stesso procedimento è stato utilizzato per il calcolo dell'indice di Loudness (Figura 18), Sharpness (Figura 19) e Roughness (Figura 23): è stato caricato il segnale della sorgente senza mascherina filtrante, i 5 segnali rilevati con la mascherina, è stato estratto il vettore del tempo, è stata calcolata una media dei 5 ed è stata confrontata con il segnale della sorgente senza mascherina. Non è stato necessario inserire il filtro mediano poiché i segnali presentano valori medi già molto distanti, ed è stata calcolata la deviazione standard attraverso l'utilizzo della funzione 'std'.

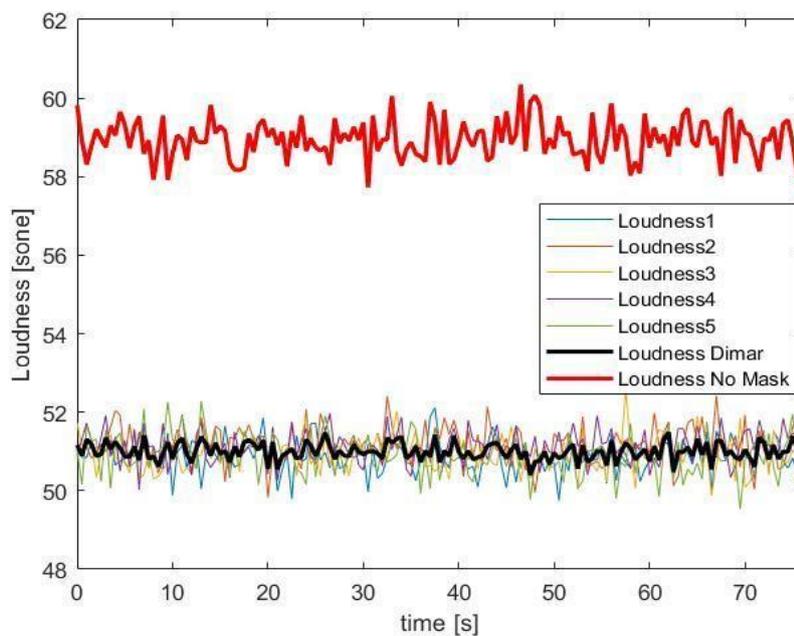


Figura 18 raffigurazione del livello di Loudness nel tempo, casi con e senza mascherina

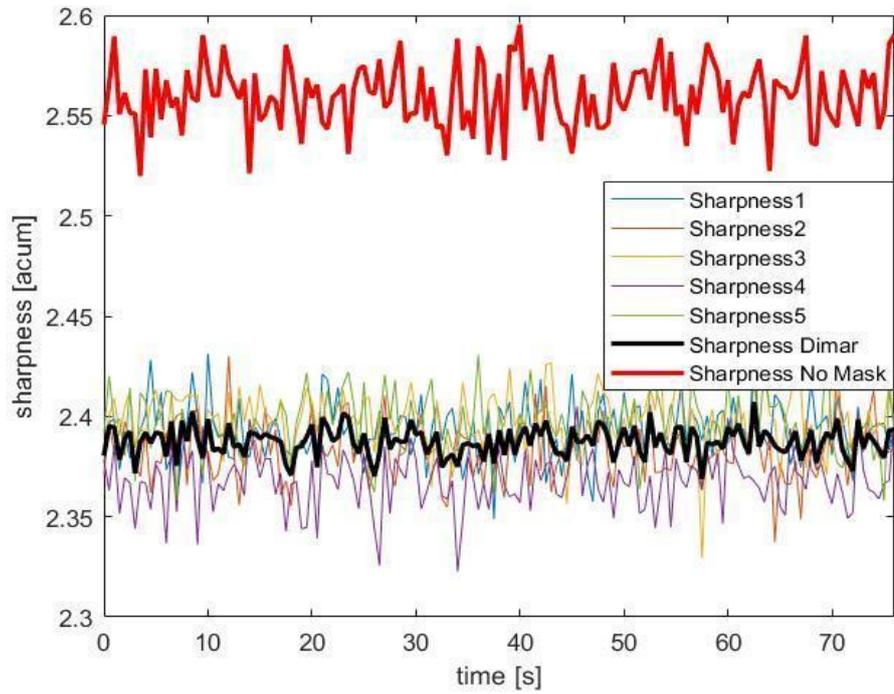


Figura 19 rappresentazione del livello di Sharpness nel tempo, casistiche con e senza mascherina

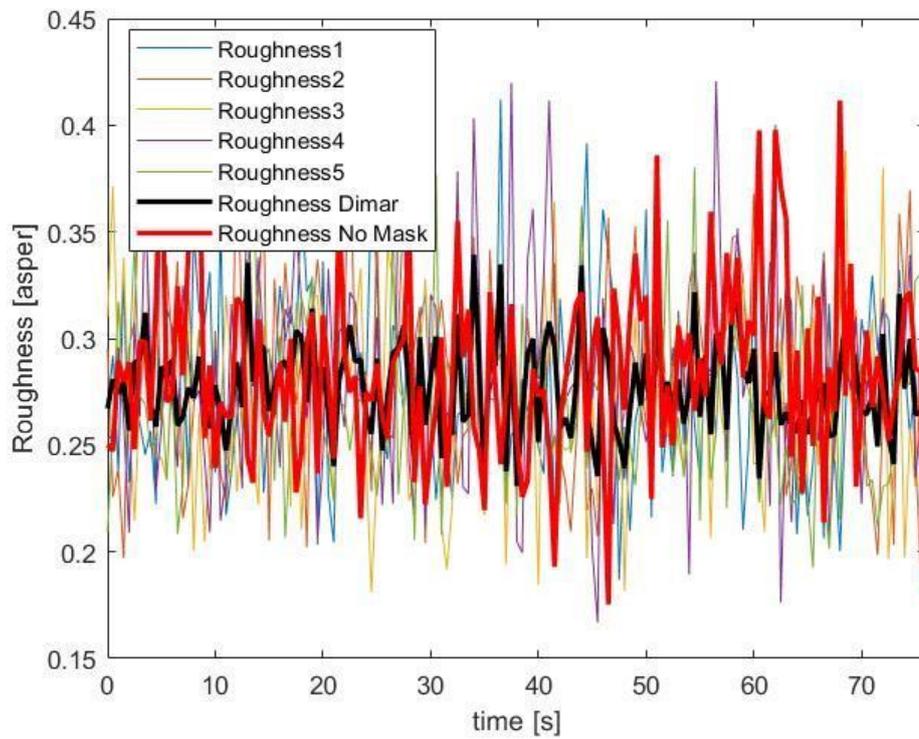


Figura 23 rappresentazione del livello di Roughness nel tempo, casistiche con e senza mascherina

4.2. Analisi dei dati

Come possiamo osservare in *Figura 15* e in *Figura 22*, una prima analisi in bande di 1/3 d'ottava suggerisce un abbassamento della pressione sonora che interessa soprattutto le bande di frequenza sopra i 2500 Hz. Come già specificato nel capitolo 2.2, le bande di frequenza di 1kHz, 2kHz e 4kHz sono responsabili del 75% della compressione perché legate ai suoni consonanti, quindi un abbassamento di pressione sonora in queste bande può ostacolare significativamente la chiarezza dell'emissione.

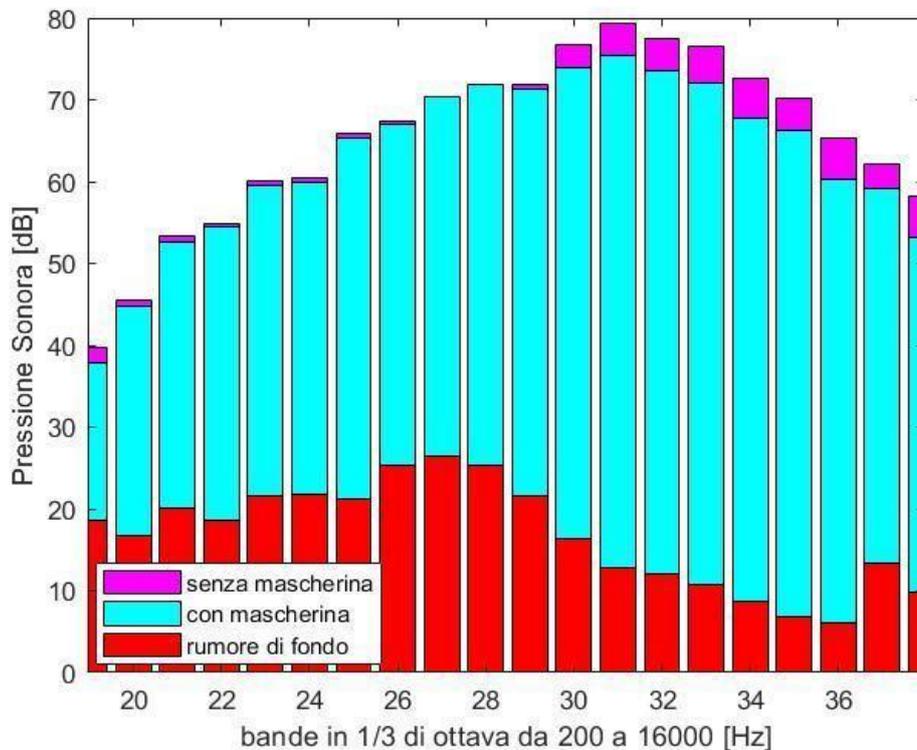


Figura 15 Pressione sonora dell'emissione con e senza mascherina filtrante, filtrato con ponderazione A [dB(A)]

Sono successivamente stati calcolati i seguenti indici per una maggiore comprensione dell'effetto della mascherina sulla qualità del suono emesso e la conseguente intellegibilità del parlato:

ARTICULATION INDEX

Come è possibile intuire in *Figura 16*, con la mascherina si ottiene un valore medio percentuale di AI di 13.73, con una deviazione standard pari a 0.08, mentre senza mascherina si ottiene un valore medio nel tempo di 13.23 con deviazione standard pari a 0.16. Il valore più basso ottenuto senza mascherina,

Possiamo quindi affermare che la presenza della mascherina influenza leggermente l'indice di AI.

È interessante citare, a tal proposito, che secondo uno studio dall'università della California e dall'università del Wisconsin-Milwaukee, l'intellegibilità viene modificata differentemente, seppur in modo lieve, in base al

tipo di parlato. Sono stati studiati il discorso casuale, chiaro ed emotivo come modelli e nel terzo caso risultava dare risultati migliori in presenza di mascherina, mentre negli altri delle percentuali più basse di AI [27].

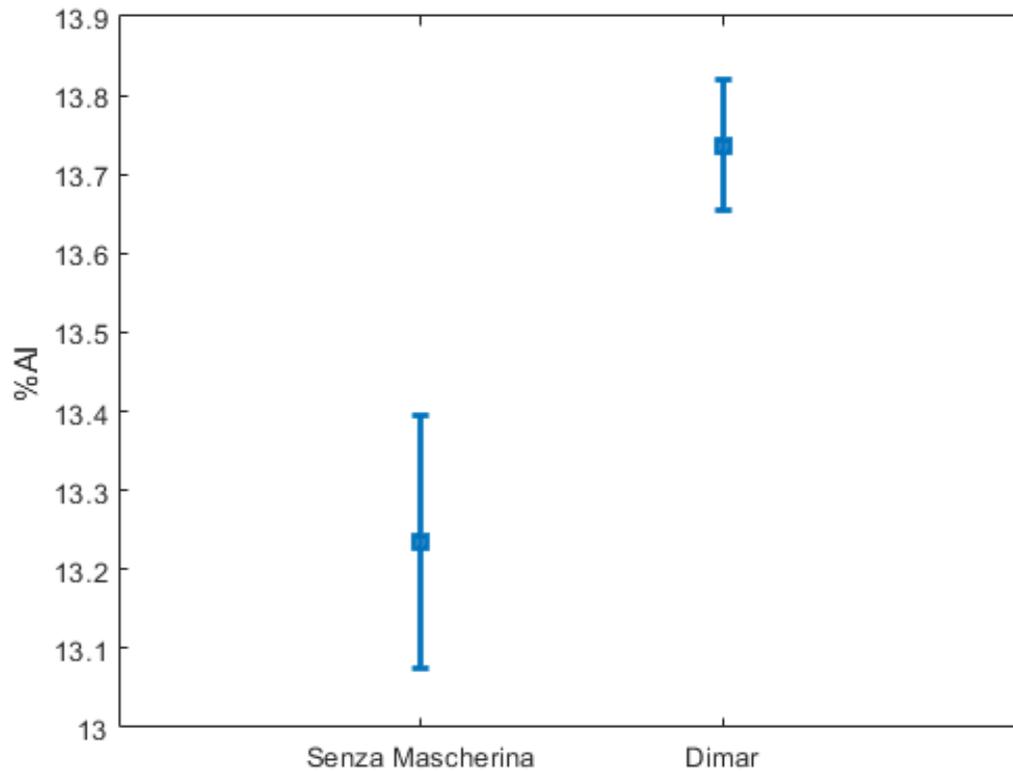


Figura 17 Valori massimi e minimi assunti dall'AI per i due casi: con e senza mascherina

LOUDNESS

L'indice di Loudness, invece, come mostrato in *Figura 18*, è in maggior misura influenzato dalla presenza della mascherina.

Il livello di Loudness, in assenza di mascherina, ha una media di 58.94 [Sone], con una deviazione standard di 0.5097 [Sone], mentre con la mascherina la media scende a 51.00 ± 0.22 [Sone], come rappresentato in *Figura 24*.

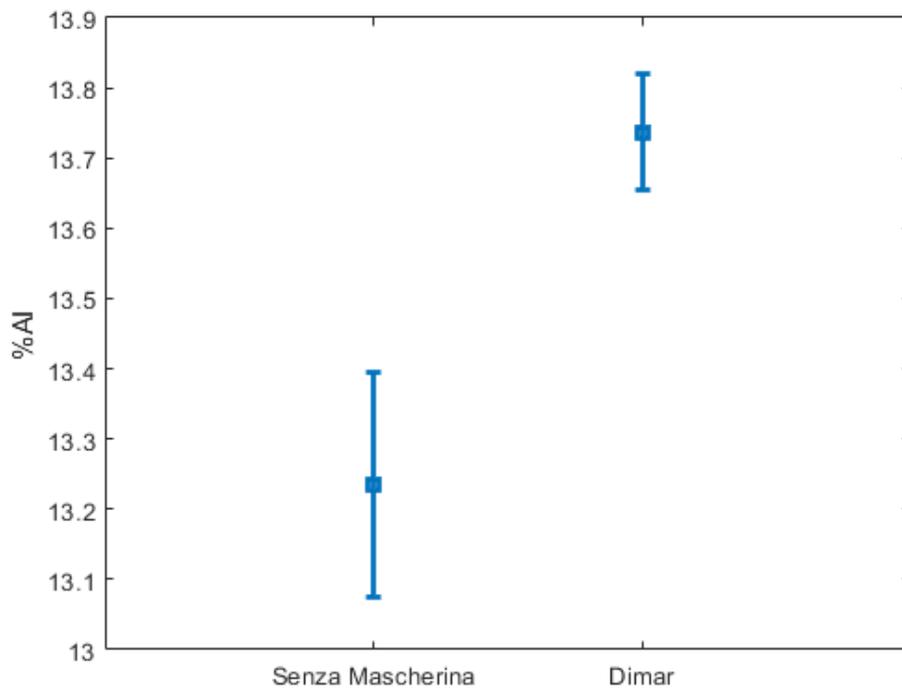


Figura 24 valori di AI con e senza mascherina, grafico comprendente media e deviazione standard

Come già definito in capitolo 2.4, questo è l'indice che definisce la percezione soggettiva della pressione sonora, quindi un notevole abbassamento di questo denota un significativo cambiamento del volume percepito che può conseguentemente compromettere la comprensione, specialmente se vi sono dei rumori di sottofondo a interferire, e può ulteriormente svantaggiare le persone che hanno già problemi di deficit uditivi, in quanto tali dispositivi rivestono l'apparato fonatorio (Effetto McGurk, fenomeno percettivo che dimostra un'interazione tra l'udito e la vista nel riconoscimento di una parola o di un singolo fonema).

SHARPNESS

Anche il livello di Sharpness è ostacolato dalla mascherina. La nitidezza è una misura del contenuto ad alta frequenza di un suono, maggiore è la proporzione delle alte frequenze, più "acuto" è il suono, e come abbiamo già visto, è proprio nelle frequenze più alte che si ha una maggiore perdita di pressione sonora.

Come mostra *Figura 19*, assume valori attorno ai 2.38 [acum], con una deviazione standard di 0.01 [acum], mentre con la mascherina si abbassa a 2.38 [acum], con una deviazione standard di circa 0.01 [acum], come rappresentato in *Figura 25*. Dunque si può affermare che, con tali dispositivi, la voce risulta più "opaca" e meno nitida.

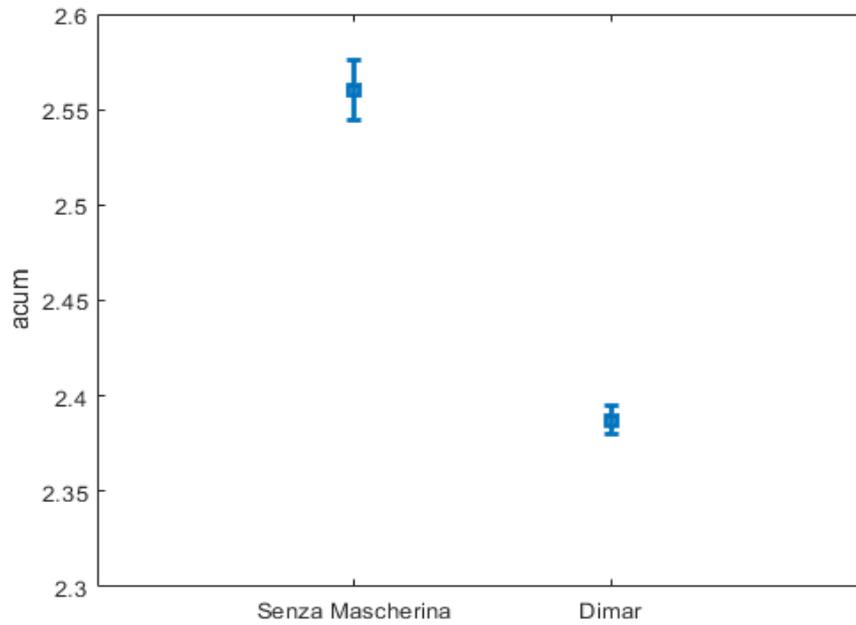


Figura 25 valori di Sharpness con e senza mascherina, grafico comprendente media e deviazione standard

ROUGHNESS

Per quanto riguarda questo indice, i valori non sono influenzati dalla presenza della mascherina e infatti in *Figura 23* è possibile notare che le due curve raffiguranti tale indice nel tempo si agitano attorno a valori simili con una media di 0.27 ± 0.02 [asper] con la mascherina e 0.28 ± 0.04 [asper] senza mascherina, dunque la sensazione di “ruvidità” del suono non è influenzata dalla presenza di questa, come mostrato in *Figura 26*.

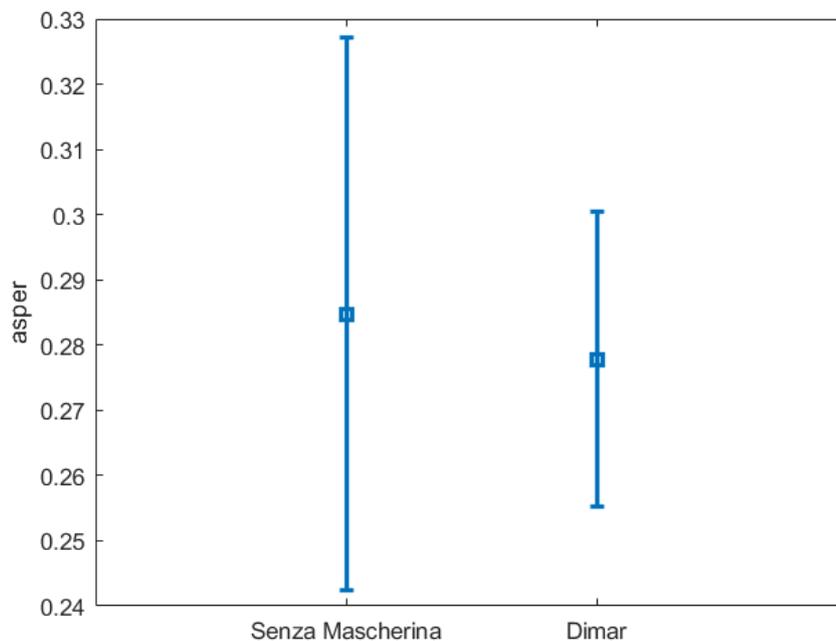


Figura 26 valori di Roughness con e senza mascherina, grafico comprendente media e deviazione standard

5. Conclusioni

L'utilizzo della mascherina comporta un ostacolo per l'emissione di un suono, e conseguentemente ostacola la comprensione all'ascoltatore, soprattutto perché influenza le frequenze superiori a 1kHz che sono le più importanti per la comprensione del parlato. Queste variazioni non interessano troppo il livello di intellegibilità, come già visto nel capitolo 4.2 (e confermato nell'articolo ^[22]), ma soprattutto le caratteristiche di Loudness e Sharpness.

Tali dispositivi ostacolano il parlato in maniera differente: è stato studiato ^[22] come le mascherine in stoffa (100% cotone a maglia larga) e quelle chirurgiche modifichino il suono in maniera meno invasiva, ma delle prime è importante citare che non sono considerate appropriate in quanto la maglia è troppo larga per poter essere utili dal punto di vista di prevenzione. Le peggiori invece sono quelle trasparenti, che ostacolano maggiormente il suono ma risultano più utili in alcuni casi, in quanto lasciano intravedere il volto, le espressioni e i movimenti. Per fortuna, le maschere "a finestra" non influenzano fortemente il file microfoni da bavero utilizzati per il rinforzo del suono e sistemi di ascolto assistito, per cui è possibile utilizzare dell'amplificazione elettroacustica senza inconvenienti. ^[22]

Spesso il problema non è solo la comprensione, ma lo sforzo d'attenzione maggiore necessario, soprattutto quando questo deve verificarsi per tempi molto lunghi, e si stima che ambienti acusticamente non adatti possono avere degli effetti negativi anche sul rendimento scolastico di bambini e ragazzi che presentano altre problematiche non legate all'udito ^[23] anche legati al fatto che la voce dell'insegnante risulta più attenuata e distorta, dunque poco consona per il mantenimento dell'attenzione.

Vengono inoltre registrati maggiori livelli di stress nelle persone e nel personale sanitario ^[24] che vengono chiaramente giustificati per la situazione di emergenza sanitaria ma si registra anche che le maschere creano o incrementano la distanza percettiva che prove precedenti hanno già riscontrato per aumentare i sentimenti di solitudine, che possono provocare disturbi dell'umore quali ansia, insonnia, disfunzione sociale e depressione ^[24].

In sintesi, le maschere per il viso hanno aumentato la percezione dello sforzo vocale, difficoltà nell'intelligibilità del parlato, feedback uditivo, disfonia, e difficoltà nel coordinare la parola e la respirazione, indipendentemente dall'uso. Gli individui che indossavano maschere facciali per attività professionali ed essenziali avevano una maggiore percezione dei sintomi di affaticamento e disagio vocale, sforzo vocale, difficoltà nell'intelligibilità del parlato e nel coordinare discorso e respirazione ^{[25][26]}.

6. Bibliografia

- [1] Evans, Gary & Bullinger, Monika & Hygge, Staffan. (1998). Chronic Noise Exposure and Physiological Response: A Prospective Study of Children Living Under Environmental Stress. *Psychological Science - PSYCHOL SCI.* 9. 75-77. 10.1111/1467-9280.00014.
- [2] Gary W. Evans and Dana Johnson, Cornell University. Stress and Open-Office Noise, *Journal of Applied Psychology* 2000, Vol. 85, No. 5, 779-783.
- [3] Bamini Gopinath, Aravinda Thiagalingam, Erdahl Teber, Paul Mitchell. Exposure to workplace noise and the risk of cardiovascular disease events and mortality among older adults, *Preventive Medicine*, Volume 53, Issue 6, 1 December 2011, Pages 390-394.
- [4] Carlestad, G., Karlsson, C., & Levi, L. (1973). Stress and disease in response to exposure to noise: a review. In W. Ward (Ed.), *Proceedings of the second international congress on noise as a public health problem*. Report 550/9-73-008 (pp. 479–486). Washington, DC: EPA.
- [5] A. Rabat, J.J. Bouyer, O. George, M. Le Moal, W. Mayo, Chronic exposure of rats to noise: Relationship between long-term memory deficits and slow wave sleep disturbances, *Behavioural Brain Research*, Volume 171, Issue 2, 2006, Pages 303-312, ISSN 0166-4328.
- [6] Dispense di Acustica e Illuminotecnica, professor F. Serpilli, V. Lori (Università Politecnica delle Marche).
- [7] Finn Jacobsen, Torben Poulsen, Jens Holger Rindel, Anders Christian Gade and Mogens Ohlrich, *FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS AND NOISE CONTROL*, Technical University of Denmark, April 2007, pages 1-11
- [8] Finn Jacobsen, Torben Poulsen, Jens Holger Rindel, Anders Christian Gade and Mogens Ohlrich, *FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS AND NOISE CONTROL*, Technical University of Denmark, April 2007, pages 15-18
- [9] Infn, grandezze fisiche del suono
- [10] Prof. Ing. Francesco Canestrari. Richiami di acustica. Lezioni del corso di Gestione e Manutenzione delle Pavimentazioni Stradali. Dipartimento ICEA – Sezione Infrastrutture – Università Politecnica delle Marche.
- [11] Finn Jacobsen, Torben Poulsen, Jens Holger Rindel, Anders Christian Gade and Mogens Ohlrich, *FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS AND NOISE CONTROL*, Technical University of Denmark, April 2007, page 17.

- [12] Pisani, Raffaele. (2009). VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ' ACUSTICA PER SALE DA SPETTACOLO. Pagine 1.
- [13] Pisani, Raffaele. (2009). VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ' ACUSTICA PER SALE DA SPETTACOLO. Pagine 5-7.
- [14] Pisani, Raffaele. (2009). VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ' ACUSTICA PER SALE DA SPETTACOLO. Pagine 11.
- [15] Pisani, Raffaele. (2010). VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ' ACUSTICA PER SALE ADIBITE ALL'ASCOLTO DEL PARLATO pagine 1-3.
- [16] Finn Jacobsen, Torben Poulsen, Jens Holger Rindel, Anders Christian Gade and Mogens Ohlrich, FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS AND NOISE CONTROL, Technical University of Denmark, April 2007, pages 88-101.
- [17] Enrica D'Aula, Tesis presentada para obtener el título de Doctora por la Universitat Politècnica de Catalunya, BASE PARA UN ÍNDICE DE CALIDAD ACÚSTICA GLOBAL DE LA ARQUITECTURA INTERIOR, páginas 85-93
- [18] Finn Jacobsen, Torben Poulsen, Jens Holger Rindel, Anders Christian Gade and Mogens Ohlrich, FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS AND NOISE CONTROL, Technical University of Denmark, April 2007, page 31.
- [19] Professor Colin H Hansen Department of Mechanical Engineering University of Adelaide, FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS, page 41-48
- [20] Siemens Industry Software NV, Sound Quality
- [21] <http://www.comfortacustico.com/acustica/riverbero-ottimale>
- [22] Ryan M. Corey, Uriah Jones, and Andrew C. Singer, Acoustic effects of medical, cloth, and transparent face masks on speech signals, University of Illinois at Urbana-Champaign
- [23] Manoel Nobrega, Renata Opice, Mariana Machado Lauletta, Christiane Ayello Nobrega, How face masks can affect school performance, International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology, Volume 138, 2020, 110328, ISSN 0165-5876
- [24] Daniel M. Campagne, The problem with communication stress from face masks, Journal of Affective Disorders Reports, Volume 3, 2021, 100069, ISSN 2666-915

- [25] Ribeiro VV, Dassi-Leite AP, Pereira EC, Santos ADN, Martins P, Irineu RA. Effect of Wearing a Face Mask on Vocal Self-Perception during a Pandemic. *J Voice*. 2020 Sep 30:S0892-1997(20)30356-8. doi: 10.1016/j.jvoice.2020.09.006. Epub ahead of print. PMID: 33011037; PMCID: PMC7527314.
- [26] Cantarella G, Barillari MR, Lechien JR, Pignataro L. The Challenge of Virtual Voice Therapy During the COVID-19 Pandemic. *J Voice*. 2020 Jun 18:S0892-1997(20)30203-4. doi: 10.1016/j.jvoice.2020.06.015. Epub ahead of print. PMID: 32660845; PMCID: PMC7301088.
- [27] Cohn, Michelle & Pycha, Anne & Zellou, Georgia. (2021). Intelligibility of face-masked speech depends on speaking style: Comparing casual, clear, and emotional speech. *Cognition*. 210. 10.1016/j.cognition.2020.104570.

Bibliografia immagini

[28] Figura 6: "acustica", Treccani

[29] Figura 7: Finn Jacobsen, Torben Poulsen, Jens Holger Rindel, Anders Christian Gade and Mogens Ohlrich, FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS AND NOISE CONTROL, Technical University of Denmark, April 2007, page 64

Appendice

A1- Caratteristiche sorgenti acustiche e datasheet sensori

Microfoni PCB modello 378B02

MODEL 378B02

1/2" PREPOLARIZED FREE-FIELD MICROPHONE

- Sensitivity: 50 mV/Pa (± 1.5 dB)
- Frequency: 3.75 Hz – 20 kHz (± 2 dB)
- Dynamic range: 15.5 dB(A) – 146 dB

TYPICAL APPLICATIONS

- Precision sound level measurements
- Transfer path analysis
- Environmental noise monitoring
- White goods tests in anechoic chambers

STANDARDS COMPLIANCE

- IEC 61094-4 WS2F compliant, and designed to be used in an IEC 61672 Class 1 compliant system for sound level meter use
- Calibration reference microphone traceable to NIST, PTB or DFM National Labs
- PCB calibration service accredited to ISO 17025, ANSI-Z540.3 by A2LA or ILAC



USE OF MODEL 378B02

Model 378B02 is a 1/2 in (12 mm) prepolarized microphone and preamplifier combination for applications where the audible range frequencies need to be accurately measured in areas free of reflective surfaces. The high sensitivity allows for low amplitudes to 15.5 dB(A) to be tested. The 378B02 is suited for a wide variety of auto, aerospace, and R & D applications making it one of the best selling microphones.

Acoustic pressure waves may be altered by objects in the sound field including the microphone itself. The 378B02 corrects for its own presence, providing more accurate measurements within a free-field.

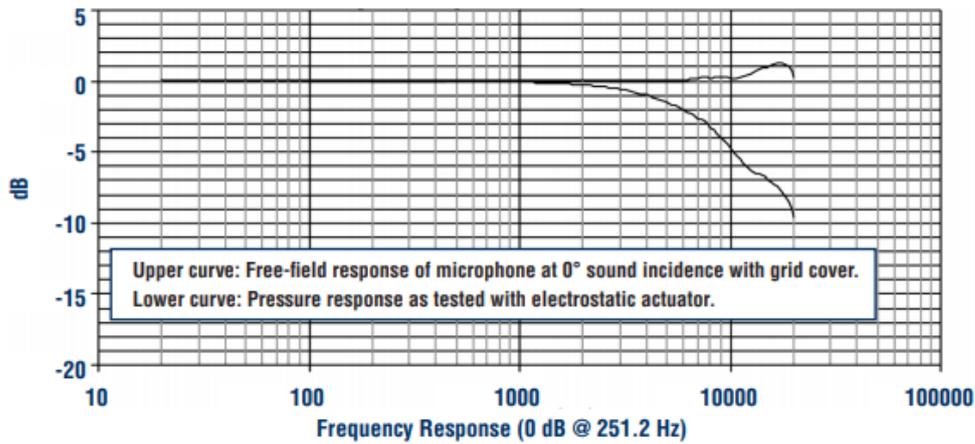
POLARIZATION VOLTAGE – ICP® (0V) PREPOLARIZED

PCB® is the inventor of ICP® sensor power technology. All manufacturers of IEC 61094-4 compliant prepolarized (0V) microphones use the technology that PCB developed. Prepolarized microphones operate on 2-20 mA constant current supply and use coaxial cables resulting in significant per channel cost savings over the PCB 200V models. Other ICP® compatible sensors such as accelerometers, force, strain, and pressure sensors use the same power supplies and cables as prepolarized microphones, further reducing set-up time and initial investment costs.

pcb.com | 1 800 828 8840

PCB® QUALITY COMMITMENT

PCB is uniquely equipped with a state of the art, CNC machining facility, allowing control over quality, pricing, and delivery. Investments in clean rooms, anechoic, and environmental test chambers, combined with our rigorous testing and aging process, ensures our products will survive in demanding environmental conditions. PCB has the industry's best 5-year warranty with a "Total Customer Satisfaction" policy.



378B02 PREPOLARIZED FREE-FIELD MICROPHONE SYSTEM

Nominal Microphone Diameter	in (mm)	1/2 (12)
Sensitivity at 250 Hz (± 1.5 dB)	mV/Pa (dB re 1 V/Pa)	50 (-26)
Frequency Range (± 2 dB)	Hz	3.75 - 20,000
Frequency Range (± 1 dB)	Hz	7 - 10,000
Cartridge Thermal Noise (Microphone)	dB[A] re 20 μ Pa	15
Inherent Noise with 426E01 Preamp	dB[A] re 20 μ Pa	15.5
Harmonic Distortion Limit: 3%	dB re 20 μ Pa	147
Distortion Limit with 426E01 Preamp	dB re 20 μ Pa	137
Environmental Specifications		
Operating Temperature Range Microphone	$^{\circ}$ F ($^{\circ}$ C)	-40 to +302 (-40 to +150)
Operating Temp. with 426E01 Preamp	$^{\circ}$ F ($^{\circ}$ C)	-40 to +176 (-40 to +80)
Operating Temp. with HT426E01 Preamp	$^{\circ}$ F ($^{\circ}$ C)	-40 to +257 (-40 to +125)
Electrical Specifications		
Polarization Voltage	V	0
Constant Current Excitation	mA	2 - 20
Physical Specifications		
Size (Diameter x Length with Grid)	in (mm)	0.52 x 3.62 (13.2 x 91.9)
Connector	Coaxial	BNC Jack

* all specifications typical unless otherwise noted

OPTIONAL ACCESSORIES

- 426A10 – 1/2" preamplifier with 20 Hz high pass filter
- 426A11 – 1/2" preamplifier with gain and filter switches
- HT426E01 – 1/2" preamplifier, high temperature (125° C)
- 079A06 – 1/2" microphone windscreen
- 079A11 – 1/2" microphone holder
- 079A15 – tripod microphone stand with boom arm
- 079B16 – miniature microphone stand
- 079A18 – clamp on flexible extension arm
- 079B21 – 1/2" nose cone
- 079C23 – microphone holder with swivel mount
- CAL200 – handheld calibrator
- ACS-63 – microphone system calibration



3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043-2495 USA
Toll-Free in the USA: 800 828 8840
Phone: 1 716 684 0001 | Email: info@pcb.com

PCB Piezotronics, Inc. is a designer and manufacturer of microphones, vibration, pressure, force, torque, load, and strain sensors, as well as the pioneer of ICP® technology used by design engineers and predictive maintenance professionals worldwide for test, measurement, monitoring, and control requirements in automotive, aerospace, industrial, R&D, military, educational, commercial, OEM applications, and more. With a worldwide customer support team, 24-hour SensorLine™, and a global distribution network, PCB® is committed to Total Customer Satisfaction. Visit www.pcb.com for more information. PCB Piezotronics, Inc. is a wholly owned subsidiary of MTS Systems Corporation. Additional information on MTS can be found at www.mts.com.

Sorgente acustica Q-SOURCE SiemensQ-MHF, prodotto riquadrato in blu

	Low Frequency Monopole (Q-MED)	Low-Mid Frequency (Q-LMF)	Mid-High Frequency (Q-MHF)
			
Frequency Range	5 – 1,000 Hz	10 – 1,000 Hz	150 – 10,000 Hz
Mass [kg]	1.9 kg	9.0 kg	8.0 kg
Dimensions [mm]	Ø75 x 200	245 x 380 x 485 245 x 380 x 790 (w torso extender)	Ø30 mm hose 2, 4, or 6 m tube
Example applications	<ul style="list-style-type: none"> • FRF testing • Vibro-acoustic transfer functions • Acoustic modal analysis • Transfer path analysis 	<ul style="list-style-type: none"> • TPA of structure or airborne noise • Vibro-acoustic transfer functions • Seat positioning 	<ul style="list-style-type: none"> • Airborne source quantification • Transfer path analysis • Sound package evaluation

Sorgente dodecaedrica omnidirezionale ntek OMNI5”



Modello	Diametro (mm)	Peso (Kg)	Impedenza (ohm)	Numero di altoparlanti
Sorgente dodecaedrica OMNI 5”	350	12.5	3 + 3	12

Potenza sonora

Lw = 127.0 dBA

