



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in INGEGNERIA MECCANICA

**ANALISI VIBROACUSTICA DI CAPPE ASPIRANTI
E DI SOLUZIONI PER L'ABBATTIMENTO
DEL RUMORE PERCEPITO**

**VIBROACOUSTICS ANALYSIS OF FIREPLACE HOODS AND
SOLUTIONS FOR PERCEIVED NOISE REDUCTION**

Tesi di Laurea di:

Valentina Pasquinelli

Relatore: Milena Martarelli

Correlatore: Paolo Castellini

Correlatore: Gianmarco Battista

A.A. 2021-2022

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno accompagnato durante questo bellissimo percorso accademico e che mi hanno spronato a proseguirlo, condividendone con me i risultati di volta in volta raggiunti.

Nell'ambito universitario desidero ringraziare tutti i miei colleghi, tutor e professori dai quali ho ricevuto continui stimoli per perfezionarmi e numerosi consigli che saranno sicuramente preziosi per il futuro. In primis, desidero ringraziare la mia relatrice Milena Martarelli che mi ha accompagnato anche nel percorso della laurea magistrale con estrema disponibilità e competenza. Ringrazio anche i miei correlatori Paolo Castellini e Gianmarco Battista che mi hanno seguito durante il tirocinio e la stesura della tesi supportandomi con suggerimenti e puntuali indicazioni.

Un ringraziamento particolare va alla Faber S.p.a. e a tutti coloro che mi hanno seguito durante l'esperienza di tirocinio, in particolare Francesco Faginoli e Leonardo Boccardo, con i quali ho avuto una molto positiva esperienza di collaborazione, nonché di crescita personale e formativa.

Un ringraziamento particolare va a tutta la mia famiglia e al mio ragazzo che sono sempre stati al mio fianco supportandomi in ogni scelta e riponendo sempre estrema fiducia in me e nelle mie decisioni. Questo traguardo lo dedico anche a loro, su cui ho potuto sempre contare. Sono fiduciosa che saranno ancora con me, pronti per affiancarmi ancora, nei miei prossimi obiettivi accademici.

Ringrazio inoltre tutti i miei amici, vecchi e nuovi, vicini e lontani. Ognuno è stato un punto di riferimento da cui ho potuto apprendere le piccole cose di cui farò tesoro nella mia vita.

Infine, un ringraziamento dovuto a me stessa, che ha portato a termine anche questo secondo percorso di laurea, con la dedizione e costanza che mi contraddistinguono e che spero mi affiancheranno anche nelle mie future ambizioni e sfide professionali.

INTRODUZIONE

L'oggetto di questo elaborato è lo studio di un modello di cappa aspirante da cucina, dal punto di vista acustico e vibrazionale. Il setup di misura per l'acquisizione è stato settato ad hoc per il componente, nel rispetto delle normative per le misure acustiche di elettrodomestici.

L'obiettivo principale, descritto al capitolo 1, è l'individuazione di modifiche od accorgimenti grazie ai quali poter ridurre l'impatto acustico della cappa da cucina, in termini di rumore percepito. L'analisi vibrazionale si svolge in parallelo a quella acustica, infatti, essendo tali ambiti strettamente correlati, viene valutata l'importanza dell'uno e dell'altro aspetto e della loro influenza reciproca.

Per ogni modifica implementata vengono valutati i risultati dell'Impact Test, dell'Operative Test nonché le metriche di Sound Quality; al fine di individuare le soluzioni che garantiscano una migliore ottimizzazione della vibro-acustica dell'elettrodomestico.

La trattazione inizia al capitolo 2 con una breve descrizione della teoria alla base della sperimentazione. Per quanto riguarda l'analisi vibrazionale ci si concentra sulla descrizione dell'Impact Testing in quanto sarà la tipologia di test implementata in questo caso studio. Viene inoltre descritto come eseguire un'analisi vibroacustica in condizioni operative ed infine come effettuare un'analisi di Sound Quality.

Al capitolo 3, vi è una breve descrizione del componente in esame in termini di geometria, materiali, sistema di riferimento e condizioni di vincolo. Vengono inoltre descritte le varie soluzioni di ottimizzazione del rumore che saranno sottoposte ai test. In seguito, al capitolo 4, viene presentato il setup di misura descrivendo ogni nodo della catena di misura. La cappa è stata sensorizzata con accelerometri e microfoni per l'acquisizione di misure rispettivamente di vibrazioni e acustiche.

L'acquisizione ed elaborazione dei segnali è effettuata grazie al supporto del software Testlab ed in particolare dei moduli Signature Acquisition e Impact Testing dei quali verrà trattato in modo più approfondito al capitolo 5 focalizzandosi sulle procedure seguite durante i vari test. Viene inoltre presentata la procedura in Testlab seguita per l'analisi di Sound Quality.

Al capitolo 6, vengono illustrati i risultati relativi a tutte le configurazioni testate durante le prove, compresi i risultati della Sound Quality. Viene quindi effettuato un confronto tra le varie configurazioni per determinare quale o quali siano quelle ottimali al fine di ridurre il rumore percepito.

Nelle conclusioni viene quindi discusso delle configurazioni ottimali e della loro fattibilità, nonché delle criticità che esse presentano.

INDICE

RINGRAZIAMENTI	
INTRODUZIONE.....	
INDICE	
1. OBIETTIVI DELL'ANALISI	1
2. CENNI TEORICI RELATIVI ALLA SPERIMENTAZIONE	2
2.1. IMPACT TESTING	2
2.1.1. ECCITAZIONE IMPULSIVA	2
2.1.2. ACQUISIZIONE E PROCESSAMENTO DI SEGNALI TRANSITORI	4
2.1.3. FREQUENCY RESPONSE FUNCTION	8
2.1.4. ROVING HAMMER.....	12
2.2. ANALISI VIBRO-ACUSTICA IN CONDIZIONI OPERATIVE	13
2.2.1. ANALISI VIBRAZIONALE IN CONDIZIONI OPERATIVE.....	14
2.2.2. ANALISI ACUSTICA IN CONDIZIONI OPERATIVE	15
2.3. ANALISI DI SOUND QUALITY	17
2.3.1. OPEN ARTICULATION INDEX.....	19
2.3.2. LOUDNESS.....	22
2.3.3. SHARPNESS.....	25
2.3.4. ROUGHNESS	26
3. OGGETTO DI STUDIO: CAPPASPIRANTE.....	28
3.1. TIPOLOGIA DI CAPPASPIRANTE.....	28
3.1.1. CLASSIFICAZIONE PER MODELLO.....	28
3.1.2. CLASSIFICAZIONE PER TIPO DI ASPIRAZIONE.....	29
3.2. DESCRIZIONE DEI COMPONENTI.....	31
3.2.1. LA SCOCCA	31
3.2.2. IL SISTEMA DI FILTRAGGIO	32
3.2.3. IL GRUPPO DI ASPIRAZIONE	34
3.3. DEFINIZIONE DI GEOMETRIA E SISTEMA DI RIFERIMENTO.....	36
3.4. INSTALLAZIONE E CONDIZIONI DI VINCOLO	38
3.5. SOLUZIONI DI OTTIMIZZAZIONE DEL RUMORE.....	39
3.5.1. CONFIGURAZIONI DI RIFERIMENTO	41
3.5.2. CONFIGURAZIONE 2	41
3.5.3. CONFIGURAZIONE 3	42
3.5.4. CONFIGURAZIONE 4	42

3.5.5. CONFIGURAZIONE 5	43
3.5.6. CONFIGURAZIONE 6	43
3.5.7. CONFIGURAZIONE 7	43
3.5.8. CONFIGURAZIONE 8	44
3.5.9. CONFIGURAZIONE 9	45
3.5.10. CONFIGURAZIONE 10	45
3.5.11. CONFIGURAZIONE 11	45
4. SETUP DEL SISTEMA DI MISURA.....	46
4.1. CATENA DI MISURA	47
4.2. SISTEMA DI ACQUISIZIONE.....	47
4.3. SETUP DEI SENSORI.....	48
4.3.1. ACCELEROMETRI.....	49
4.3.2. MICROFONI.....	56
4.4. ECCITAZIONE ESTERNA.....	59
4.4.1. HAMMER TEST: MARTELLO STRUMENTATO	59
4.4.2. OPERATIVE TEST: GRUPPO ASPIRAZIONE.....	60
5. ACQUISIZIONE SEGNALI IN TESTLAB	61
5.1. IMPACT TESTING	61
5.1.1. CHANNEL SETUP	61
5.1.2. IMPACT SCOPE.....	62
5.1.3. IMPACT SETUP	63
5.1.4. MEASURE	64
5.2. SIGNATURE ACQUISITION.....	67
5.2.1. CHANNEL SETUP	67
5.2.2. CALIBRATION	68
5.2.3. ONLINE PROCESSING	71
5.2.4. MEASURE	72
5.3. ANALISI DI SOUND QUALITY	76
6. ANALISI DEI RISULTATI	82
6.1. SOLUZIONI DI OTTIMIZZAZIONE DEL RUMORE.....	82
6.1.1. CONFIGURAZIONE 0	82
6.1.2. ANALISI DI RIPRODUCIBILITÀ: CONFIGURAZIONI 1, 100, 200, 300	85
6.1.3. CONFIGURAZIONE 2	86
6.1.4. CONFIGURAZIONE 3	92
6.1.5. CONFIGURAZIONE 4	96
6.1.6. CONFIGURAZIONE 5	100

6.1.7. CONFIGURAZIONE 6	105
6.1.8. CONFIGURAZIONE 7	110
6.1.9. CONFIGURAZIONE 8	115
6.1.10. CONFIGURAZIONE 9	120
6.1.11. CONFIGURAZIONE 10	125
6.1.12. CONFIGURAZIONE 11	126
6.2. RISULTATI DELL'ANALISI DI SOUND QUALITY	128
CONCLUSIONI.....	131
APPENDICE 1	133
APPENDICE 2.....	138
APPENDICE 3.....	144
INDICE DELLE FIGURE	147
INDICE DELLE TABELLE.....	152
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	153

1. OBIETTIVI DELL'ANALISI

L'obiettivo della seguente trattazione è quello di illustrare la procedura per l'acquisizione di misure vibrazionali e acustiche su una cappa da cucina focalizzandosi sul setup di misura, l'acquisizione e il post-processing dei segnali.

Tale studio ha come motivazione principale la necessità di investigare il comportamento vibrazionale e acustico della cappa al fine di abbatterne il rumore percepito. Essendo un elettrodomestico, l'impatto acustico di una cappa da cucina deve essere opportunamente valutato e ridotto. Il rumore percepito è infatti un fattore di notevole importanza per il cliente finale durante l'utilizzo del prodotto, nonché uno dei driver principali che ne influenzano l'acquisto.

Il problema vibrazionale viene affiancato a quello acustico e viene valutata la correlazione tra di essi e il loro contributo specifico in termini dell'impatto acustico globale.

Il gruppo di aspirazione, che è la principale sorgente di rumore per una cappa, è già stato in precedenza ottimizzato e opportunamente progettato dal punto di vista acustico. L'analisi si concentrerà quindi sulla possibilità di inserire accorgimenti ulteriori alla cappa per ottimizzarne ancora di più la vibro-acustica. I problemi vibrazionale e acustico sono correlati, infatti riducendo le vibrazioni della struttura, andando ad esempio ad introdurre componenti massivi o di smorzamento, possono essere ricavati benefici anche dal punto di vista acustico.

Ulteriore obiettivo di questi test è la valutazione della validità del setup di misura per tale applicazione. Verrà infatti in tal senso effettuata una analisi di riproducibilità dei risultati ottenuti.

L'obiettivo principale dei test eseguiti è quindi quello di investigare quale tra le modifiche effettuate sulla cappa da cucina, abbia portato un beneficio maggiore dal punto di vista acustico e vibrazionale. La configurazione ottimale deve inoltre rappresentare un buon compromesso dal punto di vista della fattibilità e dei costi.

2. CENNI TEORICI RELATIVI ALLA SPERIMENTAZIONE

In questo capitolo vengono trattati brevemente i concetti teorici alla base delle misurazioni effettuate.

Inizialmente, viene descritto come condurre un'analisi vibrazionale di una struttura con modalità Impact Testing andando ad analizzare i risultati di interesse che in questo caso sono le FRF.

In seguito, viene approfondita la teoria alla base di un'analisi vibro-acustica in condizioni operative considerando gli AutoPowerSpectrum dei segnali.

Infine, vengono brevemente descritti obiettivi e modalità di un'analisi di Sound Quality ed approfondite le metriche di interesse per questo caso studio.

2.1. IMPACT TESTING

In questo paragrafo viene brevemente esposta la teoria alla base di un Impact Testing iniziando dalla descrizione di come la struttura viene eccitata. L'eccitazione è di tipo impulsivo ovvero transitorio, vengono quindi presentate brevemente le principali caratteristiche e criticità nell'acquisizione e processamento di segnali transitori. Infine, viene definito come è possibile calcolare una FRF, partendo dalle definizioni di spettro di un segnale, auto-spettro e cross-spettro. Nonché vengono introdotte le nozioni di PSD e coerenza. Viene inoltre brevemente descritta la modalità operativa del Roving Hammer che sarà quella utilizzata per il caso studio in esame.

2.1.1. ECCITAZIONE IMPULSIVA

L'analisi vibrazionale di una struttura può essere condotta in molteplici modalità. I parametri della FRF possono essere ottenuti tramite test di tipo "sinewave", cioè applicando un'eccitazione armonica alla struttura tramite shaker e misurando la risposta risultante. Alternativamente a quello armonico, possono essere usati segnali di eccitazione di tipo burst, periodico, pseudo-random, random [1]. Senza l'utilizzo di uno shaker, possono essere invece condotte eccitazioni di tipo impulsivo o transitorio, ovvero il cosiddetto Impact Testing, che verrà utilizzato per l'analisi del caso studio in esame. Di seguito ci si concentrerà sugli aspetti teorici ad esso correlati.

Nel caso di Impact Testing la struttura viene eccitata con martello strumentato. Il martello strumentato presenta di solito diversi tipi di punte o teste che servono ad estendere i range di frequenza e forza, per testare strutture diverse tra loro. Esistono anche martelli strumentati di dimensioni diverse che vanno da pochi grammi fino a parecchie tonnellate per range di frequenze da 0-5 kHz a 0-10 Hz. Integrato nel martello vi è di solito una cella di carico, o un trasduttore di forza, che misura la forza percepita dal martello stesso, la quale si assume essere uguale e opposta a quella percepita dalla struttura. Di solito il dispositivo di eccitazione ha la forma di un martello

presentando un manico come in figura 2.1(a) ed il colpo viene impartito a mano, ma può anche essere sospeso come in figura 2.1(b) [1].

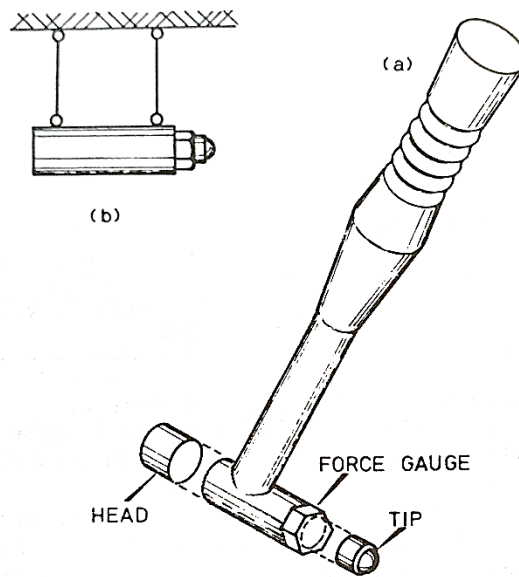


Figura 2.1 Dispositivo di eccitazione per Impact Testing [1]

La forza dell'impatto è determinata dalla massa del martello e dalla velocità con cui viene impartito il colpo, controllata dall'operatore. Il range in frequenza che si è in grado di eccitare con il martello strumentato dipende dalla massa della testa del martello e dalla rigidità delle superfici a contatto.

Tipicamente la storia temporale dell'impulso è come in figura 2.2(a) mentre lo spettro in frequenza è come in figura 2.2(b) ovvero idealmente piatto fino a una frequenza ω_c dopo la quale è difficile fornire energia alla struttura. Un impulso è quindi inefficace ad eccitare frequenze oltre la ω_c , data dalla relazione (rigidezza del contatto/massa del martello)^{1/2} [1].

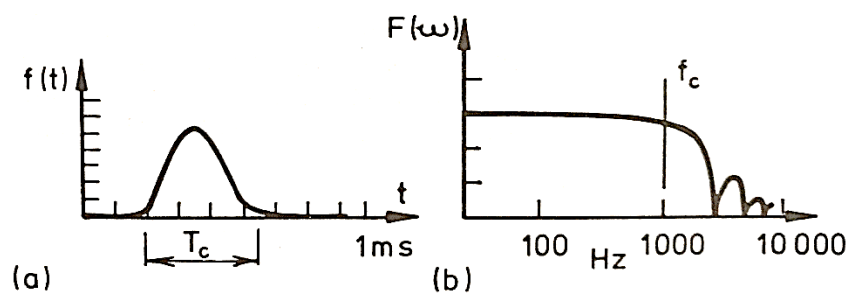


Figura 2.2 Forza d'impulso: storia temporale (a) e spettro in frequenza (b) [1]

Inoltre, vi è una relazione diretta tra la prima frequenza di cut-off ω_c e la durata dell'impulso T_c : per aumentare il range in frequenza eccitabile è necessario impartire un impulso di più breve durata.

Alternativamente si può intervenire sulla rigidità del contatto o sulla massa del martello: più i

materiali a contatto sono rigidi, più l'impulso sarà breve, più il range in frequenza coperto sarà ampio; oppure più è leggera la massa del martello, più alto sarà il range in frequenza eccitato. Per tale motivo sono presenti più teste e masse per il martello strumentato intercambiabili in base alle esigenze [1].

Generalmente si utilizza una punta poco rigida in modo da concentrare tutta l'energia nel range in frequenza di interesse.

La maggior criticità nella realizzazione di un impatto con martello strumentato è impartire ogni volta un colpo identico al precedente, non tanto in intensità (che è regolabile nel processo di misura tra forza e risposta) quanto più nella posizione e orientamento normale alla superficie della struttura.

Altra criticità è quella del doppio colpo che deve essere evitato: l'impulso deve essere il più breve possibile altrimenti c'è il rischio che la cella di carico del martello rilevi due, o più colpi, in successione, al posto di un unico impulso. Il movimento della struttura in risposta all'impulso potrebbe essere tale da colpire di nuovo la punta del martello prima che l'operatore abbia avuto tempo di allontanarlo.

2.1.2. ACQUISIZIONE E PROCESSAMENTO DI SEGNALI TRANSITORI

Quando viene acquisito qualsiasi tipo di segnale, compresi appunto quelli transitori, come nel caso dell'Impact Testing, devono essere settati i parametri dell'acquisizione.

I segnali acquisiti dagli strumenti di misura sono analogici cioè continui nel tempo. Per poterli analizzare è necessario convertirli in digitale cioè attuare un processo di campionamento che discretizzi il segnale stesso. Il segnale viene discretizzato sia lungo l'asse dei tempi (campionamento) sia lungo l'asse delle ampiezze (quantizzazione).

L'acquisizione di qualsiasi segnale viene effettuata tramite una scheda di acquisizione in cui è presente un convertitore AD analogico digitale.

I principali parametri di acquisizione sono [2]:

- dt – tempo di campionamento [s];
- f_s – sampling frequency cioè frequenza di campionamento [Hz] dove $f_s = 1/dt$;
- n_s – numero di campioni acquisiti;
- T_{acq} – tempo di acquisizione [s] dove $T_{acq} = n_s * dt = n_s / f_s$;
- df – risoluzione in frequenza [Hz] dove $df = 1 / T_{acq}$.

Un segnale è correttamente campionato solo se si rispetta il teorema del campionamento, anche detto di Nyquist o di Shannon.

Secondo questo teorema $f_s \geq 2 \cdot f_{\max}$ cioè la frequenza di campionamento deve essere almeno il doppio della più alta componente spettrale del segnale [2].

Analogamente ciò significa che $dt \leq T/2$ dove T è il periodo del segnale.

Quindi campionando ad una frequenza f_s , la massima frequenza che può essere correttamente ricostruita nello spettro è la frequenza di Nyquist f_N o frequenza di banda f_{BW} calcolabile come:

$$f_N = f_{BW} = f_s/2$$

La frequenza di banda può anche essere espressa come prodotto tra il numero di linee spettrali N_f e la risoluzione in frequenza ovvero $f_{BW} = N_f \cdot df$.

Unendo le relazioni sopra citate per la f_{BW} , si ottiene che:

$$\frac{f_s}{2} = N_f \cdot df$$

mentre ricordando l'espressione della f_s in funzione di n_s e T_{acq} si ha che:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{n_s}{T_{acq}} \right) = N_f \cdot df$$

Ricordando che T_{acq} è l'inverso di df , si ottiene che il numero delle linee spettrali sarà quindi pari alla metà del numero di campioni ovvero $N_f = n_s/2$.

Se non viene rispettato il teorema di Shannon, ovvero non si verifica che la massima frequenza del segnale f_{\max} è minore della frequenza di Nyquist cioè $f_{\max} < f_N$, si incorre nel fenomeno dell'aliasing. Per ridurre al minimo questo fenomeno si alza la frequenza di campionamento oppure si utilizza un filtro anti-aliasing cioè un particolare filtro passa basso inserito a monte dell'acquisizione.

Quando si parla specificatamente di segnali transitori bisogna considerare un altro parametro fondamentale per l'acquisizione ovvero il trigger. È infatti necessario sincronizzare l'acquisizione con il segnale stesso, poiché esso dura per un breve intervallo di tempo. La funzione del trigger permette di iniziare l'acquisizione in un determinato istante ed è caratterizzata da [2]:

- livello: quando il segnale assume questo valore, viene avviata l'acquisizione. Il livello del trigger può essere espresso in V (voltaggio) o come % del fondo scala;
- pendenza: può essere negativa o positiva a seconda che si scelga di acquisire il segnale quando sta crescendo (pendenza positiva) o diminuendo (pendenza negativa);
- posizione: anche indicata come pre-trigger, ed espressa in secondi, rappresenta il tempo durante il quale il segnale viene acquisito prima che si raggiunga il livello di trigger con la pendenza stabilita. In tal modo lo strumento di acquisizione si mantiene in memoria il segnale, anche se comincia a registrarlo quando l'evento di trigger si realizza. L'impulso verrà quindi acquisito per intero.

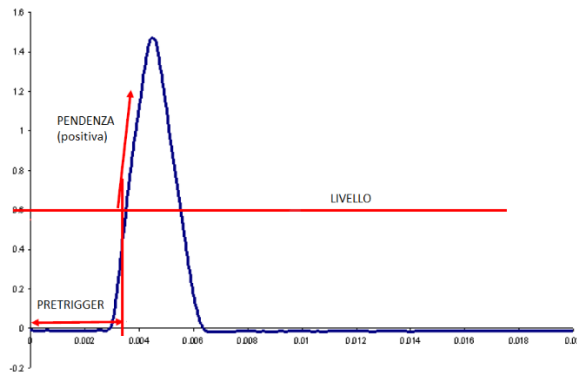


Figura 2.3 Trigger di un segnale [2]

Il segnale acquisito deve poi essere processato per il calcolo delle funzioni di risposta in frequenza e coerenza. A Tal fine, sia il segnale della forzante che della risposta della struttura devono essere opportunamente trattati.

Per applicare la FFT¹ ad un segnale, e passare quindi dal dominio del tempo a quello delle frequenze, si potrebbe riscontrare il fenomeno del leakage. Il leakage si verifica quando il tempo di acquisizione non coincide con il periodo del segnale (si parla di periodo del segnale poiché per poter applicare la FFT il segnale deve essere periodico). Per poter applicare la FFT si assume che il segnale acquisito si ripeta nel tempo, si introducono quindi delle discontinuità nel segnale che portano ad un leakage (allargamento) dei picchi dello spettro. L'energia associata al segnale non viene più associata ad una precisa componente armonica ma viene ripartita su più righe (banda spettrale) [2].

Per ovviare all'errore di leakage, prima di calcolare la FFT, si può applicare una finestrazione al segnale acquisito nel tempo: punto per punto, il segnale acquisito viene moltiplicato per il valore della finestra. Nel caso dell'Impact Testing, o in generale di segnali transitori, si utilizzano principalmente due tipologie di finestre [2]:

1. finestra di forza (o finestra di forza-esponenziale): applicata al segnale di riferimento ovvero quello della forzante di eccitazione;
2. finestra esponenziale: applicata al segnale di risposta della struttura.

1. L'impulso impartito dal martello strumentato sulla struttura è molto breve. Dopo tale impulso, il segnale conterrà solo rumore elettrico sul canale di acquisizione. Bisogna

¹ La FFT, ovvero Fast Fourier Transform, è un algoritmo utilizzato per esprimere un segnale nel tempo, nel suo spettro in frequenza. Esso è basato sulla serie di Fourier secondo la quale una funzione periodica può essere scritta come una serie infinita di sinusoidi a frequenze multiple di quella fondamentale.

inoltre considerare che, essendo l'impulso di durata brevissima, l'energia totale del rumore può essere dello stesso ordine di grandezza dell'impulso. Per tali motivi si cercherà di ridurre il rumore. Per forzare il rumore a zero, viene applicata una finestra di forza: la finestra assume valore 1 fino ad un tempo leggermente superiore a quello dell'impulso e poi assume valore nullo fino ad arrivare al tempo di acquisizione.

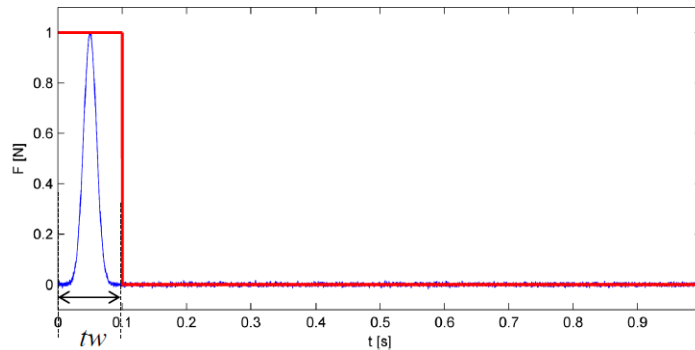


Figura 2.4 Finestra di forza: il tw (time window) ovvero il cut-off è pari a 10% [2]

La finestra di forza è caratterizzata dal parametro di cut-off che esprime la durata della finestra sul tempo di acquisizione, in termini percentuali.

2. La risposta della struttura, eccitata con martello strumentato, avrà un andamento smorzato nel tempo ma non decade completamente a 0 nel tempo di acquisizione. Per poter applicare l'algoritmo della FFT, il segnale viene troncato e verrà concatenato in modo da simulare un segnale periodico con periodo pari al tempo di acquisizione. In questo modo si incorrerà tuttavia nel problema del leakage. Per ovviare, viene introdotta una finestra di tipo esponenziale che forza il segnale a smorzarsi entro il tempo di acquisizione. Il segnale così troncato sarà quindi concatenato per applicare l'algoritmo della FFT. In questo caso il segnale finestrato sarà sicuramente periodico, in quanto nel tempo di acquisizione avrà valori iniziale e finale nulli.

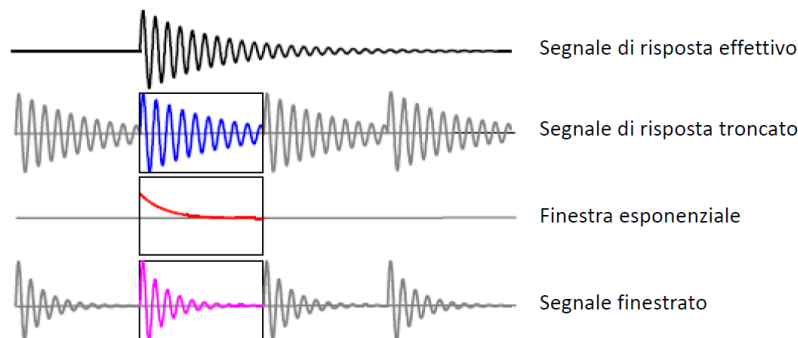


Figura 2.5 Finestra esponenziale per il segnale di risposta [2]

Per definire la finestra esponenziale si utilizza il parametro di decay (decadimento) che esprime il valore in ampiezza della finestra al tempo di acquisizione. Spesso è espresso in termini percentuali rispetto al valore massimo assunto dalla finestra al tempo zero.

2.1.3. FREQUENCY RESPONSE FUNCTION

L'analisi di vibrazioni si distingue in vibrazioni libere e forzate di un sistema. Per analizzare i sistemi MDOF ovvero multi degree-of-freedom si parte dall'analisi dei sistemi SDOF ovvero single degree-of-freedom. Per i SDOF l'analisi di vibrazioni libere permette di ottenere la frequenza naturale e il rapporto di smorzamento, mentre un'analisi di vibrazioni forzate permette la determinazione di una FRF ovvero Frequency Response Function del sistema [1].

La vibrazione si dice libera quando il sistema meccanico vibra senza essere sottoposto ad alcuna forzante. Un sistema vibra poiché le sue condizioni iniziali sono diverse da zero, ovvero se in un certo istante è in condizione diversa da quella di equilibrio.

Nell'analisi di vibrazioni libere del sistema vengono calcolate le seguenti proprietà modali [1]:

- N frequenze naturali e i rispettivi fattori di smorzamento (dove N sono i gradi di libertà del sistema) rappresentati dalla matrice degli autovalori $[\lambda^2]$;
- N modi di vibrare, ognuno dei quali associato alla rispettiva frequenza naturale rappresentati dalla matrice degli autovettori $[\phi]$.

Un elemento della matrice diagonale degli autovalori (λ_r^2) contiene la frequenza naturale e il fattore di smorzamento del modo r-esimo di vibrare mentre la corrispondente colonna $\{\phi\}_r$ della matrice $[\phi]$ descrive la deformata (lo spostamento relativo di tutte le parti del sistema) dello stesso modo di vibrare [1].

Al contrario, la vibrazione forzata si ha quando il sistema è messo in vibrazione da un'eccitazione esterna. In questo caso il comportamento dinamico del sistema è descritto dalla matrice della risposta in frequenza $[H(\omega)]$. L'elemento $H_{jk}(\omega)$ della matrice è la FRF (Frequency Response Function) e rappresenta la risposta armonica X_j nel grado di libertà j-esimo causata dalla forzante armonica F_k applicata al grado di libertà k:

$$H_{jk}(\omega) = \frac{X_j}{F_k} = \sum_{r=1}^N \frac{A_{r,jk}}{\lambda_r^2 - \omega^2}$$

Nella formula, λ_r^2 è l'autovalore del modo r-esimo mentre $A_{r,jk}$ è la costante modale costruita da $\{\phi\}_r$. ϕ_{jr} è il j-esimo elemento del r-esimo autovettore $\{\phi\}_r$ cioè lo spostamento relativo (se la FRF è in termini di Receptance) nel grado di libertà j-esimo durante la vibrazione al modo r-esimo [1].

Le FRF possono essere espresse in termini di spostamento (Receptance), velocità (Mobility) o accelerazione (Inertance) e evidenziano quindi come varia la risposta del sistema rispetto alla forzante in ingresso nel dominio della frequenza.

Le FRF possono essere rappresentate in termini di:

- parte reale e immaginaria, in funzione della frequenza;
- diagrammi di Bode cioè in termini di ampiezza e fase, in funzione della frequenza (in scala lineare o logaritmica);
- diagramma di Nyquist ovvero parte immaginaria in funzione della parte reale.

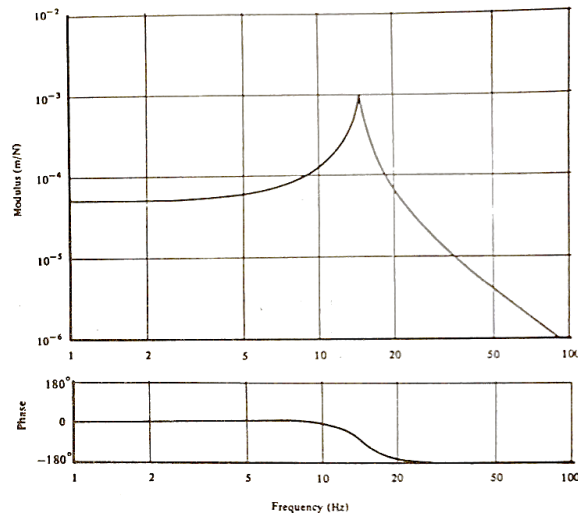


Figura 2.6 FRF di un sistema SDOF, diagramma di Bode (scala logaritmica) [1]

Tre sono gli aspetti da considerare nel processo di misura di una FRF [1]:

- gli aspetti meccanici legati al supporto (struttura vincolata, libera o in situ) e alla corretta eccitazione della struttura (generazione di vibrazione tramite shaker o hammer);
- la corretta trasduzione delle quantità da misurare – forza di input e risposta vibrazionale in output;
- il processamento del segnale.

La FRF può essere calcolata come rapporto delle trasformate di Fourier della risposta $X(\omega)$ e della forzante di eccitazione $F(\omega)$ ovvero [1]:

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)}$$

Per il calcolo della FRF è necessario calcolare l'auto-spettro e il cross-spettro dei segnali. L'auto-spettro di un segnale è ottenuto dalla moltiplicazione tra lo spettro del segnale (ovvero la FFT del segnale nel tempo) e il suo complesso coniugato.

Ad esempio, l'auto-spettro della risposta è calcolabile come [3]:

$$S_{xx}(\omega) = X(\omega) \cdot X(\omega)^* = |X(\omega)|^2$$

Il contributo della fase viene eliminato e rimane solo il modulo dello spettro del segnale elevato al quadrato. L'auto-spettro del segnale viene utilizzato infatti poiché, eliminando il contributo della fase, è possibile effettuare le operazioni di media sul segnale ottenendo un valore di ampiezza corretto. L'auto-spettro è generalmente graficato in funzione della frequenza, sull'asse y è presente l'unità dell'ampiezza elevata al quadrato (ad esempio N^2 per la forzante e g^2 per la risposta).

Da notare che, spesso nell'Impact Testing, si utilizza la PSD ovvero la Power Spectral Density.

La PSD normalizza l'ampiezza rispetto alla risoluzione in frequenza e viene calcolata come rapporto tra l'auto-spettro del segnale e la risoluzione in frequenza df [3]:

$$PSD = \frac{S_{xx}(\omega)}{df}$$

La PDS è espressa sempre nel dominio della frequenza e la sua unità di misura sarà quella dell'auto-spettro diviso Hz (ad esempio N^2/Hz per la forzante e g^2/Hz per la risposta, come visibile in figura 5.5).

Il cross-spettro di due segnali viene invece calcolato come moltiplicazione dello spettro di un segnale e del complesso coniugato dello spettro dell'altro segnale. Ad esempio, il cross-spettro tra il segnale della forzante e della risposta in un Impact Testing viene calcolato come:

$$S_{xf}(\omega) = X(\omega) \cdot F(\omega)^*$$

Una volta calcolati auto e cross-spettri si può calcolare la Frequency Response Function.

Possono in realtà essere effettuate due stime diverse per la FRF chiamate $H_1(\omega)$ e $H_2(\omega)$ [1]:

$$H_1(\omega) = \frac{S_{fx}(\omega)}{S_{ff}(\omega)} \qquad H_2(\omega) = \frac{S_{xx}(\omega)}{S_{xf}(\omega)}$$

Dove $S_{xx}(\omega)$, $S_{ff}(\omega)$, $S_{xf}(\omega)$ sono gli auto-spettri rispettivamente del segnale di risposta e di eccitazione ed il cross-spettro tra i due segnali.

Di solito vengono effettuate più misurazioni ovvero calcolate più FRF e poi effettuata una media dei risultati. Tra una misurazione e l'altra, può infatti variare sia la risposta della struttura ma soprattutto il modo in cui viene impartita l'eccitazione, che dipende dall'operatore.

Un risultato importante da considerare nell'Impact Testing è la funzione coerenza, indicatore della affidabilità statistica delle misurazioni effettuate. La coerenza indicata con γ^2 è definita come [1]:

$$\gamma^2 = \frac{H_1(\omega)}{H_2(\omega)}$$

In caso di assenza di rumore (fenomeno deterministico) ovvero in una condizione ideale la coerenza è pari a 1, in caso contrario (come avviene nella realtà) la coerenza sarà tra 0 e 1.

Nella pratica la coerenza è graficata in funzione della frequenza ed è usata come indicazione dell'accuratezza del processo di misura nel range di frequenza di interesse. In genere vicino alle risonanze del sistema si ha una coerenza prossima ad 1 perché il segnale di risposta è grande ed è poco influenzato dalla presenza del rumore. Invece vicino alle anti-risonanze (dove la FRF decade a zero) il segnale di risposta è quasi nullo e pertanto c'è solo rumore, conseguentemente la coerenza crolla. Il crollo della coerenza può inoltre essere dovuto a non linearità nel sistema o leakage.

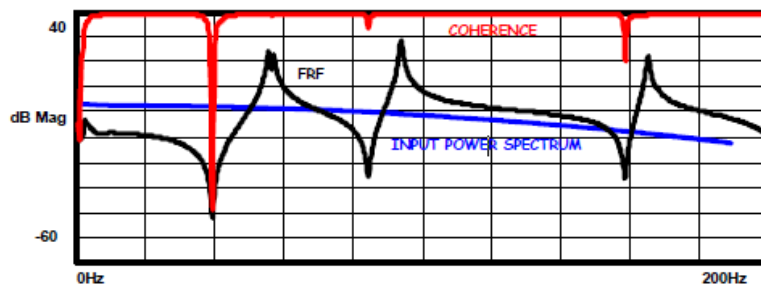


Figura 2.7 Coerenza di un segnale [2]

Nel complesso una procedura di Impact Testing può essere riassunta nei seguenti step espliciti nella figura sottostante [2]:

- Acquisizione di storie temporali della forzante e della risposta, settaggio di eventuale trigger;
- Applicazione di filtro anti-aliasing;
- Applicazione di finestre per ridurre il leakage;
- Calcolo dell'FFT dei segnali;
- Media in frequenza e calcolo degli auto-spettri e cross-spettri;
- Calcolo di FRF e coerenza.

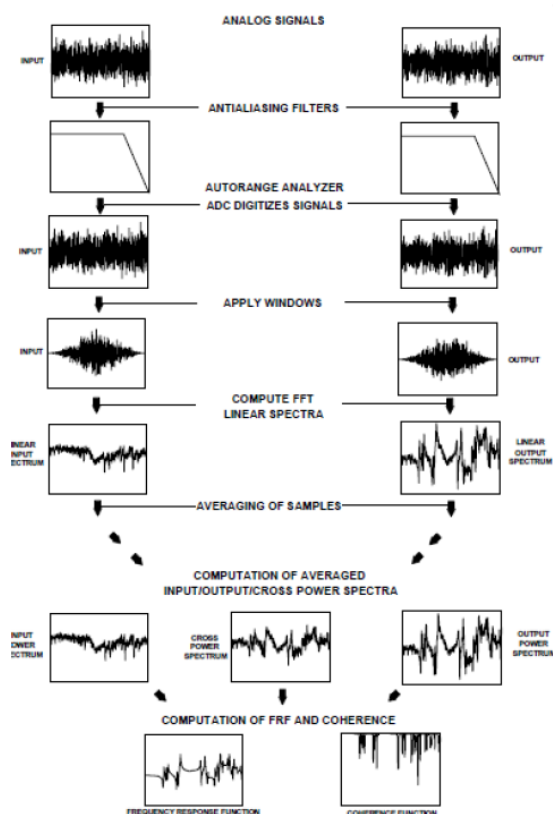


Figura 2.8 Step per calcolo di una FRF in un Impact Test [2]

2.1.4. ROVING HAMMER

Nella tecnica del Roving Hammer, il martello strumentato viene spostato di volta in volta mentre la risposta viene misurata sempre nello stesso punto, dove generalmente è posto un accelerometro come trasduttore.

Considerando l'esempio di una trave incastrata se il colpo con il martello strumentato viene impartito nel punto 3 e la risposta misurata nello stesso punto, si ottiene la FRF del driving point (direct FRF) detta H_{33} . In seguito, il martello si sposta per imprimere la forza nel punto 2 o nel punto 1 e si misura la risposta sempre nel punto 3: si ottengono così le FRF di trasferimento (transfer FRF) dette H_{32} e H_{31} . In un sistema a 3 gradi di libertà (gdl) si possono quindi misurare 9 FRF combinando la misura della forza e della risposta sui 3 gdl [2].

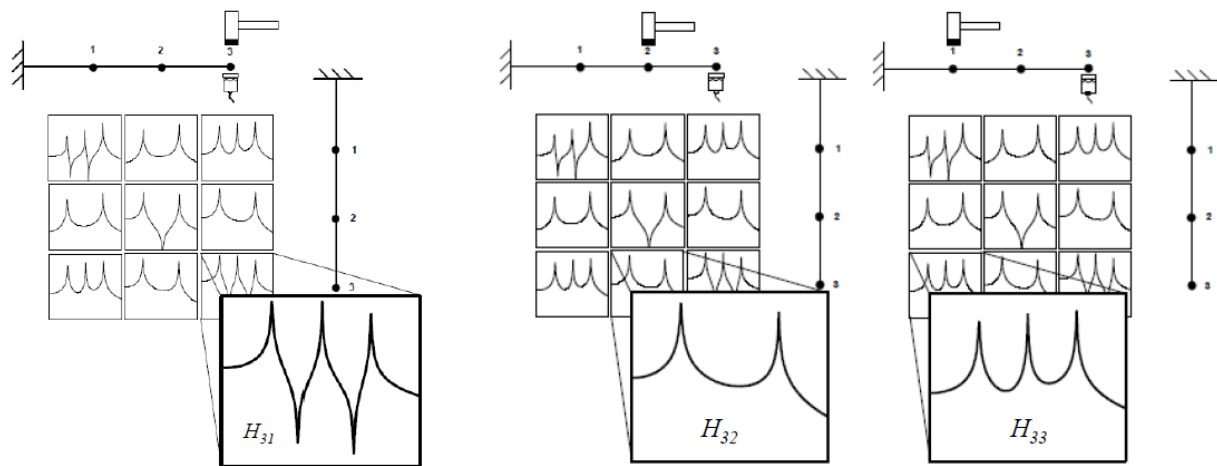


Figura 2.9 FRF (diagramma di Bode) di un sistema a 3 gdl ottenute con tecnica del Roving Hammer [2]

La tecnica del Roving Hammer sarà applicata anche nel caso studio in esame come verrà descritto al paragrafo 5.1. Il martello verrà spostato in cinque punti diversi della cappa aspirante (denominati Input 1-5) mentre la risposta verrà registrata da 13 accelerometri collocati su tutta la struttura. Verranno quindi calcolate, per ogni Input, le FRF nel driving point (in seguito denominate FRF-Input Vib) e le transfer FRF (in seguito denominate FRF-Box, FRF-Top, FRF-Glass). Tali FRF verranno mostrate nell'analisi dei risultati al paragrafo 6.1.

2.2. ANALISI VIBRO-ACUSTICA IN CONDIZIONI OPERATIVE

Effettuare un'analisi vibro-acustica in condizioni operative significa acquisire segnali di vibrazione e acustici mentre il dispositivo è in funzionamento. In particolare vengono acquisite le storie temporali ed in seguito si passa al dominio delle frequenze analizzando gli spettri e calcolando i relativi auto-spettri, eliminando il contributo della fase come spiegato al paragrafo 2.1.3.

In questo caso vengono calcolati gli auto-spettri, indicati con la sigla AP, sia dei segnali di vibrazione (acquisiti dagli accelerometri) che dei segnali acustici (acquisiti dai microfoni), i quali avranno rispettivamente come unità di misura $(m/s)^2$ e Pa^2 per l'asse delle ampiezze, e sono espressi in funzione della frequenza. Essendo presenti più sensori di vibrazione e acustici sarà effettuata una media degli AP per ogni gruppo di sensori.

Per quanto riguarda la modalità di acquisizione, in questo caso non c'è bisogno di settare un trigger poiché l'acquisizione è continua ovvero si parla di free run. La modalità di misurazione viene detta stazionaria in quanto si acquisiscono i risultati una volta che il dispositivo si suppone abbia raggiunto condizioni di funzionamento a regime.

I parametri di acquisizione da settare sono quindi sempre gli stessi ovvero tempo di campionamento, numero di campioni, tempo di acquisizione (nel dominio del tempo) oppure frequenza di campionamento, numero di linee spettrali, risoluzione in frequenza (nel dominio della frequenza). Da considerare inoltre l'aliasing, come descritto al paragrafo 2.1.2.

Nell'Operative Test, per ovviare al problema del leakage per il calcolo dell'FFT, si utilizza la finestra di Hanning. Moltiplicando il segnale acquisito per la finestra di Hanning (che assume valore nullo agli estremi e 1 al centro) si ottiene un segnale periodico nel tempo di acquisizione, a cui è possibile applicare correttamente la trasformata di Fourier. Di seguito vi è un esempio di segnale non finestrato (in blu) a cui è stata applicata la finestra di Hanning (in magenta), il segnale finestrato è riportato in rosso.

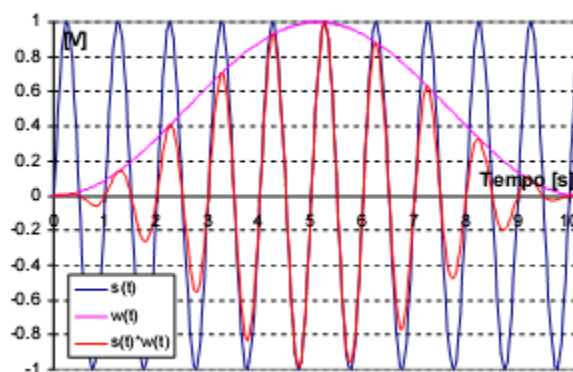


Figura 2.10 Finestra di Hanning [2]

2.2.1. ANALISI VIBRAZIONALE IN CONDIZIONI OPERATIVE

Per un elettrodomestico, quale la cappa da cucina, la vibrazione è direttamente legata alla performance del prodotto in quanto può creare disturbo e ridurre il comfort, andando ad influire sulla rumorosità del prodotto. Per tale motivo è importante condurre un test in condizioni operative andando a misurare la sua risposta vibrazionale della cappa.

Le misurazioni effettuate per questo caso studio sono volte a valutare delle modifiche per migliorare la cappa aspirante dal punto di vista vibro-acustico. Per quanto riguarda l'Operative Test, effettuato in Signature Acquisition, andare ad applicare delle modifiche sulla struttura in esame, significa modificarne la sua risposta vibrazionale.

Infatti, applicando modifiche strutturali si può ottenere lo spostamento della risonanza² del sistema. L'obiettivo di una modifica strutturale sarà quindi quello di limitare il fenomeno della risonanza, allontanando la frequenza di risonanza propria del sistema dalla frequenza armonica della forzante in ingresso, che in questo caso sarà rappresentata dal gruppo di aspirazione.

Le modifiche strutturali, che possono essere implementate per spostare la risonanza di un sistema, sono genericamente di tre tipologie ovvero si può modificare [2]:

- rigidità: aumentando la rigidità del sistema la frequenza di risonanza aumenterà spostando il picco della FRF verso destra;
- massa: aumentando la massa del sistema la frequenza di risonanza diminuirà spostando il picco della FRF verso sinistra;
- smorzamento: aumentando lo smorzamento del sistema i picchi della FRF risulteranno essere più arrotondati.

Le modifiche individuabili nella FRF del segnale sono individuabili anche nell'auto-spettro dei segnali acquisiti dagli accelerometri, per cui è possibile fare le stesse considerazioni.

² Il fenomeno della risonanza si verifica quando una struttura viene eccitata con una forzante di tipo armonico la cui frequenza coincide con una delle frequenze proprie del sistema. Quando ciò avviene, il sistema amplificherà la risposta in corrispondenza di tale frequenza, generando il cosiddetto picco di risonanza.

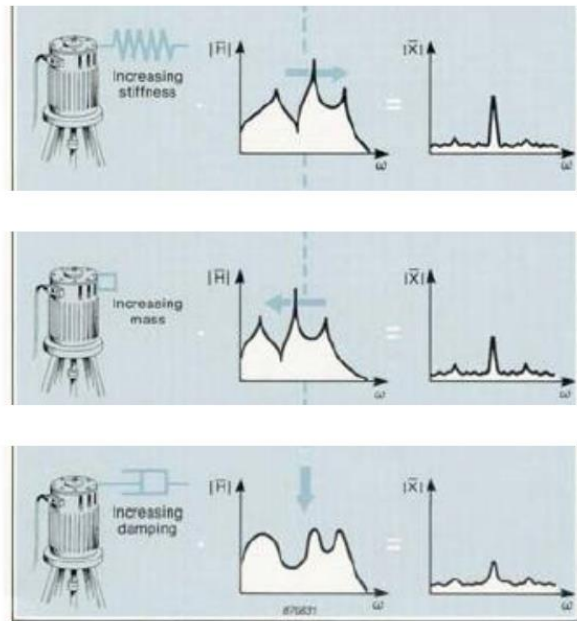


Figura 2.11 Effetto di modifiche strutturali sulla risonanza di un sistema [2]

2.2.2. ANALISI ACUSTICA IN CONDIZIONI OPERATIVE

Per quanto riguarda l'analisi acustica ci si concentra sul segnale acquisito dai microfoni e si valuta se vi sono cambiamenti sugli auto-spettri dei segnali quando vengono effettuate modifiche sulla struttura testata.

La quantità misurata dai microfoni e di cui si calcola l'auto-spettro è la pressione acustica. Quando una sorgente di rumore emette un suono essa causa la vibrazione delle molecole d'aria che la circondano, l'onda sonora si propaga così dalla sorgente fino al microfono [4].

Generalmente il microfono misura l'onda acustica convertendo la vibrazione della sua membrana in segnale di tensione. Di solito i microfoni si basano sull'elemento piezoelettrico del quarzo che ha la capacità di accumulare cariche a seguito di una vibrazione. Tali cariche elettriche sono poi tradotte in tensione grazie ad un circuito integrato.

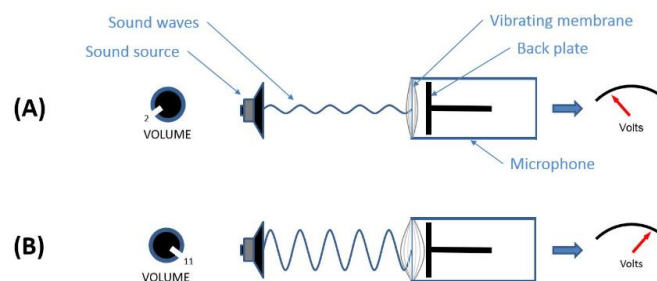


Figura 2.12 Principio di funzionamento di un microfono [4]

Le onde sonore si propagano in tutte le direzioni e la loro ampiezza diminuisce all'aumentare della distanza dalla sorgente di emissione. In caso di propagazione libera, ovvero in condizioni free field, l'ampiezza dell'onda acustica diminuisce della metà quando si duplica la distanza dalla sorgente. Per tale motivo, il posizionamento dei microfoni deve rimanere fisso durante le varie misurazioni altrimenti la quantità misurata risulta essere diversa poiché varia la distanza tra la sorgente di rumore e il sensore.

La pressione sonora si misura in pascal, e il suo valore rappresenta la somma delle ampiezze di tutte le onde che compongono il suono [4].

Tuttavia, di solito viene utilizzata in acustica la formulazione in decibel. Il decibel è un formato numerico calcolato come il logaritmo del rapporto tra il valore misurato e un valore di riferimento. Vi sono due formulazioni diverse a seconda che il valore misurato sia di tipo:

- Power Quantity: ne sono esempi la potenza sonora [W], l'intensità sonora [W/m²];
- Amplitude Quantity: ne sono esempi la pressione sonora [Pa], voltaggio [V], accelerazione [m/s²].

Se si è in presenza di una Power Quantity si utilizza la formulazione (a), per una Amplitude Quantity la formulazione (b) [5]:

$$(a) \quad dB = 10 \log \left(\frac{W}{W_{ref}} \right) \qquad (b) \quad dB = 20 \log \left(\frac{X}{X_{ref}} \right)$$

Per il calcolo in dB del livello di pressione acustica (ovvero SPL – Sound Pressure Level) il valore di riferimento è pari a 20e-6 Pa. Questo valore rappresenta la minor fluttuazione di pressione percepibile dall'orecchio umano a 1000 Hz [5].

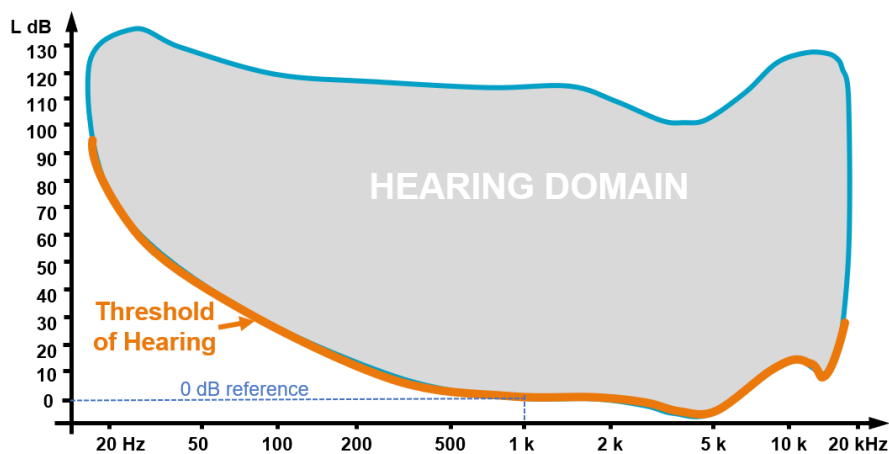


Figura 2.13 Reference value for SPL [5]

2.3. ANALISI DI SOUND QUALITY

Gli algoritmi di Sound Quality, ovvero Qualità del Suono, hanno rivoluzionato le misurazioni acustiche nel campo ospedaliero, dell'automotive, degli elettrodomestici e molti altri, spostando l'attenzione dalla semplice riduzione dell'emissione di rumore verso un processo di crescente desiderabilità del suono [6].

Il termine Sound Quality descrive l'impressione soggettiva causata da un suono, ed è legata ad una serie di parametri che non sono la sola pressione sonora che raggiunge l'orecchio umano [7].

In passato, l'analisi condotta in ambito acustico è sempre stata relativamente semplice concentrandosi su analisi di livello di pressione acustica, analisi in bande di ottava, analisi FFT. Questi algoritmi sono efficaci nel rivelare il livello di decibel o il contenuto in frequenza di un segnale ma non mettono in evidenza una serie di fenomeni che determinano la desiderabilità del segnale. Gli algoritmi di Sound Quality sono stati appunto pensati per superare la semplice analisi del livello di rumore e spiegare come i suoni sono percepiti dall'orecchio umano [6].

L'analisi di Sound Quality coinvolge molte diverse discipline come l'acustica, la fisica e la psicoacustica, l'ingegneria meccanica, la musicologia, ma anche aspetti cognitivi e di sviluppo del prodotto [7], marketing, psicologia, fisiologia [6]. Tali algoritmi combinano la psicoacustica, la fisica e gli aspetti cognitivi del suono per fornire nuove metriche di performance per il design del prodotto. Un esempio di applicazione di algoritmi di Sound Quality nell'industria automotive è quello di progettare componenti per migliorare il loro comportamento NVH, per esempio un motore con un suono più piacevole o una maniglia con una chiusura più rilassante. Gli algoritmi di Sound Quality sono applicabili anche nell'industria dell'elettronica consumer. Essi permettono di progettare un prodotto con un miglior suono che accresce psicologicamente le possibilità di scelta da parte del consumatore [6].

Alla base della Sound Quality vi sono una serie di algoritmi sviluppati dalla scienza della psicoacustica, usati per definire la relazione tra le quantità fisiche del suono e l'impressione soggettiva dell'orecchio umano [6]. Gli algoritmi di Sound Quality esaminano parametri fisici quali livello di pressione sonora, frequenza etc. e li correlano alla percezione sonora dell'orecchio umano [6].

Si è in presenza di una buona qualità del suono se il suono non viene percepito come un rumore fastidioso o disturbante, ha un contenuto piacevole e crea considerazioni positive sul prodotto [7]. Infatti, anche se per alcuni prodotti il rumore è inevitabile, esso può essere trasformato in un suono piacevole o addirittura desiderabile come il rumore del motore di un motociclo ad alte prestazioni o un'auto di lusso [8]. Una elevata qualità del suono accresce la percezione complessiva della

qualità del prodotto, portando ad un maggior successo di marketing e quindi vendite [8].

Progettare specificatamente per la Sound Quality è stimolante e complesso in quanto un suono è desiderabile a seconda di come l'uomo lo percepisce, utilizzando le orecchie e il cervello. Le misurazioni acustiche come la risposta in frequenza descrivono la natura del suono in sé, ma non misurano il processo fisico che prende luogo nell'orecchio o il processo cognitivo del cervello [8]. Tuttavia, questi sono tutti fattori che contribuiscono all'esperienza soggettiva del suono. Per fornire ai progettisti degli obiettivi chiari che prendono in considerazione la situazione nel suo complesso, c'è il bisogno di quantificare la qualità del suono [8] ed è per tale motivo che sono state introdotte le metriche di Sound Quality.

L'uomo percepisce alcuni suoni meglio di altri, quindi possono essere aggiunti dei pesi a questi suoni usando le metriche di Sound Quality. Tuttavia, il test soggettivo sull'acustica del prodotto rimane comunque fondamentale quando si determina l'accettabilità della qualità del suono. Il Jury Testing permette agli ascoltatori di classificare i suoni e assegnare dei punteggi per le metriche qualitative di Sound Quality, come la roughness. I software di analisi traducono queste valutazioni in valori oggettivi, necessari per progettare un prodotto dal punto di vista acustico [8].



Figura 2.14 Jury Testing [9]

L'analisi di Sound Quality è utile per valutare cambiamenti nella progettazione di un prodotto ed ottimizzarlo dal punto di vista acustico.

Di seguito vengono brevemente descritte le metriche di Sound Quality che sono state prese in considerazione per l'analisi di Sound Quality del caso studio descritto in seguito.

2.3.1. OPEN ARTICULATION INDEX

L'Open Articulation Index è una variazione del più noto Articulation Index. L'AI è una metrica sviluppata per valutare in che misura suoni in background possono interferire con il parlare umano e limitarne la comprensione. Il valore dell'AI è compreso tra 0% e 100% dove lo 0% indica che, a causa del rumore di sottofondo, non è comprensibile nessuna parola mentre il 100% indica che tutte le sillabe sono comprensibili [10].

Al giorno d'oggi, l'Articulation Index è utilizzato per classificare il rumore interno dei veicoli e molti altri prodotti [10].

L'orecchio umano può percepire frequenze tra 20-20000 Hz, ma le frequenze prodotte mentre si parla coprono un range molto più ristretto. Nella figura sottostante viene mappato il dominio dell'udibile umano e del parlato umano in termini di dB (livello del suono) rispetto alla frequenza in Hz. Il dominio del parlato copre un range tra 200-6000 Hz. Se vi è un suono in sottofondo che ricade in questo range in frequenza, esso potrebbe interferire e quindi rendere più difficile la comprensione di una persona che sta parlando in quel momento [10].

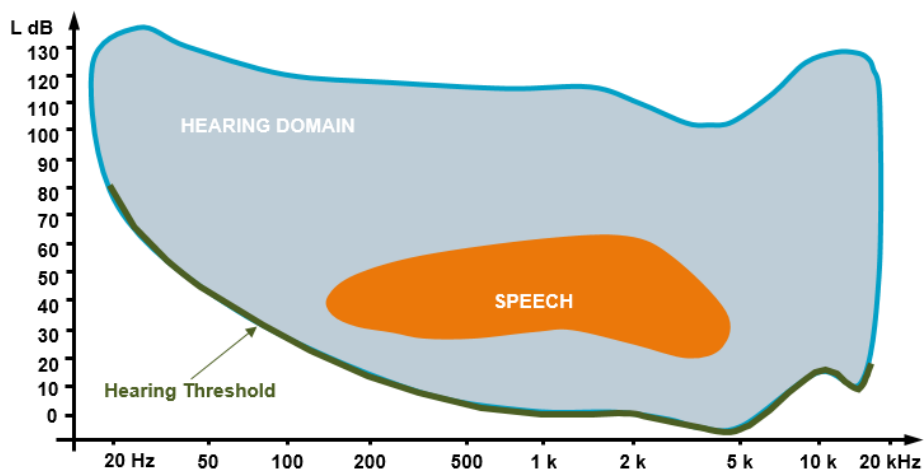


Figura 2.15 Mappa dell'udibile e del parlato umano [10]

Quando l'AI viene calcolato, ai livelli del suono di sottofondo nel range del parlato viene data maggiore importanza, in quanto essi potrebbero interferire con il parlato umano. I suoni di sottofondo fuori da questo range in frequenza non sono considerati importanti.

Se il livello del rumore in sottofondo è abbastanza alto questo potrebbe mascherare altri suoni, compreso il parlare umano. Il rumore di sottofondo viene scomposto in più range in frequenza che mimano l'orecchio umano. L'orecchio umano, a causa della costruzione dell'organo uditivo

detto coclea, tende ad aggregare il suono in bande in frequenza. Tali bande sono chiamate bande d'ottava [10].

Per calcolare l'AI vengono usate le bande in terzi d'ottava tra 200-6300 Hz. Se lo spettro acustico viene rappresentato in terzi d'ottava su una scala lineare, le bande diventano più ampie man mano che la frequenza aumenta, come in figura sottostante.

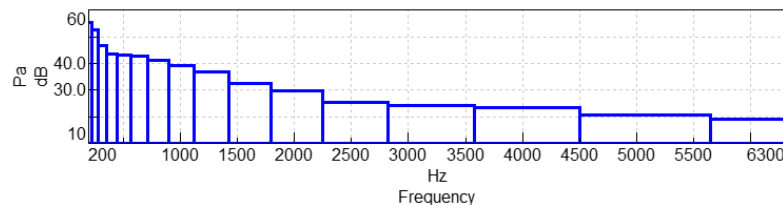


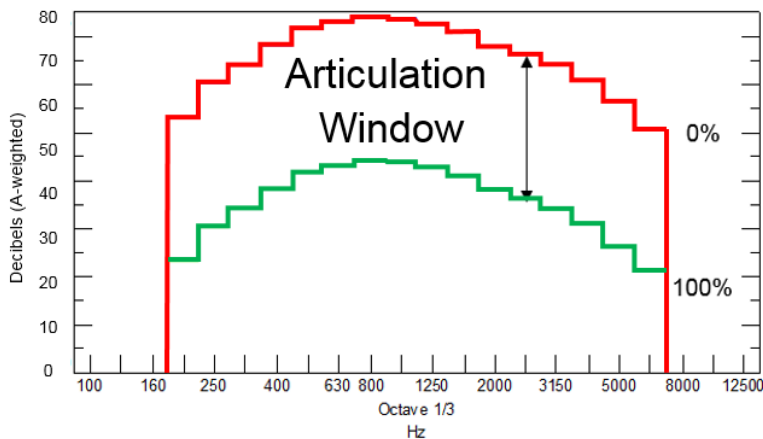
Figura 2.16 Spettro acustico in terzi d'ottava su scala lineare [10]

Comunemente le bande d'ottava sono rappresentate della stessa ampiezza, utilizzando una scala non lineare, ma appunto in ottave.

Una delle prime definizioni dell'AI è stata sviluppata da Leo Beranek all'Università di Harvard nella Seconda guerra mondiale. La metrica veniva utilizzata per valutare l'efficacia di diverse cuffie usate negli aerei.

Tipicamente per calcolare l'AI vengono seguiti i seguenti step [10]:

- Viene acquisita la misura del suono in sottofondo nella stessa posizione dove potrebbe trovarsi l'ascoltatore;
- su tale misurazione viene calcolato lo spettro in dB in bande in terzi d'ottava con pesatura di tipo A;
- viene plottato tale risultato sul grafico riportato in figura sottostante definito come Articulation Window. I limiti superiore e inferiore dell'Articulation Window sono separati da 30 dB, per ogni banda in terzi d'ottava. Se una determinata banda in terzi d'ottava del suono misurato è sotto il limite, 100% del parlato umano è udibile e il risultato del valore di copertura è pari ad 1 per quella banda. Viceversa, se la banda d'ottava del suono misurato è sopra il limite, non viene udita alcuna sillaba del parlato umano e il risultato è pari a 0 per quella banda. Se il livello è compreso tra i limiti inferiore e superiore il valore ricadrà tra 1 e 0 e viene calcolato linearmente. Ad esempio, se il valore della banda del suono misurato è 10 dB sopra il limite inferiore, il valore di copertura per quella banda è di 2/3;
- i valori di copertura sono in seguito moltiplicati per dei fattori di pesatura raccolti nella tabella sottostante. I pesi maggiori sono in corrispondenza del parlato umano, in particolare tra 1-4 kHz. Tutti i fattori di pesatura tra 200-6300 Hz (dominio del parlato) sommati tra loro corrispondono a 100;
- in seguito, i valori di copertura pesati per ogni banda in terzi d'ottava sono sommati per produrre un singolo valore ovvero l'AI.



1/3 rd Octave Center Frequency (Hz)	AI lower level dB(A)	AI upper level dB(A)	Weighting Factor
200	23.1	53.1	1
250	30.4	60.4	2
315	34.4	64.4	3.25
400	38.2	68.2	4.25
500	41.8	71.8	4.5
630	43.1	73.1	5.25
800	44.2	74.2	6.5
1000	44.0	74.0	7.25
1250	42.6	72.6	8.5
1600	41.0	71.0	11.5
2000	38.2	68.2	11.0
2500	36.3	66.3	9.5
3150	34.2	64.2	9.0
4000	31.0	61.0	7.75
5000	26.5	56.5	6.25
6300	20.9	50.9	2.5

Figura 2.17 Articulation Window e fattori di pesatura per l'Articulation Index [10]

Di seguito viene mostrato un esempio di un segnale acustico per cui viene calcolato l'AI. Le bande comprese nel range 1000-3150 Hz hanno valore di pesatura pari a 0, superando il limite superiore dell'Articulation Window. Tutte le bande fuori dal range hanno un valore di copertura pari a 1. Moltiplicando tali valori per i fattori di pesatura e sommando otteniamo un indice del 43% ($1+2+3.25+4.25+4.5+5.25+6.5+7.75+6.25+2.5 = 43.25$). Questo caso è esemplificativo in quanto anche se solo 6 su 16 bande (ovvero meno del 50%) sono critiche, eccedendo il limite superiore, si ha un OAI inferiore al 50% in quanto tali bande sono collocate nel range del parlato umano che è legato a fattori di pesatura maggiori.

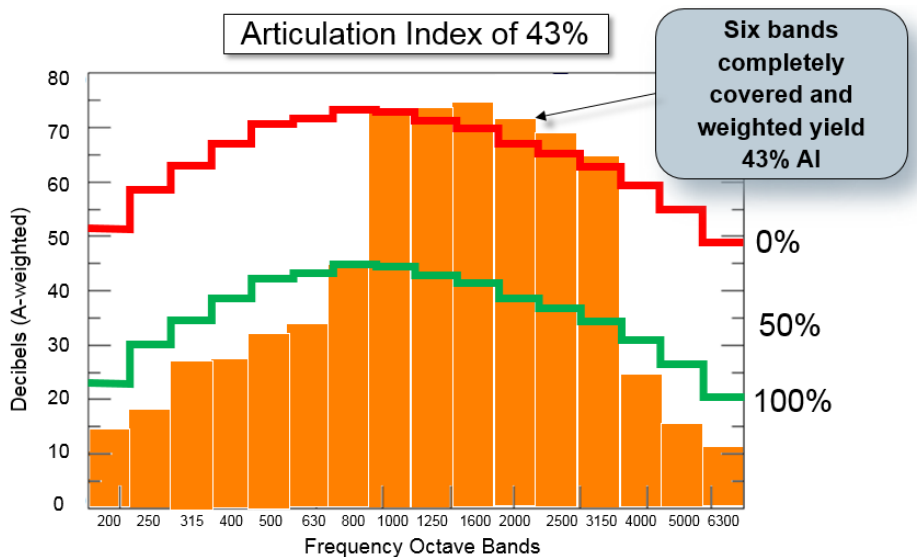


Figura 2.18 Esempio di calcolo dell'AI [10]

L'AI viene calcolato in molteplici contesti. Per le spie di emergenza si punta ad un AI basso in quanto il segnale acustico di emergenza deve attirare l'attenzione dell'operatore e interferire nel caso ci sia presenza di parlato umano. Viceversa, per il comfort interno dell'autoveicolo si ha come obiettivo un AI alto, che per i veicoli moderni può considerarsi superiore al 70%.

L'Open Articulation Index è una variazione del classico AI che amplia il range oltre il 100% assumendo valori compresi tra -107% e 160%. L'Articulation Window viene infatti ampliata oltre i 30 dB di differenza tra i due limiti inferiore e superiore arrivando ad 80 dB di differenza tra i limiti di 20 dB e 100 dB [10]. Di seguito nel caso studio in analisi verrà presa in considerazione la metrica dell'OAI.

2.3.2. LOUDNESS

La metrica Loudness si riferisce alla percezione umana del volume del suono. La definizione di Loudness afferma che 1 sone (unità di loudness) corrisponde a 40 dB in corrispondenza di 1 kHz. La scala della loudness quantifica la loudness linearmente all'orecchio umano dove al raddoppiare del valore in sone, raddoppia la loudness [6].

La Stationary Loudness è un algoritmo per segnali acustici stazionari. Questo algoritmo misura lo spettro in terzi d'ottava, combina le bande d'ottava frazionali in bande critiche, e in seguito applica la finestrazione spettrale [6].

Questo algoritmo restituisce come risultato la loudness specifica sulla frequenza di banda critica e in seguito integra la loudness specifica per misurare la loudness totale e il livello di loudness. L'algoritmo è anche conosciuto come ISO 532B Loudness e verrà applicato per l'analisi di Sound Quality del caso applicativo descritto in seguito in questa trattazione [6].

La loudness totale è calcolata integrando lo spettro della loudness specifica N' sulle 24 Bark bands (bande in frequenza dell'udibile umano). Si ottiene così la loudness totale N espressa in sones [11].

$$N = \int_0^{24} N'(z) dz \quad (1)$$

L'unità di misura della loudness è il sone (oppure phon) che tiene in considerazione la frequenza e il livello in dB del segnale, in funzione dell'udito umano. L'unità di misura dei decibel invece rappresenta l'ampiezza di un suono ma non quantifica quanto rumoroso esso possa essere percepito dall'uomo. La loudness riesce a dare una rappresentazione di come l'uomo percepisce il livello del suono [12].

Il limite inferiore del dominio dell'udibile umano varia con la frequenza come mostrato in figura. La valle a 3000-5000 Hz indica che l'uomo percepisce molto bene a quelle frequenze anche suoni a livelli di dB più bassi. Per esempio, un suono di 10 dB a 5 kHz rientra nell'udibile mentre uno stesso suono di 10 dB a 50 Hz non è udibile. Conseguentemente risulta evidente come nonostante il livello di dB sia lo stesso un suono può essere o meno udibile dall'uomo a seconda della frequenza, in quanto l'udibile umano è sia dipendente dal livello del suono che dalla frequenza. Il decibel non è quindi sufficiente a rappresentare la percezione di rumorosità di un suono, ed è per questo che è stata introdotta la loudness [12].

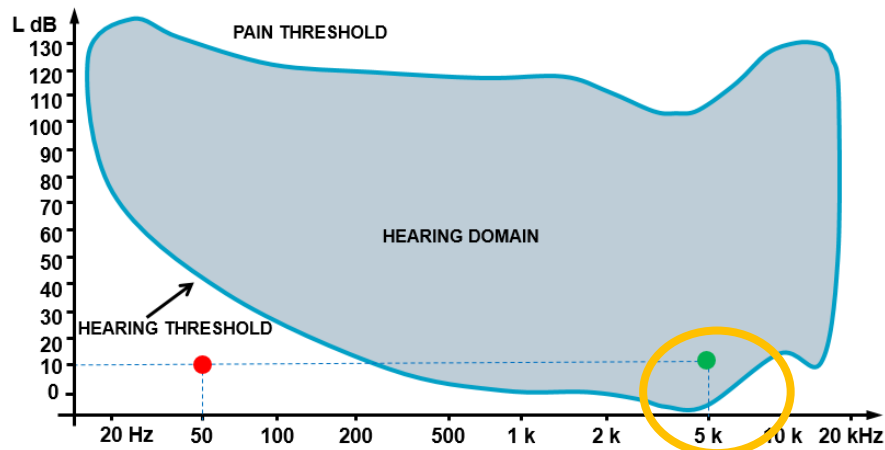


Figura 2.19 Suono di 10 dB a 5000 Hz (udibile) e 50 Hz (non udibile) [12]

La metrica della loudness è stata definita tracciando le curve di iso-loudness per segnali di tipo sinusoidale, definite nel 1933 da Flercher-Munson. Al variare della frequenza, anche il livello di dB cambia per ottenere un segnale di pari loudness. Per costruire tali curve è stato raccolto un team di ascoltatori a cui è stato sottoposto un suono a 1000 Hz ad un particolare livello di dB ed in seguito un secondo suono a diversa frequenza. Il livello di dB del secondo suono è stato poi modificato in modo che la rumorosità percepita dall'ascoltatore fosse pari a quella del primo suono. Per esempio, il primo suono riprodotto è a 1000 Hz e 40 dB, mentre il secondo suono a 100 Hz deve essere riprodotto a 52 dB affinché l'ascoltatore lo percepisca di pari rumorosità rispetto al primo suono, tale livello di rumorosità è espresso come 1 sone (o equivalentemente 40 phons) [12].

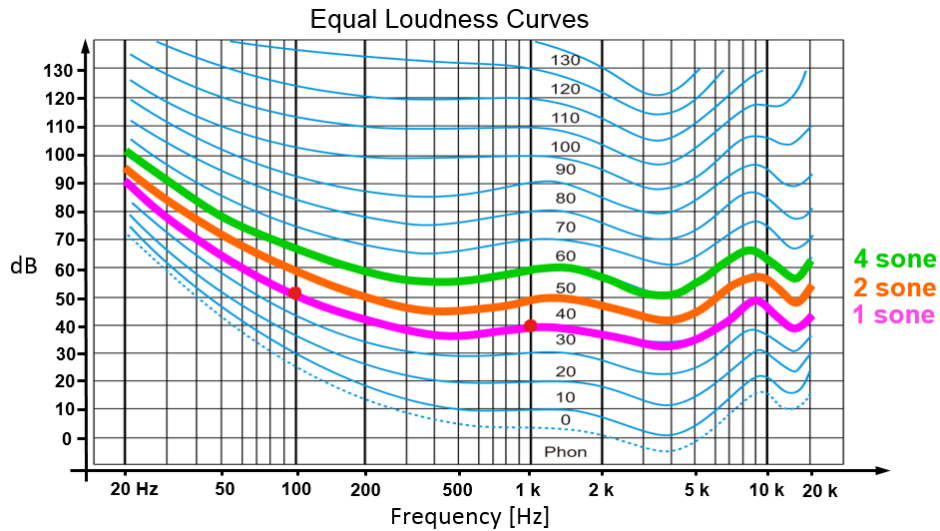


Figura 2.20 Curve di iso-loudness [12]

Tale test è stato ripetuto per tutte le frequenze e 13 livelli di dB compresi nel dominio dell'udibile umano al fine di tracciare tutte le iso-curve.

Su ogni curva di iso-loudness sono rappresentati tutti i suoni percepiti come equamente rumorosi, ovvero a pari sone (unità di misura della loudness). A 1000 Hz le curve di iso-loudness sono a 10 dB di distanza. Questo significa che, solo a 1000 Hz, un incremento di 10 dB comporta un raddoppiare della loudness. Ciò non vale ad altre frequenze per cui per ottenere il doppio della loudness non posso incrementare di 10 dB: ad esempio a 30 Hz otterrò una loudness doppia incrementando di soli 5 dB [12].

La loudness oltre al sone presenta come unità di misura il phon. La conversione tra il sone e phon è la seguente [12]:

$$sone = 2^{(phon - 40) / 10}$$

Si solito il sone viene preferito al phon in quanto è un'unità di misura lineare con la loudness. Se il sone triplica, la loudness percepita triplica etc. per tutto il range delle frequenze. Il phon non è lineare con la loudness percepita. Infatti, un incremento di 10 phon rappresenta un raddoppio della loudness percepita, come visibile dalle curve di iso-loudness [12].

Esistono diversi standard per il calcolo della loudness quali: Stevens Mark VI and VII, ISO532B, DIN 45631. Nel caso studio in esame viene utilizzato lo standard ISO532B che è stato pubblicato nel 1975 dal professor Eberhard Zwicker [12].

2.3.3. SHARPNESS

La Sharpness è una sensazione uditiva relazionata alla frequenza e indipendente dalla loudness. La sharpness corrisponde alla sensazione di un suono acuto, doloroso, di alta frequenza ed è indicativa della quantità di energia in alta frequenza rispetto all'energia totale. L'algoritmo della sharpness calcola la sharpness dal segnale d'onda della pressione sonora, dallo spettro in terzi d'ottava calcolato sul range in frequenza 25-12,5 kHz, o dalla loudness specifica [6].

La metrica della sharpness quantifica la quantità di contenuto di alta frequenza, rispetto al resto dell'energia, presente in un segnale acustico. Il rumore in alta frequenza gioca spesso un ruolo cruciale nella percezione che abbiamo di un suono irritante, ed è per questo che la sharpness è spesso inclusa negli studi di Sound Quality. Se l'energia nello spettro è principalmente concentrata in bassa frequenza, il valore della sharpness sarà basso; viceversa alto se l'energia è concentrata in alta frequenza. Se lo spettro è equilibrato nel suo contenuto in frequenza il valore della sharpness sarà intermedio. La metrica della sharpness può essere quindi usata per differenziare suoni che potrebbero avere tutti lo stesso livello di dB ma produrre impressioni soggettive molto diverse [11].

L'unità di misura della sharpness è l'acum, dal latino. La definizione di 1 acum è un rumore di banda stretta centrato a 1 kHz e ad un livello di 60 dB RMS. La sharpness è espressa come un numero intero positivo e non vi sono teoricamente limiti superiori [11].

Il calcolo della sharpness è relazionato allo spettro della loudness specifica. Il primo step per il calcolo della sharpness è quello di calcolare lo spettro della loudness specifica per ogni segnale. Lo spettro della loudness specifica rappresenta la loudness psico-acustica del segnale, distribuita sulle bande in frequenza dell'udibile umano, chiamate Bark bands o Bark scale [11]. Più l'energia spettrale è contenuta nelle Bark band più elevate, più alto sarà il valore della sharpness.

Vi sono varie formulazioni per il calcolo della sharpness quali: Zwicker Sharpness, DIN45692 Sharpness, Aures Sharpness. Secondo la formulazione di Zwicker e DIN45692 la sharpness viene calcolata con la seguente formula dove compaiono la total loudness N , calcolata come nella formula (1), una weighting function $g(z)$ e una costante di normalizzazione k [11].

$$S = k \frac{\int_0^{24} N'(z) \cdot g(z) \cdot z/Bark \cdot dz}{\int_0^{24} N'(z) \cdot dz}$$

Nel caso della Zwicker Sharpness, la weighting function $g(z)$ inizia a crescere oltre l'unità dopo i 15.8 Bark (circa 3 kHz), questo significa che il contenuto spettrale precedente non contribuisce al valore della sharpness in quanto la weighting function è pari ad uno [11].

2.3.4. ROUGHNESS

La roughness è un altro algoritmo usato per determinare il giudizio soggettivo della qualità del suono. Tale metrica correla quanto possa essere disturbante o irritante un suono percepito dall'orecchio umano. Più specificatamente, la roughness è una sensazione uditiva, correlata alle modulazioni della loudness a frequenze troppo alte per essere distinte separatamente, come le frequenze modulate maggiori di 30 Hz [6].

L'algoritmo della roughness misura l'energia in 24 barks, computa e filtra l'involuppo del segnale in ogni banda, misura l'ampiezza di modulazione di ogni involuppo, e in seguito pesa il livello di ogni banda usando sia l'indice di modulazione di quella banda che la funzione di pesatura dipendente dalla frequenza. L'algoritmo ritorna il risultato dello spettro della roughness sulla frequenza critica di banda e in seguito integra lo spettro della roughness [6].

La metrica della Roughness misura la quantità di modulazione presente in un segnale acustico. Quando un livello sonoro sale e scende nel tempo, si dice essere modulato [13]. La roughness fa infatti parte delle cosiddette Modulation Metrics ovvero metriche di modulazione.

La roughness quantifica i seguenti aspetti di un segnale acustico [13]:

- Frequenza di modulazione f_{mod} : il numero di picchi e valli (modulazioni) al secondo. La modulazione in frequenza avviene quando vi sono più frequenze diverse nel segnale (o più segnali a frequenze diverse) che interferiscono in maniera costruttiva o distruttiva causando la modulazione del segnale stesso. La differenza tra le frequenze viene appunto detta frequenza di modulazione. La frequenza di modulazione dipende dalla differenza delle frequenze e non dalle frequenze stesse: ad esempio si può ottenere una modulazione di 20 Hz da due sinusoidi a 100 e 120 Hz oppure a 1000 e 1020 Hz. Affinchè due toni possano creare una modulazione essi devono essere tipicamente nel range in frequenza di una banda critica;
- Ampiezza/livello di modulazione ΔL : il cambiamento di livello del segnale nel tempo. La modulazione in ampiezza può avvenire anche se il segnale ha un contenuto in frequenza costante.

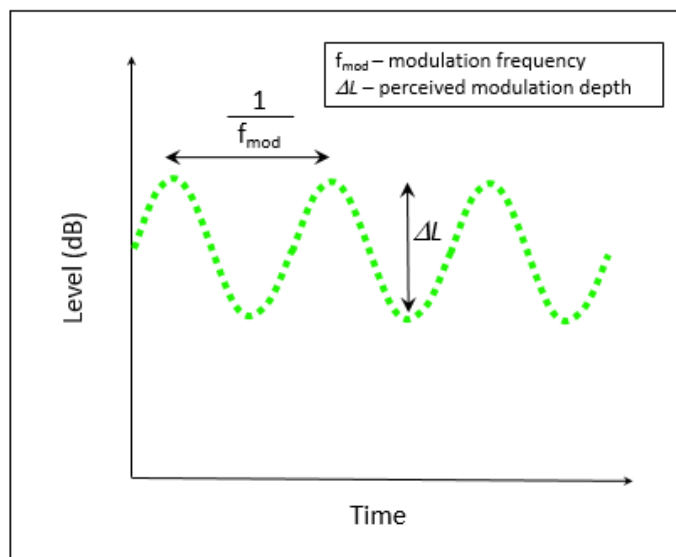


Figura 2.21 Modulazione di un segnale acustico [13]

Più la modulazione è evidente più il valore della roughness sarà elevato. La metrica della Roughness descrive suoni con modulazioni tra 20 e 300 volte al secondo, può essere quindi usata per quantificare modulazioni in alta frequenza [13].

La roughness ha come unità di misura l'asper: 1 asper equivale a un suono di 60 dB ad 1 kHz modulato 70 volte al secondo [13].

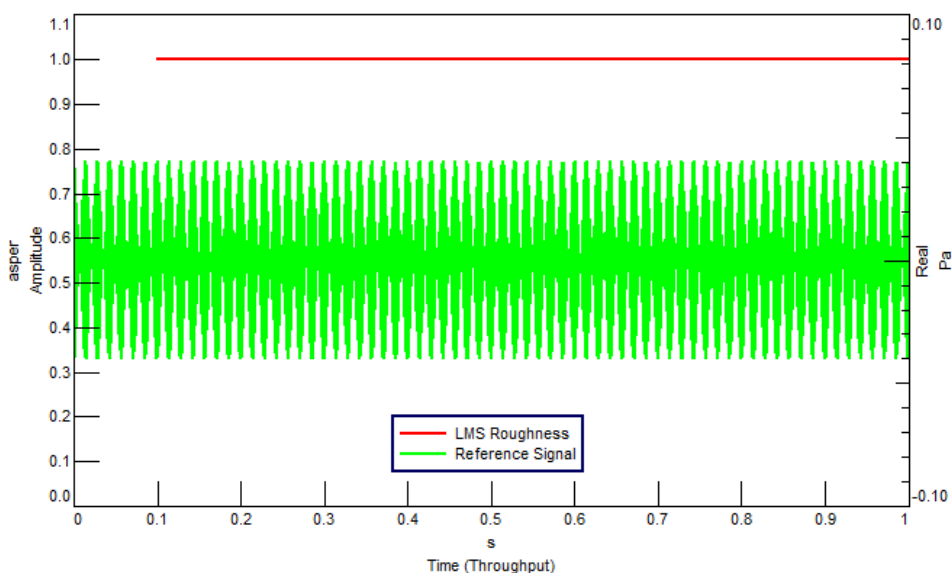


Figura 2.22 Segnale di riferimento (verde) per la definizione di 1 Asper (rosso) [13]

3. OGGETTO DI STUDIO: CAPPASPIRANTE

L'oggetto di studio è rappresentato da una cappa da cucina, modello Vertical, realizzata da Faber S.p.A, azienda appartenente alla Divisione Home Solutions della multinazionale svizzera Franke. Di seguito viene presentata una descrizione della cappa partendo dalla sua tipologia e classificandone sia il modello che la modalità di aspirazione. In seguito, ne vengono descritti i componenti in particolare la scocca, il sistema di filtraggio e il gruppo di aspirazione. Viene inoltre definita la geometria della struttura e un sistema di riferimento, funzionale al post-processing dei dati. Infine, viene descritto il posizionamento della cappa per l'esecuzione dei test con particolare attenzione alle condizioni di vincolo.

3.1. TIPOLOGIA DI CAPPASPIRANTE IN ESAME

Con il termine cappa si intende, in generale, un qualsiasi dispositivo attraverso il quale l'aria è convogliata nell'impianto di ventilazione per la cattura degli inquinanti [14].

Le cappe da cucina, infatti, hanno la funzione di aspirare tutti i fumi e i vapori prodotti durante la preparazione dei cibi, sanificando l'aria, eliminando gli odori e impedendo a questi ultimi di diffondersi nell'ambiente domestico [15].

Spesso sottovalutata, la cappa da cucina è un elettrodomestico molto importante per garantire la salubrità dell'ambiente cucina ed eliminare tutte le sostanze inquinanti e potenzialmente nocive per la nostra salute. Ad oggi installare una cappa è obbligatorio, sia in tutte le abitazioni, che negli esercizi commerciali, al cui interno siano presenti dei piani di cottura a gas o elettrici [15].

3.1.1. CLASSIFICAZIONE PER MODELLO

In commercio sono disponibili molti modelli diversi di cappe da cucina per adattarsi al meglio alle dimensioni della cucina, alla disposizione del piano cottura e dei pensili.

I principali modelli sono i seguenti [15]:

- da parete: dette anche "a camino" per la presenza della canna fumaria a vista. La cappa viene installata direttamente a parete, al di sopra del piano di cottura e può essere sia orizzontale che verticale. Questo modello è indicato per cucine posizionate lungo la parete e con il piano cottura addossato al muro;
- con visiera: questa tipologia di cappa si inserisce al di sotto dei pensili e l'unica parte che resta visibile è appunto la visiera su cui sono collocati i comandi;
- sottopensile (o a scomparsa): è installata all'interno di un pensile, rigorosamente posizionato

al di sopra dell'angolo cottura. Anche definita cappa a scomparsa perché per estrarla basta tirare a sé l'anta così da aumentare anche la superficie di aspirazione dei fumi. Quando non viene utilizzata basta richiudere l'anta per diminuire l'ingombro;

- a soffitto: Questa particolare tipologia viene incassata in una controsoffittatura realizzata al di sopra del piano cottura. La piastra anteriore è l'unica parte visibile, mentre il resto della struttura, canna fumaria compresa, è nascosta all'interno della controsoffittatura;
- a isola: indicata per le cucine con isola centrale, viene installata sospesa al soffitto, proprio sopra il piano cottura. A contrario delle cappe a soffitto, in questo caso il condotto di aspirazione è a vista;
- ad incasso: adatta in caso di cucine lineari o di angoli cottura di dimensioni contenute. È un modello invisibile, poiché viene collocato all'interno di un pensile, compreso il condotto di aspirazione;
- telescopica (o estraibile): detta anche cappa da piano o downdraft, è una tipologia molto particolare incorporata nel piano cottura stesso e aperta solo quando necessario grazie ad un meccanismo di sollevamento automatizzato.

La cappa in esame è un modello da parete di tipologia verticale, è infatti denominata Vertical.

3.1.2. CLASSIFICAZIONE PER TIPO DI ASPIRAZIONE

I vari modelli di cappe da cucina si differenziano anche per il tipo di aspirazione. Principalmente ne esistono di due categorie: aspirante e a ricircolo d'aria.

La tipologia di cappa più diffusa è quella aspirante con canna fumaria, capace di espellere all'esterno fumi e vapori.

Con l'aria di scarico va prestata attenzione anche a una chiusura termoisolata della condotta di scarico al fine di ridurre al minimo le perdite di calore e le correnti d'aria interne [16].

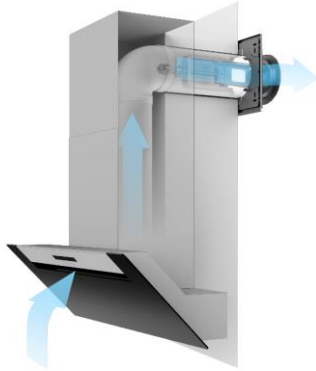


Figura 3.1 Cappa aspirante [16]

Tuttavia, più recentemente, è nata la tipologia di cappa a ricircolo, o anche detta filtrante, che si sta sempre più diffondendo grazie allo sviluppo delle nuove tecnologie in materia. Tale modello è molto utile laddove non fosse possibile effettuare una perforazione delle pareti esterne per la condotta di scarico per motivi di spazio o per la particolare morfologia dell'edificio, come ad esempio negli appartamenti in affitto, negli edifici antichi o in caso di canali di scarico troppo complicati. La cappa a ricircolo d'aria è inoltre particolarmente efficace dal punto di vista energetico, perché non deve essere addotta ulteriore aria, e il calore interno non viene convogliato all'esterno [16].

Anziché espellere all'esterno l'aria aspirata, la cappa a ricircolo purifica l'aria, grazie alla presenza di particolari filtri anti-grasso e anti-odori, e la rimette in circolo nell'ambiente [15]. Di notevole importanza è quindi la qualità di tali filtri, i quali devono essere soggetti a manutenzione, al fine di garantire le performance del prodotto.

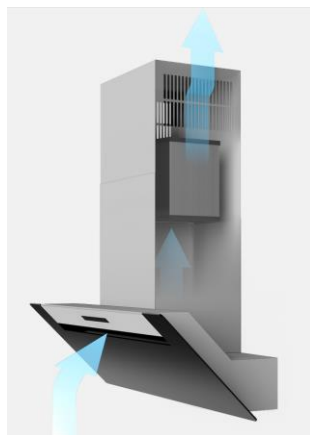


Figura 3.2 Cappa a ricircolo d'aria [16]

Nel caso in esame la cappa testata è un modello aspirante e presenta quindi un collarino collegabile alla canna fumaria.

3.2. DESCRIZIONE DEI COMPONENTI

Le cappe da cucina si compongono di tre elementi principali [15]:

- la scocca;
- il sistema di filtraggio;
- il gruppo di aspirazione.

3.2.1. LA SCOCCA

La scocca è la struttura esterna – in acciaio o in altri materiali – che protegge e contiene il gruppo di aspirazione e l'impianto di filtraggio.

Le cappe da cucina hanno delle misure standard quali 60÷120 cm per la larghezza e 35÷55 cm per la profondità. Per quanto riguarda l'altezza complessiva della cappa (compresa di canna fumaria), questa dipenderà dalla lunghezza del condotto di aspirazione dei fumi presente in cucina [15].

In ogni caso, da norma, la cappa deve essere uguale o più larga del piano cottura.

Nel caso in esame la cappa da cucina è un modello Vertical ed ha una scocca di forma cubica in lamiera di alluminio e dimensioni di ingombro quali:

- 40,5 cm di altezza;
- 69,5 cm di larghezza;
- 38,5 cm di profondità.

Al box centrale è stato anteposto un pannello in vetro per la chiusura della cappa. Esso è collegato al box sullo spigolo superiore tramite due cerniere ed è fissato con una calamita sul lato.



Figura 3.3 Cappa Vertical – vista frontale



Figura 3.4 Cappa Vertical – vista superiore

Aperto il pannello, in caso di manutenzione, è visibile il filtro posto nella parte frontale del case esterno. Un secondo filtro più piccolo è presente nella parte inferiore del box. Il pannello in vetro presenta l'elettronica di comando per il controllo delle luci a led e delle velocità di aspirazione ed è leggermente inclinato per conferire alla cappa un design distintivo.



Figura 3.5 Cappa Vertical – vista laterale

3.2.2. IL SISTEMA DI FILTRAGGIO

In generale, sistema di filtraggio è composto da due diverse tipologie di filtri:

- filtri anti-grasso;
- filtri anti-odori ai carboni attivi.

La prima tipologia di filtri, quelli anti-grasso, è presente in tutte le tipologie di cappe. Tali filtri si presentano sotto forma di pannelli rimovibili:

- in metallo: acciaio o alluminio e con struttura a nido d'ape;
- in acrilico.

Il compito di questi filtri è quello di filtrare fumi e vapori impedendo che le particelle di grasso si accumulino e quindi danneggino il condotto di aspirazione o il motore [15]. Per tale motivo i filtri si sporcano facilmente e devono essere soggetti a manutenzione. Mentre i filtri in metallo sono lavabili e devono essere smontati e puliti, almeno ogni sei mesi; i filtri in acrilico sono deperibili e vanno sostituiti periodicamente [15].

La seconda tipologia di filtri, quelli a carboni attivi, è invece una tipologia particolare di filtri presente nella cappa a ricircolo, per eliminare i cattivi odori. I carboni attivi sono dei materiali di

origine vegetale aventi una struttura estremamente porosa e una grande area superficiale, che dona loro un'importante capacità adsorbente, utile appunto per la funzione filtrante di purificazione dell'aria [17].

Essi raccolgono le impurità presenti nell'aria basandosi sul principio di adsorbimento, ovvero quel processo chimico-fisico attraverso il quale una o più sostanze liquide o gassose si accumulano su una superficie liquida o solida.

In questo caso, alcuni composti presenti nell'aria reagiscono chimicamente con il carbone attivo, il quale, grazie anche alla sua porosità, fa aderire un leggero strato di ioni e molecole sulla superficie dei filtri di cui fa parte [17]. Le particelle dell'aria che causano cattivi odori rimangono legate ai filtri e si separano da altre particelle che continuano il proprio flusso. L'aria che passa attraverso i filtri a carboni attivi viene quindi depurata ed è poi pronta per essere immessa di nuovo nella stanza.

Ovviamente i filtri a carboni attivi necessitano periodicamente di essere controllati e quindi sostituiti, in media, ogni tre/quattro mesi [17].



Figura 3.6 Filtri ai carboni attivi [18]

La cappa modello Vertical in esame è di tipologia aspirante e non presenta quindi nessun filtro ai carboni attivi. Tuttavia, essi possono essere comunque installati in tale modello di cappa nel caso in cui essa venga utilizzata in modalità ricircolante.

Sono presenti solamente due filtri anti-grasso in metallo, removibili, come quello riportato in figura: uno di forma quadrata posto della parte anteriore del box, dietro al pannello in vetro, e l'altro più piccolo di forma rettangolare posto nella parte inferiore nel box.



Figura 3.7 Filtro anti-grasso [19]

3.2.3. IL GRUPPO DI ASPIRAZIONE

Il gruppo di aspirazione ha il compito di aspirare ed espellere i fumi ed è principalmente costituito da motore e diffusore. Inoltre, nel caso dei modelli aspiranti, è presente anche un sistema per la conduzione dei fumi alla canna fumaria, mentre in quelli a ricircolo troviamo solo dei filtri anti-odori ai carboni attivi.

Il motore è inserito all'interno del diffusore in plastica, il quale presenta un design opportunamente studiato per ottimizzare la fluidodinamica del problema. Come visibile dalla foto le palette laterali sono opportunamente modellate per convogliare il flusso nella maniera più fluida possibile.



Figura 3.8 Diffusore – vista laterale

Anche il nasello è smussato per agevolare l'ingresso del flusso d'aria come visibile dalla foto sotto. Sono visibili, inoltre, le palette della girante posta all'interno del diffusore, la quale ha un numero di palette ben definito in modo da limitare la dissipazione di energia.



Figura 3.9 Diffusore – vista superiore

Riguardo al motore, un parametro importante è il suo assorbimento ovvero la quantità di energia che esso consuma quando è in funzione. Le cappe da cucina possono montare motori che vanno da un minimo di 140 ad un massimo di 400 Watt. Maggiore sarà la potenza del motore, maggiore sarà di conseguenza la potenza di aspirazione, maggiori saranno tuttavia anche i consumi [15]. Per quanto riguarda i consumi energetici, oltre all'assorbimento del motore bisogna inoltre considerare altri due parametri quali il consumo annuo stimato e la classe energetica di appartenenza. Il consumo annuo stimato è un valore medio presunto, relativo al consumo totale annuo della cappa, espresso in Kwh/anno. La classe di efficienza energetica, ovvero il rapporto consumi/prestazioni della cappa può avere un valore crescente che va da G ad A+. Le cappe con classe energetica A e A+ sono quelle che garantiscono minori consumi. Tali parametri sono riportati sull'etichetta energetica [15].

Tra i parametri di una cappa da cucina è importante la capacità di aspirazione ovvero la quantità di aria aspirata ed espulsa, o filtrata, ogni ora, che si misura in mc/h (metri cubi/all'ora). Una buona cappa da cucina dovrebbe aspirare almeno 400 mc/h e garantire un ricambio di aria pari ad almeno sei volte il volume della stanza [15].

Per il modello di cappa Vertical in esame sono presenti 4 livelli di velocità dove la terza velocità rappresenta quella di riferimento, mentre la quarta è la cosiddetta velocità boost. La velocità desiderata è regolabile grazie all'apposito controllore touch posto sul pannello in vetro inclinato.

Il gruppo di aspirazione contribuisce molto alla rumorosità o silenziosità dell'elettrodomestico. Nel caso in esame il diffusore è stato opportunamente studiato e progettato per ottimizzarne l'acustica. L'obiettivo di questo studio non si concentrerà quindi su di esso ma sull'introduzione di possibili ulteriori accorgimenti al fine di ottenere risultati ancora migliori. In particolare, per ridurre l'intensità del rumore prodotto dalla cappa verranno utilizzati pannelli fonoassorbenti che assorbono in parte il rumore prodotto dalle ventole di aspirazione.

3.3. DEFINIZIONE DI GEOMETRIA E SISTEMA DI RIFERIMENTO

Per la sensorizzazione della cappa e la successiva analisi dei dati vibrazionali e acustici, la geometria della cappa è stata schematizzata e sono stati definiti dei punti di riferimento per la successiva modellazione 3D.

La struttura della cappa è stata principalmente scomposta in tre componenti principali quali:

- Top: parete superiore della scocca;
- Box sinistro e destro: pareti laterali della scocca;
- Glass: pannello frontale in vetro.

Il pannello inferiore della scocca non è stato preso in considerazione in quanto è praticamente tutto occupato dal foro per l'alloggiamento del filtro anti-grasso.

Di seguito viene mostrata una geometria della cappa semplificata, in proiezioni ortogonali.

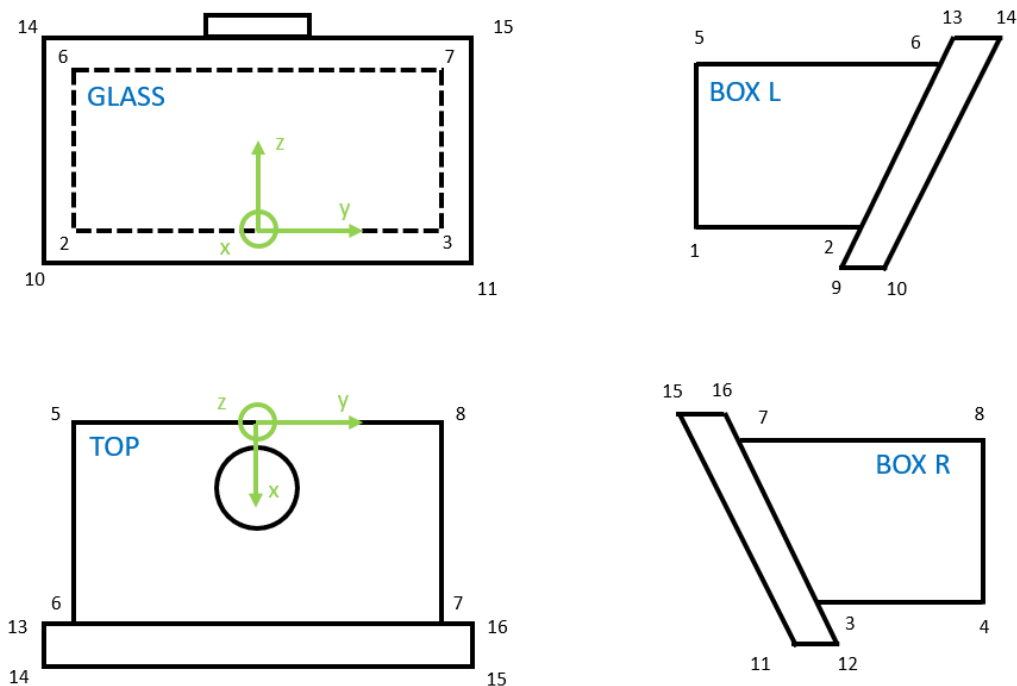


Figura 3.10 Geometria e sistema di riferimento

Il sistema di riferimento (riportato in verde) è stato posizionato alla base della cappa con l'asse x uscente dalla parete e l'asse z diretto verso l'alto. Di seguito una tabella riassuntiva con i punti individuati e le loro coordinate espresse rispetto al sistema di riferimento scelto.

Tabella 1 Punti scelti per modellare la geometria della cappa

Punto	Descrizione	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
1	Box inferiore	0	-22	0
2	Box inferiore	17.3	-22	0
3	Box inferiore	17.3	22	0
4	Box inferiore	0	22	0
5	Box superiore	0	-22	38
6	Box superiore	33	-22	38
7	Box superiore	33	22	38
8	Box superiore	0	22	38
9	Glass inferiore	16.6	-34.9	-1.7
10	Glass inferiore	17	-34.9	-1.7
11	Glass inferiore	17	34.9	-1.7
12	Glass inferiore	16.6	34.9	-1.7
13	Glass superiore	33.8	-34.9	39.9
14	Glass superiore	34.2	-34.9	39.9
15	Glass superiore	34.2	34.9	39.9
16	Glass superiore	33.8	34.9	39.9

Inoltre, sono state prese le misure del collarino il quale ha un diametro di 15 cm e una altezza di 5,5 cm e si trova collocato a $(x, y, z) = (10, 0, 38)$.

3.4. INSTALLAZIONE E CONDIZIONI DI VINCOLO

Per l'esecuzione dei test, eseguiti presso la Faber S.p.A, la cappa è stata appesa tramite due viti ad un pannello in compensato, con il pannello superiore della scocca ad una altezza da terra di un metro circa. Il condotto di aerazione della cappa è stato quindi connesso con un vincolo semi rigido al condotto di aspirazione normato secondo la CEI EN 60704-1.

La cappa, così vincolata, è stata collocata in camera semi-anecoica per eseguire i test acustici in maniera accurata.

Le condizioni di vincolo sono di notevole importanza per i test vibrazionali in quanto possono influire sulla trasmissibilità della vibrazione tra le varie componenti della struttura, perciò devono essere opportunamente realizzate.



Figura 3.11 Cappa Vertical - installazione

Nei capitoli successivi verrà discusso in maniera più approfondita del contributo delle condizioni di vincolo al rumore percepito e sarà valutato se e quanto tale contributo possa influenzare l'affidabilità della misura. Al fine di garantire la riproducibilità del processo di misura, ogni volta che vengono apportate modifiche sull'installazione, sono stati effettuati dei test con la configurazione originaria, la cosiddetta configurazione as is. In tal modo si ha un dataset acquisito a cui riferire le misure raccolte nella stessa sessione di test.

3.5. SOLUZIONI DI OTTIMIZZAZIONE DEL RUMORE

L'obiettivo dell'analisi vibroacustica della cappa aspirante, è quello dell'abbattimento del rumore percepito che, come già illustrato nei precedenti capitoli, viene perseguito introducendo opportune modifiche sulla cappa stessa. I test sono eseguiti grazie al supporto di Testlab ed in particolare dei moduli Impact Testing e Signature Acquisition che verranno analizzati nel dettaglio al capitolo 5.

Dapprima la cappa è stata testata senza modifiche nella cosiddetta configurazione as is o di riferimento. In seguito, sono state apportate delle modifiche sulla cappa con l'obiettivo di ottimizzarne l'acustica e quindi ridurre il rumore percepito. Le modifiche sono state progettate sia per ottimizzare le vibrazioni che per l'acustica e in alcuni casi vi sono soluzioni combinate. Per ogni configurazione vengono effettuate le due tipologie di test al fine di valutare se e quanto la soluzione proposta sia migliorativa rispetto alla configurazione di riferimento. Essendo l'oggetto di misura una cappa aspirante, curare l'acustica prevale rispetto al problema vibrazionale. Tuttavia, come verrà illustrato in seguito, si è notato che alcune modifiche pensate per le vibrazioni hanno anche impattato sulla riduzione del rumore percepito, risultando in un miglioramento delle performance della cappa aspirante.

Per ottimizzare l'acustica vengono aggiunti dei pannelli in melamina su zone strategiche della struttura. La melamina è una tipologia di materiale fonoassorbente³ caratterizzata da coefficiente di assorbimento molto elevato, ottima resistenza al fuoco e densità molto ridotta di 9-11 kg/mc [20]. Per quanto riguarda invece l'abbattimento delle vibrazioni vengono progettate modifiche quali: irrigidimento della struttura in punti cedevoli oppure ottimizzazione delle condizioni di vincolo.

Il gruppo aspirazione, principale sorgente di rumore in condizioni operative, non viene modificato in quanto, come già detto, è stato già ottimizzato per l'acustica. Le analisi eseguite servono quindi a trovare accorgimenti ulteriori per ottimizzare ancora di più le prestazioni della cappa.

Di seguito una breve descrizione di tutte le configurazioni testate e di come sono state implementate per l'esecuzione delle misurazioni.

Nella tabella riepilogativa sotto riportata, sono raccolte tutte le configurazioni testate con esplicitate le location della cappa in cui sono state effettuate le modifiche e delle note esplicative. Inoltre, viene indicato quando la cappa viene smontata e rimontata. Le caselle in arancione sono relative alle configurazioni as is, di riferimento.

³ Il fonoassorbimento è la capacità di un materiale di assorbire l'energia sonora trasformandola in calore, ed è variabile da un materiale all'altro. Il coefficiente di assorbimento aumenta all'aumentare della frequenza dell'onda sonora, i pannelli in melamina saranno quindi efficaci alle alte frequenze [21].

Tabella 2 Sommario delle configurazioni testate

	data test	gio 14/07/2022		lun 18/07/2022	mer 20/07/2022	
		config0	smontaggio	config1	config2	smontaggio
Location	box sx	nulla		nulla	melamina	
	box dx	nulla		nulla	melamina	
	top	nulla		nulla	nulla	
	diffusore	nulla		nulla	nulla	
	magnete	nulla		nulla	nulla	
	collarino	nulla		nulla	nulla	
	note			1 pannello melamina 2 cm		

	data test	lun 25/07/2022	mar 26/07/2022	mar 26/07/2022	mer 27/07/2022	
		config3	config4	config5	config100	smontaggio
Location	box sx	nulla	nulla	nulla	nulla	
	box dx	nulla	nulla	nulla	nulla	
	top	melamina	nulla	nulla	nulla	
	diffusore	nulla	melamina	nulla	nulla	
	magnete	nulla	nulla	gomma	nulla	
	collarino	nulla	nulla	nulla	nulla	
	note	3 pannelli mel 2 cm	1 pannello mel 2 cm	gomma nera 1 mm	solo test operativo V3	

	data test	lun 01/08/2022	lun 01/08/2022		lun 01/08/2022	lun 01/08/2022
		config200	config6	smontaggio diffusore	config300	config7
Location	box sx	nulla	nulla		nulla	irrigidimento
	box dx	nulla	nulla		nulla	irrigidimento
	top	nulla	nulla		nulla	nulla
	diffusore	nulla	nulla		nulla	nulla
	magnete	nulla	nulla		nulla	nulla
	collarino	nulla	gomma		nulla	nulla
	note	solo test operativo V3	gomma nera 0,4 mm		solo test operativo V3	staffa acciaio 2mm spessore, 40x480mm piegata a L

	data test	mar 02/08/2022	mar 02/08/2022	mer 03/08/2022	mer 03/08/2022
		config8	config9	config10	config11
Location	box sx	mel+n.l.	nulla	mel	mel
	box dx	mel+n.l.	nulla	mel	mel
	top	nulla	mel+n.l.	nulla	nulla
	diffusore	nulla	nulla	nulla	mel
	magnete	nulla	nulla	nulla	nulla
	collarino	nulla	nulla	nulla	nulla
	note	nastro in alluminio 50 mm larghezza	nastro in alluminio 50 mm larghezza	IDEM config2, 1 pannello melamina 2 cm	5 pezzi melamina da 1 cm sotto il nasello del diffusore

3.5.1. CONFIGURAZIONI DI RIFERIMENTO

La configurazione 0 è quella di riferimento: la cappa viene testata senza modifiche ovvero in condizioni as is. In seguito, la cappa è stata nuovamente testata in condizioni as is, infatti seguono altre configurazioni di riferimento denominate configurazione 1, 100, 200, 300.

I test non sono stati eseguiti tutti nello stesso lasso temporale, ma la cappa è stata smontata e rimontata tra un test e l'altro. La motivazione per cui sono stati effettuati più test in configurazione di riferimento è per valutare la riproducibilità della misura.

La variazione di posizionamento dei sensori e delle condizioni di vincolo potrebbe inficiare l'affidabilità della misura e la sua riproducibilità. Al fine di valutare se, e in quale misura, ciò accade vengono effettuati più test di riferimento (configurazioni 1, 100, 200, 300) ogni qual volta la cappa viene smontata e rimontata oppure viene smontato il diffusore per l'implementazione delle modifiche desiderate. L'analisi dei risultati, legati alla serie dei test di riferimento, è quindi definibile come analisi di riproducibilità.

3.5.2. CONFIGURAZIONE 2

La configurazione 2 prevede l'applicazione di pannelli in melamina sul box sinistro e destro, ovvero sui pannelli laterali della scocca della cappa. I pannelli in melamina sono di spessore 2 cm e sono stati opportunamente sagomati per occupare le pareti della scocca, come visibile nella figura. Tali pannelli sono stati inseriti senza che il gruppo di aspirazione venisse rimosso e sono stati applicati con del nastro adesivo.

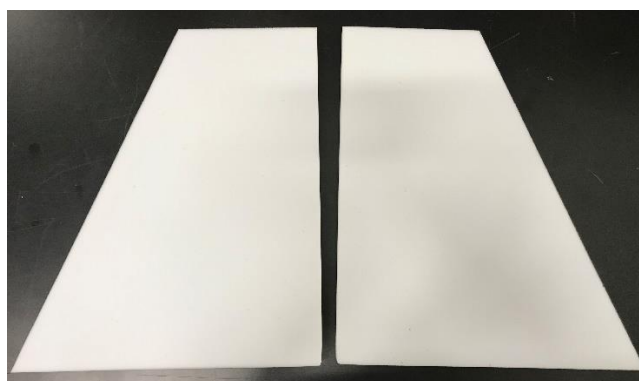


Figura 3.12 Configurazione 2: pannelli in melamina da 2 cm applicati sul Box

3.5.3. CONFIGURAZIONE 3

La configurazione 3 prevede sempre l'applicazione di pannelli in melamina da 2 cm di spessore ma in una zona differente: il top, ovvero il pannello superiore della scocca della cappa. Data la geometria del pannello sono stati applicati 3 pannelli in melamina di forma rettangolare. Per l'istallazione di questa modifica si è reso necessario smontare il gruppo aspirazione in quanto la zona non sarebbe stata altrimenti accessibile, come visibile in figura.

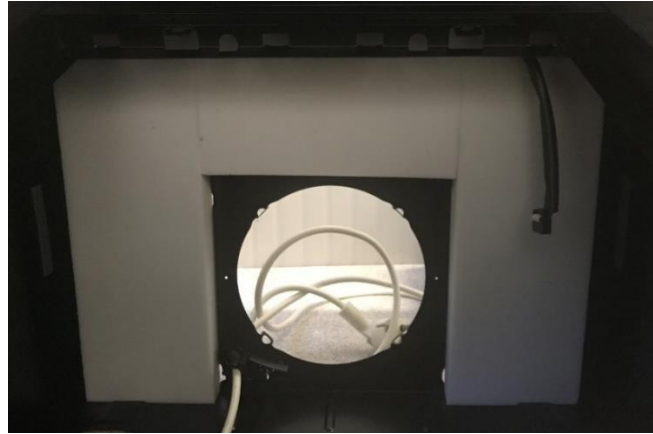


Figura 3.13 Configurazione 3: pannelli in melamina da 2 cm applicati sul Top

3.5.4. CONFIGURAZIONE 4

La configurazione 4 prevede sempre l'applicazione di un pannello in melamina da 2 cm, in questo caso sopra il diffusore. Il gruppo aspirazione è la principale sorgente di rumore in condizioni operative e quindi si è pensato di introdurre la melamina proprio in tale zona interessata.



Figura 3.14 Configurazione 4: pannello in melamina da 2 cm applicato sul diffusore

3.5.5. CONFIGURAZIONE 5

La configurazione 5 è stata pensata per ridurre le vibrazioni, in particolare del pannello in vetro anteposto alla cappa. Essa prevede infatti l'inserimento di una porzione di gomma nera da 1 mm sul magnete di chiusura del vetro per ridurne le vibrazioni in condizioni operative.

3.5.6. CONFIGURAZIONE 6

La configurazione 6 prevede l'applicazione di un nastro in gomma da 0,4 mm di spessore attorno al collarino del diffusore. Tale modifica è stata pensata per aumentare lo smorzamento delle condizioni di vincolo e quindi ridurre la trasmissibilità delle vibrazioni, in questo caso tra la parte superiore della scocca e il tubo di aspirazione. Anche in questo caso per applicare la modifica si è reso necessario lo smontaggio del gruppo di aspirazione.



Figura 3.15 Configurazione 6: nastro in gomma da 0,4 mm sul collarino

3.5.7. CONFIGURAZIONE 7

La configurazione 7 è stata pensata per ridurre le vibrazioni dei pannelli laterali della scocca che sono quelli più estesi in termini di area e anche più cedevoli data la geometria della struttura. La modifica è stata realizzata applicando delle staffe in acciaio sul box sinistro e destro di sezione a L.



Figura 3.16 Configurazione 7: irrigidimento con staffe in acciaio

3.5.8. CONFIGURAZIONE 8

Dalla configurazione 8 in poi, sono state testate delle combinazioni di configurazioni precedenti o ottimizzazioni di esse. La configurazione, 8 in particolare, si presenta come implementazione della configurazione 2 dove erano stati applicati i pannelli in melamina sul box. Nella configurazione 8 la melamina viene accoppiata ad un nastro adesivo semi-rigido in alluminio al fine di ridurre le vibrazioni del pannello che viene così parzialmente irrigidito.



Figura 3.17 Configurazione 8: melamina e nastro in alluminio applicati sul Box

La modifica viene sempre applicata sui pannelli laterali della scocca della cappa denominati Box sinistro e destro. Per l'implementazione di questa modifica non è stato necessario rimuovere il gruppo di aspirazione ma, dapprima è stato applicato il nastro in alluminio e ad esso sono stati sovrapposti i pannelli in melamina incollandoli con nastro adesivo.

3.5.9. CONFIGURAZIONE 9

La configurazione 9 è una implementazione della configurazione 3 che presentava la melamina applicata sul Top della cappa. Nella configurazione 9, prima della melamina viene applicato il nastro adesivo semi-rigido in alluminio, sempre sul Top ovvero il pannello superiore della scocca della cappa.



Figura 3.18 Configurazione 9: melamina e nastro in alluminio applicati sul Top

3.5.10. CONFIGURAZIONE 10

La configurazione 10 presenta le stesse modifiche della configurazione 2 per valutare la ripetibilità della misura. Ovvero sono stati applicati i pannelli in melamina sul Box della cappa.

3.5.11. CONFIGURAZIONE 11

La configurazione 11 si concentra sempre sull'ottimizzazione dell'acustica del gruppo di aspirazione, come ottimizzazione della configurazione 4. In questo caso è stata sempre applicata melamina sul diffusore ma aggiungendo al pannello frontale del diffusore altre porzioni di melamina per coprire tutte le cavità del nasello. La modifica implementata è come in figura.



Figura 3.19 Configurazione 11: melamina sul Box e sul diffusore

Nella configurazione 11 sono inoltre sempre presenti i pannelli in melamina sul Box sinistro e destro (i quali erano presenti nella configurazione 2).

4. SETUP DEL SISTEMA DI MISURA

Il sistema di misura è il focus di ogni test ingegneristico e verrà quindi descritto in maniera approfondita in questo capitolo a partire da una descrizione di tutta la catena di misura. Nei capitoli successivi verrà trattato inoltre dei vari componenti di tale catena quali: il sistema di acquisizione, i sensori e l'eccitazione esterna.

In particolare, verranno effettuate due tipologie di test riconducibili all'analisi rispettivamente vibrazionale e acustica, anche se i due problemi non possono essere del tutto separati in quanto i contributi spesso afferiscono ad entrambi. Per quanto riguarda l'analisi vibrazionale è effettuato un Impact Testing, quindi per l'acquisizione dei dati la cappa viene sensorizzata con degli accelerometri e l'eccitazione impartita con un martello strumentato. Per i test acustici invece, la cappa viene misurata in condizioni operative grazie all'installazione di microfoni.

Di seguito, una foto del setup di misura completo in camera semi-anecoica. Sono visibili i microfoni sui cavalletti, il sistema di acquisizione a destra e gli accelerometri sulla cappa.

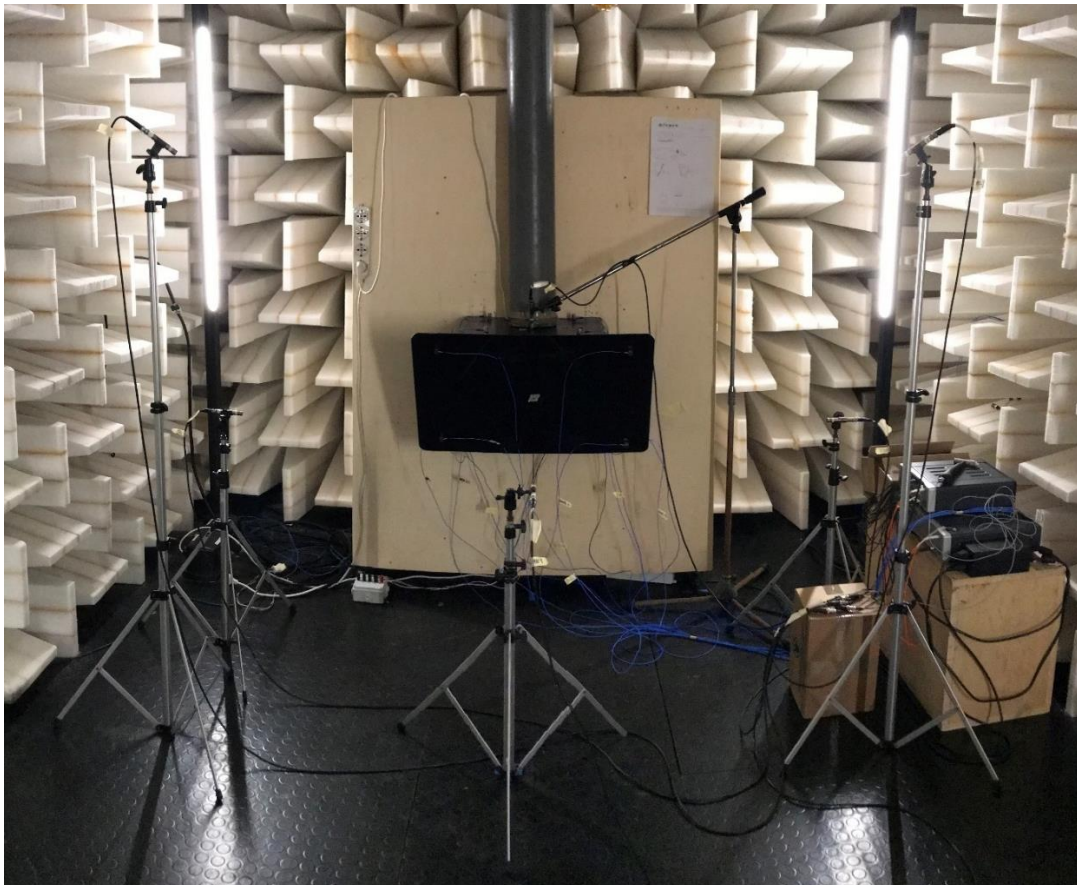


Figura 4.1 Setup del sistema di misura

4.1. CATENA DI MISURA

La catena di misura è illustrata in modo semplificato nel seguente schema. I singoli componenti verranno analizzati nei seguenti paragrafi soffermandosi in particolare sui loro principi di funzionamento e sulle specifiche richieste dal setup di misura di interesse.

La cappa è stata sensorizzata con accelerometri e microfoni connessi grazie ai rispettivi cavi e connettori al sistema di acquisizione di misure SCADAS. Lo SCADAS si interfaccia con il pc, posto all'esterno della camera semi-anechoica grazie ad un collegamento con cavo Ethernet.

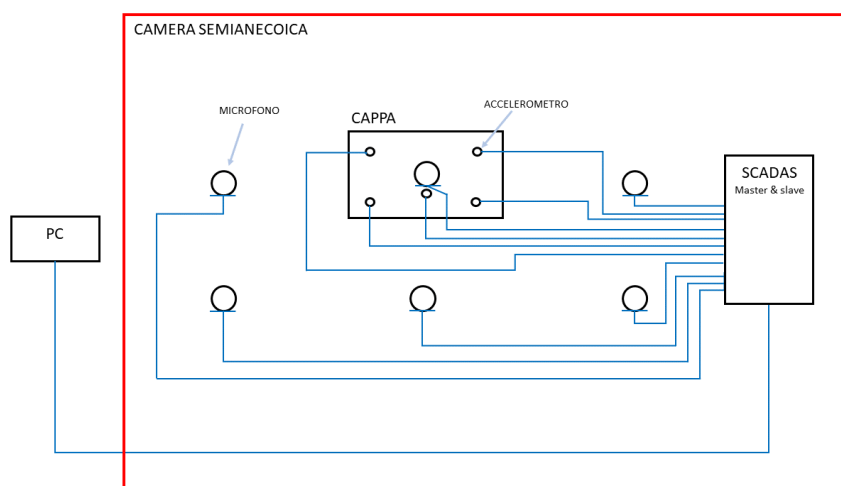


Figura 4.2 Schema catena di misura

4.2. SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Il sistema di acquisizione dati utilizzato per i test vibroacustici è il Simcenter SCADAS Mobile. Tale hardware è costituito da un dispositivo master ed uno slave, tra loro collegati via cavo che possono alloggiare fino a 24 canali di input. Lo SCADAS alloggia le schede di conversione analogico digitale per l'acquisizione dei segnali.

I dati, lavorando nella configurazione master-slave, sono completamente sincronizzati e salvati in un unico file di misura. I moduli slave possono essere aggiunti se si necessita di un setup di test più ampio, fino ad includere centinaia di canali di input [22]. Lo SCADAS è estremamente compatto ed, essendo portatile, adatto a numerose applicazioni di test in laboratorio. Esso può essere configurato in accordo con i requisiti del test supportando diverse tipologie di input, relativi a diverse fisiche, quali vibrazione, forza, deformazione, spostamento, temperatura, suono, torsione, pressione, CAN-bus, GPS e molti altri [22].

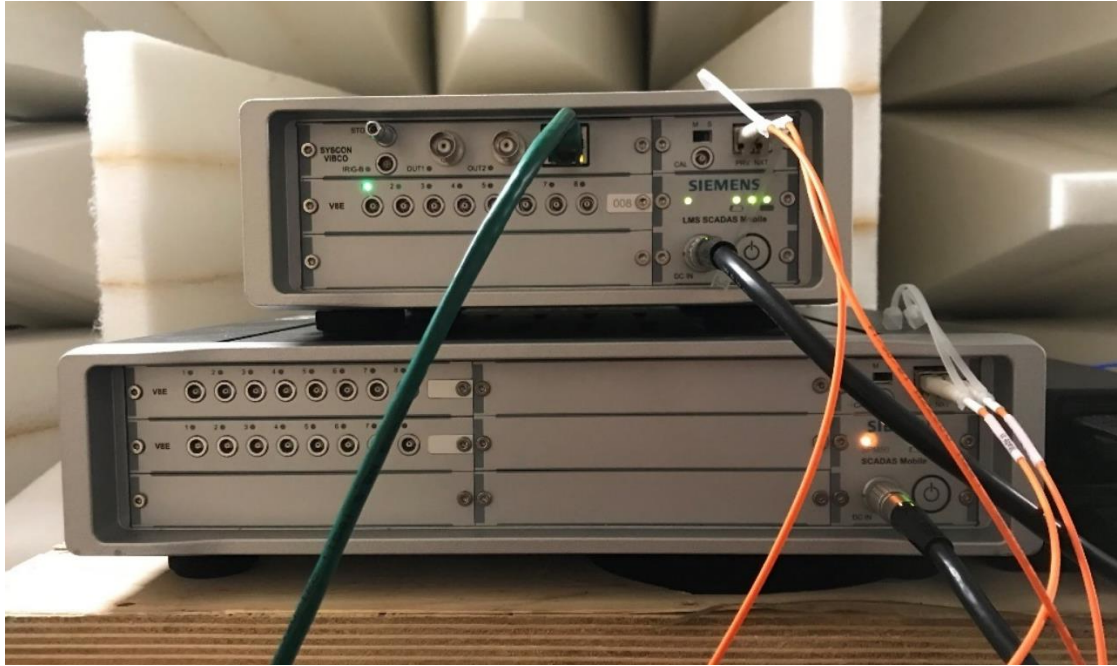


Figura 4.3 Sistema di acquisizione Simcenter SCADAS Mobile

Per questo caso studio sono stati utilizzati 20 canali: uno per il martello strumentato, 13 per gli accelerometri e 6 per i microfoni. L'ordine dei canali di input verrà descritto nei capitoli relativi ai singoli sensori.

Il software che si interfaccia con tale hardware di acquisizione dati è Simcenter Testlab. In particolare, per l'esecuzione dei test sono stati utilizzati i moduli Impact Testing e Signature Acquisition, grazie ai quali è stato possibile acquisire le misure e iniziare in parte il post-processing dei dati.

4.3. SETUP DEI SENSORI

Per i test eseguiti sono state utilizzate due tipologie di sensori quali accelerometri e microfoni rispettivamente per le misurazioni di vibrazione ed acustiche.

Nei capitoli successivi viene descritto brevemente il principio di funzionamento di tali sensori e come essi sono stati installati nel setup di misura di interesse, ponendo attenzione alle criticità ad essi legate.

4.3.1. ACCELEROMETRI

Per acquisire le misure di vibrazione della cappa aspirante, essa è stata sensorizzata con 13 accelerometri posti su tutte le superfici del box (eccetto che quella inferiore in cui è presente il filtro) e sul pannello in vetro.

Gli accelerometri sono stati collocati come riportato nella figura seguente e collegati ai rispettivi canali dello SCADAS. Il canale 1 è stato lasciato libero per collegare il martello strumentato, come verrà descritto nei capitoli successivi.

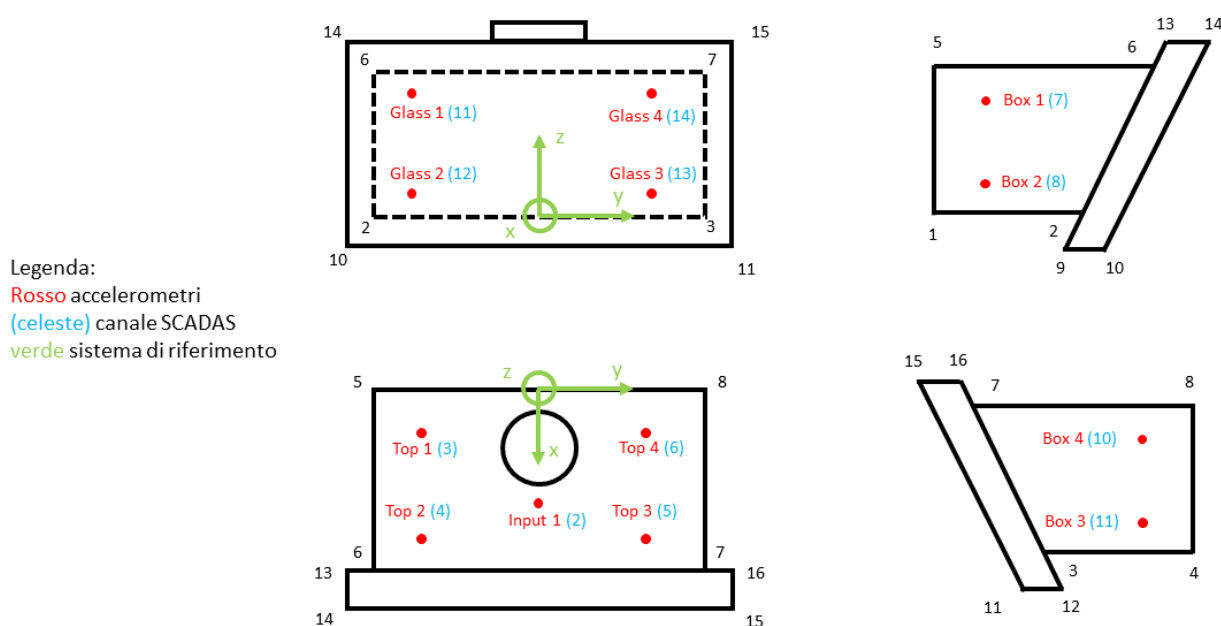


Figura 4.4 Setup accelerometri

Il posizionamento degli accelerometri nel sistema di riferimento scelto, e indicato in verde nella precedente figura, è riportato nella seguente tabella in cui sono raccolte le coordinate della posizione di ogni accelerometro.

Tale tabella verrà utilizzata anche in seguito per ottenere una visualizzazione spaziale dei risultati ottenuti, implementando un codice Matlab, riportato in Appendice 2.

Considerando il sistema di riferimento scelto, e riportato in verde, vengono definite le seguenti direzioni di misura. Per gli accelerometri sul Top e Input 1 la direzione di misura è +Z ovvero quella normale e uscente dalla superficie superiore della scocca della cappa. Per gli accelerometri posizionati sul Box, ovvero lateralmente, la direzione di misura è la Y, rispettivamente + o - a seconda che siano posizionati su Box R o Box L, in ogni caso viene considerata la direzione

uscente dalla superficie della cappa. Per quanto riguarda il Glass che è posizionato obliquamente rispetto al sistema di misura scelto viene presa come direzione di misura per gli accelerometri la +X in quanto è quella di riferimento.

Tabella 3 Coordinate punti di posizionamento degli accelerometri

Punto	Direzione misura	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Input 1	+Z	18	0	38
Box 1	-Y	8,65	-22	28,5
Box 2	-Y	8,65	-22	9,5
Box 3	+Y	8,65	22	9,5
Box 4	+Y	8,65	22	29,5
Glass 1	+X	29,9	-17,45	29,5
Glass 2	+X	21,3	-17,45	8,7
Glass 3	+X	21,3	17,45	8,7
Glass 4	+X	29,9	17,45	29,5
Top 1	+Z	8,65	-15	38
Top 2	+Z	25,15	-15	38
Top 3	+Z	25,15	15	38
Top 4	+Z	8,65	15	38

Gli accelerometri posizionati sul Top sono di tipologia monoassiale, di modello 352C33 della PCB Piezotronics.



Figura 4.5 Accelerometro monoassiale ICP, modello 352C33 [23]

Tutte le specifiche di tale modello di accelerometro sono riportate nel datasheet, di cui sotto è riportato un estratto. Ogni accelerometro è dotato di un identificativo serial number e sensibilità riportati nella sezione Channel Setup di Testlab.

	ENGLISH	SI	
Performance			
Sensitivity(± 10 %)	100 mV/g	10.2 mV/(m/s ²)	
Measurement Range	± 50 g pk	± 490 m/s ² pk	
Frequency Range(± 5 %)	0.5 to 10,000 Hz	0.5 to 10,000 Hz	
Frequency Range(± 10 %)	0.3 to 15,000 Hz	0.3 to 15,000 Hz	
Resonant Frequency	≥ 50 kHz	≥ 50 kHz	
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	0.00015 g rms	0.0015 m/s ² rms	[1]
Non-Linearity	≤ 1 %	≤ 1 %	[4]
Transverse Sensitivity	≤ 5 %	≤ 5 %	[5]
Environmental			
Overload Limit(Shock)	± 5000 g pk	± 49,000 m/s ² pk	
Temperature Range(Operating)	-65 to +200 °F	-54 to +93 °C	[3]
Temperature Response	See Graph	See Graph	[3][1]
Base Strain Sensitivity	0.003 g/με	0.029 (m/s ²)/με	[1]
Electrical			
Excitation Voltage	18 to 30 VDC	18 to 30 VDC	
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	
Output Impedance	≤ 200 ohm	≤ 200 ohm	
Output Bias Voltage	7 to 12 VDC	7 to 12 VDC	
Discharge Time Constant	1.0 to 2.5 sec	1.0 to 2.5 sec	
Settling Time(within 10% of bias)	<10 sec	<10 sec	
Spectral Noise(1 Hz)	39 μg/√Hz	380 (μm/s ²)/√Hz	[1]
Spectral Noise(10 Hz)	11 μg/√Hz	110 (μm/s ²)/√Hz	[1]
Spectral Noise(100 Hz)	3.4 μg/√Hz	33 (μm/s ²)/√Hz	[1]
Spectral Noise(1 kHz)	1.4 μg/√Hz	14 (μm/s ²)/√Hz	[1]
Physical			
Sensing Element	Ceramic	Ceramic	
Sensing Geometry	Shear	Shear	
Housing Material	Titanium	Titanium	
Sealing	Hermetic	Hermetic	
Size (Hex x Height)	0.44 in x 0.62 in	11.2 mm x 15.7 mm	
Weight	0.20 oz	5.8 gm	[1]
Electrical Connector	10-32 Coaxial Jack	10-32 Coaxial Jack	
Electrical Connection Position	Side	Side	
Mounting Thread	10-32 Female	10-32 Female	
Mounting Torque	10 to 20 in-lb	113 to 226 N-cm	

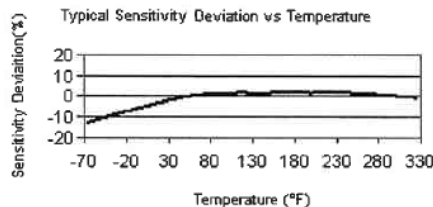


Figura 4.6 Datasheet accelerometro monoassiale ICP, modello 352C33 [24]

Per quanto riguarda la modalità di montaggio, nel datasheet sono riportate varie possibilità [24]:

- Montaggio con vite: di solito usato per la calibrazione degli accelerometri;
- Montaggio con adesivo;
- Supporto di montaggio;
- Montaggio con magnete;
- Hand probe.

La modalità di montaggio, come visibile dalla figura seguente, influenza la risposta del sensore in alta frequenza che può essere compromessa quando si aggiunge massa o si riduce la rigidità di montaggio [24].

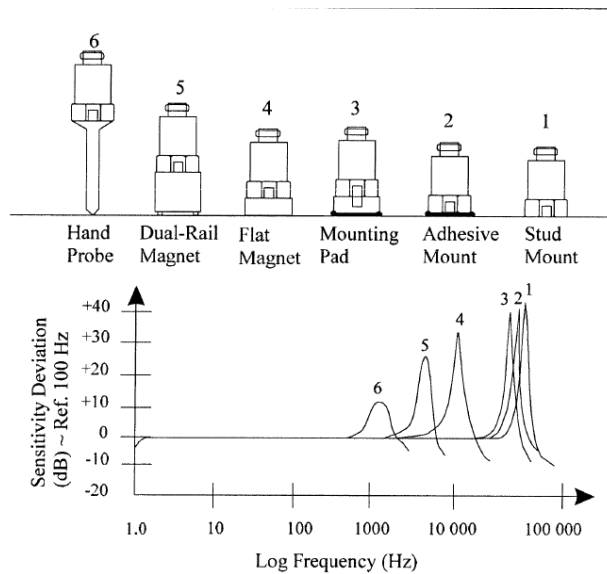


Figura 4.7 Modalità di montaggio di un accelerometro [24]

Nel caso in esame è stato scelto un montaggio con adesivo in quanto l'applicazione non è permanente e la superficie non è perfettamente liscia (si sarebbe preferito un montaggio con vite in quel caso). Questo montaggio garantisce inoltre una buona performance in alta frequenza. Per l'incollaggio possono essere usate varie tipologie di adesivi chimici ad hoc per l'applicazione (come cianacrilato o resine epossidiche bicomponente) oppure la cera. In questo caso gli accelerometri sono stati incollati con della naturale cera d'api.

Il montaggio con adesivo può essere effettuato direttamente oppure con una base di montaggio. In questo caso è stata scelta la seconda opzione, per facilitare la rimozione dell'accelerometro; infatti la base di montaggio è visibile in nero nella foto seguente.



Figura 4.8 Dettaglio di un accelerometro monoassiale – base di montaggio

Per il posizionamento degli accelerometri sul Top, sono stati scelti quattro estremi della lamiera e un punto centrale per l'accelerometro di riferimento per l'Hammer Test. Ovviamente, nel posizionamento degli accelerometri, bisogna evitare le linee nodali della struttura altrimenti la misura risulta essere inconsistente.



Figura 4.9 Setup accelerometri – top

Gli accelerometri posizionati invece sul lato del Box e sul Glass sono di tipologia triassiale, modello 356A32, sempre della PCB Piezotronics.



Figura 4.10 Accelerometro triassiale ICP, modello 356A32 [25]

Anche per questo modello, tutte le specifiche sono riportate nel datasheet, di cui sotto è riportato un estratto. Inoltre, ogni accelerometro è dotato di un identificativo serial number e sensibilità riportati nella sezione Channel Setup di Testlab.

Performance	ENGLISH	SI
Sensitivity(± 10 %)	100 mV/g	10.2 mV/(m/s ²)
Measurement Range	± 50 g pk	± 491 m/s ² pk
Frequency Range(± 5 %)	1.0 to 4000 Hz	1.0 to 4000 Hz
Frequency Range(± 10 %)	0.7 to 5000 Hz	0.7 to 5000 Hz
Resonant Frequency	≥ 25 kHz	≥ 25 kHz
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	0.0003 g rms	0.003 m/s ² rms
Non-Linearity	≤ 1 %	≤ 1 %
Transverse Sensitivity	≤ 5 %	≤ 5 %
Environmental		
Overload Limit(Shock)	± 5000 g pk	± 49,050 m/s ² pk
Temperature Range(Operating)	-65 to +250 °F	-54 to +121 °C
Temperature Response	See Graph	See Graph
Base Strain Sensitivity	0.001 g/με	0.01 (m/s ²)/με
Electrical		
Excitation Voltage	24 to 30 VDC	24 to 30 VDC
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA
Output Impedance	≤ 200 ohm	≤ 200 ohm
Output Bias Voltage	7 to 16 VDC	7 to 16 VDC
Discharge Time Constant	0.4 to 1.5 sec	0.4 to 1.5 sec
Settling Time(within 10% of bias)	<5 sec	<5 sec
Spectral Noise(1 Hz)	95 μg/√Hz	932 (μm/s ²)/√Hz
Spectral Noise(10 Hz)	20 μg/√Hz	196 (μm/s ²)/√Hz
Spectral Noise(100 Hz)	6 μg/√Hz	58.9 (μm/s ²)/√Hz
Spectral Noise(1 kHz)	3 μg/√Hz	29.4 (μm/s ²)/√Hz
Spectral Noise(10 kHz)	2 μg/√Hz	19.6 (μm/s ²)/√Hz
Physical		
Sensing Element	Ceramic	Ceramic
Sensing Geometry	Shear	Shear
Housing Material	Titanium	Titanium
Sealing	Hermetic	Hermetic
Size (Height x Length x Width)	0.45 in x 0.45 in x 0.45 in	11.4 mm x 11.4 mm x 11.4 mm
Weight	0.19 oz	5.4 gm
Electrical Connector	8-36 4-Pin	8-36 4-Pin
Electrical Connection Position	Side	Side
Mounting Thread	5-40 Female	5-40 Female
Mounting Torque	4 to 5 in-lb	45 to 55 N-cm

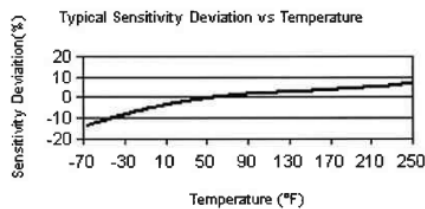


Figura 4.11 Datasheet accelerometro triassiale ICP, modello 356A32 [26]

In questo caso non è necessario acquisire tre componenti dell'accelerazione, quindi l'accelerometro viene di fatto ridotto ad uno monoassiale in quanto viene connesso solo il cavo relativo alla direzione perpendicolare al piano della cappa (tale direzione è stampata nella faccia superiore dell'accelerometro).

Gli accelerometri monoassiali e triassiali si differenziano nelle performance ed in particolare:

- La sensibilità statica (Sensitivity) è pari a 100 mV/g sia per gli accelerometri monoassiali che triassiali;
- Il range in frequenza (Frequency Range ± 10%) è pari a 0.3-15000 Hz per gli accelerometri monoassiali mentre vale 0.7-5000 Hz per i triassiali. Nelle analisi acustiche effettuate il range in frequenza analizzato raggiunge un massimo di 4 kHz e risulta quindi essere collocato nel range in frequenza misurabile da entrambe le tipologie di accelerometri.

Per quanto riguarda il box sono stati applicati due accelerometri per lato, come riportato in figura, sempre incollati con la cera d'api. La modalità di montaggio e le considerazioni ad essa relative sono analoghe al caso degli accelerometri monoassiali.



Figura 4.12 Setup accelerometri – Box

Sul Glass sono stati applicati 4 accelerometri triassiali, lontano dalle linee nodali. In tutti i casi i connettori e relativi fili degli accelerometri sono molto delicati e vanno quindi trattati con cautela e posizionati in modo da non essere in tensione. Il cablaggio è infatti essenziale per l'affidabilità e l'accuratezza di ogni sistema di misura, ma ne costituisce spesso una delle maggiori criticità [24].



Figura 4.13 Setup accelerometri - Glass

Da ricordare inoltre che l'ambiente in cui si effettua la misura può influenzarne il risultato stesso. Per quanto riguarda un accelerometro piezoelettrico i seguenti fattori sono da considerare [2]:

- temperatura: gli accelerometri comuni possono tollerare temperature fino a 250°C;
- rumore dovuto ai cavi: il cavo va fermato il più possibile vicino all'accelerometro;
- deformazioni della struttura su cui si monta il sensore;
- campi magnetici;
- umidità: in genere gli accelerometri sono progettati per resistere a condizioni di elevata umidità per brevi periodi, i connettori devono essere opportunamente sigillati;
- presenza di sostanze corrosive;
- vibrazioni trasversali: in genere gli accelerometri sono sensibili solo per 1% a vibrazioni trasversali rispetto all'asse principale di vibrazione.

4.3.2. MICROFONI

I microfoni sono stati posizionati per l'esecuzione dei test acustici in modalità operativa della cappa e per le misure di Sound Quality. Il posizionamento dei microfoni è analogo per entrambi i test ad eccezione del microfono 6 che nel caso del test Operativo è più vicino alla superficie della cappa mentre per i test di Sound Quality viene posizionato secondo la norma IEC 60704-2-13.

I microfoni sono stati collocati come riportato nella figura seguente e collegati ai rispettivi canali dello SCADAS, a seguito dei canali degli accelerometri.

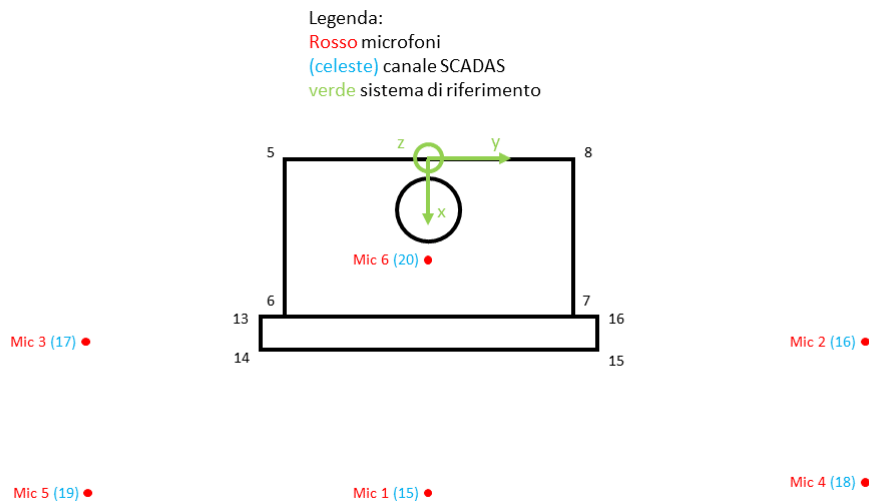


Figura 4.14 Setup microfoni

Il posizionamento viene riportato nella seguente tabella dove sono raccolte le coordinate spaziali dei microfoni nel sistema di riferimento scelto, riportato in verde in figura superiore. Il posizionamento dei microfoni (eccetto il microfono 6, che è posizionato come riferimento vicino al collarino del condotto di aspirazione, secondo le coordinate riportate) è regolato dalla norma IEC 60704-2-13.

Tabella 4 Coordinate punti di posizionamento dei microfoni per Operative Test

Punto	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Mic 1	114	0	20,25
Mic 2	44,75	-84,75	20,25
Mic 3	44,75	84,75	20,25
Mic 4	114	-84,75	95,5
Mic 5	114	84,75	95,5
Mic 6	21	0	49

Per i test di Sound Quality i microfoni sono posizionati tutti, compreso il microfono 6, secondo la norma IEC 60704-2-13. L'altezza da terra dei microfoni è la seguente:

- Microfoni laterali (Mic1, Mic2, Mic3) → $h=75,25$ cm
- Microfoni angolari e di riferimento (Mic4, Mic5, Mic6) → $h=150,5$ cm

Considerando l'altezza da terra della cappa pari a 55 cm le coordinate Z nel sistema di riferimento scelto per i microfoni laterali sono $Z = 20,25$ cm mentre per i microfoni angolari e quello di riferimento $Z = 95,5$ cm.

I microfoni utilizzati sono del modello 378B02 della PCB Piezotronics.



Figura 4.15 Microfono, PCB modello 378B02 [27]

Tale sistema comprende un microfono 1/2" ICP a condensatore prepolarizzato e un preamplificatore 1/2" ICP (426E01) [28]. Il preamplificatore è poi connesso al cavo tramite connettore BNC.

Tutte le specifiche del microfono sono riportate nel datasheet, di cui sotto è riportato un estratto. Inoltre, ogni microfono è dotato di un identificativo serial number e sensibilità riportati nella sezione Channel Setup di Testlab.

	ENGLISH	SI	
Performance			
Nominal Microphone Diameter	1/2"	1/2"	
Frequency Response Characteristic(at 0° incidence)	Free-Field	Free-Field	
Sensitivity	50 mV/Pa	50 mV/Pa	[3]
Sensitivity(± 1.5 dB)	-26 dB re 1 V/Pa	-26 dB re 1 V/Pa	[3]
Frequency Range(± 2 dB)	3.75 to 20,000 Hz	3.75 to 20,000 Hz	
Frequency Range(± 1 dB)	7 to 10,000 Hz	7 to 10,000 Hz	
Lower Limiting Frequency(-3 dB)	1.0 to 3.0 Hz	1.0 to 3.0 Hz	
Inherent Noise	15.5 dB(A) re 20 µPa	15.5 dB(A) re 20 µPa	[2]
Dynamic Range(3% Distortion Limit)	137 dB re 20 µPa	137 dB re 20 µPa	[2]
TEDS Compliant	Yes	Yes	[4]
Environmental			
Temperature Range(Operating)	-40 to +176 °F	-40 to +80 °C	
Temperature Coefficient of Sensitivity(+14 to +158°F (-10 to +70°C))	0.005 dB/°F	0.009 dB/°C	[2][3]
Static Pressure Coefficient	-0.013 dB/kPa	-0.013 dB/kPa	[2][3]
Humidity Coefficient of Sensitivity(0 to 100%, non-condensing)	± 0.001 dB/%RH	± 0.001 dB/%RH	[3]
Influence of Axial Vibration(0.1g (1 m/s²))	63 dB re 20 µPa	63 dB re 20 µPa	[2]
Electrical			
Polarization Voltage	0 V	0 V	[1]
Excitation Voltage	20 to 30 VDC	20 to 30 VDC	
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	
Output Bias Voltage	10 to 14 VDC	10 to 14 VDC	
Maximum Output Voltage	± 7 Vpk	± 7 Vpk	
Output Impedance	<50 Ohm	<50 Ohm	
Physical			
Housing Material	Stainless Alloy	Stainless Alloy	
Venting	Rear	Rear	[5]
Electrical Connector	BNC Jack	BNC Jack	
Mounting Thread(Grid)	0.5 - 60 UNS	0.5 - 60 UNS	
Size (Diameter x Height)(with grid)	0.52 in x 3.62 in	13.2 mm x 91.9 mm	
Size (Diameter x Height)(without grid)	0.50 in x 3.58 in	12.7 mm x 90.9 mm	
Weight	1.63 oz	45.8 gm	[2]

Figura 4.16 Datasheet microfono, PCB modello 378B02 [27]

La seguente formula è utilizzata per calcolare la pressione misurata dal microfono a partire dal voltaggio V rilevato in output. La sensibilità del microfono indicata con S è tipicamente misurata a 250 Hz ed è riportata nel datasheet [27]:

$$\text{Pressure [Pa]} = V [\text{mV}] / S [\text{mV/Pa}] \quad (1)$$

La soglia umana dell'udibile è pari a 20e-6 Pa e rappresenta lo zero in termini di decibel. Il decibel (dB) è infatti una scala di tipo logaritmico comunemente usata per la misura della pressione sonora. Per convertire il segnale di voltaggio in output (misurato in Vrms) in livello di pressione sonora (misurata in dB) si può far riferimento alla seguente formula [27]:

$$\text{Livello di pressione sonora [dB]} = 20 * \text{Log} \frac{V [\text{Vrms}]}{S \left[\frac{\text{mV}}{\text{Pa}} \right] * \text{Pref}[\text{Pa}]} \quad (2)$$

Dove Pref è la pressione di riferimento in aria pari a 20e-6 Pa [27].

4.4. ECCITAZIONE ESTERNA

Per quanto riguarda l'eccitazione esterna bisogna distinguere le due tipologie di analisi ovvero Hammer Test e Operative Test:

- per l'Hammer Test ovvero l'analisi vibrazionale, l'eccitazione esterna è rappresentata da un martello strumentato;
- per l'analisi vibroacustica in condizioni operative, l'eccitazione esterna può in un certo senso essere considerata quella del motore, in quanto i test vengono effettuati quando la cappa è in condizioni operative.

4.4.1. HAMMER TEST: MARTELLO STRUMENTATO

Per quanto riguarda l'analisi vibrazionale viene effettuato un Hammer Test ovvero la struttura viene sollecitata con un martello strumentato che rappresenta un impulso ad ampio spettro e viene valutata la risposta in termini di FRF, grazie agli accelerometri installati sulla cappa.

Il martello viene spostato in più punti della struttura e viene impartita una forza impulsiva, secondo la tecnica del cosiddetto Roving Hammer. Altra opzione, sarebbe stata quella di eccitare la struttura con uno shaker elettrodinamico, in quel caso l'eccitazione sarebbe stata fissa.

Il martello di impatto utilizzato è della Brüel & Kjær tipologia 8206. L'impugnatura è stata progettata in maniera ergonomica per un ottimale controllo dell'impatto al fine di ridurre il rischio del cosiddetto "doppio colpo" durante l'acquisizione [29].



Figura 4.17 Martello strumentato, B&K tipologia 8206

Tale modello di martello può montare tre tipologie di punta in alluminio, plastica o gomma. La scelta della tipologia di punta determina la forma dell'impulso, in termini di ampiezza e durata, e la banda di eccitazione in frequenza, come mostrato dalla figura sottostante [29]. Tanto più è rigida la punta del martello (passando dalla gomma, alla plastica, all'acciaio) tanto più l'impulso è breve nel dominio del tempo; tanto più lo spettro diventa ampio nel dominio della frequenza.

Per l'applicazione in esame, poiché la struttura non è troppo cedevole, è stata montata una punta in plastica così da garantire una banda di eccitazione in frequenza abbastanza ampia.

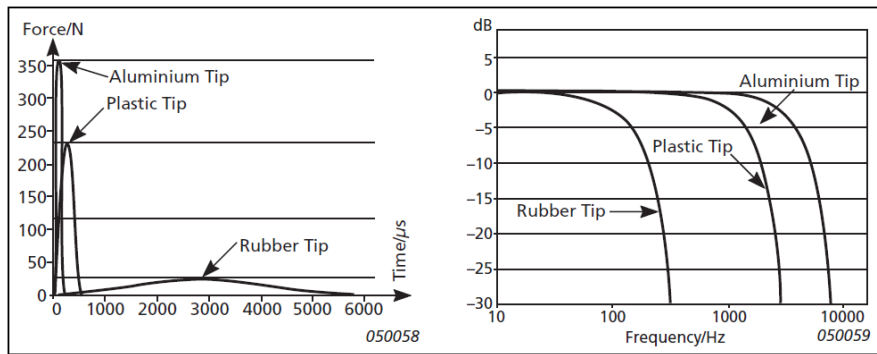


Figura 4.18 Tipologie di punta per il martello, B&K tipologia 8206 [29]

Il segnale misurato in output è un voltaggio mentre la sensibilità è misurata in termini di voltaggio per unità di forza [mV/N] e il suo valore è riportato sul datasheet sottostante. Il martello strumentato è collegato via cavo allo SCADAS tramite connettore BNC ed è connesso al canale 1.

	Units	8206	8206-001	8206-002	8206-003
Dynamic Characteristics					
Voltage Sensitivity (typical)	mV/N (mV/lbf)	22.7 (100)	11.4 (50)	2.27 (10)	1.14 (5)
Full Scale Force Range Compression	N (lbf)	220 (50)	445 (100)	2200 (500)	4448 (1000)
Linear Error at Full Scale	% full scale	<±1			
Electrical Characteristics					
Full Scale Output Voltage	V	+5			
DC Output Bias Voltage	V	10 ±1			
Output Impedance	Ω	<100			
Power Supply	mA	2 to 20			
Voltage Range	V DC	+18 to +30			
Environmental Characteristics					
Temperature Range	°C (°F)	-73 to +60 (-100 to +140)			
Max. Force Compression	N (lbf)	4448 (1000)			8896 (2000)
Physical Characteristics					
Dimensions		See outline drawing			
Overall Length	mm (in.)	221.5 (8.72)			
Effective Seismic Mass	gram (oz.)	100 (3.53)			
Sensor Housing Material		Stainless steel (17-4 PH)			
Handle Material		Fibreglass			
Connector		BNC			

All values are typical at 25°C (77°F) unless measurement uncertainty is specified

Figura 4.19 Datasheet martello, B&K tipologia 8206 [29]

4.4.2. OPERATIVE TEST: GRUPPO ASPIRAZIONE

Per quanto riguarda i test acustici viene misurata la pressione sonora della cappa aspirante in condizioni operative a tutte e quattro le velocità. In tali condizioni l'eccitazione del sistema può essere considerata quella del motore e relativo diffusore che sono la principale componente di generazione di rumore.

Come detto nei capitoli precedenti, il motore è già stato ottimizzato in termini di acustica, quindi questa trattazione si concentra sul miglioramento della struttura della cappa introducendo ulteriori accorgimenti. In particolare, verranno posizionati dei pannelli in melamina in vari punti della struttura al fine di valutare se e quanto è possibile ridurre il rumore percepito.

5. ACQUISIZIONE SEGNALI IN TESTLAB

Il software utilizzato per l'acquisizione dei segnali è Simcenter Testlab ed in particolare i moduli Impact Testing e Signature Acquisition. La trattazione di questo capitolo è dedicata alla procedura eseguita in questi software durante l'acquisizione dei dati ponendo particolare attenzione alle varie criticità del problema.

Il primo paragrafo tratta del modulo Impact Testing analizzandone le varie sezioni quali Channel Setup, Impact Scope, Impact Setup e Measure. Viene quindi descritto il processo di misura utilizzato per l'ottenimento delle FRF al fine di delineare il comportamento vibrazionale della cappa da cucina se sottoposta a eccitazione impulsiva.

Il secondo paragrafo, tratta invece del modulo Signature Acquisition utilizzato per l'acquisizione dei dati di pressione acustica, mentre la cappa si trova in condizioni operative. Le sezioni utilizzate sono sempre quella di Channel Setup ed inoltre Calibration, Acquisition Setup, Online Processing ed infine Measure.

Viene inoltre descritta la procedura per l'estrazione delle metriche di Sound Quality.

5.1. IMPACT TESTING

I test vibrazionali eseguiti sono di tipologia Roving Hammer ovvero la cappa viene sollecitata in punti diversi con il martello strumentato, descritto in precedenza, e viene misurata la funzione di risposta in frequenza relativa alle superfici della cappa, che è stata sensorizzata con degli accelerometri. Gli accelerometri sono stati posizionati in modo da esserne presenti 4 sul Top, 4 sul Box e 4 sul Glass, come descritto in precedenza. Inoltre, vi è l'accelerometro nominato Input 1 (connesso al canale 2 dello SCADAS) che viene spostato ad ogni impulso e posizionato vicino a dove si impartirà la martellata al fine di fungere da accelerometro di riferimento.

Nei paragrafi seguenti viene descritta la procedura di test, analizzando le varie sezioni del software e esplorando i parametri impostati e le motivazioni per la loro scelta.

5.1.1. CHANNEL SETUP

In primis, viene eseguito il setup dei canali. I canali dello SCADAS sono già stati connessi come descritto nei capitoli precedenti. In Testlab è quindi necessario settare tali canali per l'acquisizione dei segnali nell'apposita sezione detta appunto di Channel Setup.

Viene specificato per ogni canale fisico *PhysicalChannelId*:

- *ChannelGroup*: Vibration;
- *Point*: punto identificativo dell'accelerometro (vedi paragrafo 4.3.1);
- *Direction*: +Z per gli accelerometri monoassiali, lungo +/- Y per gli accelerometri triassiali relativi al Box, +X per gli accelerometri triassiali relativi al Glass, lungo -X per il martello strumentato. La direzione ed il verso scelti sono definiti rispetto al sistema di riferimento precedentemente descritto al paragrafo 3.3;
- *Input Mode*: ICP (Integrated Circuit Piezoelectric);
- *Measured Quantity*: Force per il martello strumentato ed Acceleration per gli accelerometri;
- *Electrical Unit*: mV;
- *Actual sensitivity*: viene inserita la sensibilità riportata nella scheda del trasduttore;
- *Transducer type & Manufacturer*: viene riportato il tipo di trasduttore e la casa produttrice;
- *Serial number*: numero seriale del trasduttore.

PhysicalChannelId	OnOff	Reference	User channel Id	ChannelGroupId	Point	Direction	Input mode	Coupling	Measured Quantity	Electrical Unit	Actual sensitivity	Transducer Type	Transducer Manufacturer	Serial number	Range
1	Tacho1	<input type="checkbox"/>		Tacho	Tacho1	None	Voltage DC	Single Ended	Force	mV	10.89	mV/N	PCB		2k
2	Input1	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Input1	-X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.7	mV/g	PCB	115628	0.079
3	Input2	<input type="checkbox"/>		Vibration	Input1	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.8	mV/g	PCB	5140	3.0395
4	Input3	<input type="checkbox"/>		Vibration	Top 1	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	103.5	mV/g	PCB	LW020954	0.079
5	Input4	<input type="checkbox"/>		Vibration	Top 2	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.6	mV/g	PCB	LW020955	3.0395
6	Input5	<input type="checkbox"/>		Vibration	Top 3	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	99.6	mV/g	PCB	LW020956	3.0395
7	Input6	<input type="checkbox"/>		Vibration	Top 4	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	115724	mV/g	PCB	80902	3.0395
8	Input7	<input type="checkbox"/>		Vibration	Box 1	-Y	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.9	mV/g	PCB	LW020285	3.0395
9	Input8	<input type="checkbox"/>		Vibration	Box 2	-Y	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	103.1	mV/g	PCB	LW254103	0.079
10	Input9	<input type="checkbox"/>		Vibration	Box 3	+Y	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100	mV/g	PCB	LW020286	0.079
11	Input10	<input type="checkbox"/>		Vibration	Box 4	+Y	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	105.5	mV/g	PCB	LW011028	0.1911
12	Input11	<input type="checkbox"/>		Vibration	Glass 1	+X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.8	mV/g	PCB	LW011029	0.1911
13	Input12	<input type="checkbox"/>		Vibration	Glass 2	+X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	101.8	mV/g	PCB	80503	0.1911
14	Input13	<input type="checkbox"/>		Vibration	Glass 3	+X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	101.5	mV/g	PCB Piezotronics, Inc.	LW254737	0.1911
15	Input14	<input type="checkbox"/>		Vibration	Glass 4	+X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	101.5	mV/g	PCB Piezotronics, Inc.	LW254737	0.1911

Figura 5.1 Impact Testing - Channel Setup

Come canale di Reference viene impostato *Input1* ovvero il martello strumentato che imparte l'impulso.

5.1.2. IMPACT SCOPE

Nella sezione Impact Scope può essere visualizzata l'Overview dei segnali che si stanno acquisendo real time. Inoltre, a destra, è possibile settare le impostazioni dello Scope che verranno impostate di seguito insieme agli altri parametri del test.

Nella parte inferiore della finestra è presente la sezione *Autoranging* in cui è possibile resettare i range dei vari canali in modo che nessuno di essi sia in saturazione. Per iniziare l'autorange è sufficiente cliccare su *Start*, per impostare i range attuali cliccare *Set* e con *Stop Ranging* si esce da questa funzione.

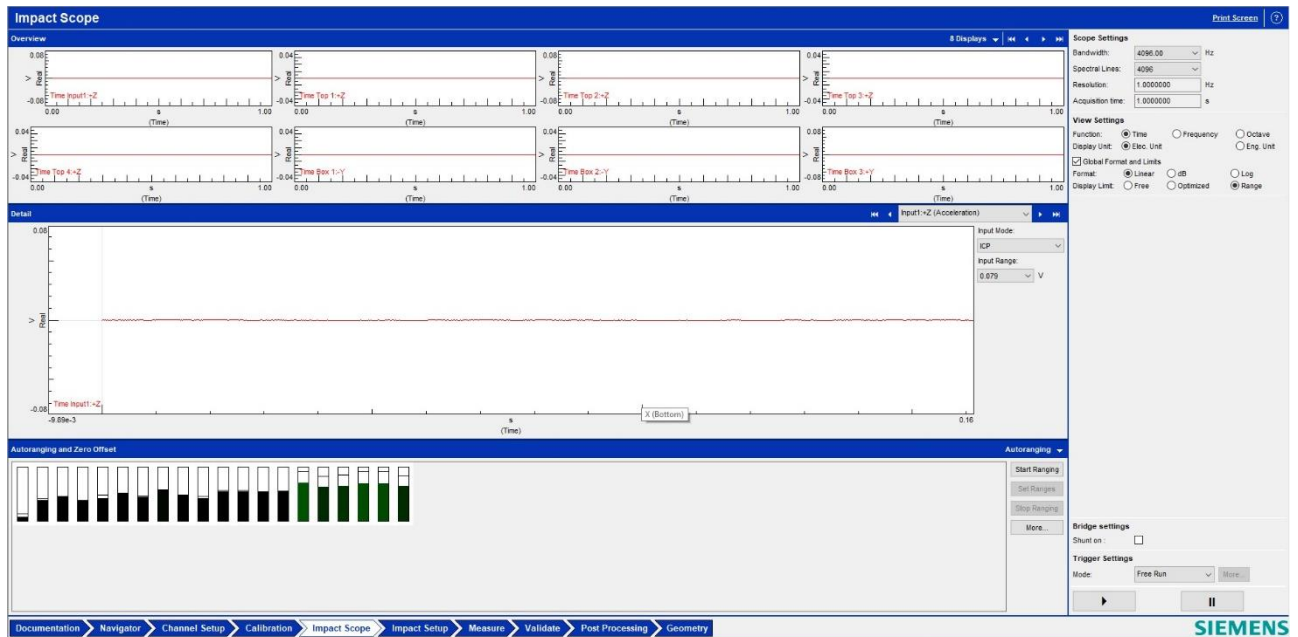


Figura 5.2 Impact Testing – Impact Scope

5.1.3. IMPACT SETUP

La sezione Impact Setup si articola a sua volta in Trigger, Bandwidth, Windowing, Driving Points. Qui è possibile settare le impostazioni dell'acquisizione grazie all'opzione *All Settings*. In particolare, vengono impostati i seguenti valori (gli altri sono lasciati di default):

- Acquisition Settings:
 - Bandwidth: 4096 Hz
 - Spectral lines: 4096
 - Acquisition time: 1 s
 - Resolution: 1 Hz
- Triggering:
 - Trigger level: 0.2 V
 - Pretrigger: 0.001 s
- Windowing:
 - Reference: Force-Exponential
 - Cutoff: 5%
 - Response: Exponential
 - Decay: 1%
- Averaging:
 - Averages: 5
 - Averaging mode: Explicit Accept
- Increment:
 - Roving Hammer

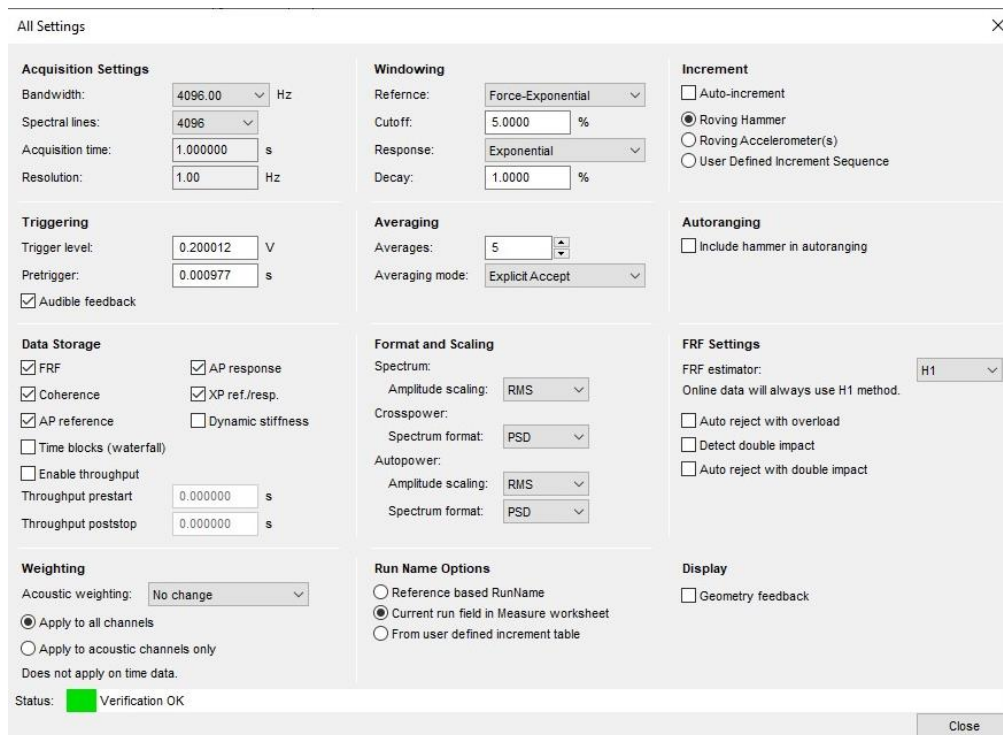


Figura 5.3 Impact Testing – All Settings

5.1.4. MEASURE

Nella sezione Measure vengono visualizzati i segnali richiesti in real time e si può iniziare l'acquisizione.

Per quanto riguarda la serie di test vibrazionali, per questo caso studio, è stata creata una nuova sezione per ogni test ,al variare della posizione in cui viene impartito il colpo con il martello. Vi sono in tutto 5 punti definiti in cui vengono impartiti gli impulsi chiamati appunto Input1-5 e la loro posizione sulla geometria della cappa è riportata nella figura 5.4. Per ogni configurazione testata saranno quindi effettuati 5 test, uno per ogni input.

Per ogni test vengono settati i seguenti nomi:

- Sezione: *config*number_config* input*number**
- Run: *input*number**
- Edit Points:
 - Hammer: *Input*number**
 - Responses1: *Input*number**

Dove **number_config** è il numero della configurazione e **number** è il numero relativo alla posizione di dove viene impartito il colpo, ovvero dell'accelerometro di riferimento.

In prossimità di viene impartito il colpo con il martello strumentato (canale 1 dello SCADAS) viene spostato di volta in volta l'accelerometro di riferimento (canale 2 dello SCADAS) secondo la modalità già presentata del Roving Hammer.

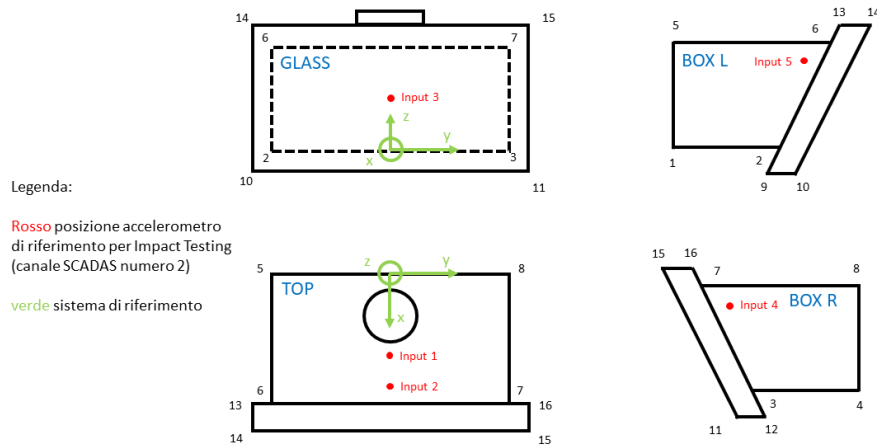


Figura 5.4 Impact Testing – posizione accelerometri di riferimento

Prima di iniziare l'acquisizione è necessario settare i range di misura. Vi è la possibilità di farlo in maniera automatica in Testlab grazie alla sezione *Input Level* nella parte in basso a sinistra della finestra. I canali devono essere opportunamente settati ovvero presentare uno status di *No Overload* e visibili in verde come in figura 5.5. Se i canali sono saturati è necessario resettare i range. Una volta definiti i range desiderati cliccare su *Stop Ranging*.

Ora è possibile iniziare l'acquisizione cliccando su *Start*. Da ricordare che per ogni test vengono effettuate cinque misurazioni e poi viene calcolata la media di esse. Ogni misurazione è soggetta ad accettazione esplicita da parte dell'utente che deve verificare la qualità dei segnali acquisiti ed eventualmente ripetere la misura. È possibile vedere il numero della misurazione corrente nella finestra *Averages* dove sono riportate il numero di misurazioni *Done* e *Left*.

In Measurement è possibile cliccare su *Accept* o *Refuse* a seconda che la misura sia accettabile o meno. Per decidere ciò bisogna valutare i segnali acquisiti. Nella finestra di Measure sono presenti i plot dei seguenti segnali:

- Reference:
 - Time relativo all'Hammer
 - PSD relativo all'Hammer
- Instantaneous FRF & Averaged FRF: Input/Hammer
- Response:
 - Time relativo all'Input
 - PSD relativo all'Input
- Coherence: Input/Hammer

Una corretta misurazione dovrebbe presentare una schermata come in figura:

- l'andamento temporale della forzante (Reference - Time relativo all'Hammer) è un impulso, il picco dovrebbe essere il più sharp possibile. Bisogna controllare che non ci sia stato un doppio colpo ovvero che il martello non abbia impartito un singolo impulso ma più di uno. Un segnale che presenta un doppio colpo si presenta come della figura 5.6;
- La Power Spectral Density della forzante (Reference - PSD relativo all'Hammer) eccita tutte le frequenze del range. In linea ideale la curva non dovrebbe decrescere ma essere una linea retta ad indicare che tutte le frequenze sono eccitate in ugual misura. Nella pratica ciò è di difficile ottenimento ed un segnale del tipo in figura 5.5 può considerarsi accettabile;
- La Coherence deve essere pressoché uguale ad 1 ovvero le 5 misurazioni effettuate per ogni test devono essere molto affini come indice dell'affidabilità della misura.

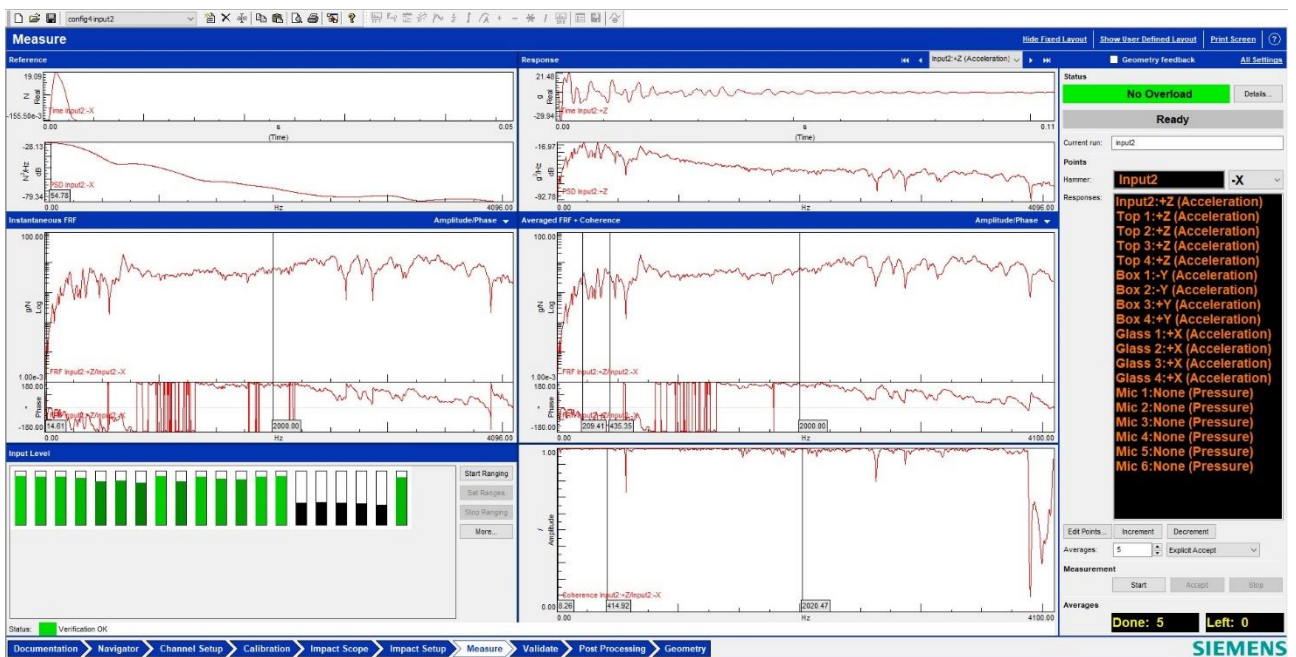


Figura 5.5 Impact Testing - Measure

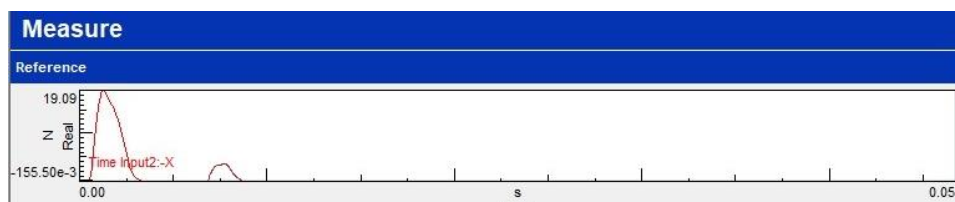


Figura 5.6 Impact Testing - Errore di doppio colpo

Una volta che sono state acquisite tutte e 5 le misure esse sono salvate nella sezione Navigator di Testlab e si può passare ad acquisire il prossimo Input.

5.2. SIGNATURE ACQUISITION

In Signature Acquisition vengono effettuati i test in modalità operativa della cappa per valutarne la sua acustica. Il posizionamento dei sei microfoni attorno alla cappa è stato già descritto al paragrafo 4.3.2.

Per ogni configurazione vengono acquisite 4 misurazioni, una per ogni velocità della cappa. La velocità 3 è quella che viene presa a riferimento per l'analisi dei risultati. Non si considera la velocità 4 che è quella boost, in quanto si suppone che verrà utilizzata solo in casi rari e mantenuta per brevi intervalli di tempo.

Di seguito vengono analizzate tutte le sezioni di Testlab utilizzate per questa tipologia di test ovvero: Channel Setup, Calibration, Acquisition Setup, Online Processing, Measure.

5.2.1. CHANNEL SETUP

Per quanto riguarda il setup dei canali valgono le stesse considerazioni fatte per l'Impact Testing solo che in questo caso viene disabilitato il canale relativo al martello strumentato ovvero il PhysicalChannelId Input1.

Channel Setup													Save as Reference	Load Channel Setup...	Show On/Off	Show On	Channel Set	
Status: Verification OK																		Clock
PhysicalChannelId	On/Off	Reference	User channel Id	ChannelGroupId	Point	Direction	Input mode	Coupling	Measured Quantity	Electrical Unit	Actual sensitivity	Transducer Type	Transducer Manufacturer	Serial number	Range			
1	Tacho1	<input type="checkbox"/>		Tacho	Tacho1	None	Voltage DC	Single Ended							24	V		
2	Input1	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Input1	-X	ICP	Single Ended	Force	mV	19.89	mV/N	PCB		1	V		
3	Input2	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Input1	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.7	mV/g	352C23	PCB	115620	0.079	V	
4	Input3	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Top 1	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.8	mV/g	352C33	PCB	51640	0.0395	V	
5	Input4	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Top 2	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	103.5	mV/g	352C33	PCB	LW299954	0.079	V	
6	Input5	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Top 3	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.8	mV/g	352C33	PCB	LW299955	0.0395	V	
7	Input6	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Top 4	+Z	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	99.6	mV/g	352C33	PCB	115724	0.0395	V	
8	Input7	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Box 1	-Y	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.9	mV/g	356A32	PCB	60902	0.0395	V	
9	Input8	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Box 2	-Y	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	99.9	mV/g	356A32	PCB	LW203285	0.0395	V	
10	Input9	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Box 3	+Y	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	103.1	mV/g	356A32	PCB	LW254103	0.079	V	
11	Input10	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Box 4	+Y	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100	mV/g	356A32	PCB	LW203286	0.079	V	
12	Input11	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Glass 1	+X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	105.5	mV/g	356A32	PCB	LW311028	0.1971	V	
13	Input12	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Glass 2	+X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	100.8	mV/g	356A32	PCB	LW310512	0.1971	V	
14	Input13	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Glass 3	+X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	101.8	mV/g	356A32	PCB Piezotronics, Inc.	86353	0.1971	V	
15	Input14	<input checked="" type="checkbox"/>		Vibration	Glass 4	+X	ICP	Single Ended	Acceleration	mV	101.5	mV/g	356A32	PCB Piezotronics, Inc.	LW254737	0.1971	V	
16	Input15	<input checked="" type="checkbox"/>		Acoustic	Mic 1	None	ICP	Single Ended	Pressure	mV	44.68419	mV/Pa	378B2	PCB Piezotronics, Inc.	143741	0.0395	V	
17	Input16	<input checked="" type="checkbox"/>		Acoustic	Mic 2	None	ICP	Single Ended	Pressure	mV	47.78349	mV/Pa	378B2	PCB Piezotronics, Inc.	146185	0.0395	V	
18	Input17	<input checked="" type="checkbox"/>		Acoustic	Mic 3	None	ICP	Single Ended	Pressure	mV	49.80387	mV/Pa	378B2	PCB Piezotronics, Inc.	143742	0.0395	V	
19	Input18	<input checked="" type="checkbox"/>		Acoustic	Mic 4	None	ICP	Single Ended	Pressure	mV	48.96982	mV/Pa	378B2	PCB Piezotronics, Inc.	143739	0.0395	V	
20	Input19	<input checked="" type="checkbox"/>		Acoustic	Mic 5	None	ICP	Single Ended	Pressure	mV	43.70985	mV/Pa	378B2	PCB Piezotronics, Inc.	143740	0.0395	V	
21	Input20	<input checked="" type="checkbox"/>		Acoustic	Mic 6	None	ICP	Single Ended	Pressure	mV	49.43867	mV/Pa	378B2	PCB Piezotronics, Inc.	146186	0.0395	V	

Figura 5.7 Signature acquisition – Channel Setup

Vengono inoltre inserite tutte le informazioni relative ai microfoni di cui si è già discusso nei paragrafi precedenti. Prima di iniziare l'acquisizione delle misure viene eseguita la calibrazione dei microfoni grazie alla sezione successiva chiamata appunto Calibration.

5.2.2. CALIBRATION

Per calibrare i sei microfoni viene utilizzato il calibratore acustico della Brüel & Kjær, tipologia 4231. Tale modello è molto robusto e stabile e risulta conforme alla norma EN/IEC 60942 in classe LS e in classe 1 e alla norma ANSI S1.40.1984 [30]. Il calibratore acustico è una sorgente sonora portatile con Livello di 94 dB e di 114 dB per la calibrazione in ambienti rumorosi e accuratezza di calibrazione $\pm 0,2$ dB. La frequenza di calibrazione è di 1000 Hz per evitare l'influenza delle curve di pesatura e risulta idoneo per microfoni da 1/2" come appunto quelli utilizzati per questo setup di misura. In questa applicazione il livello viene settato a 94 dB.



Figura 5.8 Calibratore acustico, B&K tipologia 4231

Il calibratore utilizzato presenta ovviamente il suo datasheet di cui di seguito è riportato un estratto con le specifiche.

Specifications – Sound Calibrator Type 4231

All values are typical at +25 °C (+77 °F), unless measurement uncertainty or tolerance field is specified. All uncertainty values are specified at 2σ (that is, expanded uncertainty using a coverage factor of 2)

STANDARDS SATISFIED

- EN/IEC 60942 (2017), Class 1, Sound Calibrators
- ANSI S1. 40-2006, Specification for Acoustic Calibrators Class 1

SOUND PRESSURE LEVELS

94.0 dB ± 0.2 dB (Principal SPL) or 114.0 dB ± 0.2 dB re 20 μ Pa at reference conditions

FREQUENCY

1 kHz $\pm 0.1\%$

SPECIFIED MICROPHONE

Size according to IEC 61094-4:

- 1" without adaptor
- 1/2" with adaptor UC 0210 (supplied)
- 1/4" with adaptor DP 0775 (optional)
- 1/8" with adaptor DP 0774 (optional)

EQUIVALENT FREE-FIELD LEVEL

(0° incidence, re Nominal Sound Pressure Level)
-0.15 dB for 1/2" Brüel & Kjær microphones. See the Type 4231 user manual for other microphones

EQUIVALENT RANDOM INCIDENCE LEVEL

(re Nominal Sound Pressure Level)
+0.0 dB for 1", 1/2", 1/4" and 1/8" Brüel & Kjær microphones

NOMINAL EFFECTIVE COUPLER VOLUME

>200 cm³ at reference conditions

DISTORTION

<1%

LEVEL STABILITY

Short-term: Better than 0.02 dB (as specified in IEC 60942)

One Year: Better than 0.05 dB (s = 96%)

Stabilization Time: <5 s

REFERENCE CONDITIONS

Temperature: +23 °C ± 3 °C (+73 °F ± 5 °F)

Pressure: 101 ± 4 kPa

Humidity: 50%, -10% +15% RH

Effective Load Volume: 0.25 cm³

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Pressure: 65 to 108 kPa

Humidity: 10 to 90% RH (non-condensing)

Effective Load Volume: 0 to 1.5 cm³

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS (TYPICAL)

Temperature Coefficient: ± 0.0015 dB/°C

Pressure Coefficient: $+8 \times 10^{-4}$ dB/kPa

Humidity Coefficient: 0.001 dB/% RH

POWER SUPPLY

Batteries: 2 \times 1.5 V IEC Type LR6 ("AA" size)

Lifetime: Typically 200 hours continuous operation with alkaline

batteries at +23 °C (+73 °F)

Battery Check: When Type 4231 stops working continuously, and only operates when the On/Off button is held in, the batteries should be replaced

DIMENSIONS AND WEIGHT

(Without case)

Height: 40 mm (1.5")

Width: 72 mm (2.8")

Depth: 72 mm (2.8")

Weight: 150 g (0.33 lb), including batteries

Figura 5.9 Datasheet calibratore acustico – B&K tipologia 4231 [31]

Nella sezione Calibration di Testlab viene di volta in volta selezionato il microfono da calibrare spuntando sulla colonna *On/Off*. L'Actual Sensitivity inserita è quella da datasheet e una volta effettuata la calibrazione viene calcolata la sensibilità effettiva (sotto la colonna *New Sensitivity*) che cliccando su *Accept* va ad aggiornare la sensibilità attuale.

Prima di iniziare la calibrazione bisogna effettuare il check del microfono tramite *Check* e lo status passa così da *Not Active* a *Checked*. In seguito, cliccando su *Start*, e posizionando il calibratore acceso sul microfono selezionato, viene avviata la calibrazione. Nella figura sottostante viene calibrato il microfono 2. Come visibile nella schermata di status vi è una fase di *detecting* e poi *calibrating* (arancio) che sarà seguita da *finished* (verde) o *overload* (rosso) a seconda che la calibrazione sia andata o meno a buon fine. In caso di esito soddisfacente si può accettare la nuova sensitivity o viceversa selezionare *Reject* e ripetere la calibrazione.

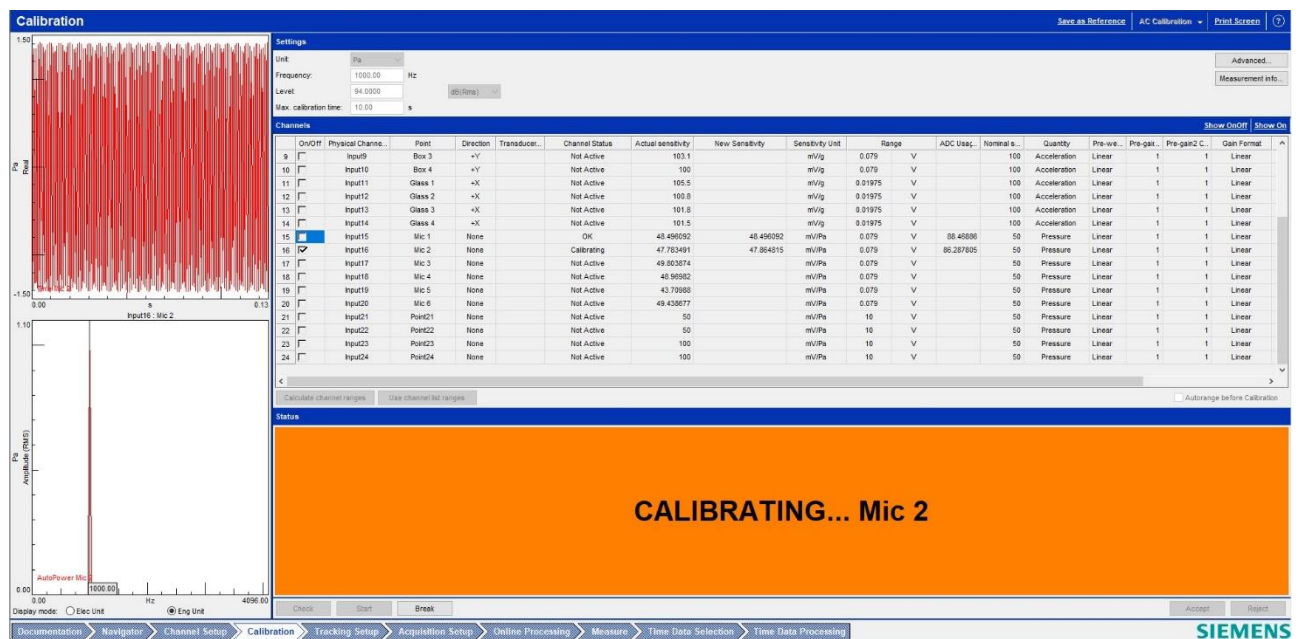


Figura 5.10 Signature Acquisition - Calibration

Il segnale emesso dal calibratore viene finestrato in Testlab con la finestra di tipo Flat Top, come è possibile vedere nelle impostazioni *Measurement Info*. Come la finestra di Hanning, la Flattop inizia e finisce con un valore nullo e ha valore centrale uno.

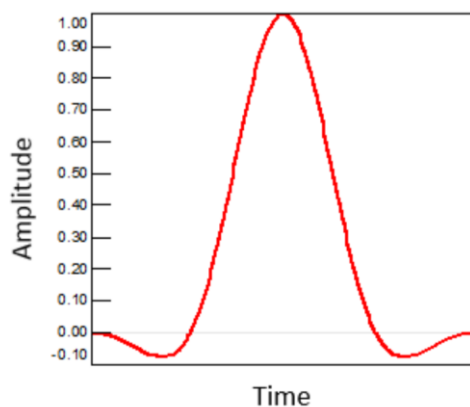


Figura 5.11 Flattop window nel dominio del tempo [32]

L'accuratezza in frequenza della Flattop è minore rispetto alla Hanning; infatti, viene utilizzata tipicamente in presenza di segnali dove i picchi in frequenza sono distinti e ben separati gli uni dagli altri. Quando non è garantito che i picchi in frequenza non siano ben separati è preferibile utilizzare la finestatura di Hanning perché è meno probabile che picchi individuali vengano persi nello spettro [32].

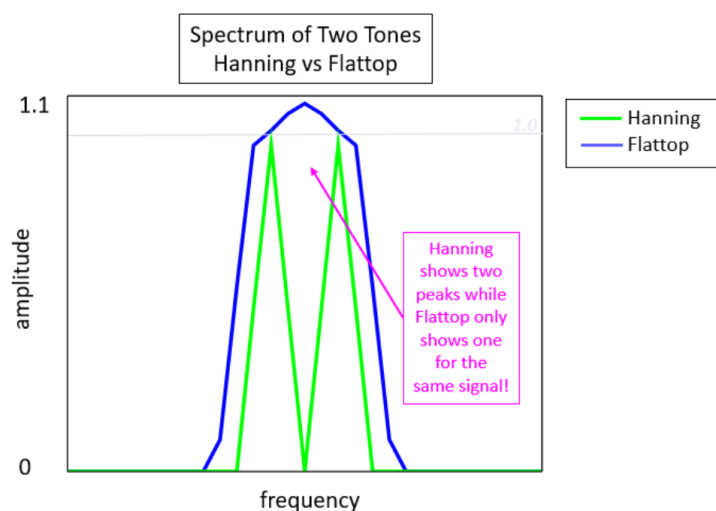


Figura 5.12 Spettro di due segnali a 4 Hz di distanza, finestrato con Hanning (in verde) e Flattop (in blu) [32]

Per tale motivo la Flattop è tipicamente applicata nella calibrazione, dove il suono emesso dal calibratore è ad una singola frequenza, in questo caso a 1000 Hz.

5.2.3. ONLINE PROCESSING

Nella sezione Online Processing vengono selezionate le impostazioni per il processing dei canali. Il canale di riferimento è quello del microfono 6 e viene scelta la finestra di Hanning.

Vengono inoltre selezionate le metriche che saranno poi utili all'analisi di Sound Quality, di cui si discuterà più avanti. Le metriche selezionate sono:

- Loudness ISO 532B – free field
- Sharpness – free field
- Open Articulation Index
- Specific Loudness ISO 532B FF Map

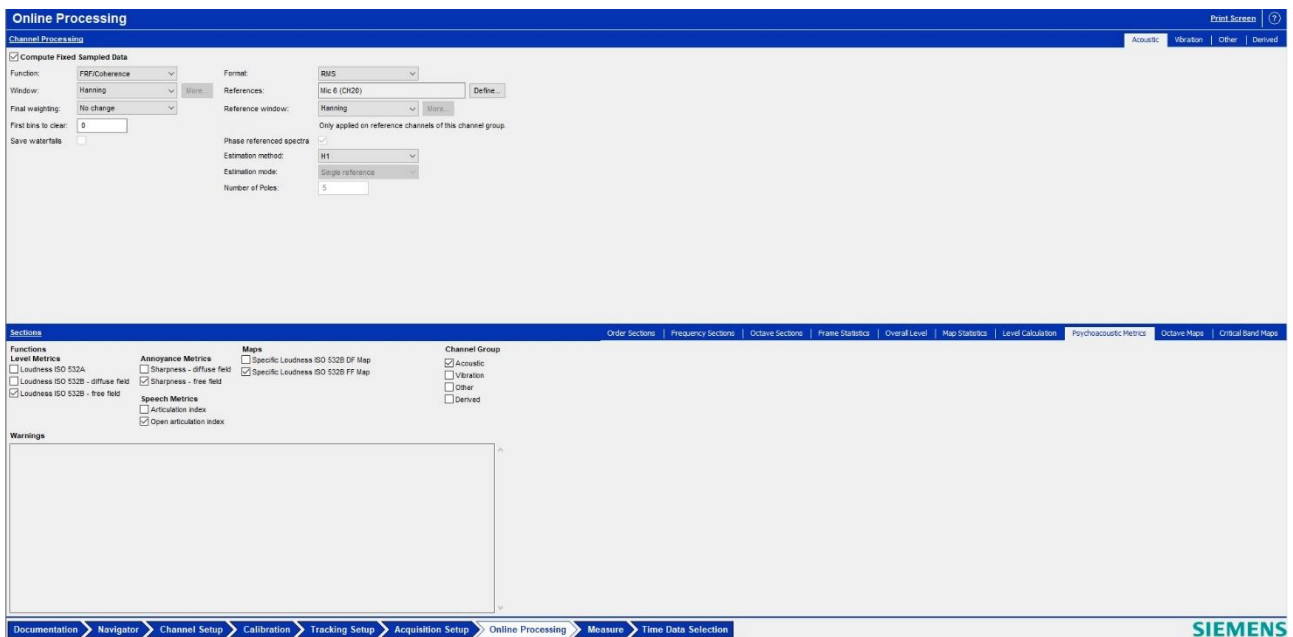


Figura 5.13 Signature Acquisition – Online Processing

5.2.4. MEASURE

Nella sezione Measure è possibile acquisire la misura e monitorare i segnali in real time.

Per eseguire i test operativi viene creata una sola sezione chiamata *Operative V+A* e per ogni test viene creata una nuova Run viene chiamata *config*numero_configurazione* V*numero_velocità**. Per ogni configurazione saranno effettuati 4 test, uno per ogni velocità.

Nella parte destra della finestra è possibile settare i parametri dell'acquisizione che in questo caso sono:

- Acquisition time: 25 s
- Nr or averages: 50
- Overlap: 50%
- Measurement mode: stationary
- Tracking method: free run
- Bandwidth: 20480 Hz
- Freq. lines: 20480
- Resolution: 1 Hz

Per i test operativi la sorgente di rumore è il motore quindi i test devono essere eseguiti tutti con le stesse tempistiche in modo da misurare sempre le stesse condizioni di funzionamento del motore e stabilire una omogeneità nell'acquisizione. È stato deciso di eseguire i test in senso decrescente, dalla velocità 4 alla 1 e attendere circa 5 minuti prima di iniziare ogni acquisizione. Viene nel frattempo tenuta traccia dell'assorbimento del motore e si cerca di avviare tutti i test alle seguenti condizioni di assorbimento:

- 255 W per la velocità 4
- 220 W per la velocità 3
- 176 W per la velocità 2
- 136 W per la velocità 1

Nella parte centrale della finestra sono visibili i grafici aggiornati in real time di:

- Storie temporali degli accelerometri
- Spettro degli accelerometri
- AP degli accelerometri
- Storie temporali dei microfoni
- Spettro dei microfoni
- AP dei microfoni

Di seguito viene mostrato un esempio delle storie temporali dei microfoni alla figura 5.14 e del loro auto-spettro alla figura 5.15.

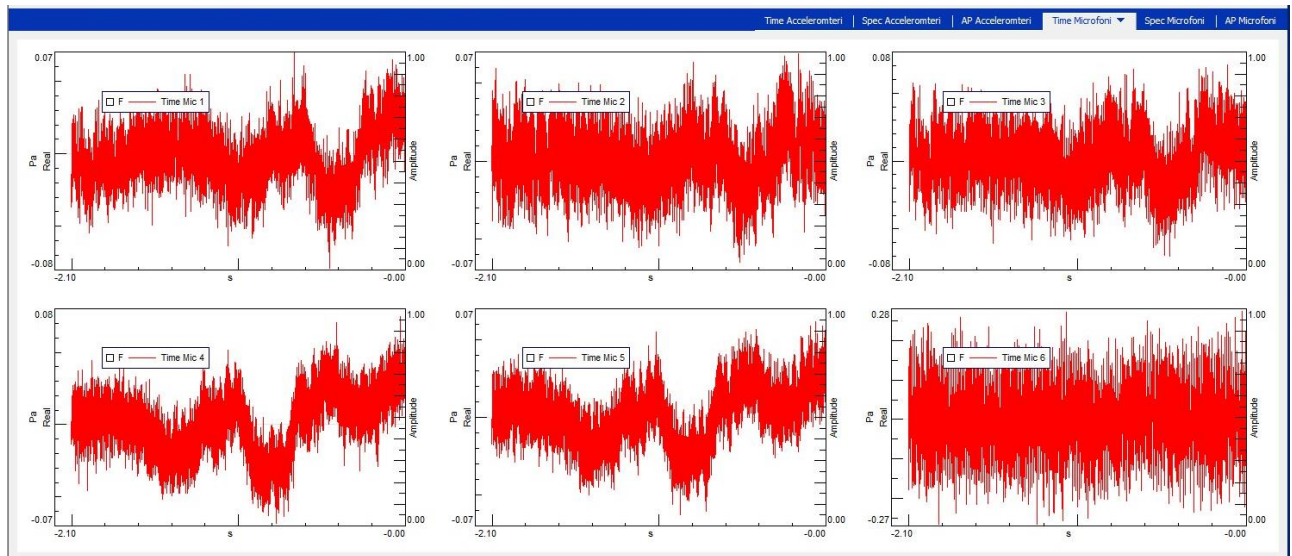


Figura 5.14 Signature Acquisition – Measure: Time microfoni

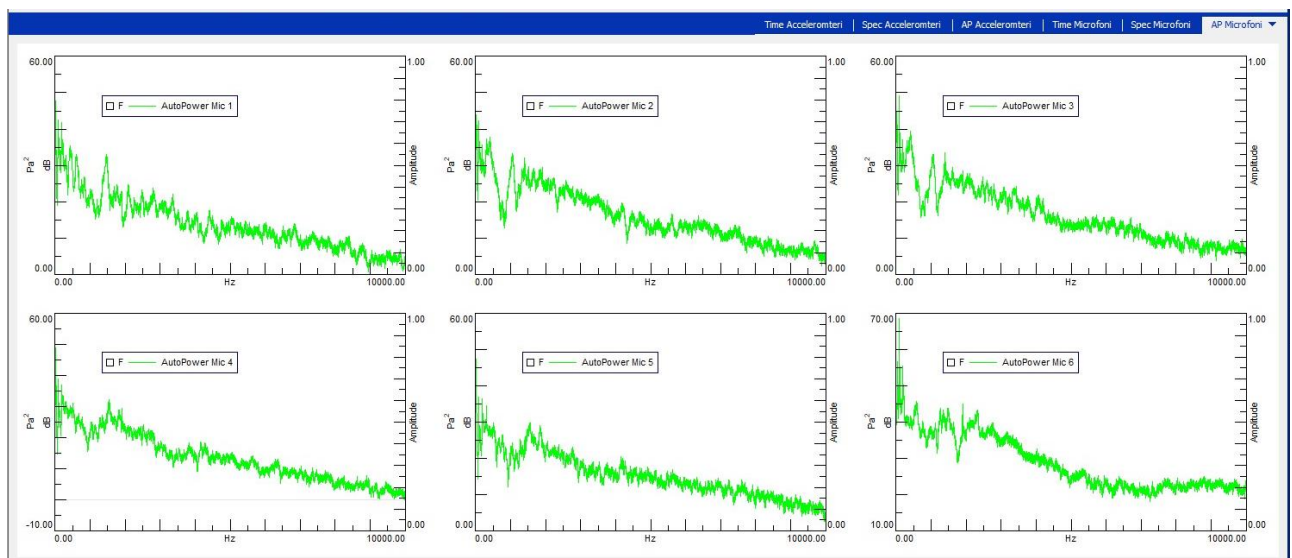


Figura 5.15 Signature Acquisition – Measure: AP microfoni

Per iniziare o fermare l’acquisizione del segnale si può selezionare *Arm/Disarm*. Mentre il Front End è armato non si possono effettuare modifiche di alcun parametro.

Durante l'acquisizione tutti i canali devono essere in assenza di overload e presentarsi in grigio o al massimo in verde. Nella figura sottostante tutti i canali hanno un livello di segnale corretto, a parte uno che si presenta in arancione, e quindi potrebbe essere opportuno ripetere la misura poiché è vicino alla condizione di overload.



Figura 5.16 Signature Acquisition – Measure: check sul Channel Overview

Nel caso di overload la misura non può essere salvata e deve essere ripetuta. La figura sottostante è un esempio con 4 microfoni in overload. Nonostante la cappa sia posta in camera semi-anechoica bisogna comunque evitare rumori legati all'ambiente esterno durante l'acquisizione del test altrimenti viene inficiata l'affidabilità della misura e i canali vanno appunto in saturazione.

Il livello dei canali va monitorato durante tutta l'acquisizione del segnale e se si verificano fenomeni indesiderati si può scegliere di cancellare la Run e ripetere la misura.

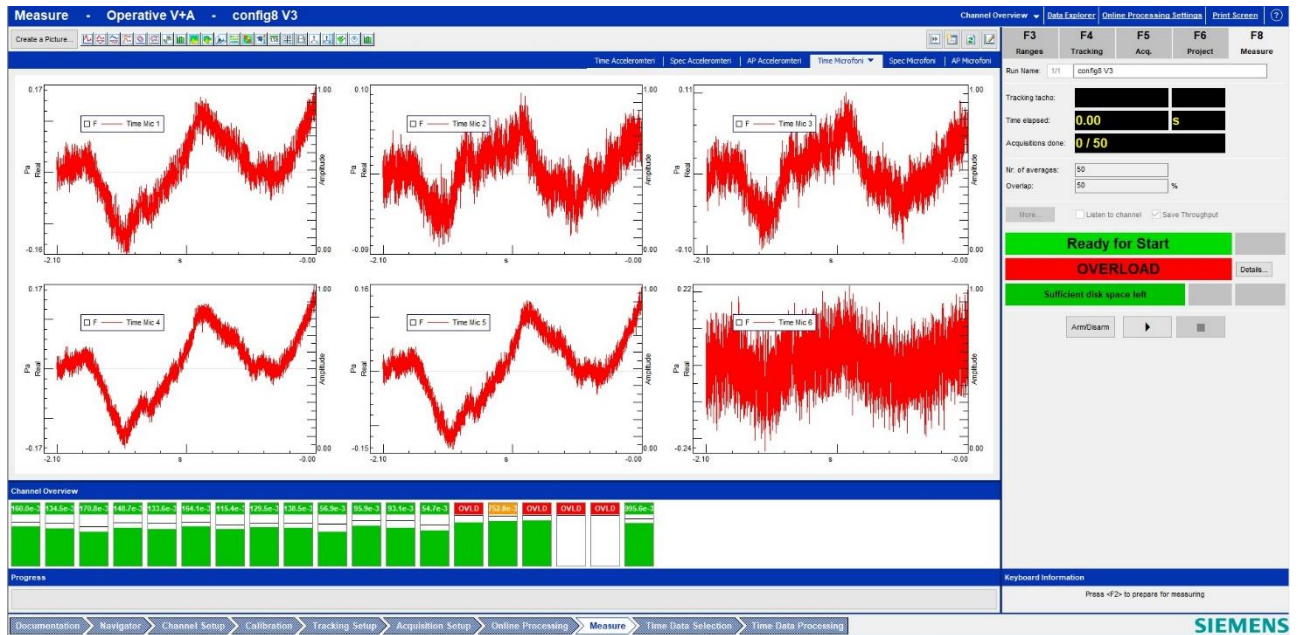


Figura 5.17 Signature Acquisition – Measure: errore di overload

Una volta acquisita la misura essa viene salvata nella sezione Navigator dove possono essere plottati i vari segnali oppure si può scegliere di esportarla in vari formati. In questo caso le misurazioni sono state esportate in formato .mat per il post-processing in ambiente Matlab.

I test operativi sono fondamentali per una valutazione della pressione sonora relativa alla cappa aspirante mentre è in funzione. Di seguito verranno presentate varie soluzioni per l'ottimizzazione del rumore percepito che si focalizzano sul miglioramento sia dell'aspetto acustico che vibrazionale, a volte anche ottenendo benefici per entrambi.

Le analisi effettuate vengono affiancate dall'analisi di Sound Quality. Il post-processing dei segnali risulta essere di fondamentale importanza per valutare quale tra le configurazioni testate abbia portato maggiori benefici a livello vibroacustico. Tuttavia, come in ogni setup di misura, bisogna partire da un buon dataset per ottenere dei validi risultati; quindi l'acquisizione dei segnali in Testlab risulta essere di fondamentale importanza.

5.3. ANALISI DI SOUND QUALITY

Per effettuare le misurazioni di Sound Quality viene utilizzato il modulo Signature Acquisition di Testlab. Per effettuare la misurazione vengono utilizzati gli stessi parametri di acquisizione usati per l'Operative Test e illustrati al paragrafo 5.2.4.

Per il posizionamento dei microfoni viene seguita la norma IEC 60704-2-13 per la quale viene definito un parallelepipedo di misura e una formula per definire le coordinate spaziali dei sei microfoni attorno alla cappa aspirante. Le coordinate rispetto al sistema di riferimento scelto e illustrato al paragrafo 3.3. sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 5 Coordinate punti di posizionamento dei microfoni per Sound Quality

Mic n°	Descrizione	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
1	Mic frontale	114	0	20,25
2	Mic laterale dx	44,75	-84,75	20,25
3	Mic laterale sx	44,75	84,75	20,25
4	Mic angolare dx	114	-84,75	95,5
5	Mic angolare sx	114	84,75	95,5
6	Mic di riferimento	21	0	95,5

Per eseguire l'analisi di Sound Quality devono essere aggiunti i seguenti add-in in Testlab:

- Signature Throughput Processing
- Sound Quality Metrics

Grazie a questi add-in compaiono le sezioni Time Data Selection e Time Data Processing.

I dati di interesse nella sezione Navigator vanno inseriti nell'*Input Basket*. Vengono selezionati i dati relativi alla/e configurazioni di interesse misurate in condizioni operative alla velocità 3, che è quella presa come riferimento.

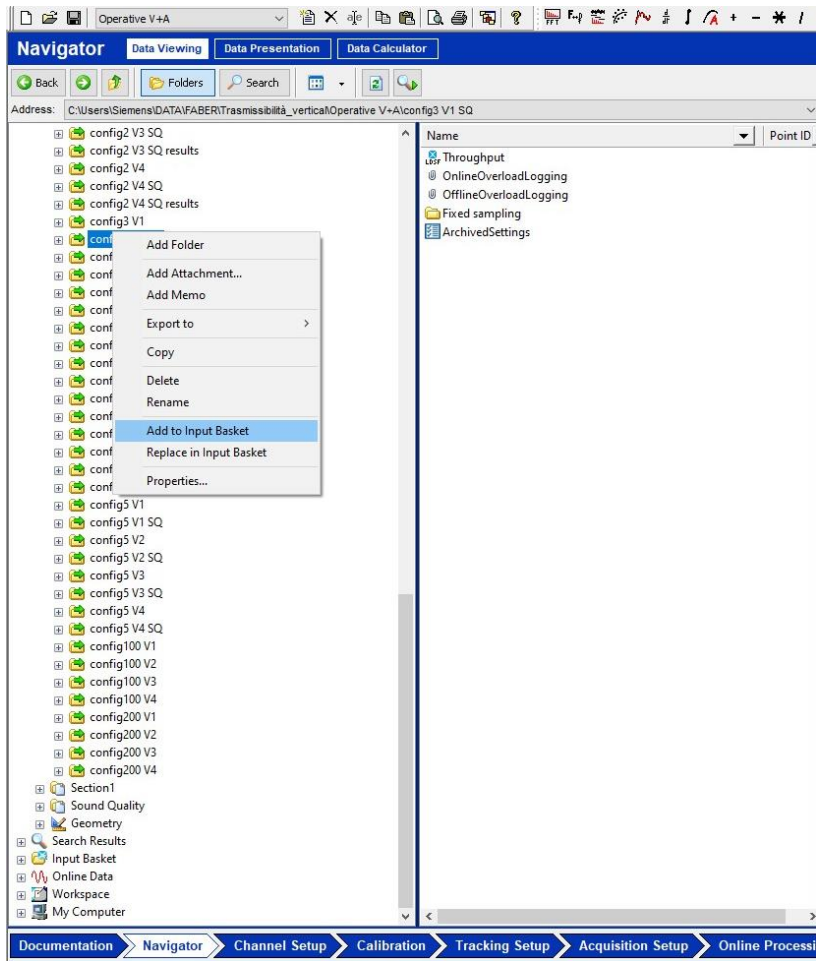


Figura 5.18 Navigator – Add to Input Basket

Nella sezione Time Data Selection, l'Input Basket può essere richiamato selezionando *Input Basket* nel campo *Data Source* ed in seguito *Replace*.

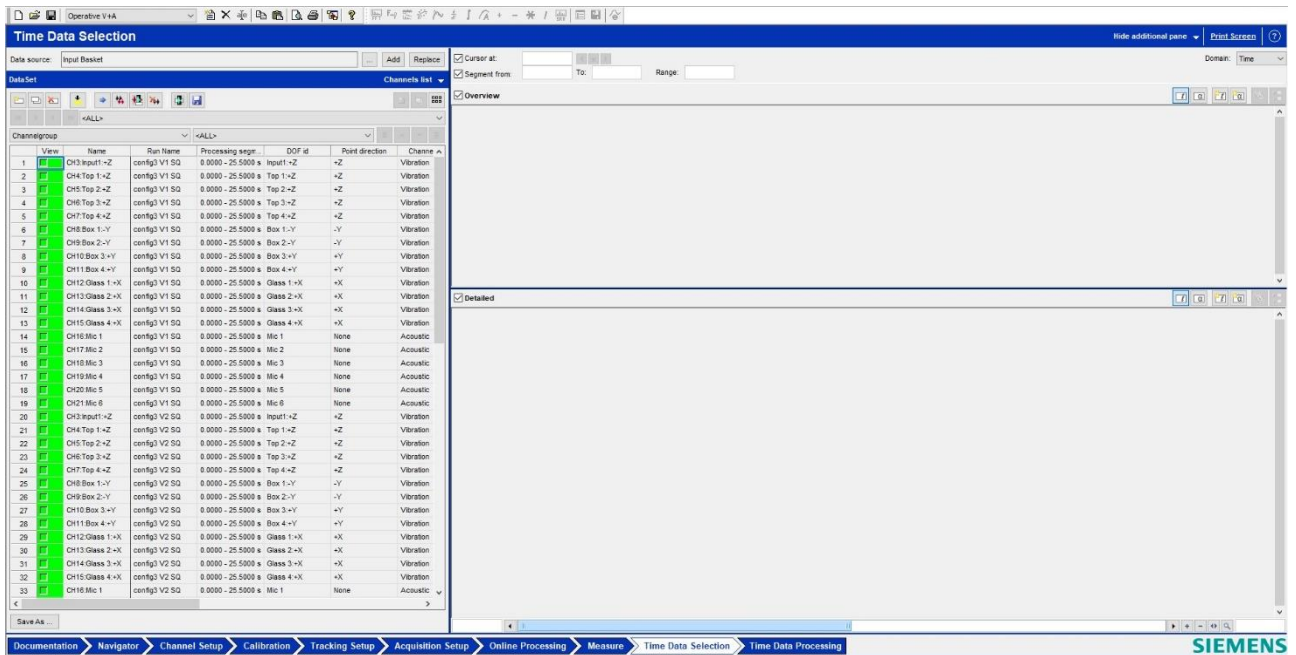


Figura 5.19 Time Data Selection – Data Source: Input Basket – Replace

In seguito nella sezione Time Data Processing ritrovo i dati importati e posso selezionare solo quelli relativi ai Channel Mic, per ogni configurazione (posso elaborare i dati relativi a più configurazioni insieme). La schermata appare come nella figura riportata sotto.

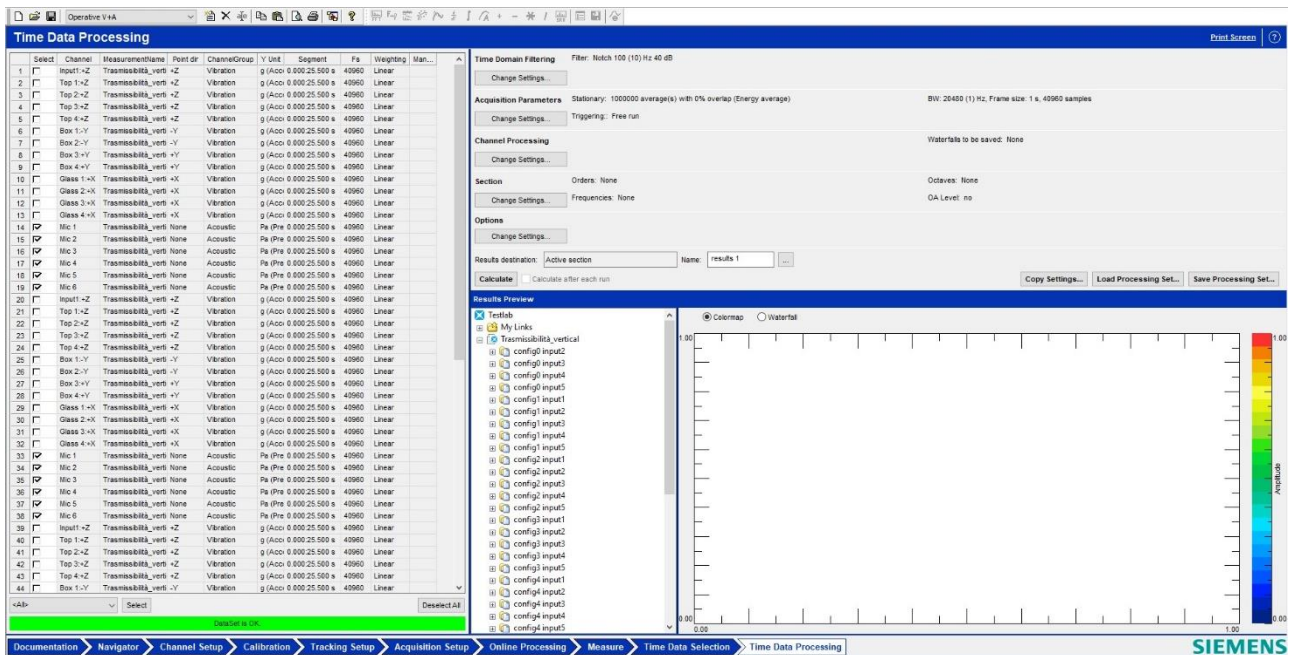


Figura 5.20 Time Data Processing

In questa sezione possono inoltre essere impostati vari parametri di processamento. Per quanto riguarda le impostazioni di *Time Domain Filtering* viene impostato un filtro Notch⁴ a 100 Hz per tagliare la Blade Passing Frequency relativa al funzionamento elettrico del motore della cappa.

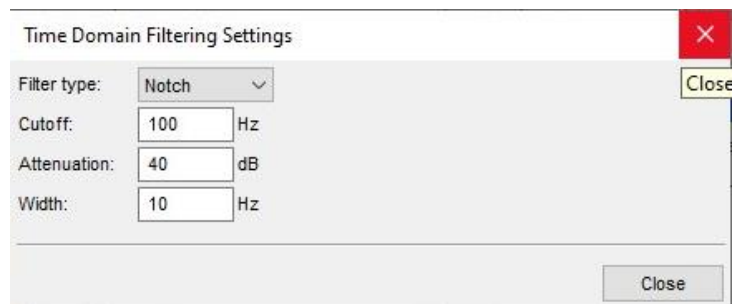


Figura 5.21 Time Data Processing – Time Domain Filtering Settings

Per quanto riguarda i parametri di acquisizione vengono invece impostati come *Measurement Mode* quello *Stationary* con *Method: Free Run* mentre il numero delle medie viene settato a 1000000.

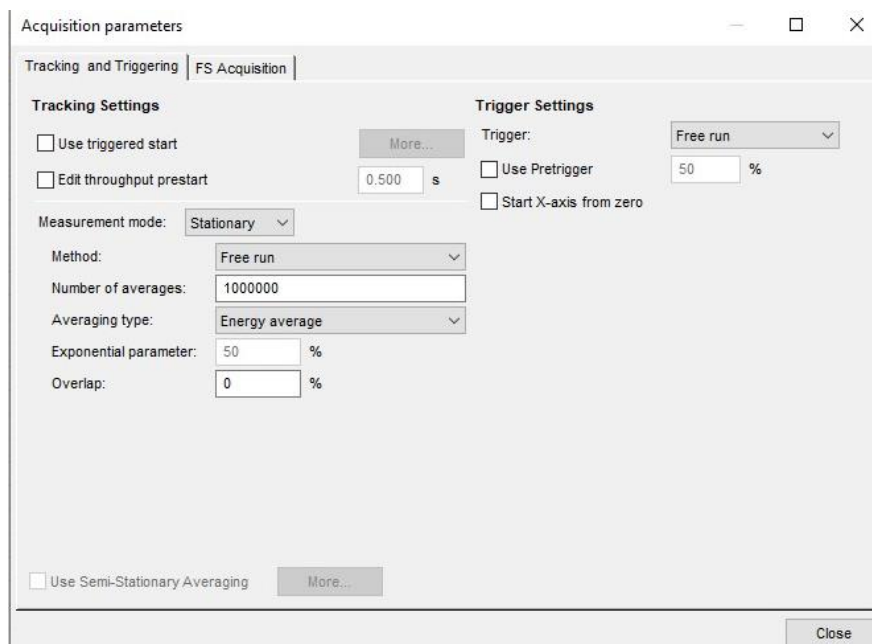


Figura 5.22 Time Data Processing – Acquisition Parameters: Tracking and Triggering

L'acquisizione è a numero di campioni fisso (*Fixed Sampling*) ed il numero di campioni viene settato come nella figura sotto riportata.

⁴ Il filtro elimina banda o filtro Notch non permette il passaggio di frequenze in un dato intervallo [33], definito dai parametri di: width (ampiezza dell'intervallo) e cutoff (centro dell'intervallo). Il parametro di Attenuation definisce il livello di attenuazione che il filtro introduce, è generalmente espresso in dB.

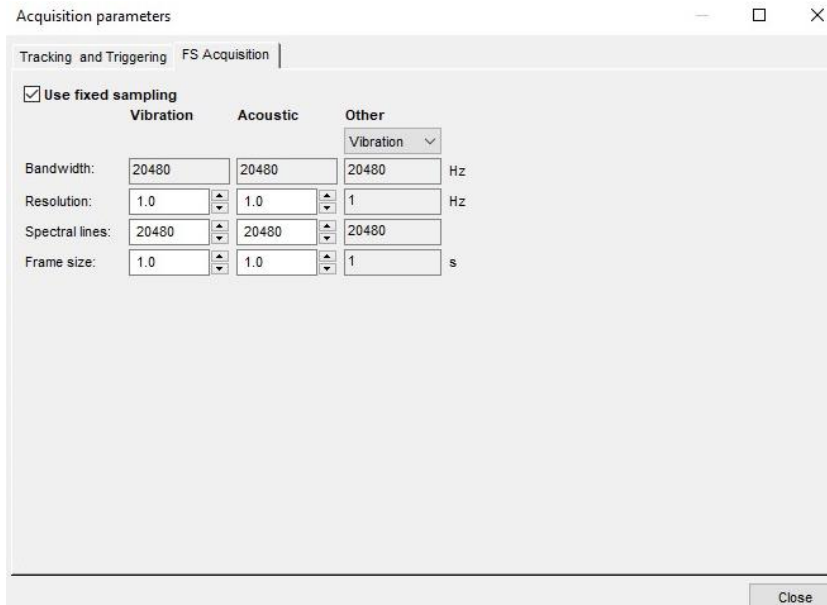


Figura 5.23 Time Data Processing – Acquisition Parameters: FS Acquisition

Nella Section Settings possono invece essere selezionate le Metriche per il calcolo della Sound Quality che nel caso in esame sono:

- Psychoacoustic Metrics
 - Loudness ISO 532B – free field
 - Sharpness – free field
 - Open Articulation Index
 - Specific Loudness ISO 532B FF Map
- Modulation Metrics: Roughness

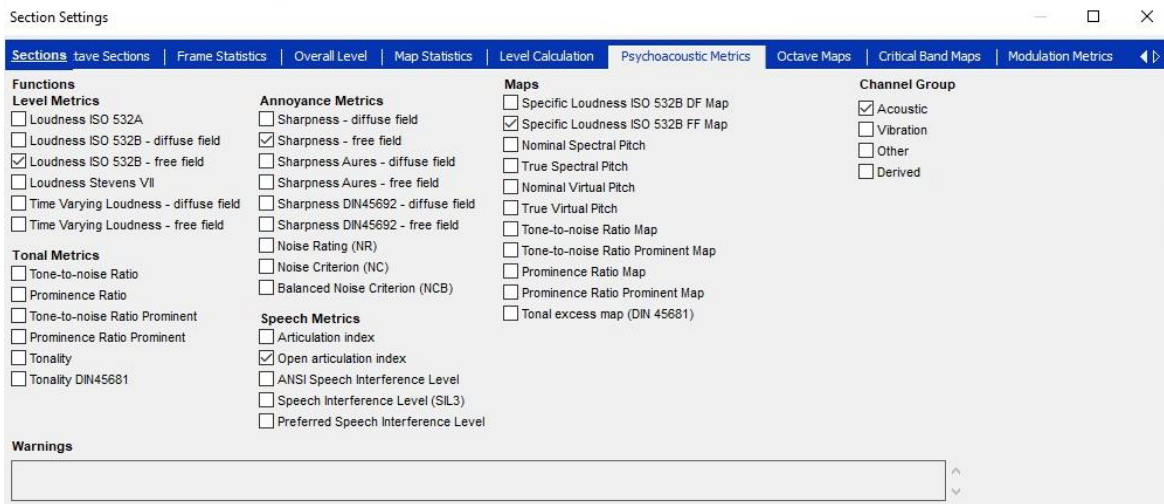


Figura 5.24 Time Data Processing – Section Settings: Psychoacoustic Metrics

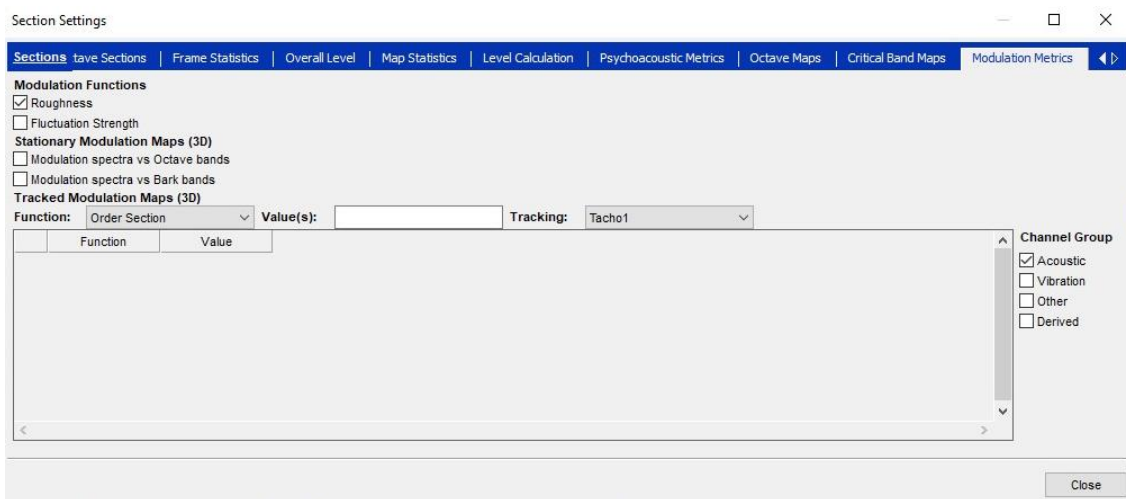


Figura 5.25 Time Data Processing – Section Settings: Modulation Metrics

Una volta settati questi parametri è possibile proseguire definendo un nuovo nome per la Run che conterrà i dati di Sound Quality processati. Cliccando su *Calculate* verrà avviata la procedura.

Una volta concluso il processamento, i dati elaborati si trovano sempre nella sezione Navigator e possono essere esportati in formato Matlab per essere elaborati nel modello di Sound Quality definito.

Il codice Matlab utilizzato per implementare un modello di Sound Quality che comprendesse le metriche prima descritte è riportato in Appendice 3.

I risultati verranno quindi analizzati andando a confrontare le varie configurazioni sulle metriche quali Open Articulation Index, Loudness, Sharpness, Roughness le quali verranno raccolte in un indice complessivo denominato SPI ovvero Subjective Preference Index. Al paragrafo 6.2 sono riportati i risultati di Sound Quality.

6. ANALISI DEI RISULTATI

Di seguito vengono riportati i risultati dei test eseguiti per il setup di misura precedentemente descritto. Si passa prima all'analisi dei risultati per la vibroacustica relativa alle soluzioni di ottimizzazione del rumore ed in seguito all'analisi dei risultati di Sound Quality.

6.1. SOLUZIONI DI OTTIMIZZAZIONE DEL RUMORE

Di seguito vengono riportati i risultati per ogni configurazione analizzata, dapprima ottenuti dall'Impact Test ed in seguito dall'Operative Test.

6.1.1. CONFIGURAZIONE 0

Per la configurazione di riferimento, ovvero la configurazione 0, i risultati sono riportati in questo paragrafo. Per quanto riguarda l'Impact Test come descritto in precedenza sono state effettuate cinque misurazioni cambiando la posizione dell'impatto con il matello strumentato nei punti denominati Input 1-5 (vedi figura 5.4). Ad ogni impatto è stato anche spostato l'accelerometro di riferimento ovvero quello denominato Input 1 e collegato al canale 2 dello SCADAS, per posizionarlo in prossimità del punto dove viene impartito il colpo.

I risultati ottenuti martellando sull'Input 1 non sono soddisfacenti in quanto, dato il suo posizionamento in una zona cedevole della cappa, non è possibile ottenere una forzante impulsiva nonché quindi un alto livello di coerenza. Per questo motivo gli input analizzati sono dal 2 al 5 posizionati in queste zone della cappa:

- Input 2: Top;
- Input 3: Glass;
- Input 4: Box R;
- Input 5: Box L.

Per l'Hammer Test (o Impact Testing) viene presa in analisi la FRF nel range 30-300 Hz, range scelto poiché la vibrazione della struttura è più impattante in bassa frequenza. La Frequency Response Function viene calcolata tra lo spettro degli accelerometri e quello del martello strumentato.

Il grafico FRF Box/Top/Glass valuta la Transfer FRF media tra gli accelerometri posizionati sul Box/Top/Glass rispetto al martello strumentato quando l'accelerometro di riferimento è collocato in Input 2-5. Il grafico FRF Input Vib valuta invece l'FRF media del Driving Point (Direct FRF) ovvero la risposta dell'accelerometro di riferimento (posizionato rispettivamente in Input 2-5) rispetto al martello strumentato.

Da notare come gli Input 4 e 5 che sono quelli posizionati ai lati del box siano molto simili, data la simmetria della struttura. I grafici riportati di seguito sono ottenuti in post-processing elaborando i dati esportati da Testlab. Lo script Matlab utilizzato è riportato in Appendice 1.

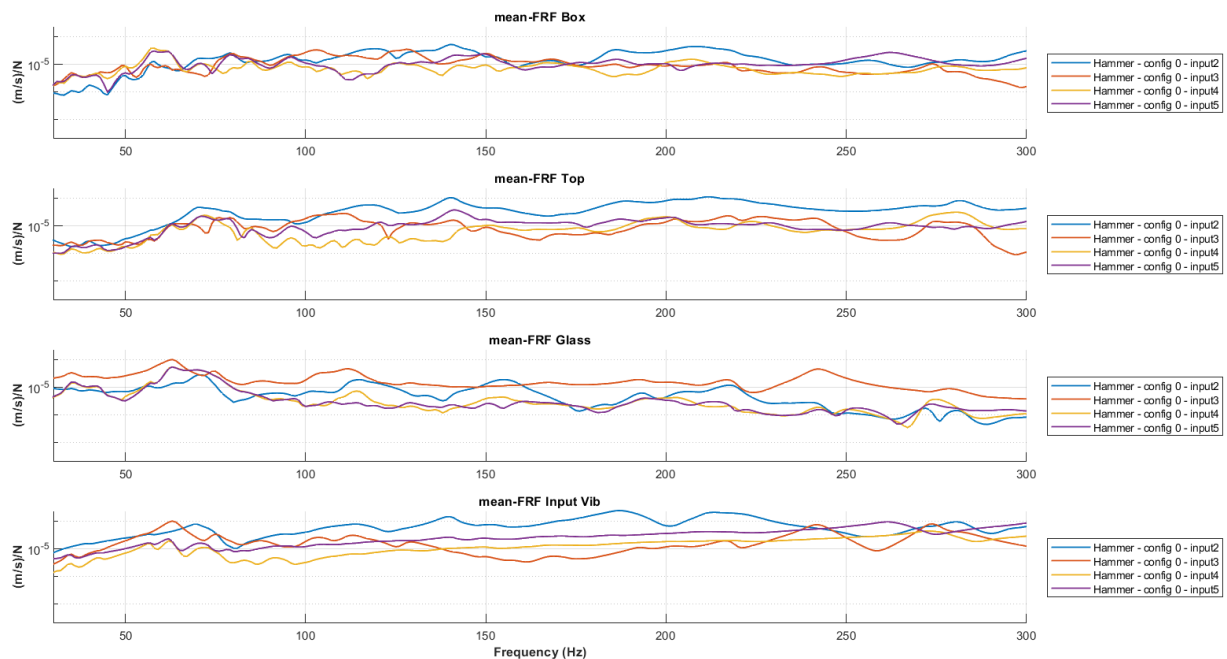


Figura 6.1 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0

Per quanto riguarda il test operativo la cappa è stata testata alle quattro velocità, data la tre come velocità di riferimento e la quattro come velocità boost. In questo caso vengono analizzati, tra i risultati ottenuti, gli auto-spettri dei microfoni considerando il range 400-4000 Hz. Come visibile dal grafico sottostante l'andamento dei microfoni risulta essere conforme con l'aumento delle velocità, infatti si ha un progressivo aumento del livello del segnale. Sono visibili dei picchi relativi alle frequenze di risonanza a 1409 Hz o 1849 Hz.

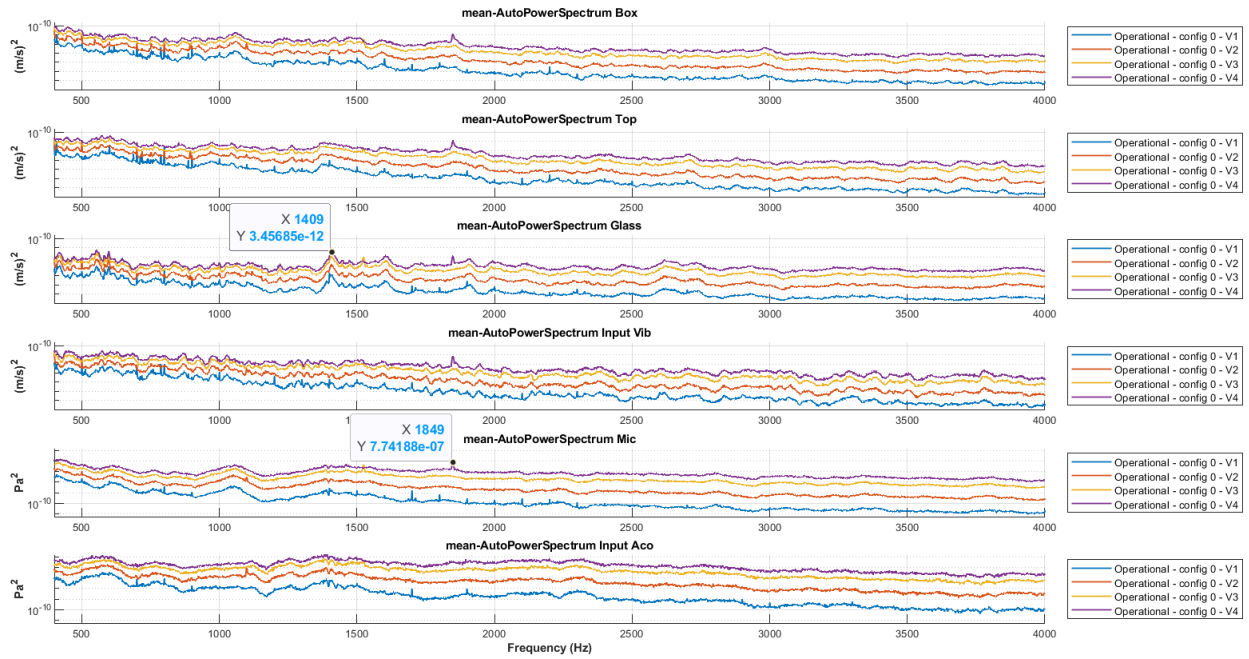


Figura 6.2 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0

Analizzando gli auto-spettri e calcolandone un valore di overall, in modalità comparativa rispetto alla velocità uno, è visibile come per l'auto-spettro dei microfoni (quinto barplot) tra le velocità 1 e 2 vi siano 8 dB di differenza in pressione sonora mentre si ha un aumento di 5 dB rispetto alle velocità superiori. L'ultimo barplot è riferito all'auto-spettro dell'Input Aco ovvero del microfono di riferimento che per i test eseguiti è il microfono 6 collegato al canale 20 dello SCADAS. Poiché il posizionamento del microfono 6 non è esattamente accurato, come vedremo in seguito esso non viene considerato nell'analisi comparativa delle configurazioni ma si prendono in esame la media dei segnali tra gli altri microfoni.

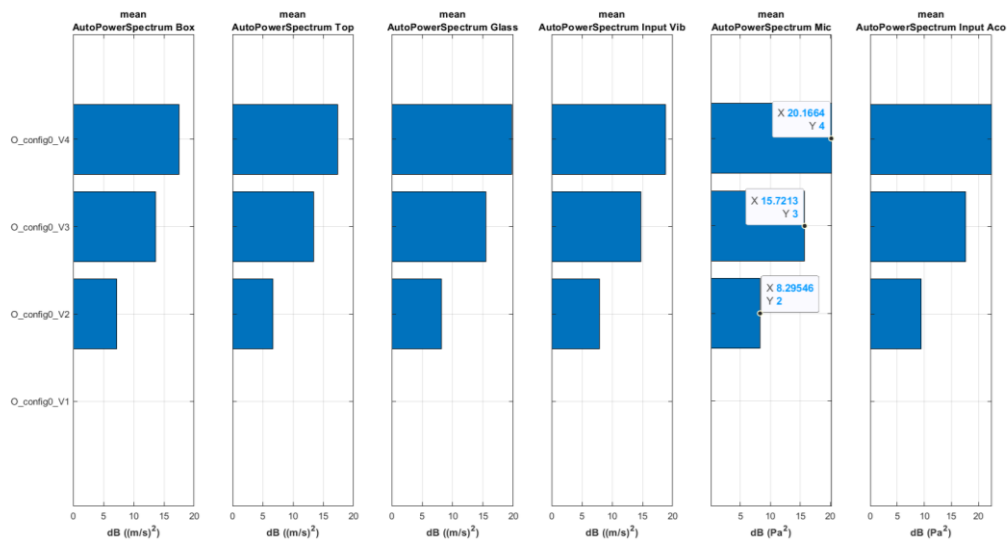


Figura 6.3 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0

6.1.2. ANALISI DI RIPRODUCIBILITÀ: CONFIGURAZIONI 1, 100, 200, 300

Come illustrato in precedenza, è stata effettuata una analisi di riproducibilità, confrontando le configurazioni as is della cappa al fine di valutare l'influenza del montaggio/smontaggio sui risultati. L'analisi di riproducibilità⁵ valuta se e in quale misura i risultati (di un esperimento o misurazione) possono essere riprodotti in un momento temporale successivo utilizzando similari procedure e strumentazione [1].

Di seguito viene mostrato un confronto tra la configurazione 0, 1, 100, 200 e 300. Per le configurazioni di riferimento successive alla 0 non verrà analizzato l'Impact Test ma esclusivamente il test in condizioni operative alla velocità di riferimento ovvero la tre.

Nell'Operative Test, analizzando i grafici relativi all'Autopower Spectrum nel range 400-4000 Hz, è visibile uno scostamento della Blade Passing Frequency a 1500 Hz a causa della variazione del posizionamento tra i sensori e delle condizioni di vincolo tra un test e l'altro. Anche l'Input Aco (microfono 6 preso a riferimento) non è coerente a causa della variazione del posizionamento del microfono. Di seguito i risultati dell'auto-spettro medio dei segnali considerando solo la velocità tre.

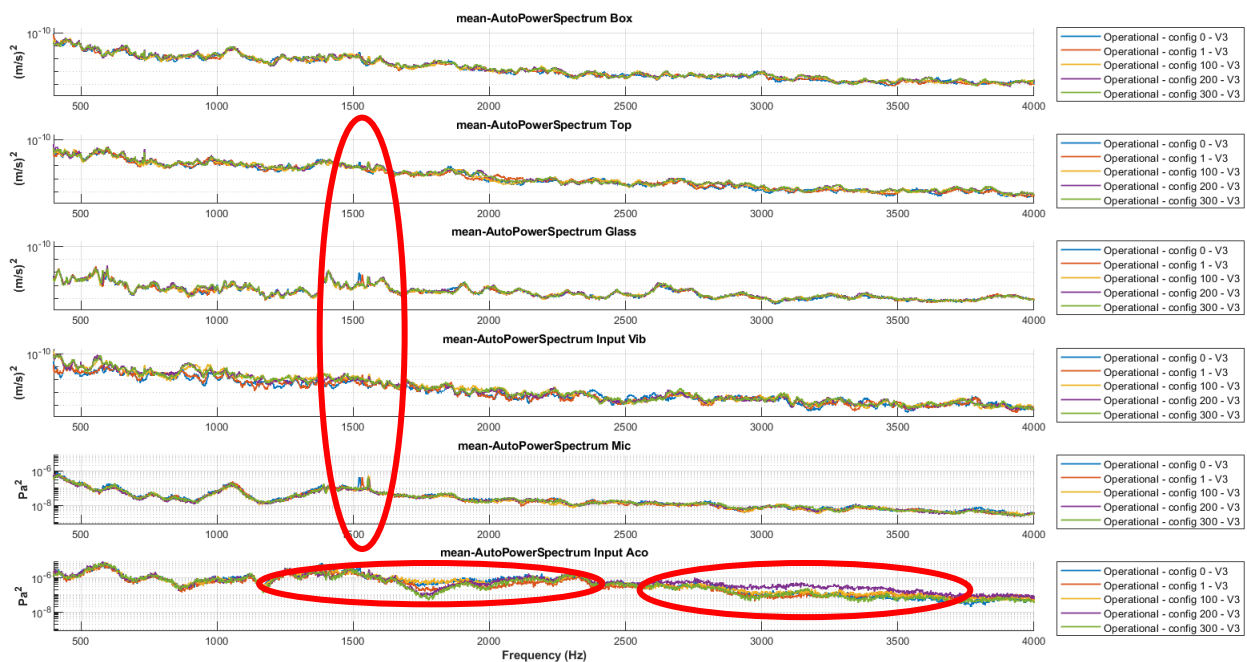


Figura 6.4 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config1, config100, config200, config300

⁵ L'analisi di riproducibilità è da distinguersi con l'analisi di ripetibilità. L'analisi di ripetibilità valuta infatti se e in quale misura una quantità può avere lo stesso valore, misurata in una seguente acquisizione, ma usando esattamente lo stesso processo [1].

Considerando i grafici di overall, ed in particolare l'auto-spettro medio sui microfoni, vi è una variazione relativa di massimo 0,7 dB in pressione sonora tra le varie configurazioni. Considerando tutte le configurazioni di riferimento, lo scostamento rispetto la configurazione 0 è in media di circa 0,6 dB. Tale valore sarà quindi considerato approssimativamente come l'incertezza di misura. L'auto-spettro Input Aco non verrà preso in considerazione a causa della variabilità del posizionamento di tale microfono tra i vari test effettuati.

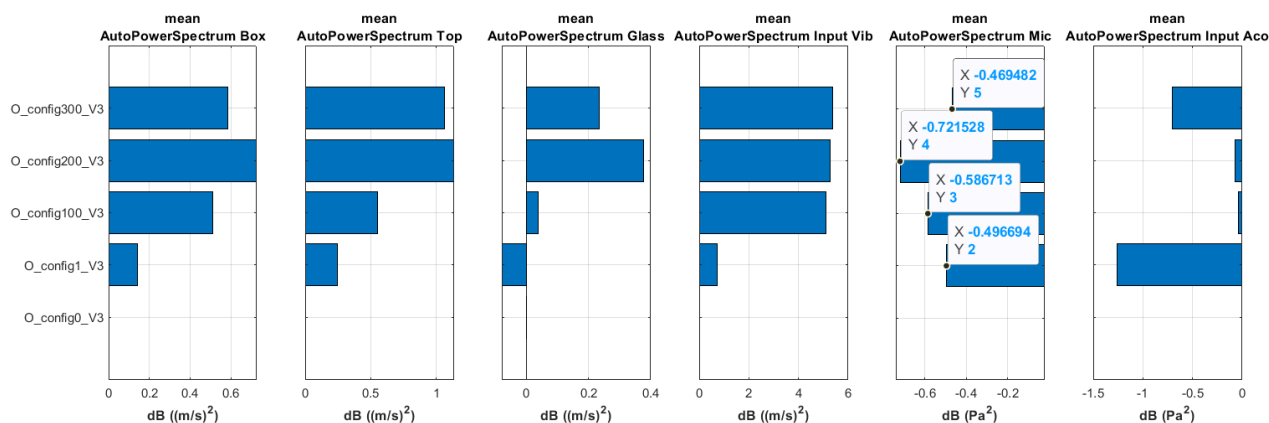


Figura 6.5 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config1, config100, config200, config300

L'analisi di riproducibilità permette di concludere che i risultati tra i test effettuati sono da considerarsi attendibili in quanto, a seguito dello smontaggio/montaggio della cappa di aspirazione, gli scostamenti dei segnali registrati sono contenuti. Di seguito vengono analizzate in dettaglio le singole configurazioni.

6.1.3. CONFIGURAZIONE 2

La configurazione 2 presenta una modifica sulla configurazione di riferimento ovvero, al fine di abbattere il rumore percepito, vengono posizionati dei pannelli in melamina di spessore 2 cm all'interno dei lati della scocca della cappa (Box L e R).

Vengono quindi analizzati i risultati relativi sia all'Impact Test che al Test Operativo confrontando la 2 con la configurazione 0 di riferimento. Di seguito sono riportate le FRF dell'Hammer Test nel range 30-300 Hz, confrontando singolarmente i test Input2-Input5. Di seguito il grafico relativo all'Input 2 sul Top.

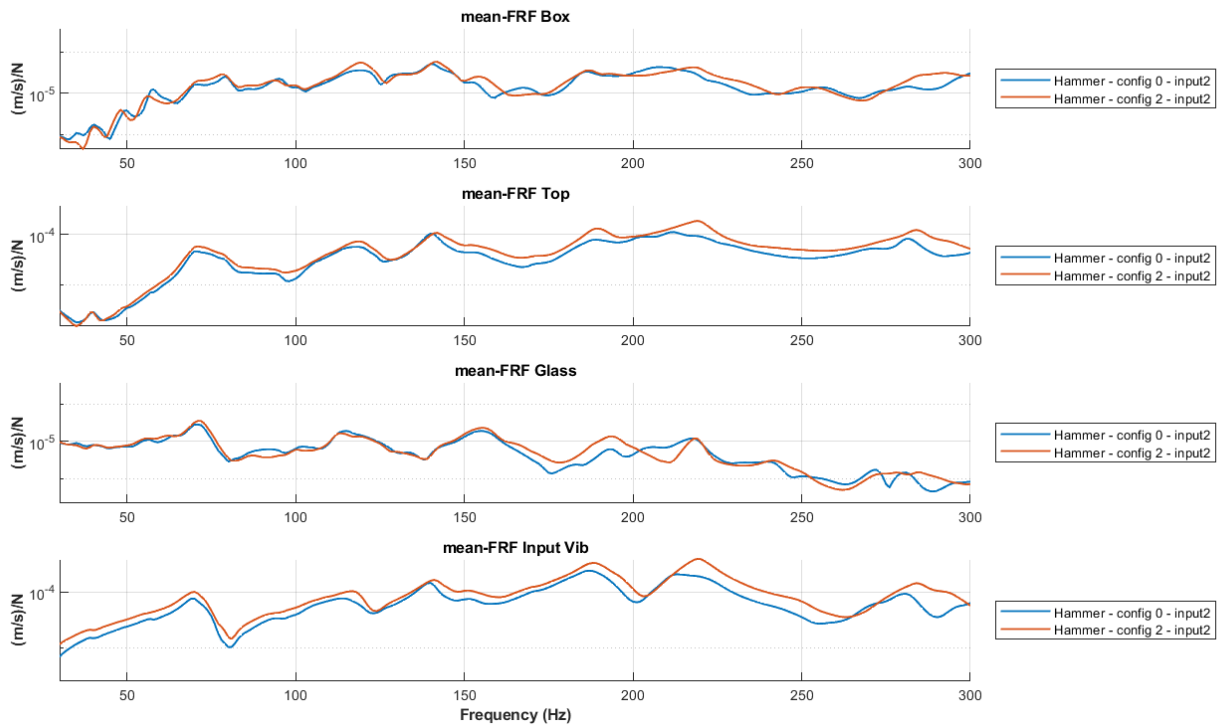


Figura 6.6 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2 – Input2

Per quanto riguarda l'Input 3 sul Glass l'FRF è molto analoga alla configurazione di riferimento, data l'elevata rigidità del materiale.

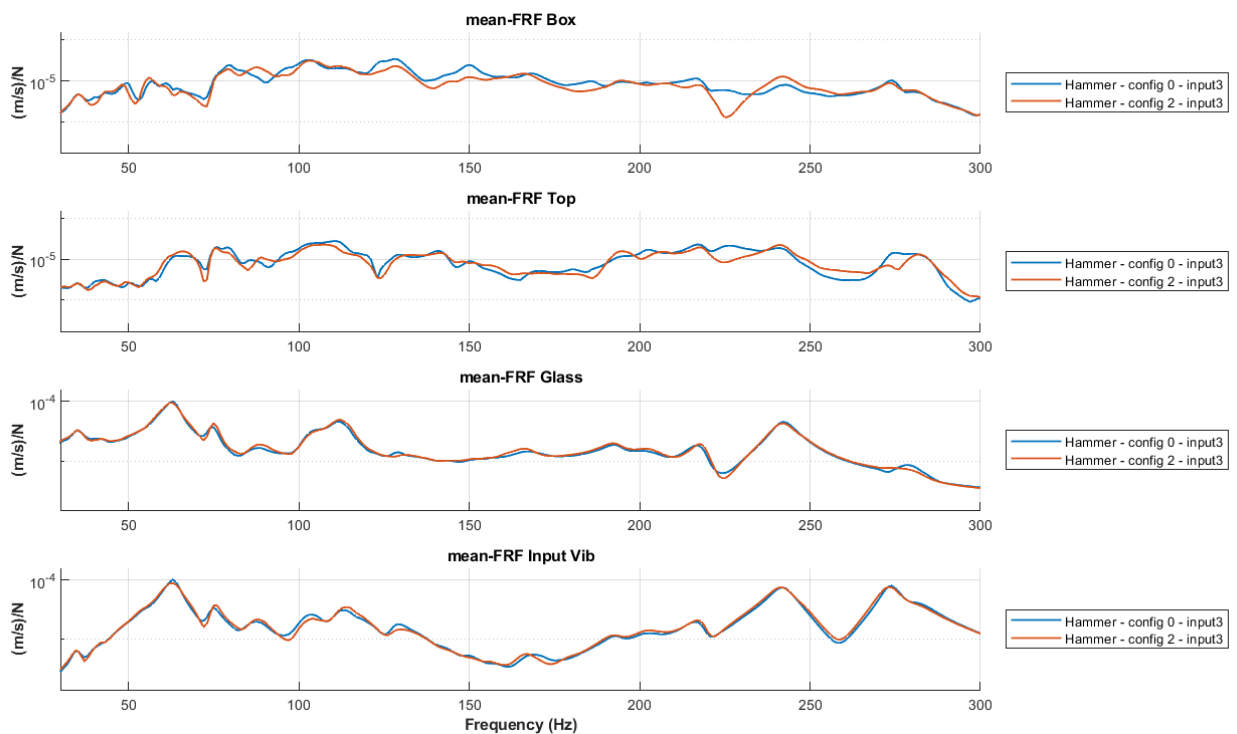


Figura 6.7 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2 – Input3

Per quanto riguarda l'Input 4 (Box R) è possibile rilevare una attenuazione della vibrazione nel range 50-150 Hz e 150-200 Hz sul Box e nel range 70-150 Hz sul Top.

Nonostante l'applicazione della melamina sia stata pensata per ridurre l'impatto acustico è evidente come ci siano dei miglioramenti anche per le vibrazioni. I valori dell'FRF del Glass sono quasi analoghi alla configurazione 0.

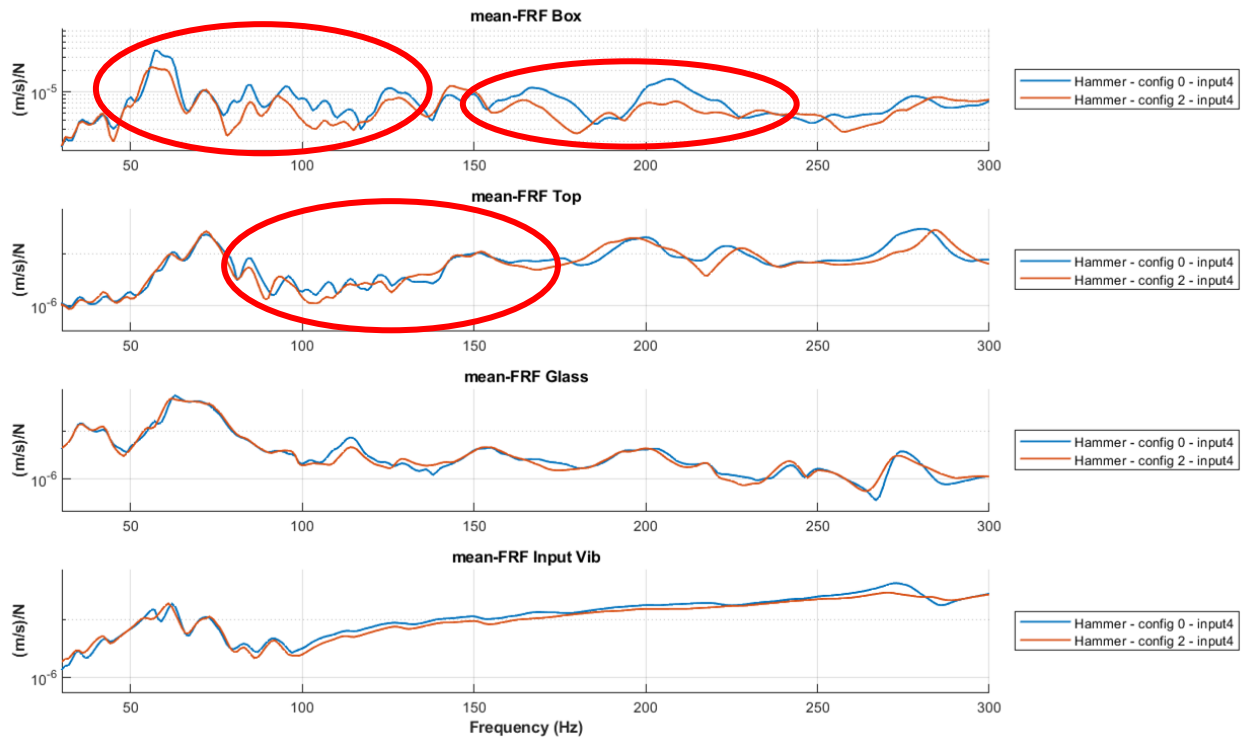


Figura 6.8 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2 – Input4

Anche per l'Input 5 collocato sul Box L è presente una attenuazione della vibrazione sia sul Box che sul Top mentre il Glass è quasi analogo alla configurazione 0.

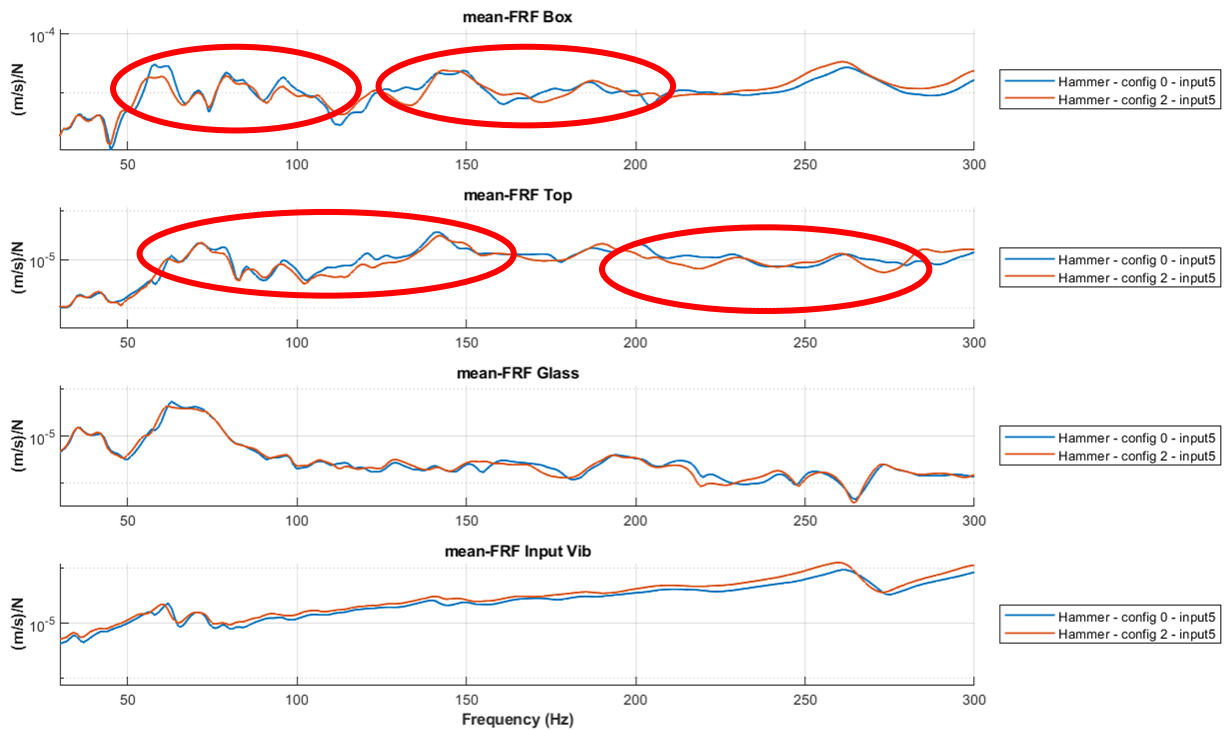


Figura 6.9 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2 – Input5

Viene inoltre considerata la variazione relativa del valore di overall delle FRF per ogni Input, rispetto alla configurazione 0, riportato nell'istogramma di seguito.

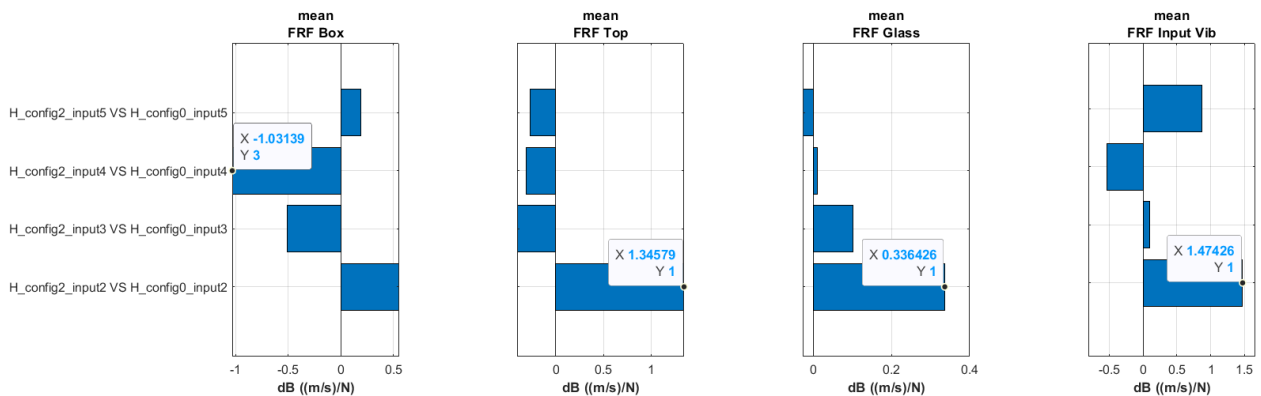


Figura 6.10 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config2

Di seguito vengono invece riportati i risultati dell'Hammer Test plottati su una geometria semplificata della cappa. In questo modo risulta maggiormente visibile come, per tutti gli Input, il Glass sia la componente della scocca che vibri in minor quantità. Per quanto riguarda l'Input 4

si rilevano valori inferiori rispetto all'Input 5 ma la struttura risulta comunque essere bilanciata tra la parte sinistra e destra, come visibile in figura. La freccia rossa rappresenta il punto in cui viene impartito il colpo con il martello strumentato (e dove viene collocato l'accelerometro di riferimento) mentre quelle blu rappresentano i restanti accelerometri con cui è stata sensorizzata la cappa. Per la rappresentazione spaziale della cappa è stata ricostruita una geometria semplificata e ad ogni accelerometro è stata assegnata una patch, relativa all'area circostante al sensore.

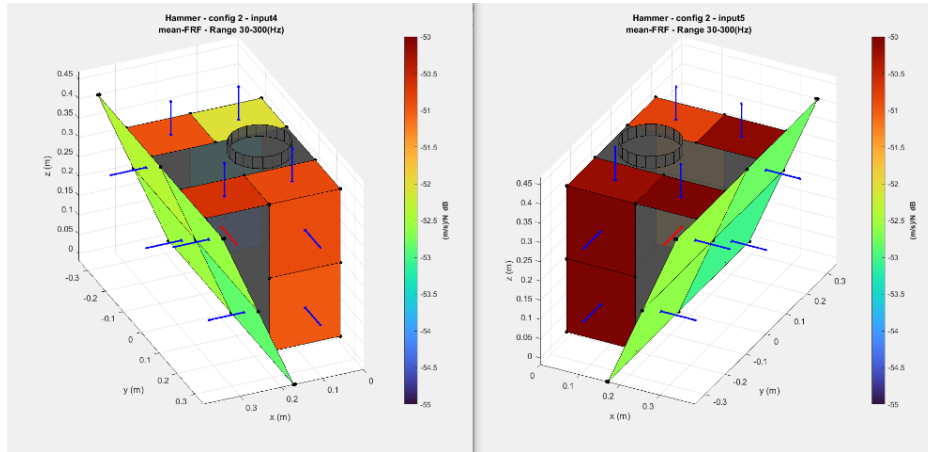


Figura 6.11 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config2 – Input4, Input5

Per quanto riguarda il test in condizioni operative, i risultati evidenziano chiaramente che l'aggiunta dei pannelli in melamina contribuisce all'abbattimento del rumore percepito. Per quanto riguarda l'auto-spettro medio dei microfoni nei grafici sotto riportati è evidente come la configurazione 2 abbia dei valori inferiori rispetto alla 0 su tutto il range in frequenza preso in analisi ovvero 400-4000 Hz.



Figura 6.12 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2

Per quanto riguarda i valori di overall sull'auto-spettro medio dei microfoni rispetto alla configurazione 0 vi è un abbassamento di 3,4 dB.

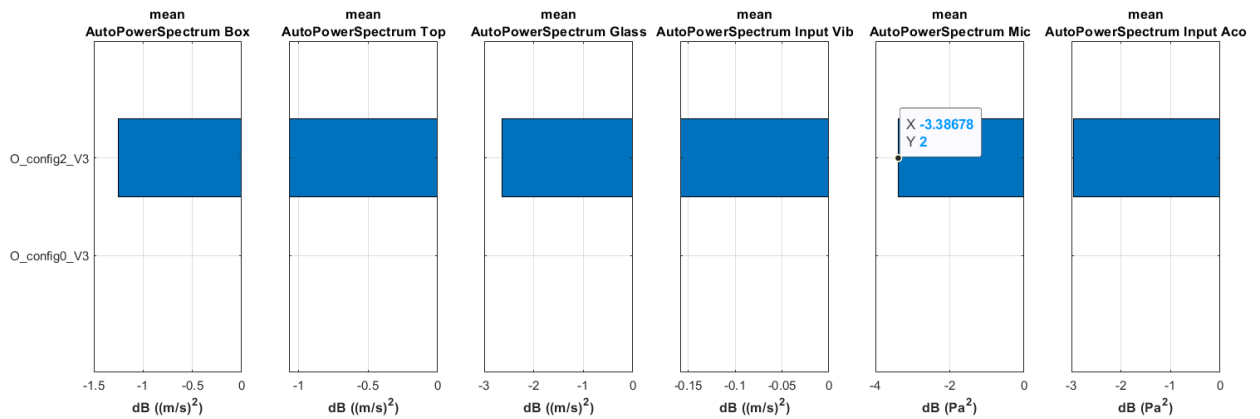


Figura 6.13 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2

Di seguito vengono messi a confronto i valori degli auto-spettri sui microfoni plottati sulla geometria della cappa, evidenziando la configurazione spaziale dei microfoni grazie a delle sfere. Come visibile, considerando la colorbar riportata a fianco, i valori di pressione sonora relativi alla configurazione 2 sono tutti inferiori rispetto alla configurazione 0, in particolare per i microfoni laterali.

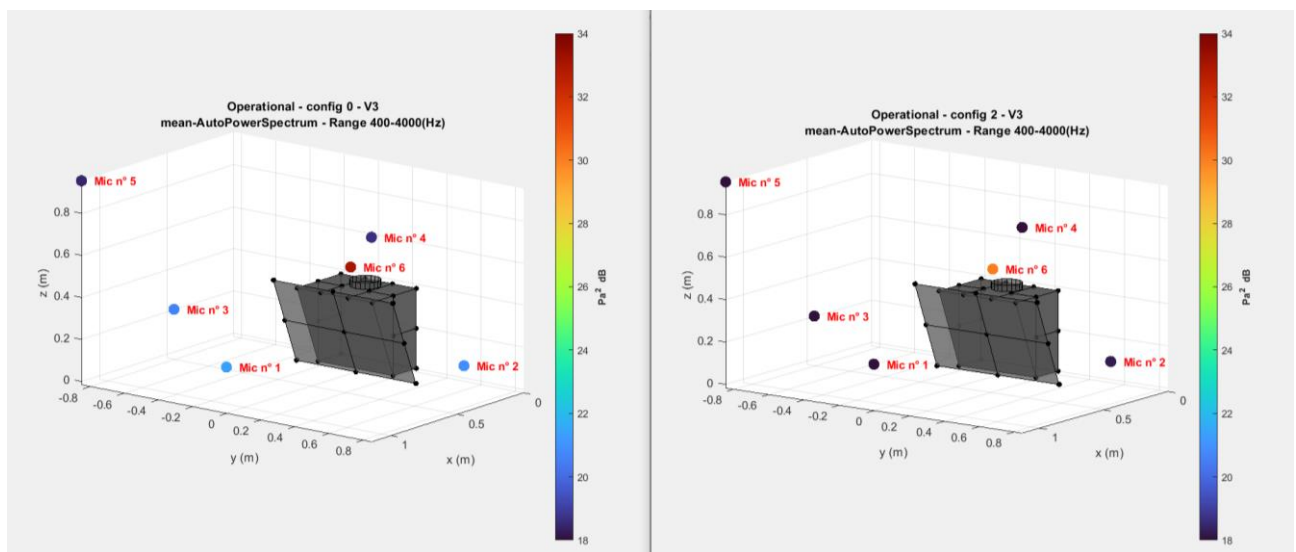


Figura 6.14 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config2

6.1.4. CONFIGURAZIONE 3

Per quanto riguarda la configurazione 3 vengono applicati dei pannelli in melamina da 2 cm all'interno del pannello superiore della scocca denominato Top. Anche in questo caso, come per la configurazione 2, la soluzione proposta è stata pensata per ottimizzare più il problema acustico che quello vibrazionale. Tuttavia, viene effettuato anche l'Impact Testing per un'analisi globale del problema.

Di seguito sono riportate le FRF nel range 30-300 Hz che mettono a confronto la configurazione 3 con la 0, analizzando singolarmente ogni Input; a partire dall'Input 2 sul Top.

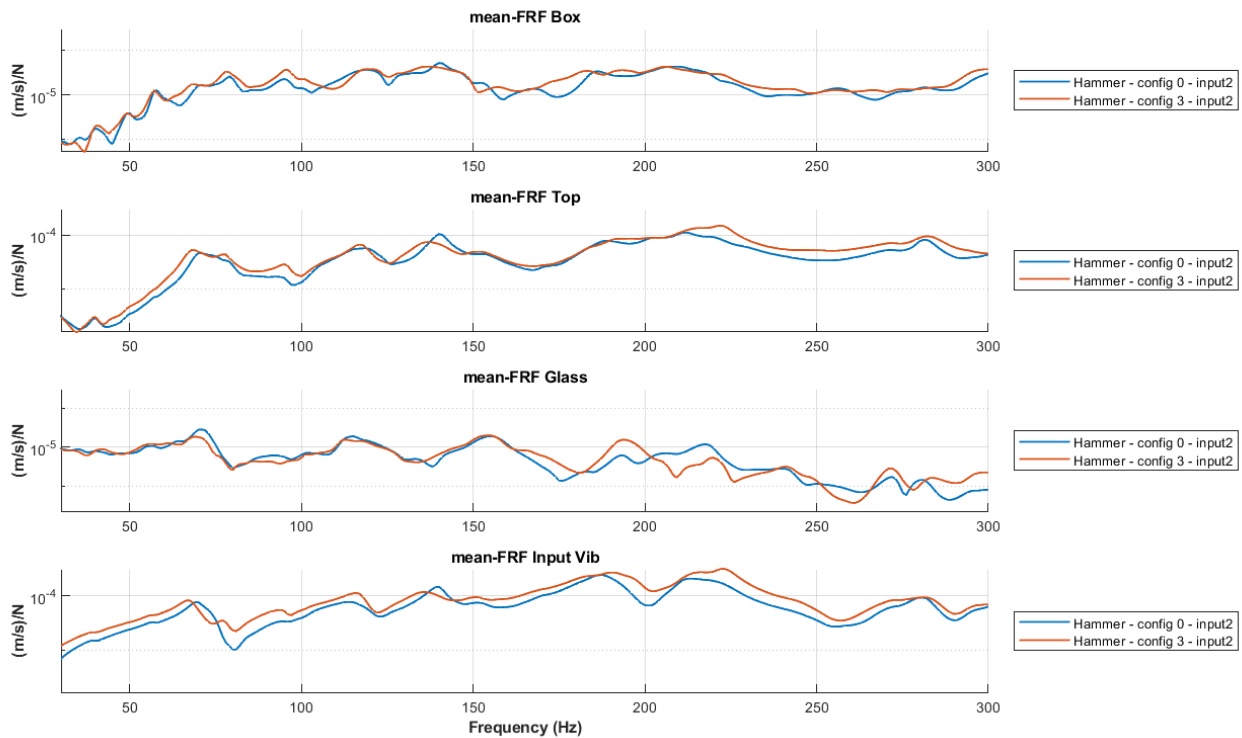


Figura 6.15 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3 – Input2

Per quanto riguarda l'Input 3 posizionato sul Glass si ha un miglioramento dell'FRF relativa agli accelerometri sul Box. Una possibile causa potrebbe essere che i pannelli in melamina irrigidiscono la struttura ai lati perché a contatto in qualche punto risultando in un contributo anche sugli accelerometri del Box. La FRF del Glass è praticamente analoga alla configurazione 0.

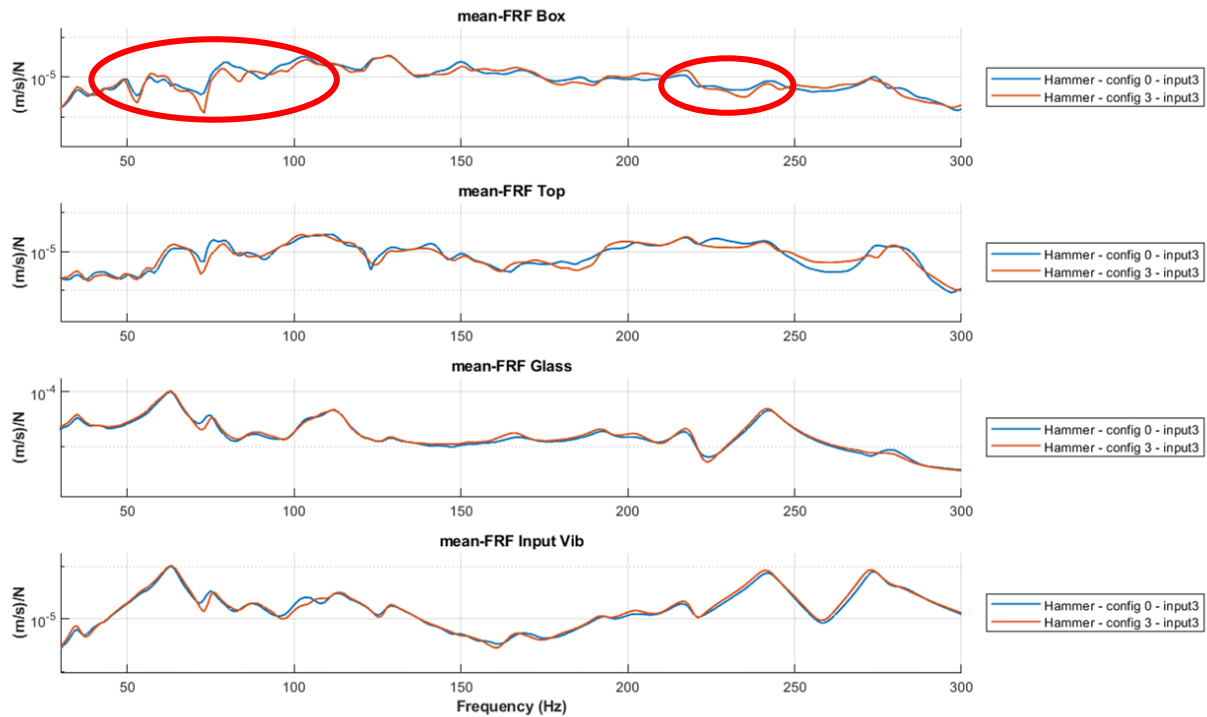


Figura 6.16 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3 – Input3

Per quanto riguarda l’Input 4 collocato sul Box R è rilevabile una attenuazione della vibrazione sia sul Box che sul Top come visibile dalle zone evidenziate nei cerchi in rosso. La FRF relativa al Glass è sempre analoga alla configurazione di riferimento.

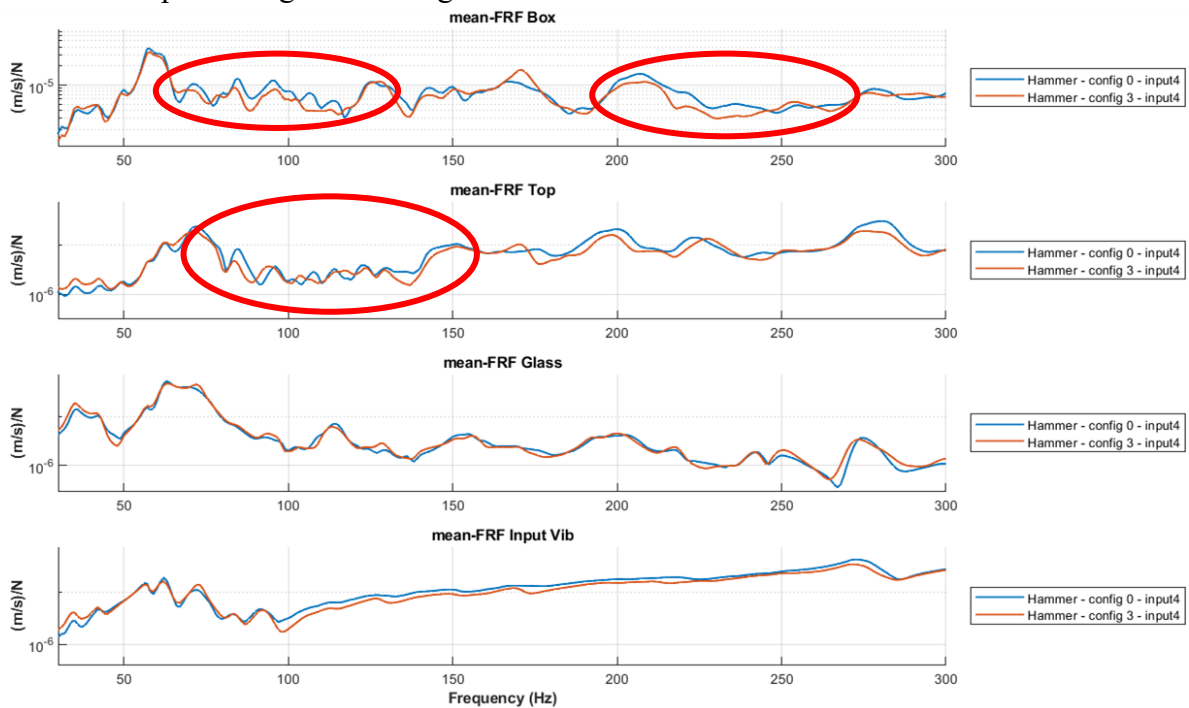


Figura 6.17 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3 – Input4

Per l'Input 5 posizionato sul Box L vi è un miglioramento dell'FRF sul Top mentre il Glass è del tutto analogo alla configurazione di riferimento.

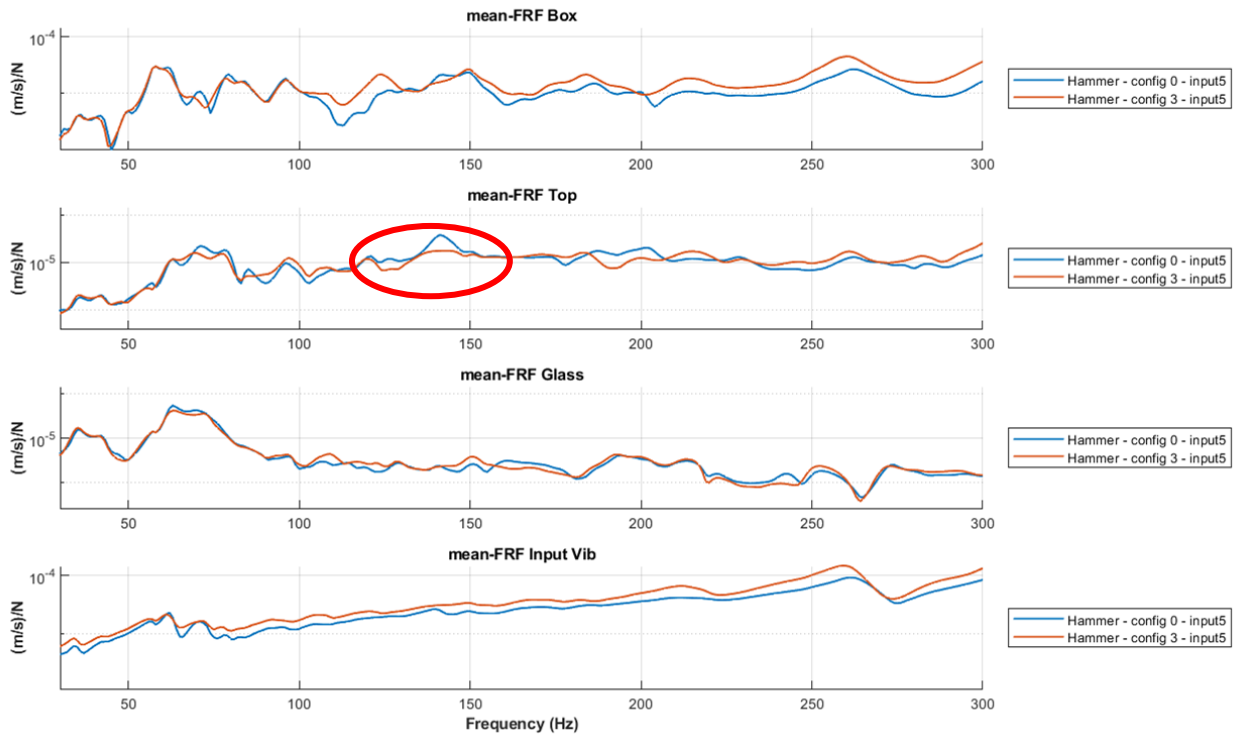


Figura 6.18 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3 – Input5

In conclusione, anche in questo caso come per la configurazione 2, nonostante la soluzione sia stata pensata per ottimizzare il problema acustico si sono evidenziati benefici anche per attenuare la vibrazione. Facendo infatti un confronto sui valori di overall della media delle FRF vi è un miglioramento generale per quasi tutti gli input, eccetto che per l'input 5 sull'FRF del Box e per l'Input 2 sull'FRF del Top.

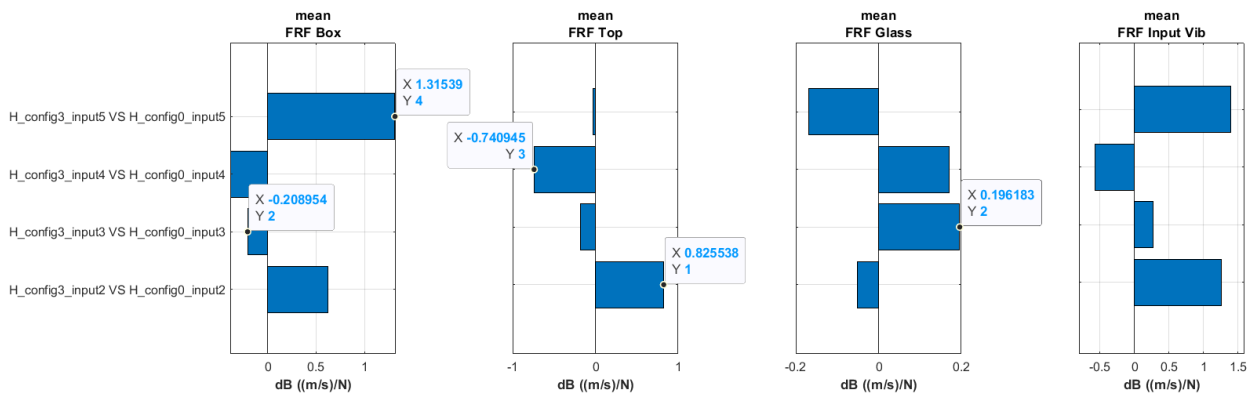


Figura 6.19 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config3

Passando invece alle considerazioni relative al test operativo, essendo presente la melamina, come ci si aspettava, sono evidenti dei risultati riguardo all'abbattimento del rumore. Nel dettaglio, analizzando l'auto-spettro medio dei microfoni nel range 400-4000 Hz e confrontando le configurazioni 0, 2 e 3 per la velocità 3, vi è un miglioramento nei range evidenziati. La configurazione 3 è sicuramente migliore rispetto alla configurazione 0 ma, come visibile la configurazione 2 con i pannelli di melamina laterali comporta un abbattimento ancora maggiore e quindi risulta una soluzione preferibile.

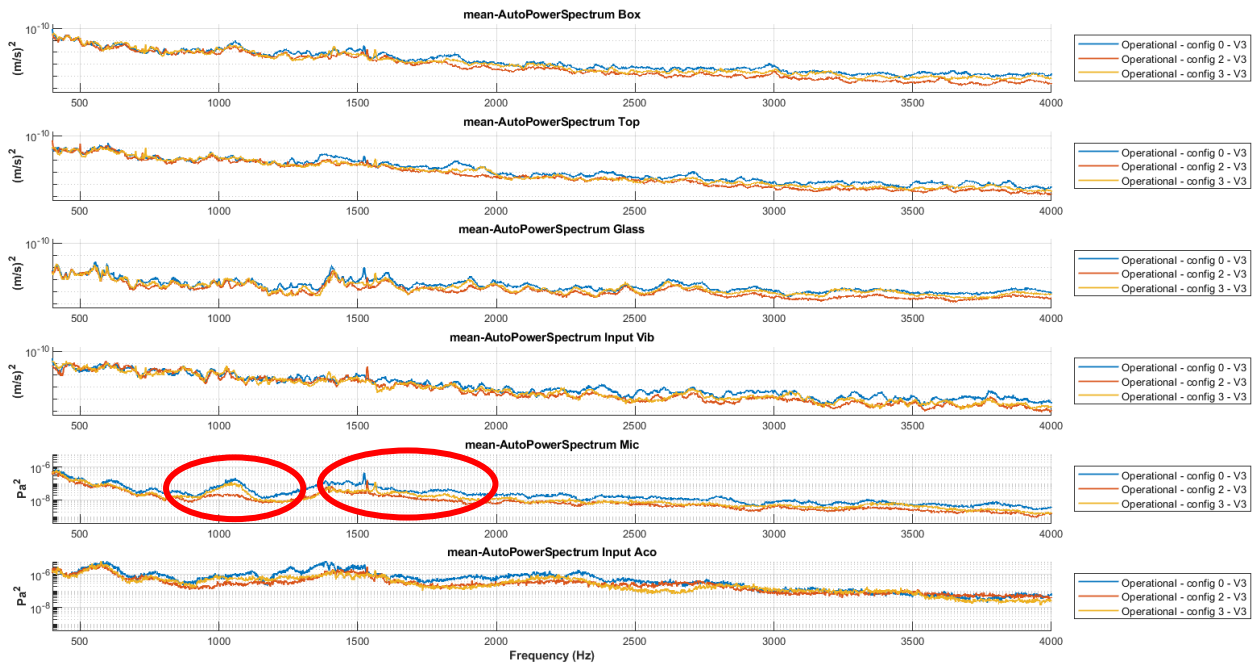


Figura 6.20 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3

Considerando i valori di overall per l'auto-spettro medio dei microfoni vi è una riduzione di 2 dB in pressione sonora rispetto alla configurazione 0. È tuttavia preferibile la configurazione 2 poiché comporta un abbattimento ancora maggiore pari a 3,4 dB.

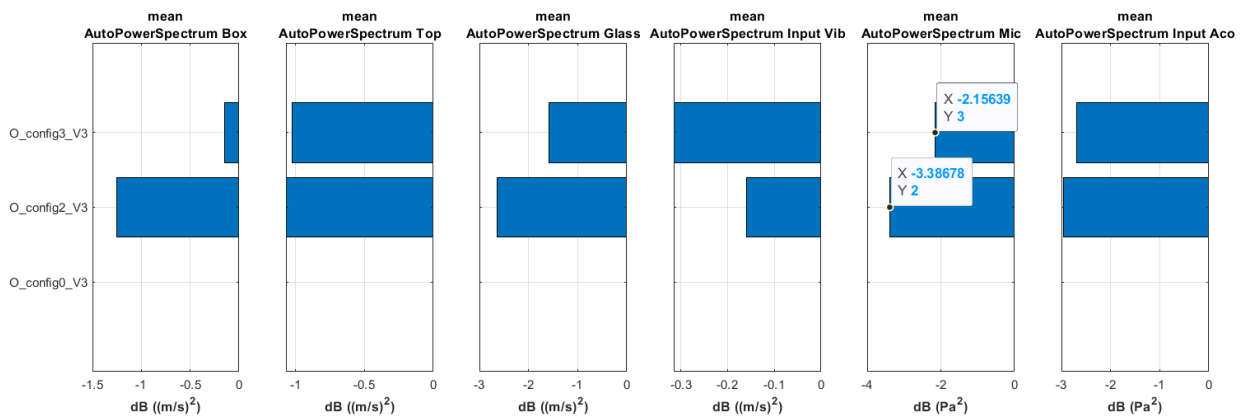


Figura 6.21 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3

6.1.5. CONFIGURAZIONE 4

La configurazione 4 prevede l'inserimento di un pannello in melamina da 2 cm sul diffusore. Di seguito sono riportati i risultati dell'Hammer Test per ogni Input, dal 2 al 5.

Il range in frequenza analizzato è 30-300 Hz e vengono plottate le FRF tra i vari accelerometri e quello di riferimento posizionato a fianco a dove viene impartito il colpo con il martello strumentato (Input 2-5). La configurazione 4 viene sempre confrontata con quella di riferimento, ovvero la 0.

Per quanto riguarda l'Input 2, posizionato sul Top è evidente un peggioramento sia sulle FRF del Box che sul Top stesso. Infatti, l'inserimento di melamina, come atteso, non contribuisce allo smorzamento vibrazionale.

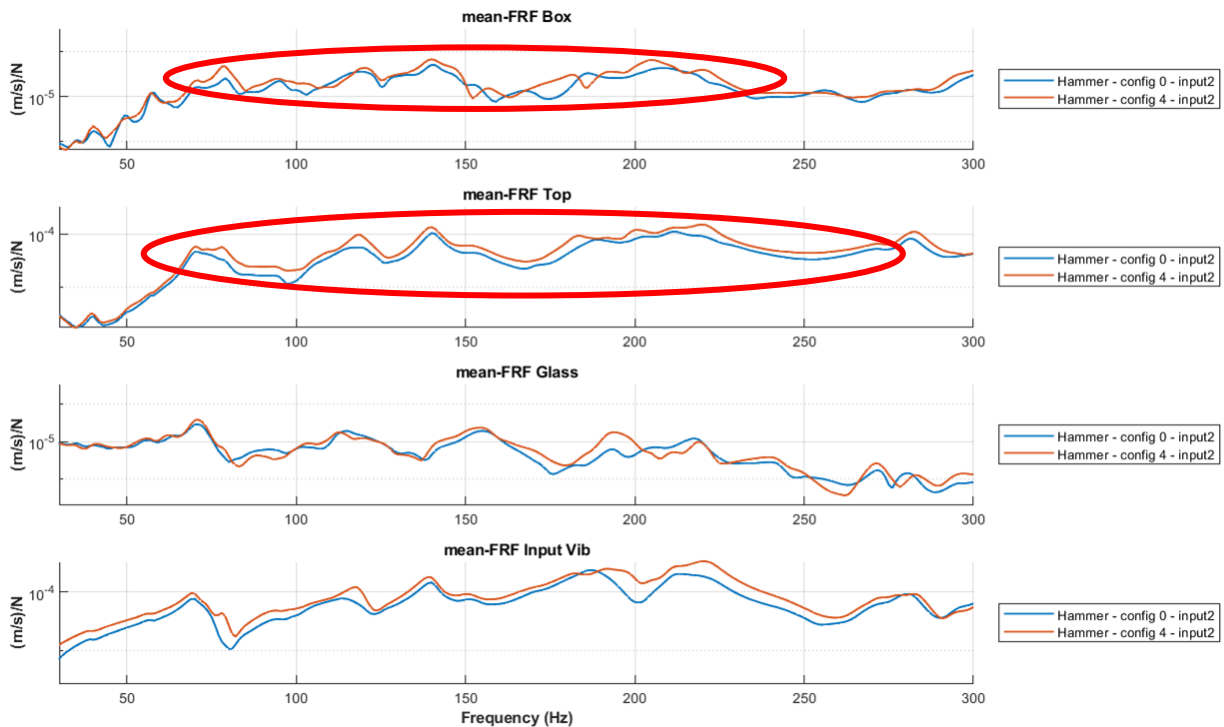


Figura 6.22 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config4 – Input2

Per quanto riguarda invece l'Input 3, posizionato sul Glass il livello di vibrazione rimane quasi analogo alla configurazione di riferimento per tutte le zone della cappa, essendo il vetro molto rigido.

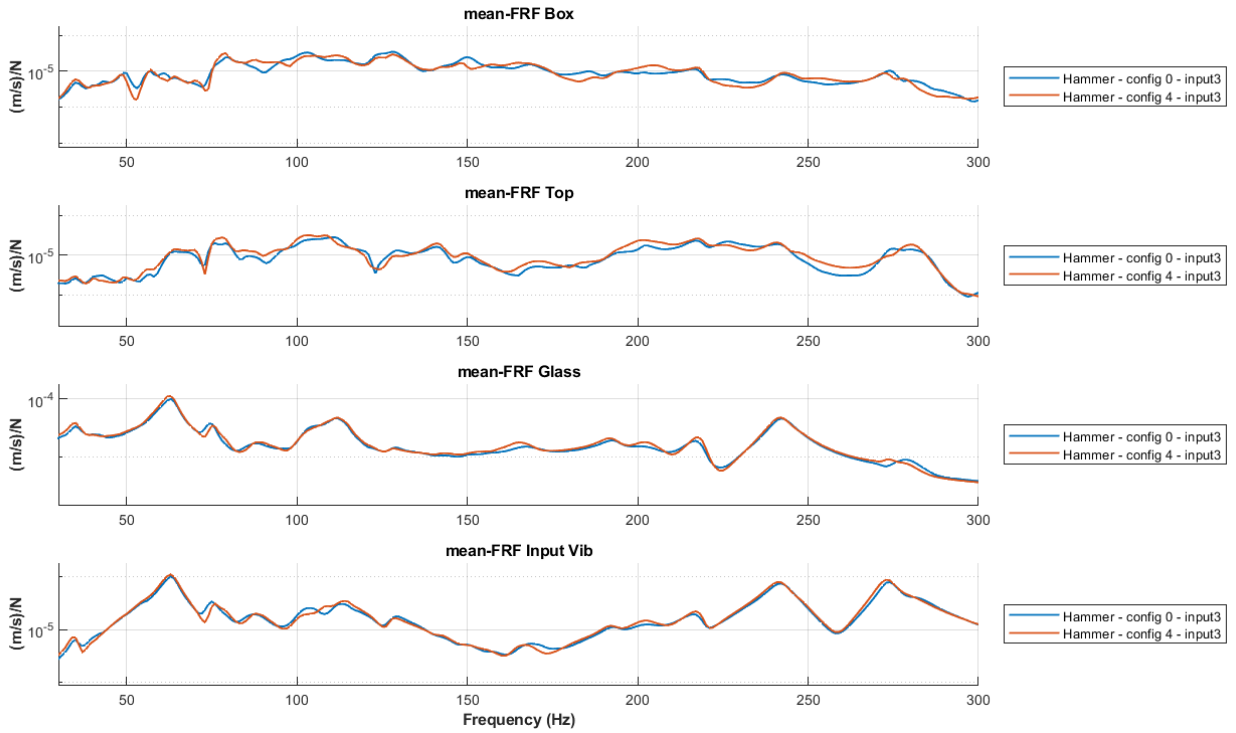


Figura 6.23 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config4 – Input3

Per quanto riguarda l’Input 4, collocato sul Box destro, vi è una diminuzione della vibrazione per alcune zone della cappa in particolare per il Box o anche sul Glass, come evidenziato dalle zone cerchiato in rosso.

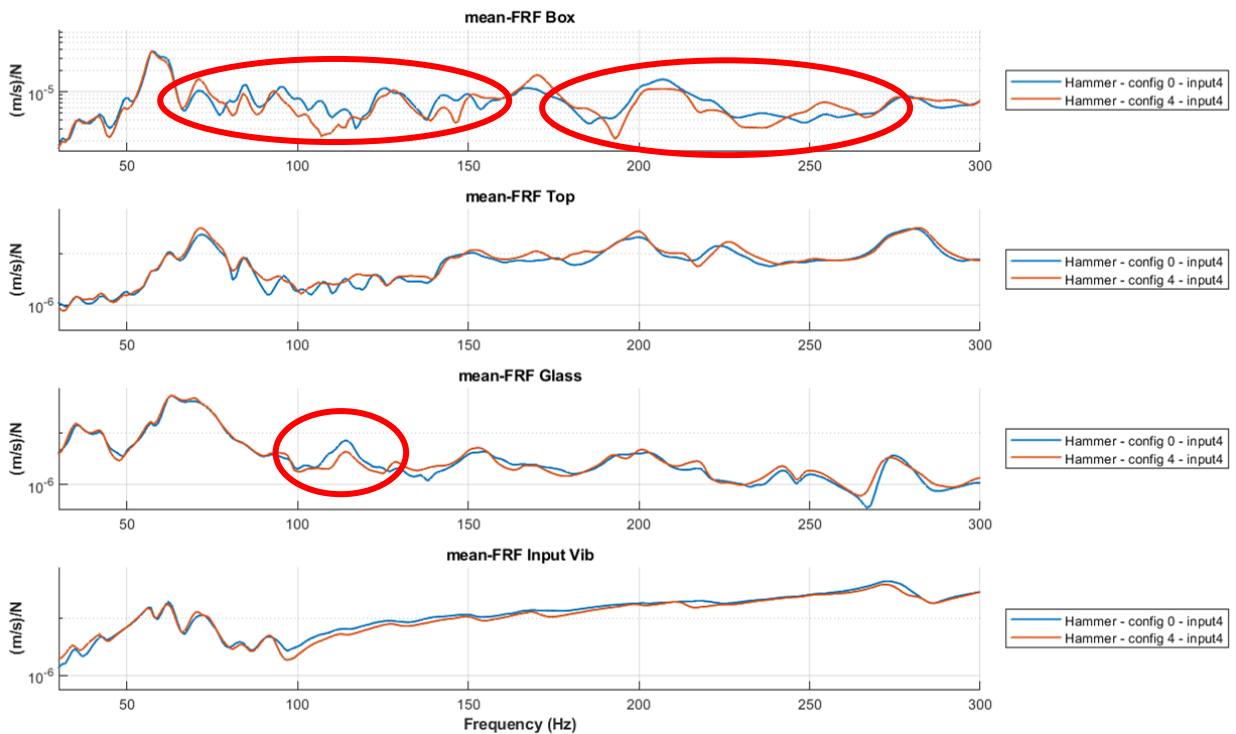


Figura 6.24 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config4 – Input4

Quando il colpo viene impartito sull'input 5, collocato sul Box L, il livello di vibrazione risulta essere quasi analogo alla configurazione di riferimento.

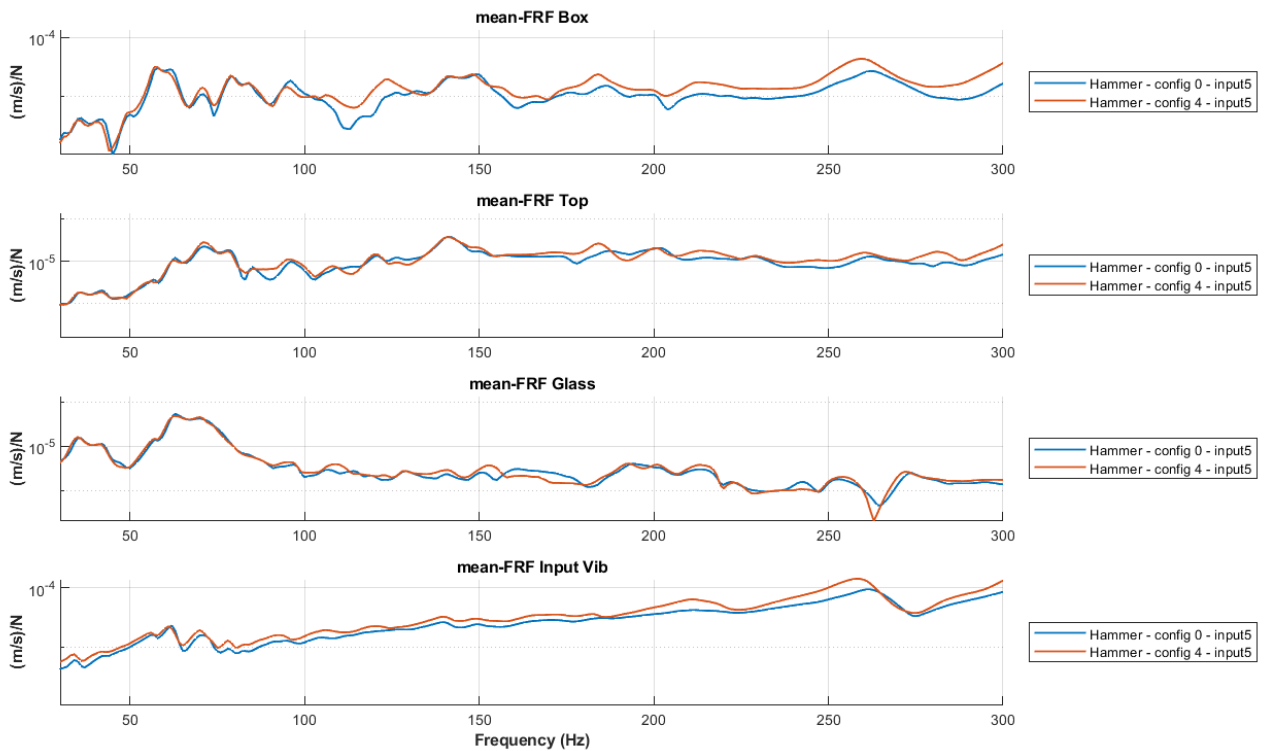


Figura 6.25 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config4 – Input5

Confrontando i valori delle FRF medie per ogni singolo Input rispettivamente, vi è complessivamente un peggioramento per tutte le zone della cappa. Per quanto riguarda il Box vi è una riduzione della vibrazione solo per gli Input 2 e 5.

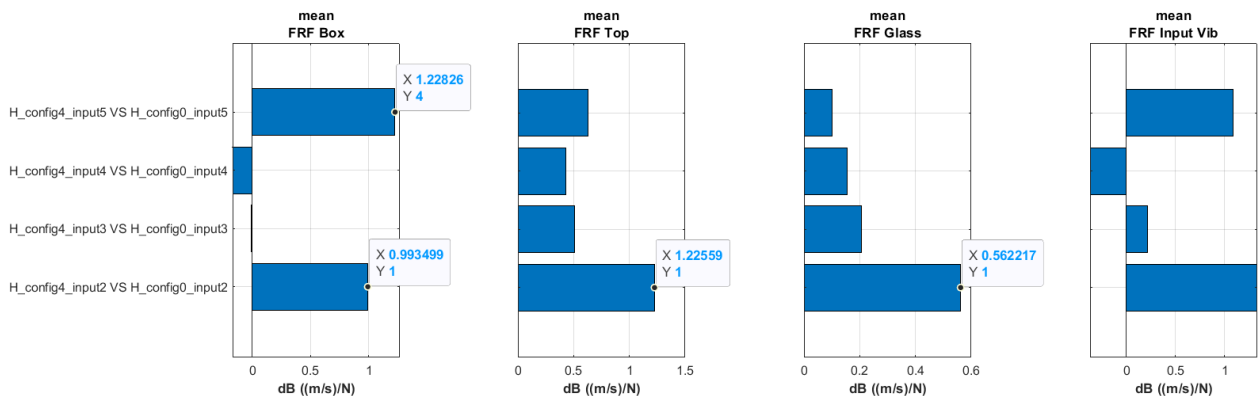


Figura 6.26 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config4

I risultati del test in condizioni operative denotano invece un miglioramento rispetto alla configurazione di riferimento, seppur minimo. La configurazione 4 viene inoltre confrontata con la configurazione 2 e 3.

Analizzando in particolare l'auto-spettro sei microfoni nel range 400-4000 Hz è evidente un abbassamento della pressione acustica rispetto alla configurazione di riferimento. Tuttavia, la configurazione 2 che presentava la melamina ai lati rimane comunque la migliore, soprattutto attorno ai 1000 Hz. Anche nel range 1500-2000 Hz e sopra i 3000 Hz configurazione 4 è peggiore rispetto alla 3 (melamina sul Top) e ancor più rispetto alla 2 (melamina sul Box L e R).

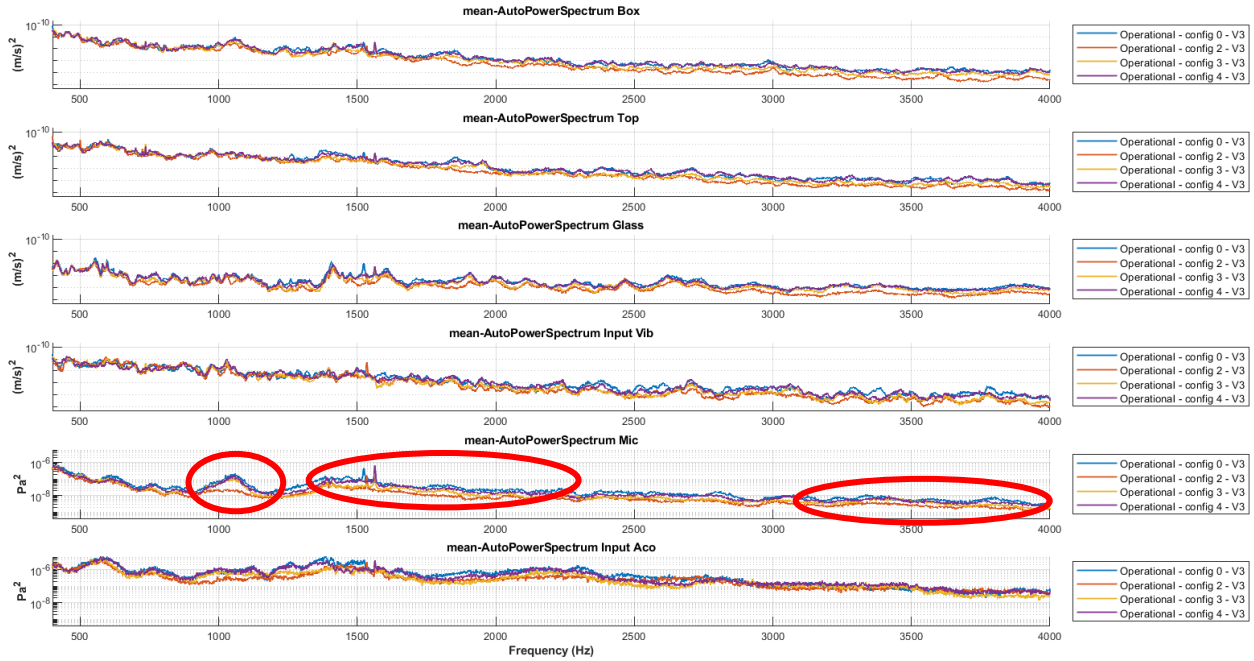


Figura 6.27 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4

Di seguito viene mostrato un istogramma con le informazioni di overall degli auto-spettri confrontando la configurazione 4 con le precedenti. L'introduzione di melamina sul diffusore per la configurazione 4 prevede un abbattimento di 1,2 dB in pressione sonora. Tuttavia la configurazione 2 risulta sempre essere la migliore con un abbattimento di 3,4 dB.

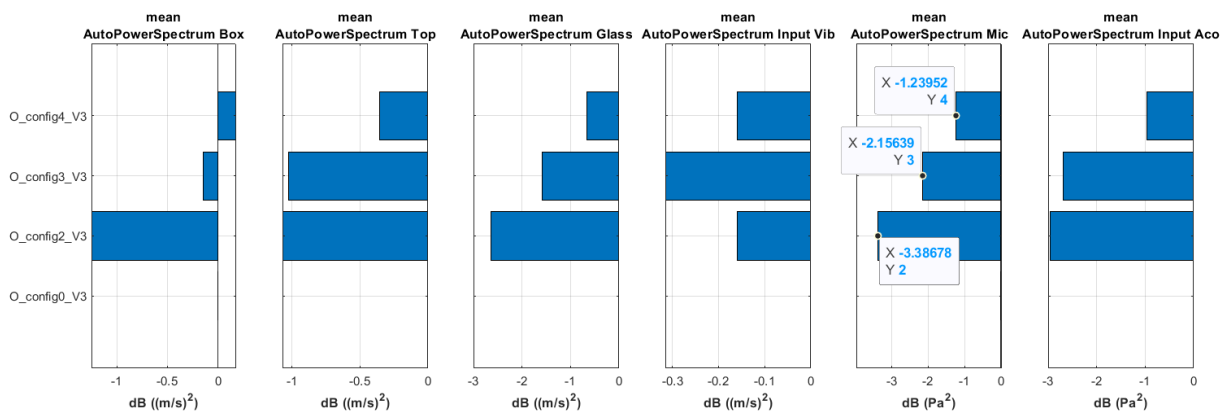


Figura 6.28 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4

6.1.6. CONFIGURAZIONE 5

La configurazione 5 prevede l'inserimento di un nastro in gomma sul magnete di chiusura del vetro. Tale configurazione è stata pensata principalmente per attenuare le vibrazioni e smorzare il collegamento del vetro con la parte anteriore della scocca. Dal punto di vista acustico, non si attendono quindi dei miglioramenti. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti.

Per quanto riguarda l'Hammer Test vengono sempre analizzate le FRF nel range 30-300 Hz e per l'Input 2 collocato sul Top è visibile un peggioramento per tutto il range in frequenza.

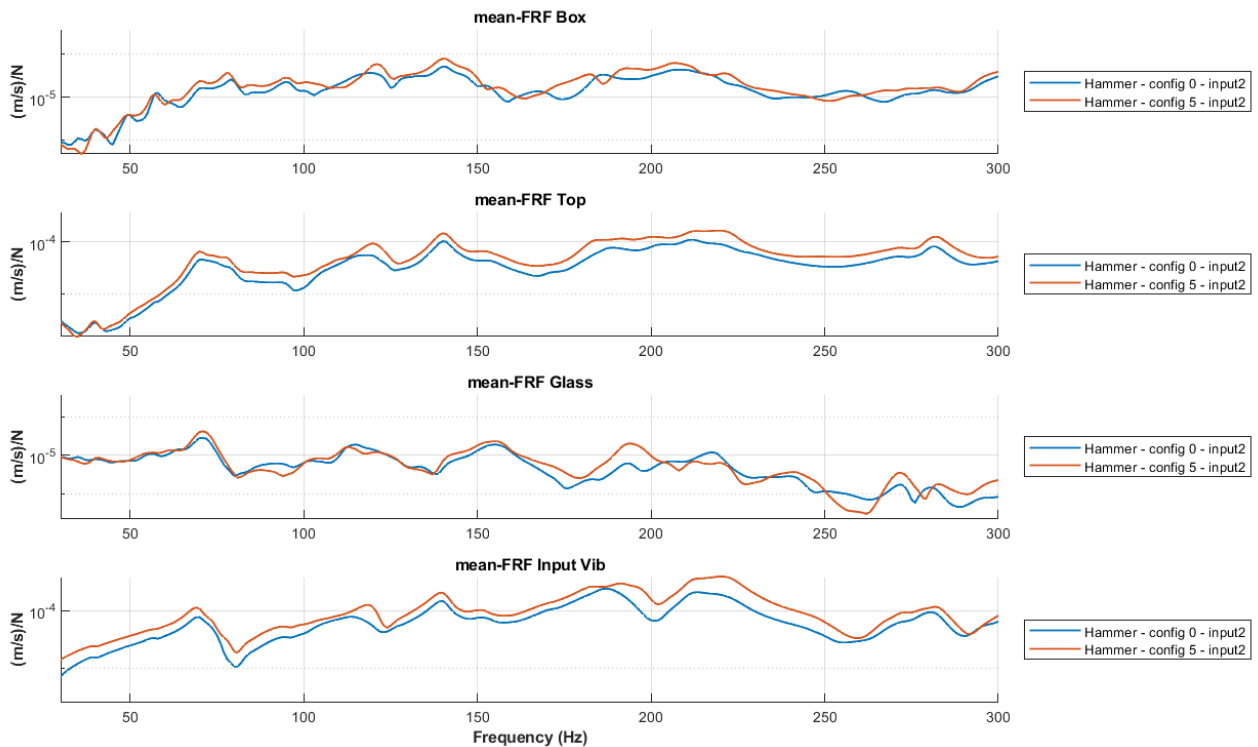


Figura 6.29 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config5 – Input2

Per quanto riguarda invece l'Input 3 collocato sul Glass si rilevano valori quasi analoghi alla configurazione di riferimento per tutte le zone della cappa.

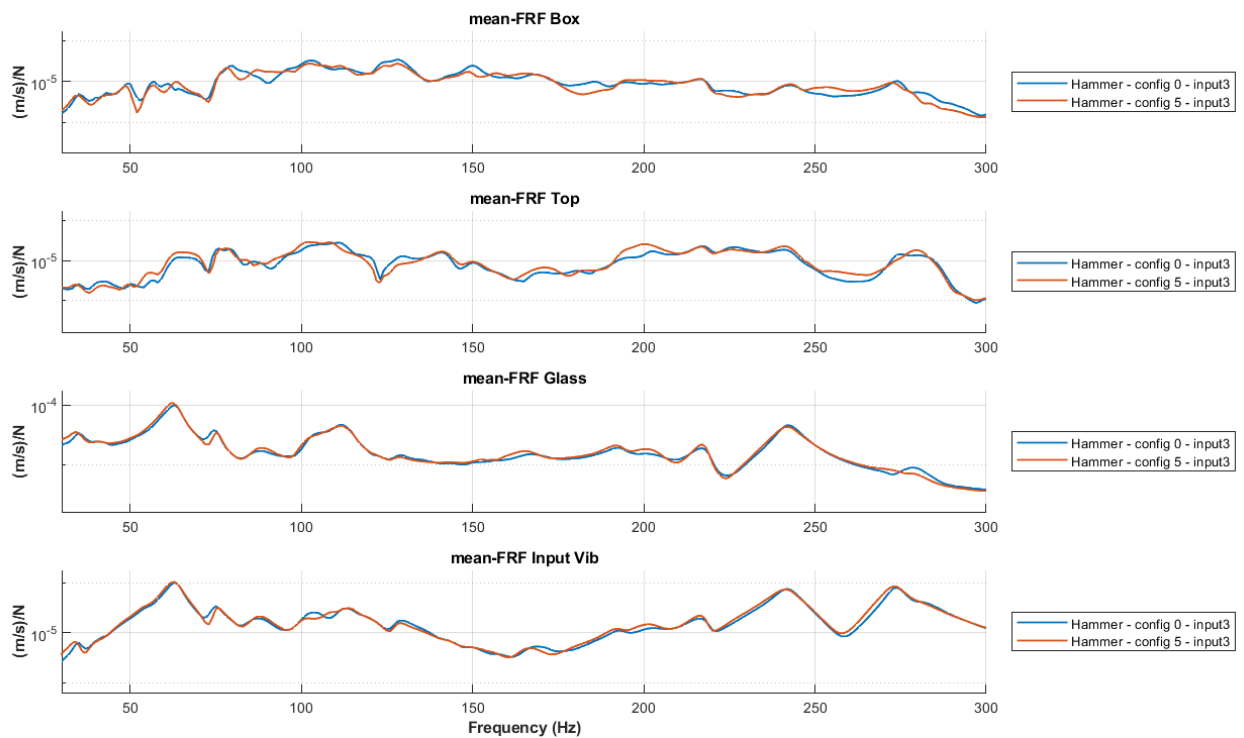


Figura 6.30 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config5 – Input3

Per quanto riguarda l'Input 4 invece ovvero il Box R i livelli di vibrazione sono analoghi alla configurazione di riferimento per il Glass. Vi è invece un miglioramento sull'FRF del Box derivante dal fatto che la chiusura a molla del vetro è posta a destra del Box.

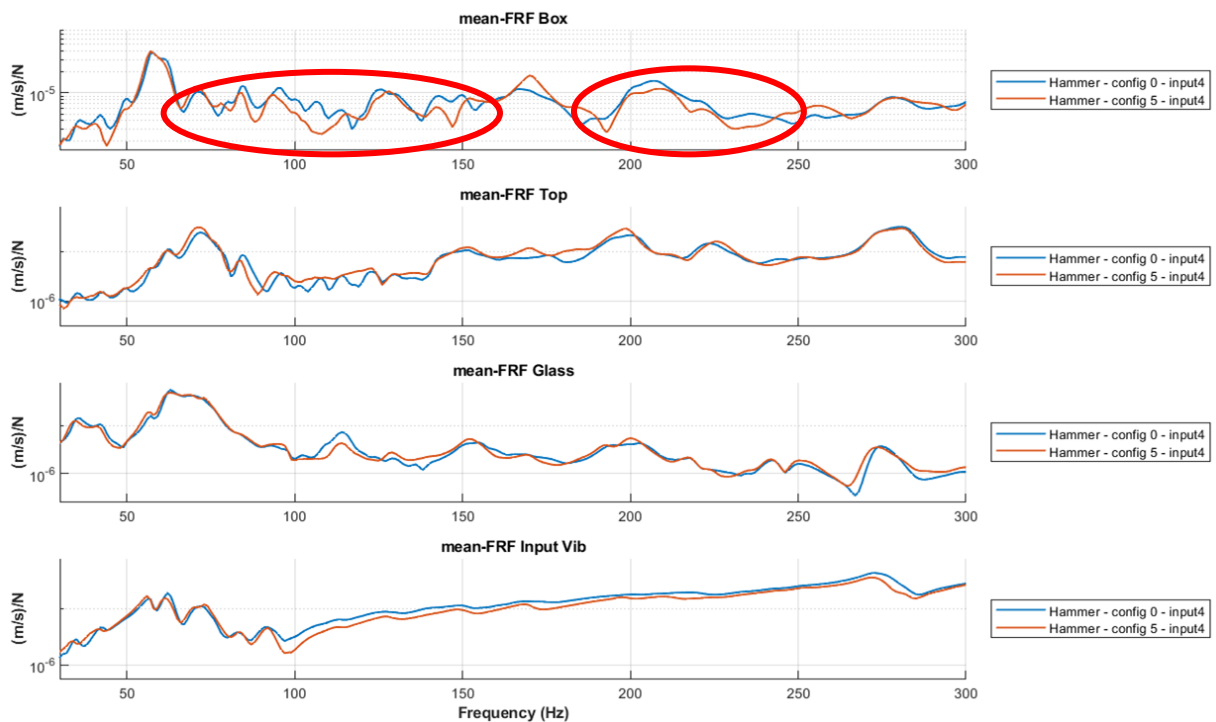


Figura 6.31 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config5 – Input4

Per quanto riguarda l'Input 5, si possono fare considerazioni analoghe e speculari rispetto all'Input 4 e si evidenzia quindi un peggioramento sul Box legato al fatto che la chiusura a molla del vetro è posta dall'altro lato.

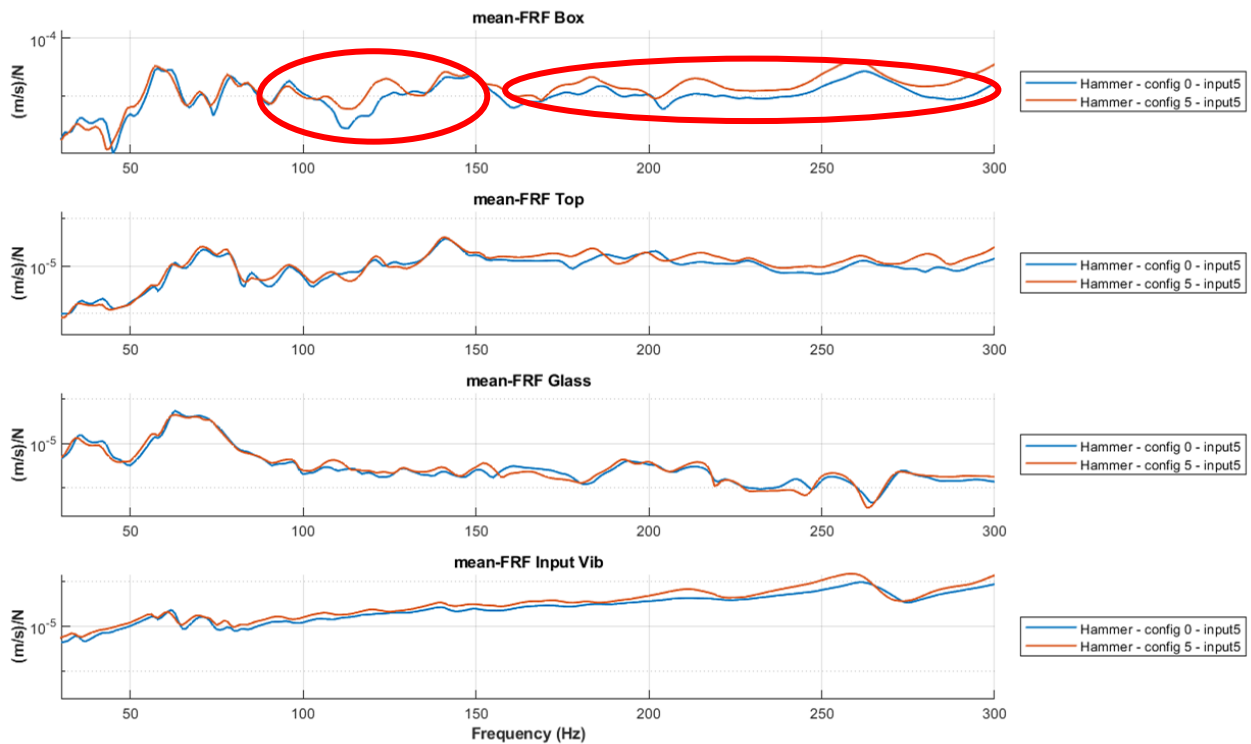


Figura 6.32 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config5 – Input5

Di seguito sono riportati i valori di variazione della FRF per ogni Input rispetto alla configurazione di riferimento, ovvero la 0. Il livello di vibrazione è analogo per Top e Glass, eccetto un peggioramento per l'Input 2 su tutte le zone della cappa.

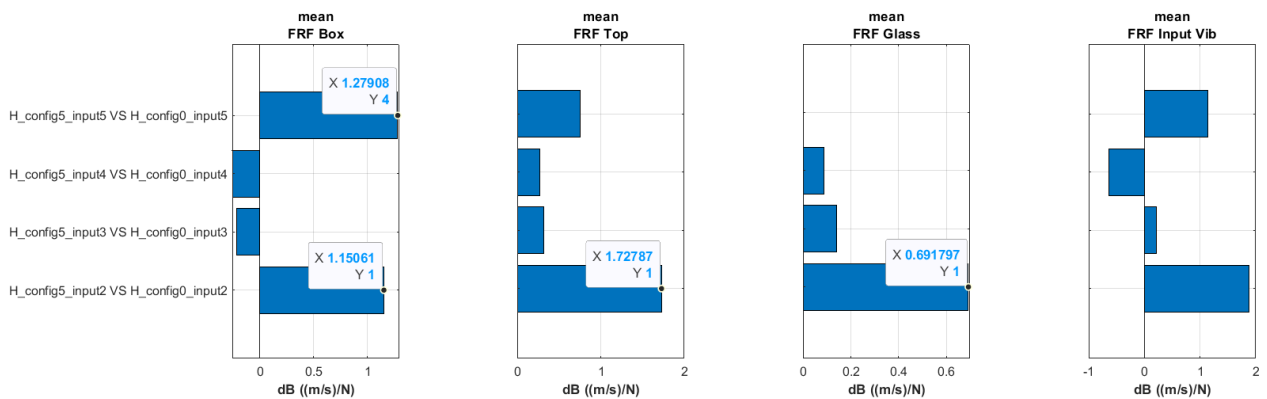


Figura 6.33 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config5

Di seguito una rappresentazione spaziale della FRF per gli Input 4 e 5 relativi all'Hammer Test. Come per i casi precedenti il livello vibrazionale è inferiore per il vetro, mentre per l'Input 5 vi è un livello complessivo maggiore della vibrazione.

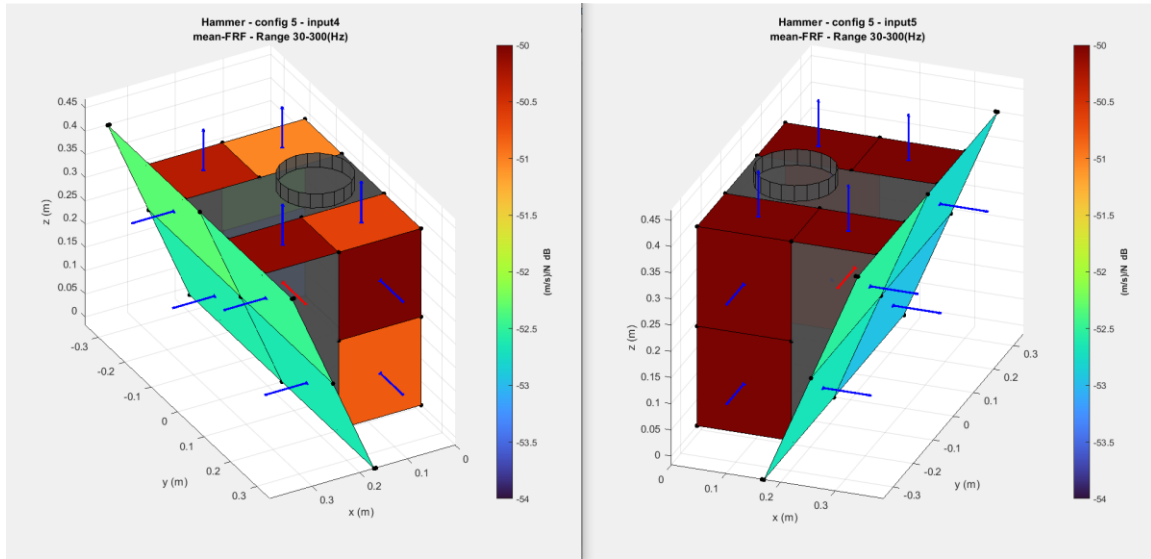


Figura 6.34 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config5 – Input4, Input5

Per quanto riguarda il test in condizioni operative si ha un andamento similare alla configurazione 4, che presentava la melamina sul diffusore. Nel complesso le configurazioni 3 (melamina sul Top) e soprattutto la 2 (melamina sul Box) risultano essere le migliori, osservando l'auto-spettro dei microfoni.



Figura 6.35 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4, config5

Considerando il plot di overall sotto riportato i valori relativi all'auto-spettro dei microfoni sono migliorativi rispetto alla configurazione di riferimento per tutte le configurazioni finora illustrate. Per quanto riguarda la configurazione 5 si può notare come un accorgimento pensato per ridurre la vibrazione ha portato beneficio anche in acustica con riduzione di 0,6 dB. Questo dato è tuttavia da contestualizzare in quanto è dello stesso ordine di grandezza dell'incertezza di misura e quindi la configurazione 5 si può concludere non abbia un grande impatto sull'acustica.

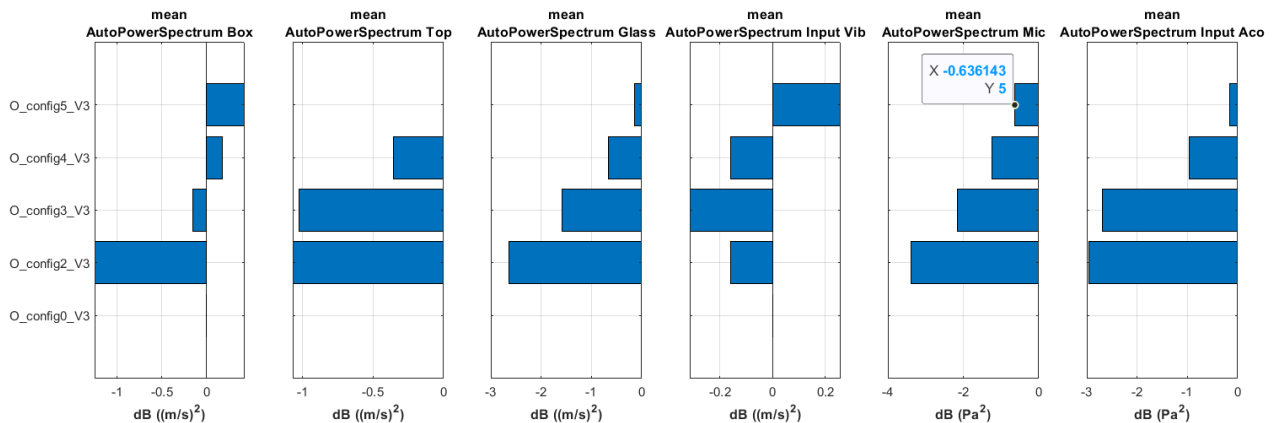


Figura 6.36 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4, config5

Di seguito una rappresentazione spaziale che mette a confronto la configurazione 5 con la 0 sull'auto-spettro dei microfoni. I livelli sono pressoché analoghi alla configurazione di riferimento.

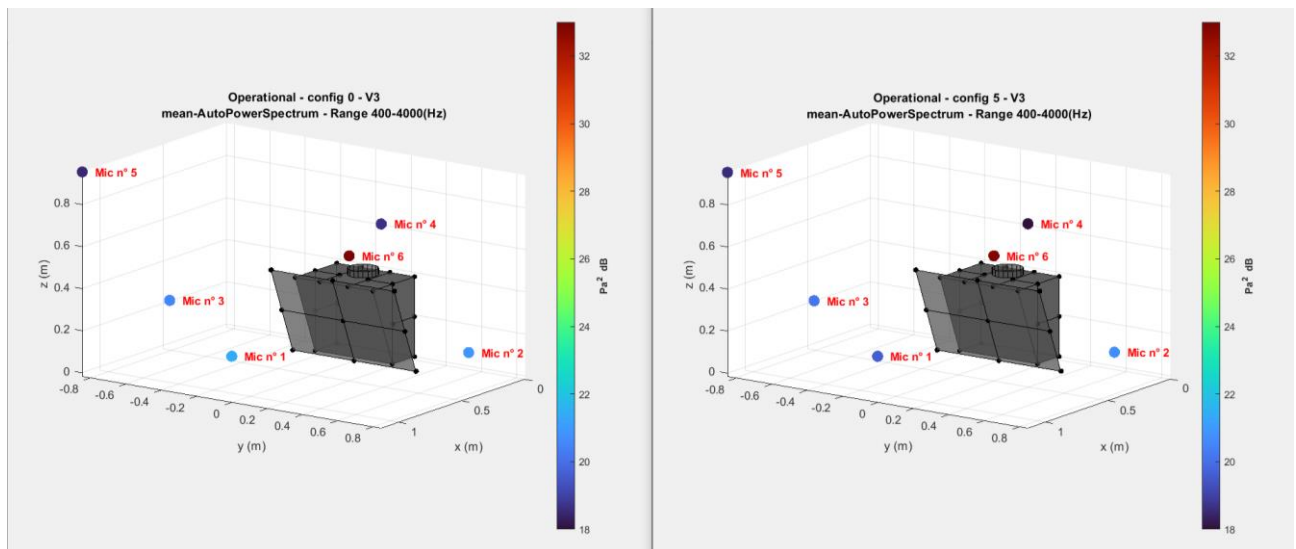


Figura 6.37 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config5

6.1.7. CONFIGURAZIONE 6

La configurazione 6 prevede l'inserimento di un nastro in gomma attorno al collarino del diffusore. Tale configurazione è stata pensata per aumentare lo smorzamento delle condizioni di vincolo e quindi ridurre la trasmissibilità delle vibrazioni, in particolare nella zona di connessione con il condotto di aspirazione.

Di seguito vengono riportati i risultati dell'Hammer Test, in particolare le FRF nel range 30-300 Hz, confrontando la configurazione 6 con quella di riferimento. Per quanto riguarda l'Input 2, collocato sul Top, vi è un peggioramento per le FRF relative agli accelerometri sul Box (rispetto alla forzante del matello strumentato collocata sull'Input 2) mentre i dati relativi a Top e Glass sono quasi analoghi alla configurazione di riferimento.

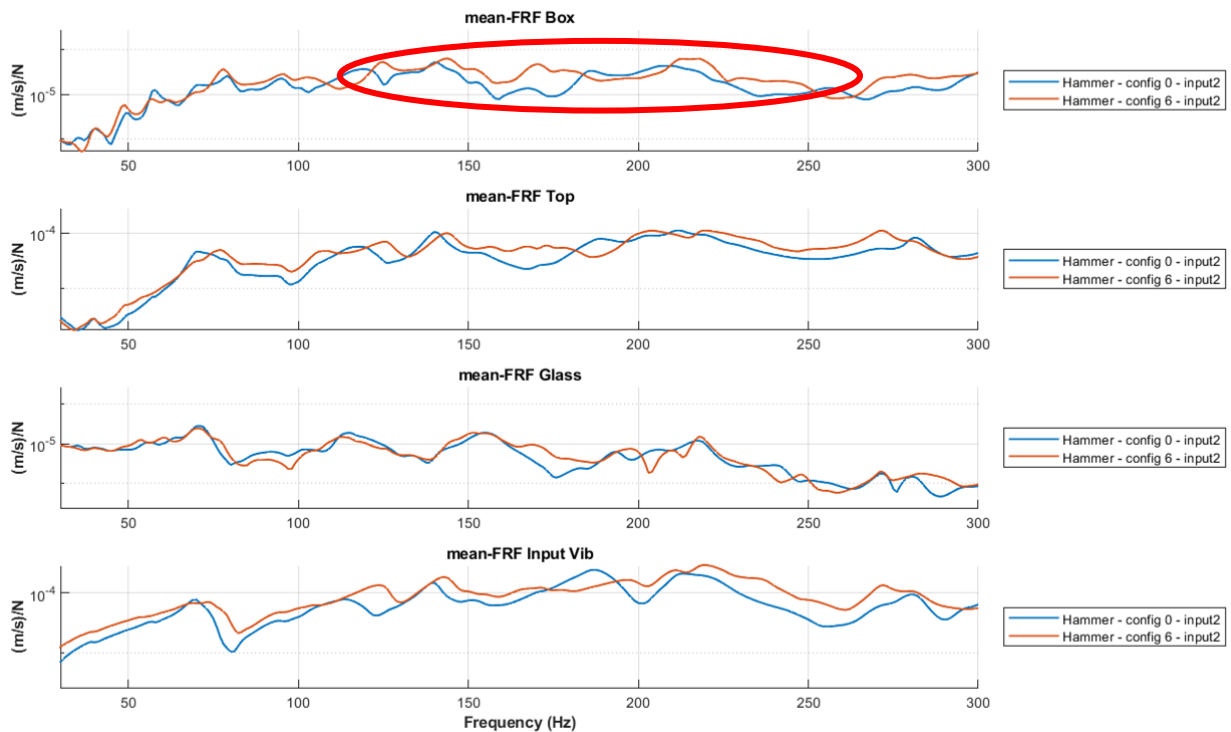


Figura 6.38 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config6 – Input2

Analizzando l'Input 3 sul Glass non è rilevabile una variazione significativa rispetto alla configurazione di riferimento per tutte le zone della cappa.

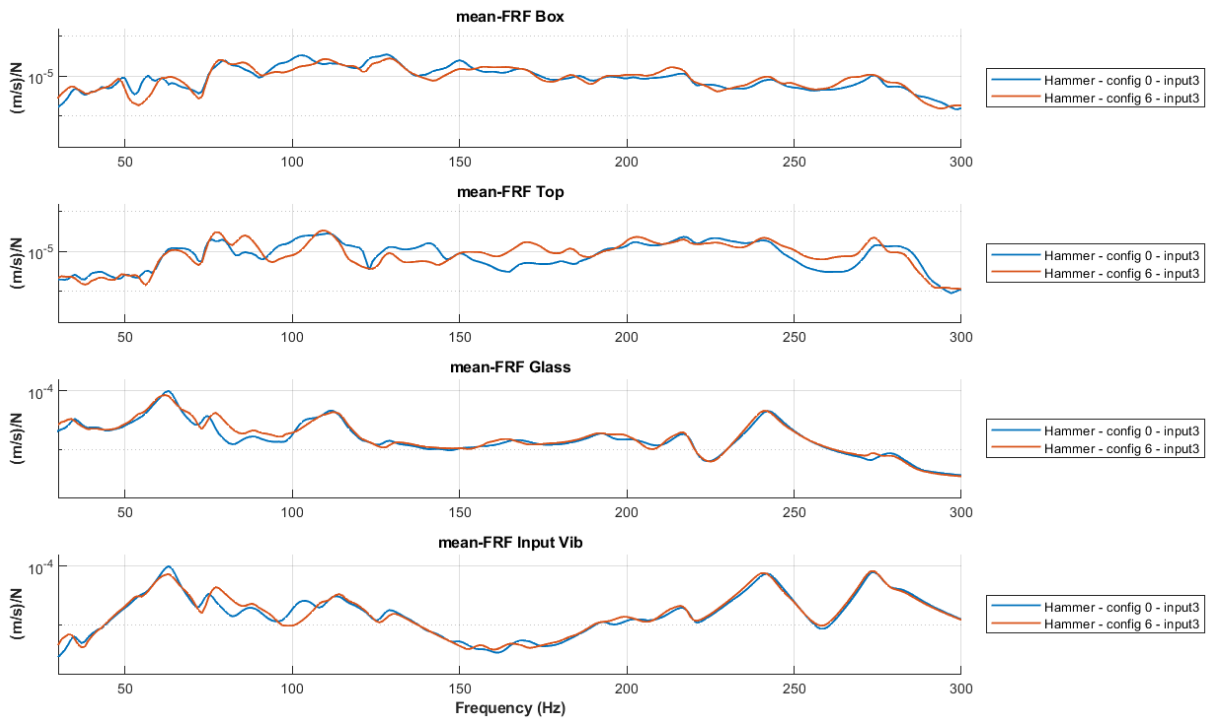


Figura 6.39 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config6 – Input3

Quando viene impartito il colpo nell'Input 4 collocato sul Box R vi è invece un miglioramento delle FRF sia del Box che del Top; infatti si può notare una attenuazione dei picchi in bassa frequenza in particolare sotto i 150 Hz. La FRF relativa al Glass rimane sempre quasi analoga alla configurazione di riferimento.

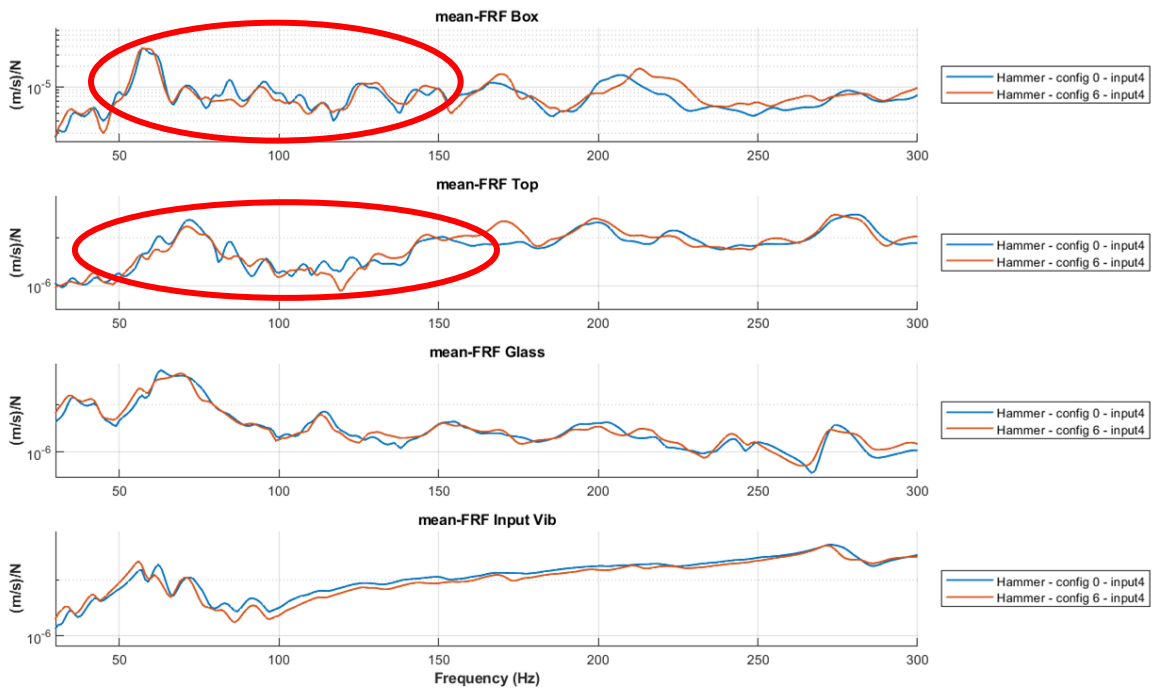


Figura 6.40 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config6 – Input4

Per quanto riguarda l'Input 5 collocato sul Box L vi è invece un peggioramento per le FRF del Box oltre i 150 Hz mentre Glass e Top sono quasi analoghi alla configurazione di riferimento. Le discrepanze tra le FRF relative all'Input 4 e 5 potrebbero essere attribuibili alla non perfetta realizzazione della modifica. Ad esempio, il nastro in gomma potrebbe non essere aderito bene in tutti i punti oppure andare a contatto in qualche zona con la scocca della cappa.

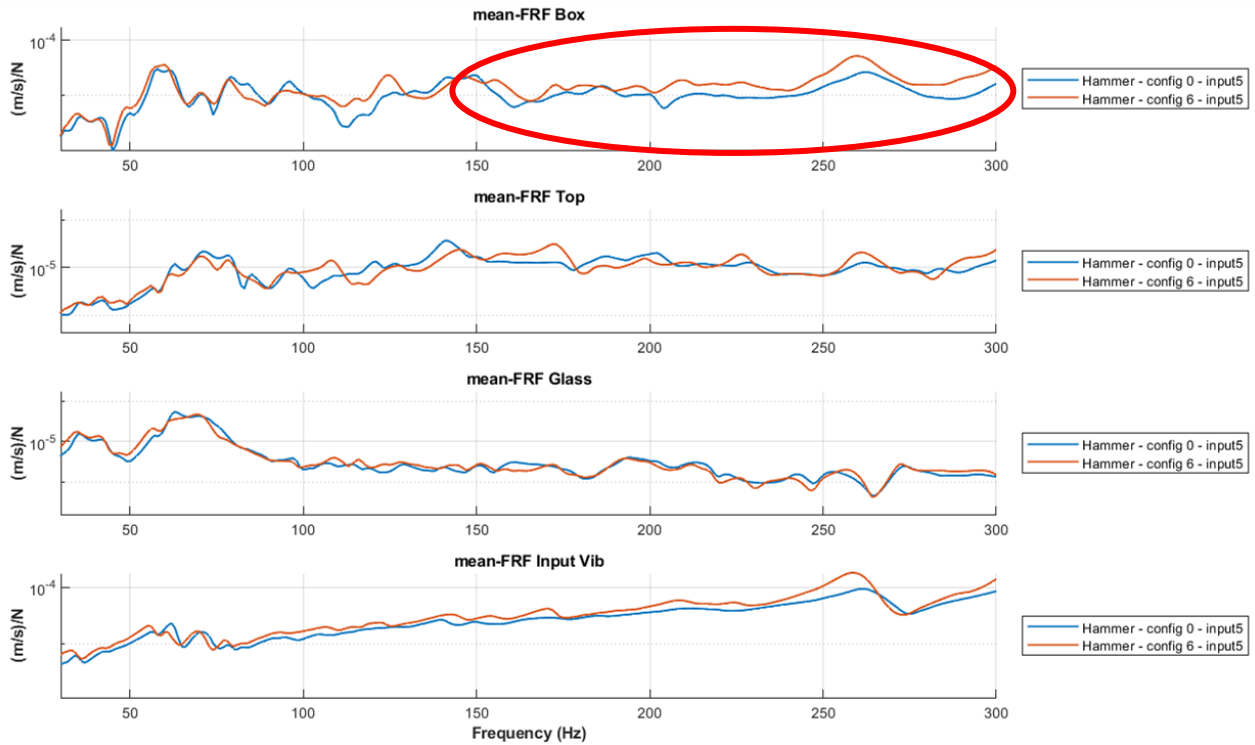


Figura 6.41 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config6 – Input5

Considerando invece la variazione di overall delle FRF per ogni singolo Input si può notare come vi sia un peggioramento, seppur contenuto, sia per il Top che il Box su tutti gli Input. Non vi è invece una variazione significativa rispetto alla configurazione di riferimento per il Glass. Nel complesso la modifica apportata sul collarino non ha portato miglioramenti significativi dal punto di vista vibrazionale, probabilmente legato al fatto che tra collarino e tubo di aspirazione vi è una condizione di accoppiamento con gioco per cui non vi è comunque elevata trasmissibilità della vibrazione, anche senza apportare la modifica.

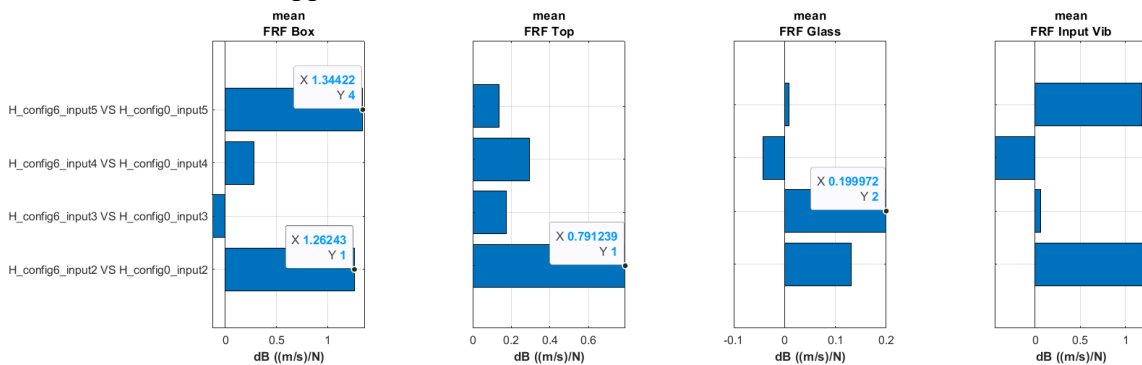


Figura 6.42 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config6

Di seguito viene riportato un plot spaziale per le FRF sempre nel range 30-300 Hz relativamente alla configurazione 6 confrontata con la 0 solo per l'Input 2 collocato sul Top (freccia rossa). I livelli di vibrazione sono all'incirca comparabili.

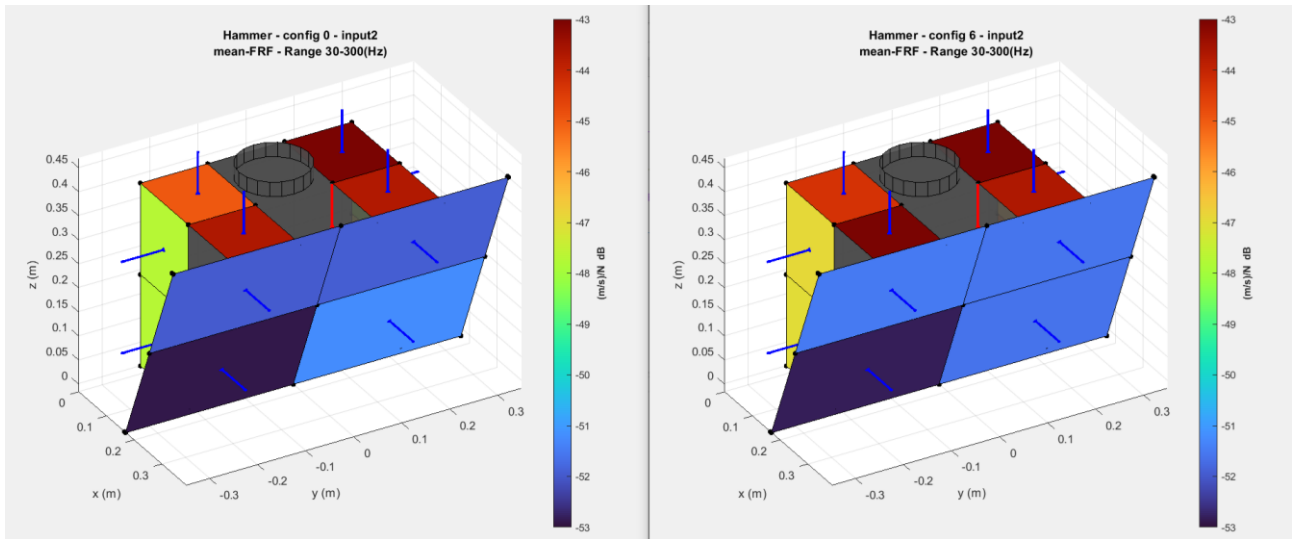


Figura 6.43 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config0, config6 – Input2

Di seguito si passano invece ad analizzare i risultati relativi al test in condizioni operative. Per quanto riguarda l'auto-spettro medio dei microfoni nel range 400-4000 Hz l'andamento è molto simile alla configurazione 4 (melamina sul diffusore) o alla 5 (gomma sul magnete di chiusura). Le configurazioni 2 e 3 rimangono comunque le migliori apportando un abbattimento maggiore come evidenziato nelle zone circondate in rosso.



Figura 6.44 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config3, config4, config5, config6

Analizzando gli auto-spettri di overall confrontando le varie configurazioni si può notare come, nonostante la modifica relativa alla configurazione 6 sia stata pensata per ridurre la trasmissibilità delle vibrazioni, si ha un miglioramento seppur minimo per l'acustica con un abbattimento di 0,6 dB rispetto alla configurazione 0. Tuttavia, tale dato va contestualizzato in quanto tale valore è dello stesso ordine di grandezza dell'incertezza di misura.

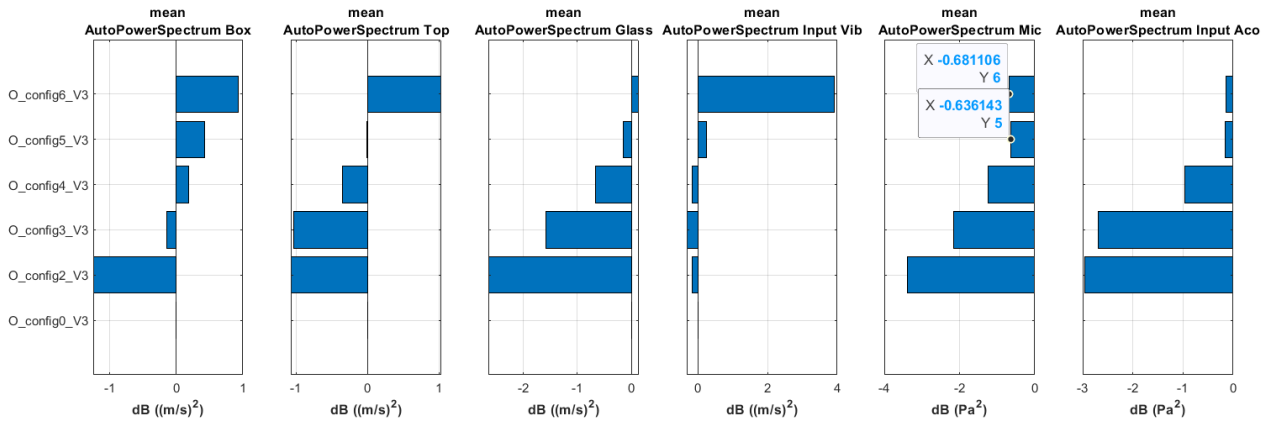


Figura 6.45 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4, config5, config6

Di seguito una rappresentazione spaziale dell'auto-spettro medio dei microfoni sempre nel range 400-4000 Hz, confrontando la configurazione 6 con la 0.

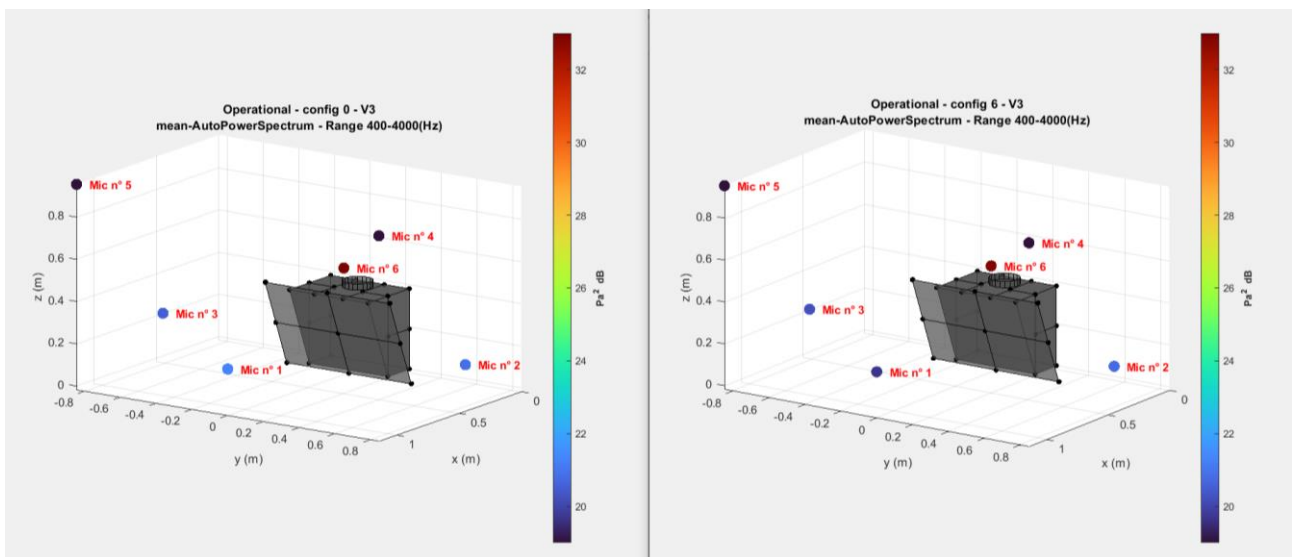


Figura 6.46 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config6

6.1.8. CONFIGURAZIONE 7

Per la configurazione 7 è stata pensata come modifica un irrigidimento laterale con staffe in acciaio. Tale configurazione è stata pensata per ridurre la vibrazione dei pannelli laterali della scocca irrigidendoli in quanto la zona del Box risulta essere la più cedevole data la geometria della cappa.

I risultati e le relative considerazioni sulle FRF nel range 30-300 Hz relativamente all'Hammer Test sono di seguito riportati. Per l'Input 2 (collocato sul Top) è visibile un abbattimento della vibrazione molto evidente sul Box in bassa frequenza. Il Glass presenta sempre valori quasi analoghi alla configurazione di riferimento.

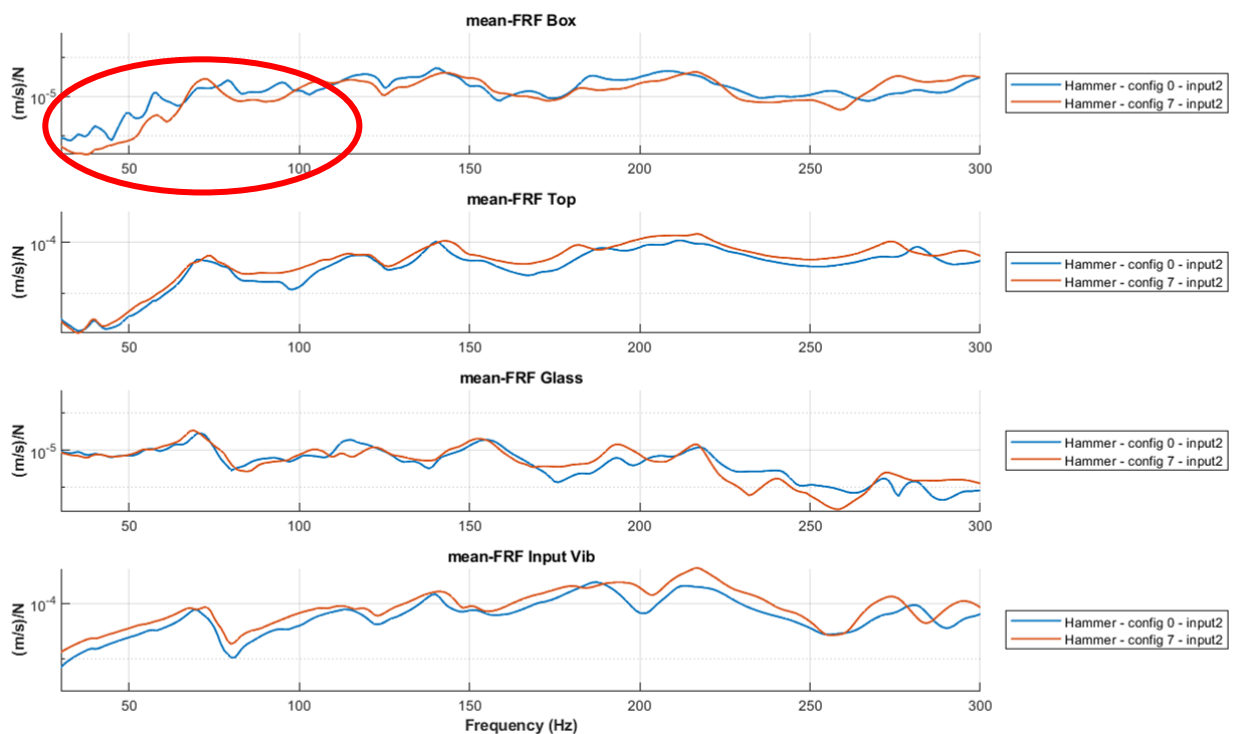


Figura 6.47 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config7 – Input2

Anche per quanto riguarda l'Input 3 (collocato sul Glass) è visibile l'abbattimento della vibrazione sul Box in bassa frequenza.

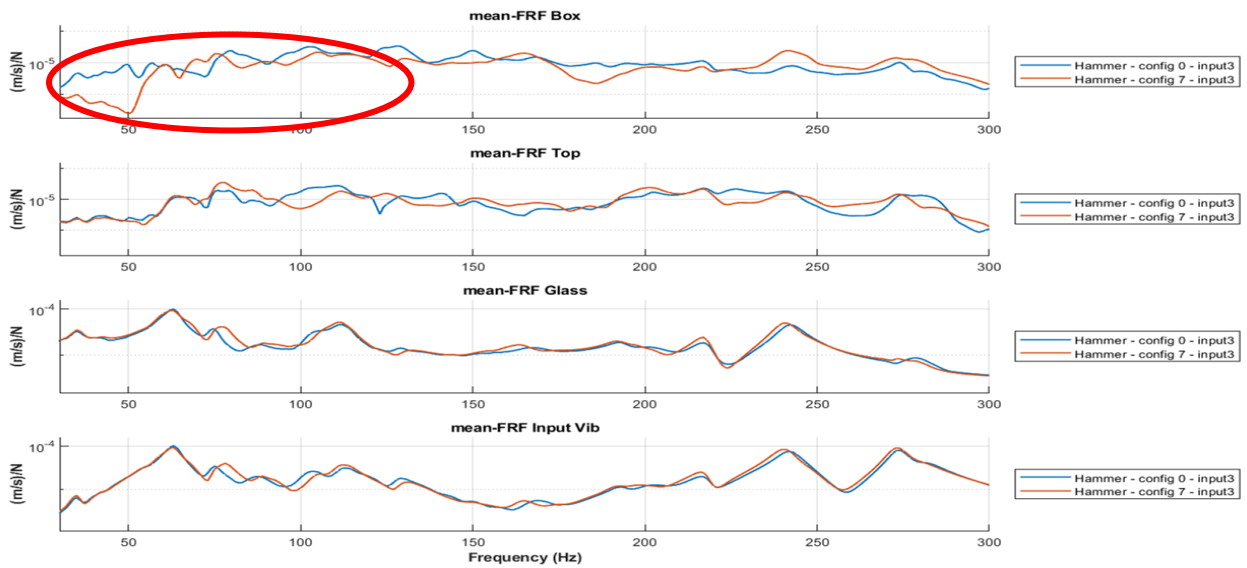


Figura 6.48 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config7 – Input3

Anche per l'Input 4 (collocato sul Box R) è visibile un abbattimento della vibrazione sul Box e sul Top in bassa frequenza dove i picchi sono infatti più arrotondati e di minor intensità.

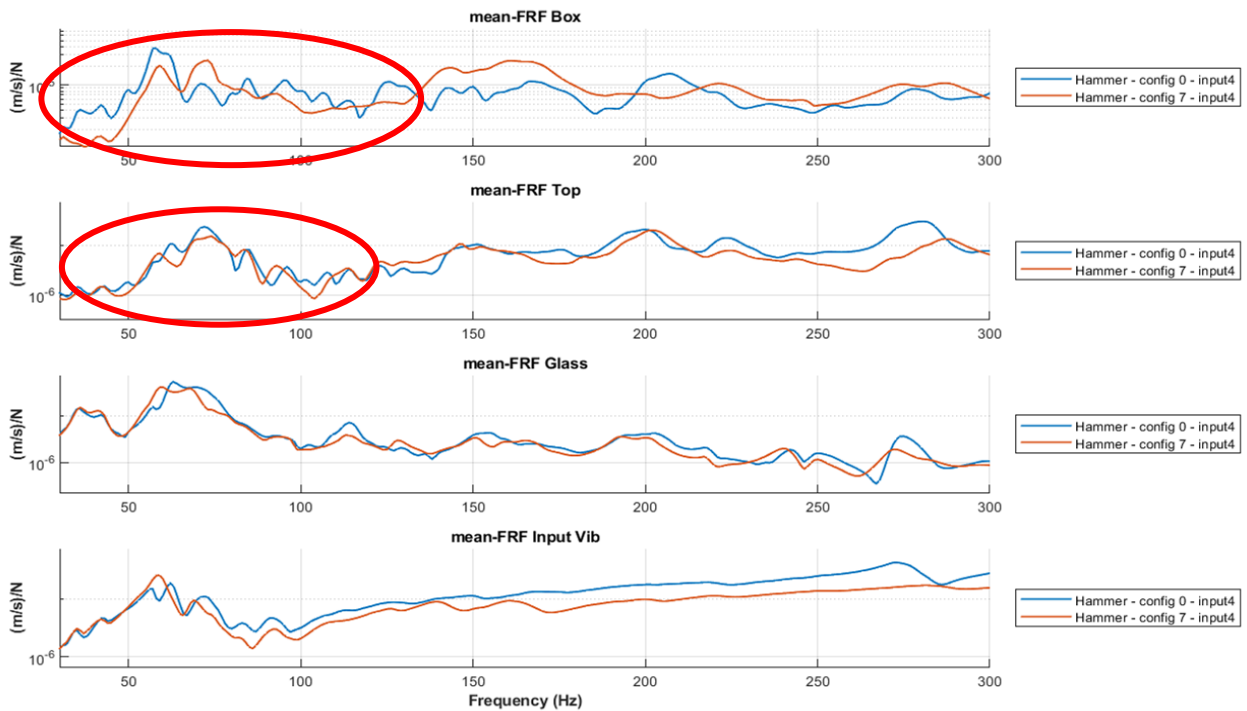


Figura 6.49 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config7 – Input4

Anche per quanto riguarda l'Input 5 vi è un abbattimento della vibrazione in bassa frequenza sia per il Box che per il Top.

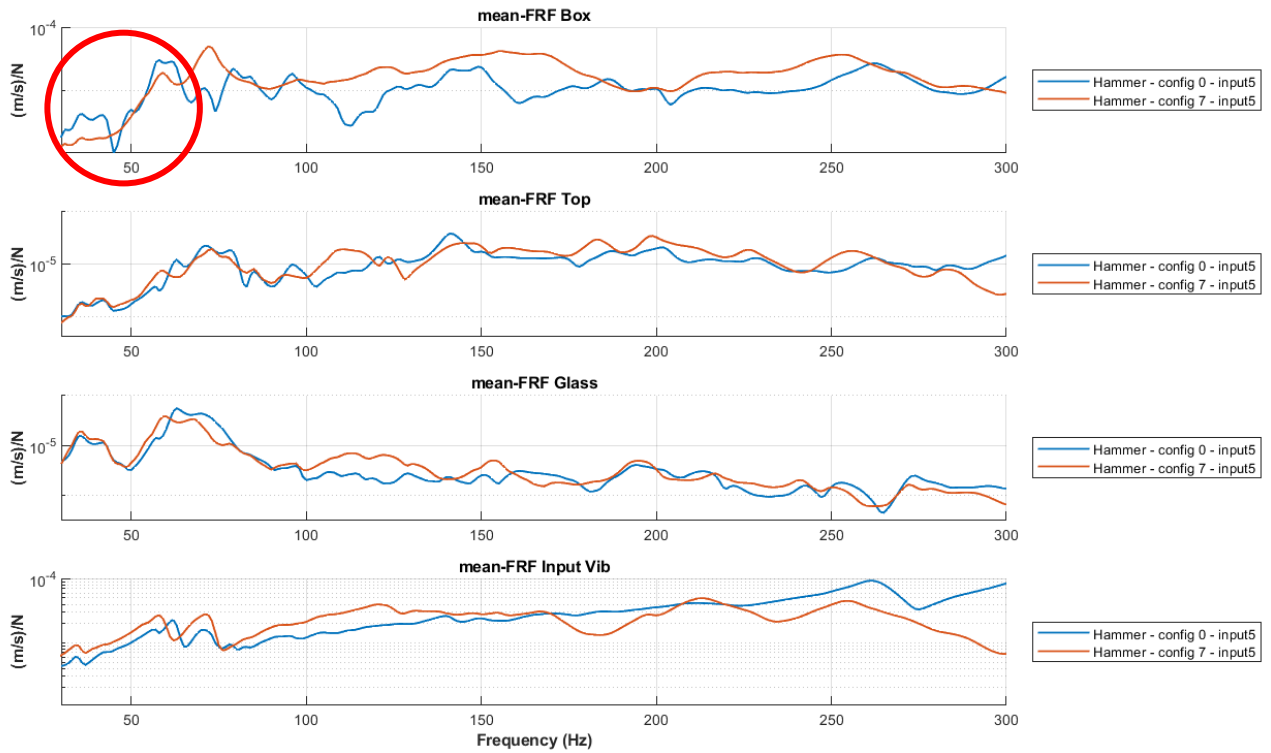


Figura 6.50 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config7 – Input5

Considerando i valori di overall delle FRF per ogni singolo Input rispetto alla configurazione 0 è visibile un abbattimento della vibrazione sia sul Top che sul Box per gli Input 3 e 4 rispetto alla configurazione di riferimento. La FRF sul Glass è quasi analoga alla configurazione di riferimento per tutti gli Input.

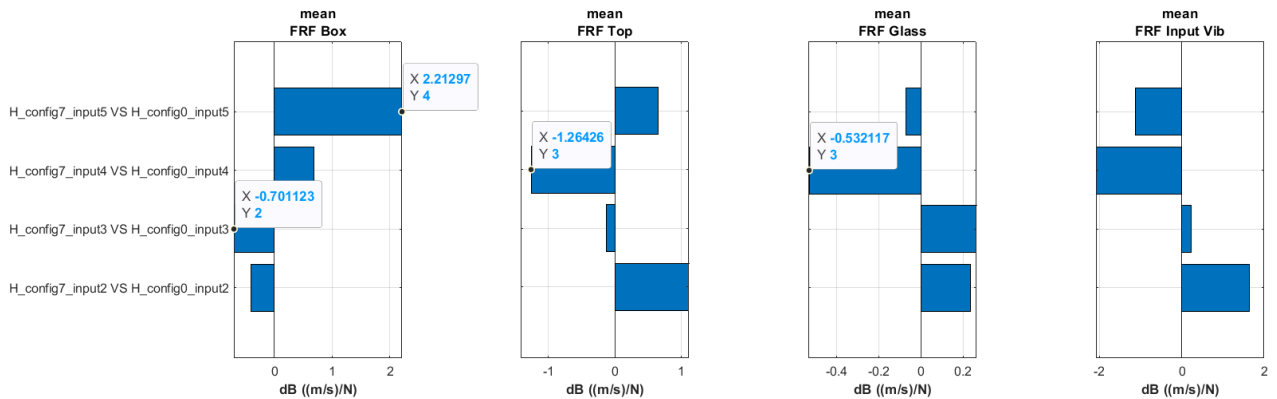


Figura 6.51 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config7

Di seguito viene riportato un grafico spaziale che mette a confronto la configurazione 7 sugli Input 4 e 5 rappresentando il dato della FRF media nel range 30-300 Hz nelle varie patch della geometria della cappa.

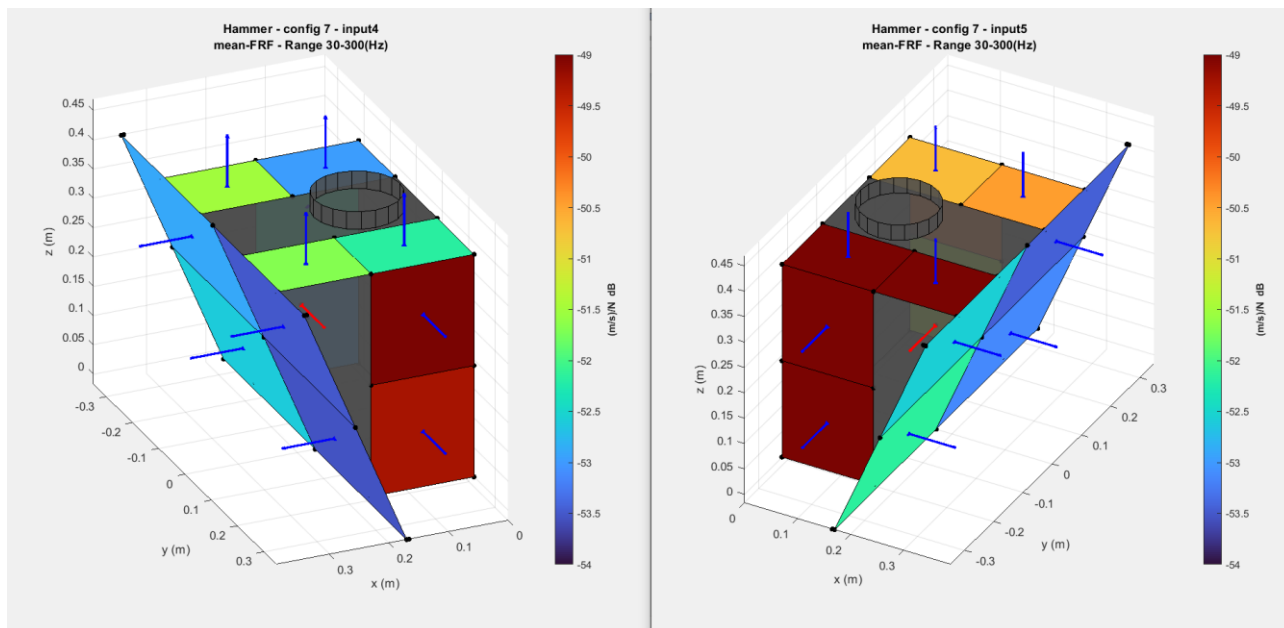


Figura 6.52 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz –config7 – Input4, Input5

Di seguito si passa all’analisi dei risultati relativi al test in condizioni operative. In particolare, per l’auto-spettro dei microfoni nel range 400-4000 si può notare come esso sia molto simile alla configurazione di riferimento. La configurazione 2 risulta sempre essere quella che apporta un abbattimento acustico maggiore.

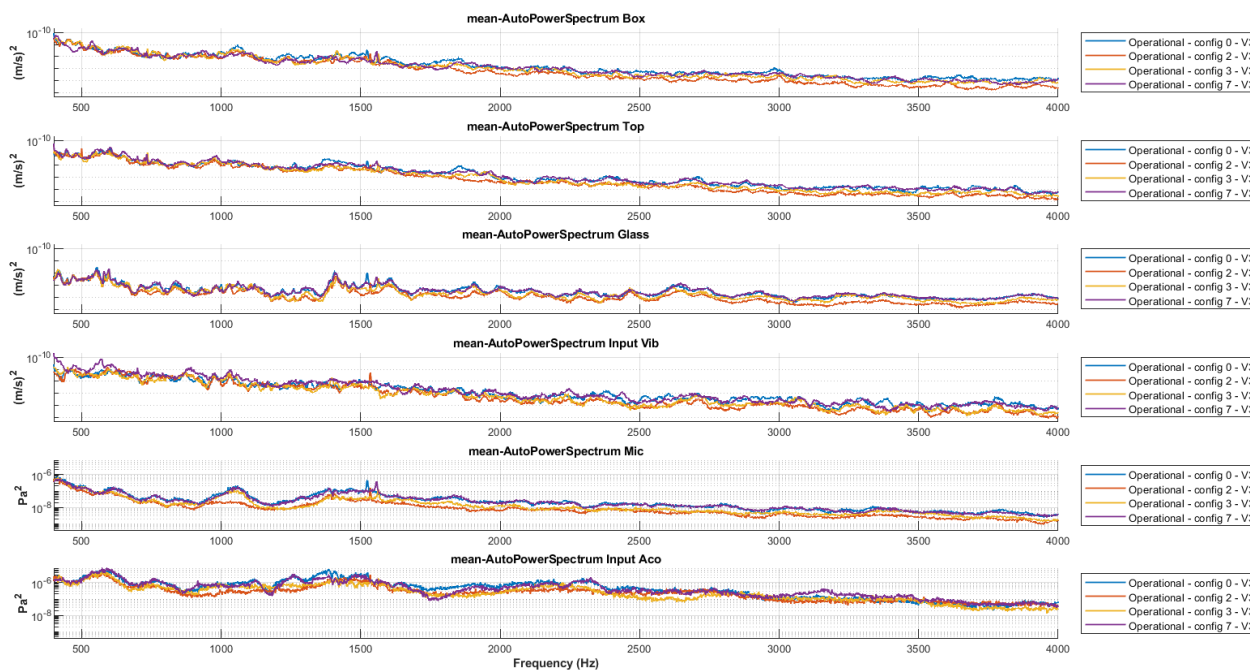


Figura 6.53 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config3, config7

Considerando i valori di overall si può notare come si abbia un abbattimento di 0,4 dB per l'auto-spettro dei microfoni della configurazione 7 rispetto alla 0. Tale dato non è tuttavia da contestualizzare in quanto inferiore all'incertezza di misura che può approssimarsi a 0,6 dB.

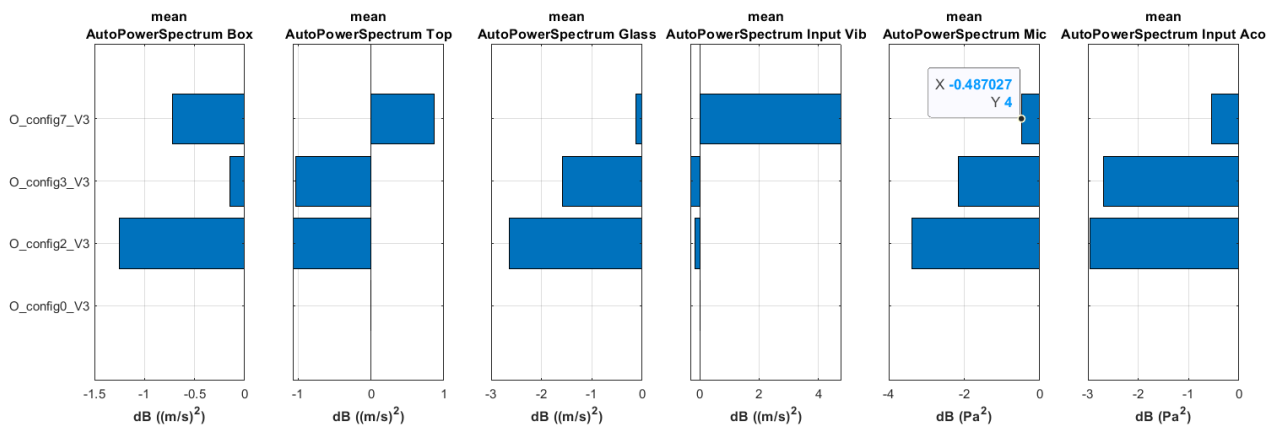


Figura 6.54 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config7

Di seguito una rappresentazione spaziale dell'auto-spettro medio dei microfoni confrontando la configurazione 7 con la 0. I livelli di pressione acustica sono simili come visibile dai colori dei vari microfoni. Come ci si aspettava, la modifica dell'irrigidimento laterale non ha portato molti vantaggi dal punto di vista dell'abbattimento acustico.

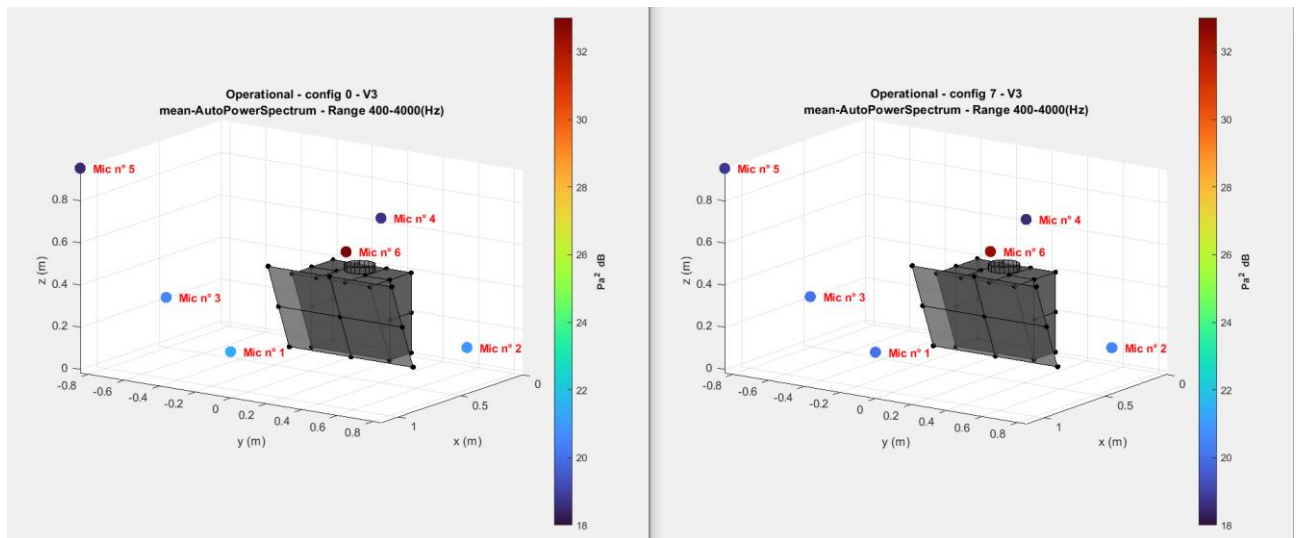


Figura 6.55 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config7

6.1.9. CONFIGURAZIONE 8

La configurazione 8 che prevede l'inserimento di un nastro semi-rigido in alluminio e la melamina entrambi sul Box si presenta, come implementazione della configurazione 2 che presentava solo la melamina sul Box. Per tale motivo la configurazione 8 verrà confrontata con quella di riferimento ovvero la 0, e con appunto la configurazione 2. La configurazione 8 si attende abbia benefici sia per l'acustica, data la presenza di melamina, che per la vibrazione, data la presenza del nastro semi-rigido.

Segue l'analisi dei risultati dell'Hammer Test riportando le FRF per i vari Input nel range 30-300 Hz. Per quanto riguarda l'Input 2 (collocato sul Top) è visibile un abbattimento della vibrazione sul Box rispetto alle configurazioni 0 e 2, infatti i picchi in frequenza sono più smussati.

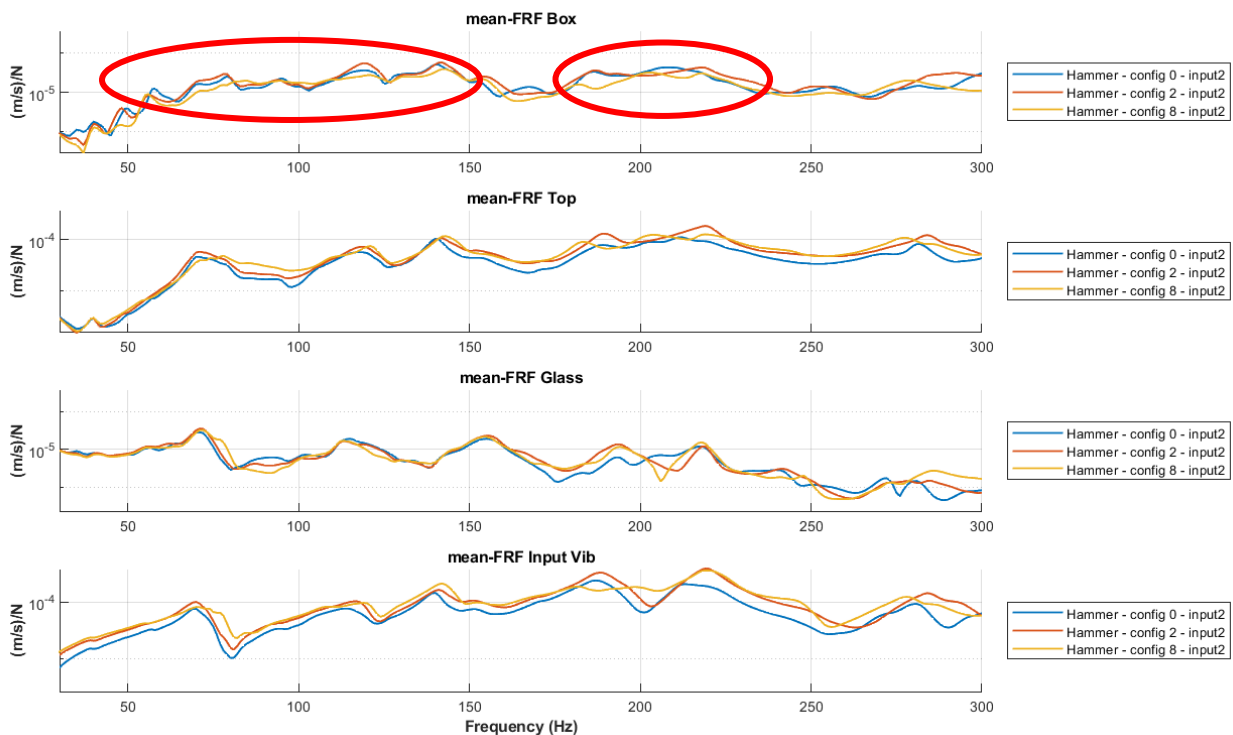


Figura 6.56 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2, config8 – Input2

Per quanto riguarda l'Input 3 (collocato sul Glass) vi è un abbattimento della vibrazione sul Box su tutto il range in frequenza, rispetto alle configurazioni 0 e 2. Le FRF sul Glass sono quasi analoghe a quelle della configurazione 0 e 2.

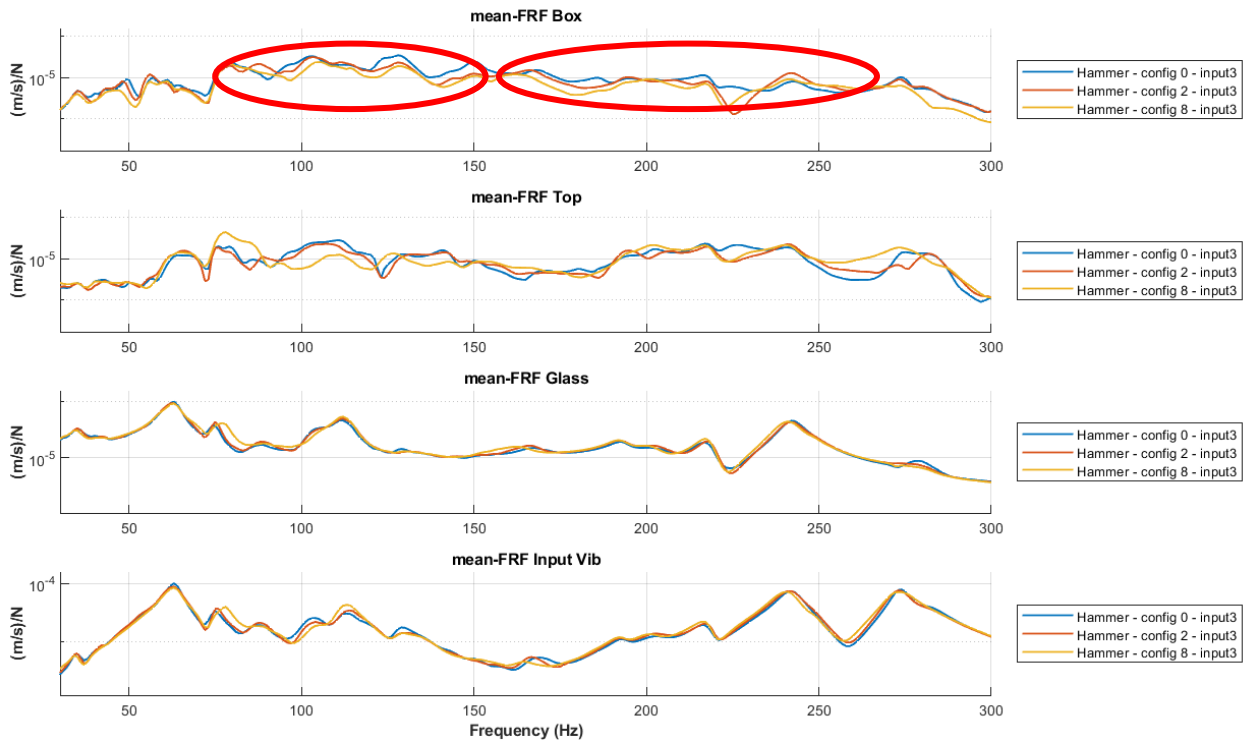


Figura 6.57 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2, config8 – Input3

Anche per l'Input 4, ovvero quando il colpo viene impartito sul Box R, si evidenziano dei miglioramenti per la FRF sul Box rispetto alla configurazione 0 e anche alla 2. La soluzione con il nastro in alluminio è quindi preferibile rispetto alla sola melamina da questo punto di vista.

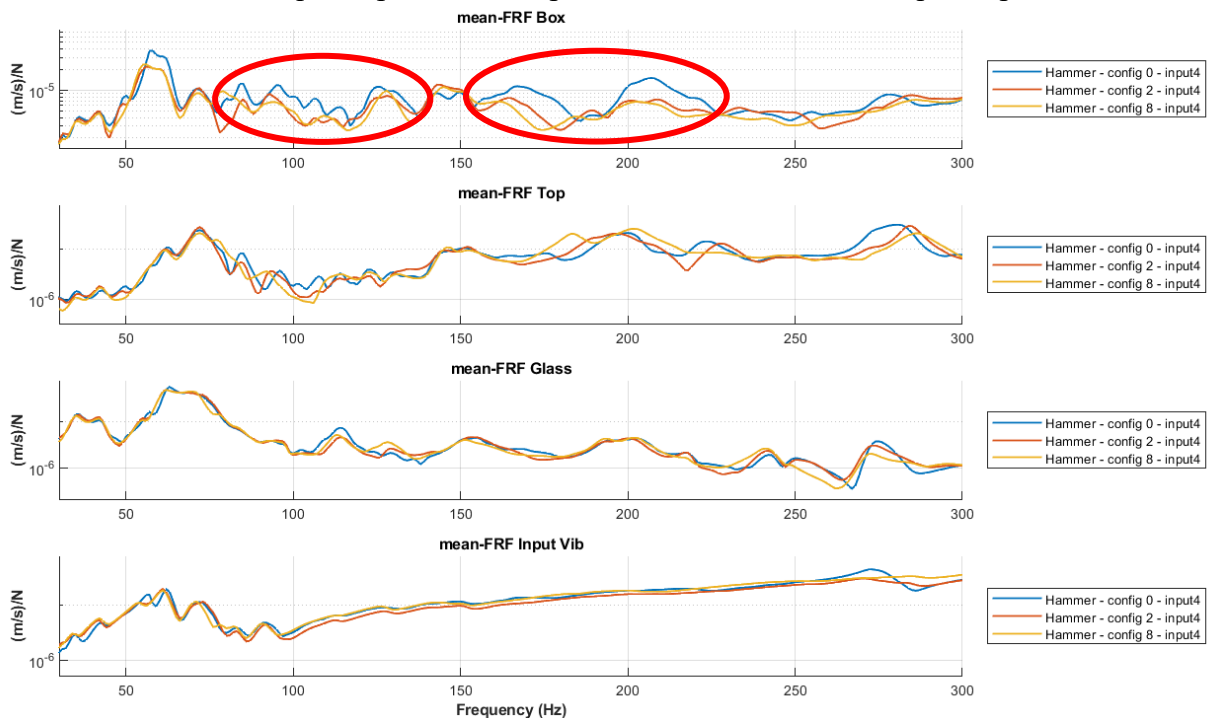


Figura 6.58 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2, config8 – Input4

Analoghe considerazioni possono essere fatte per l'Input 5, collocato sul Box L.

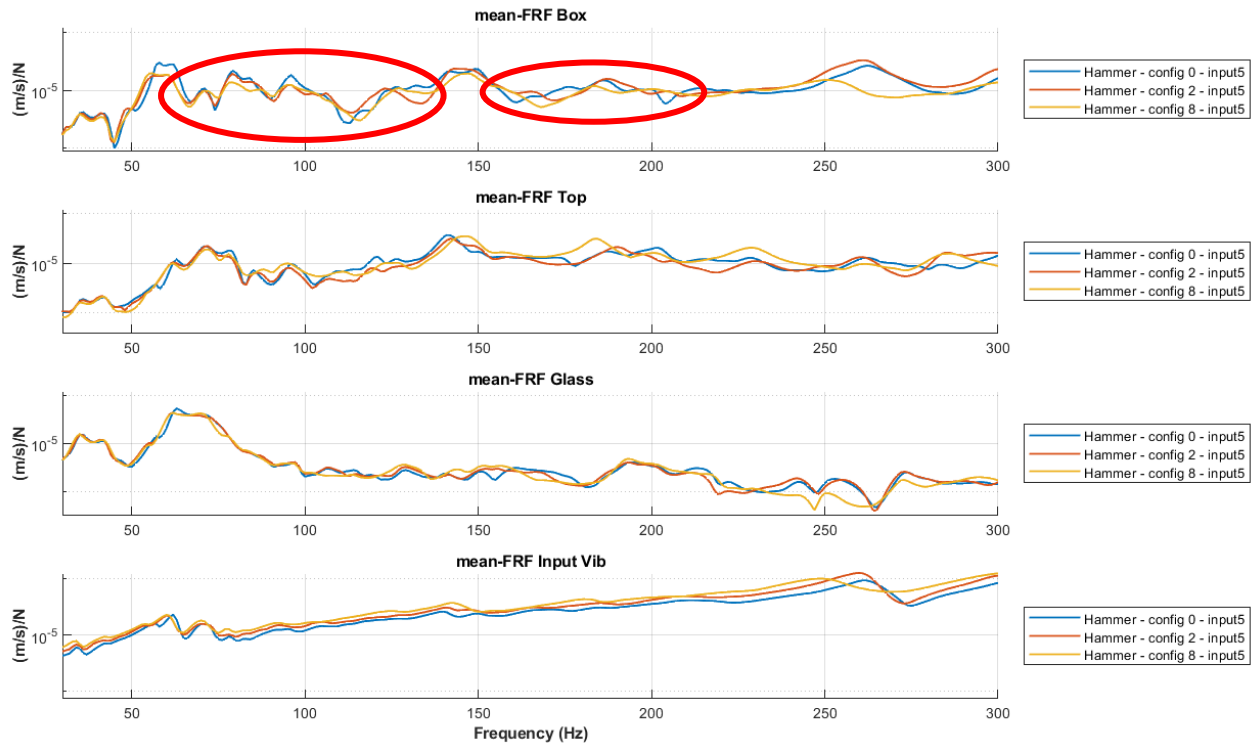


Figura 6.59 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2, config8 – Input5

Considerando i valori di overall per le FRF, analizzando ogni input rispetto alla configurazione 0, è visibile un abbattimento della vibrazione sul Box per tutti gli Input. La soluzione del nastro in alluminio rappresenta quindi una valida alternativa, se non preferibile, rispetto alla configurazione 7 con gli irrigidimenti a staffa.

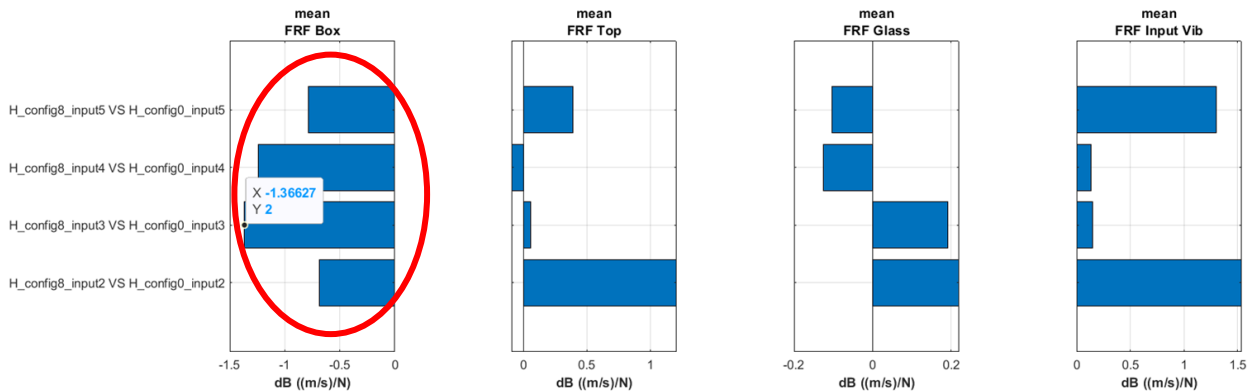


Figura 6.60 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config8

Di seguito una rappresentazione spaziale delle FRF nel range 30-300 Hz, relative alla configurazione 8, confrontando l'Input 4 e 5.

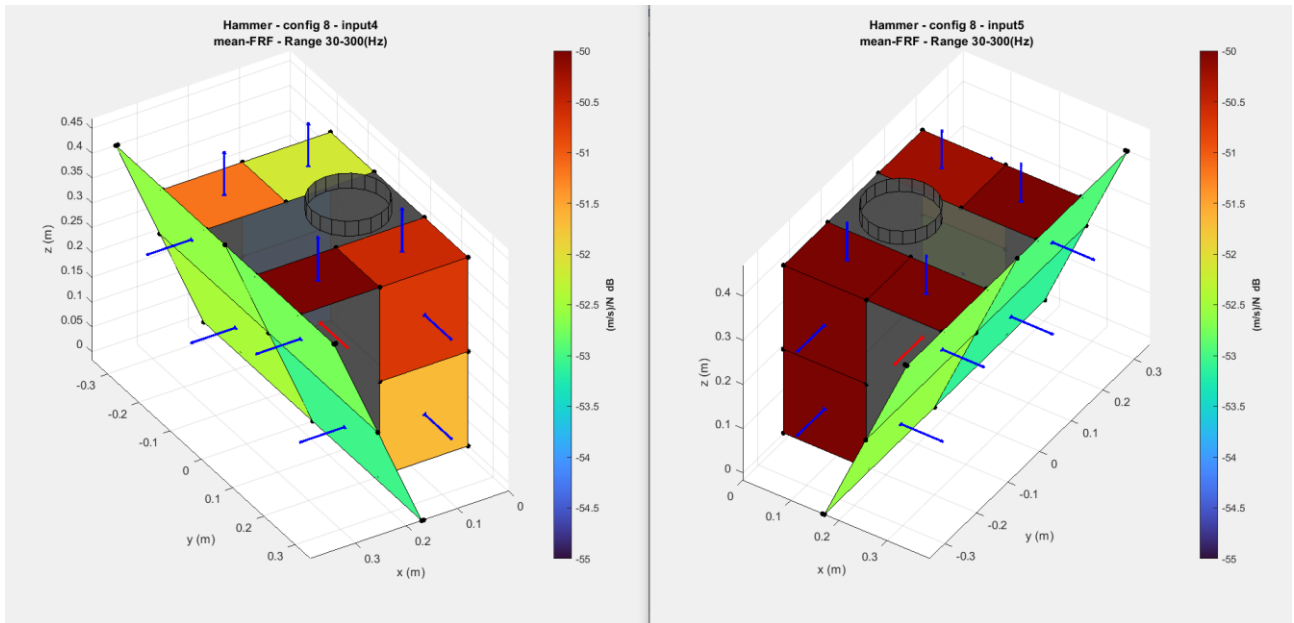


Figura 6.61 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config8 – Input4, Input5

Segue l'analisi dei risultati dell'Operative Test visualizzando l'AutoPower dei segnali del range 400-4000 Hz. Per quanto riguarda l'auto-spettro dei microfoni è visibile come ci sia un abbattimento di valore comparabile con la configurazione 2.

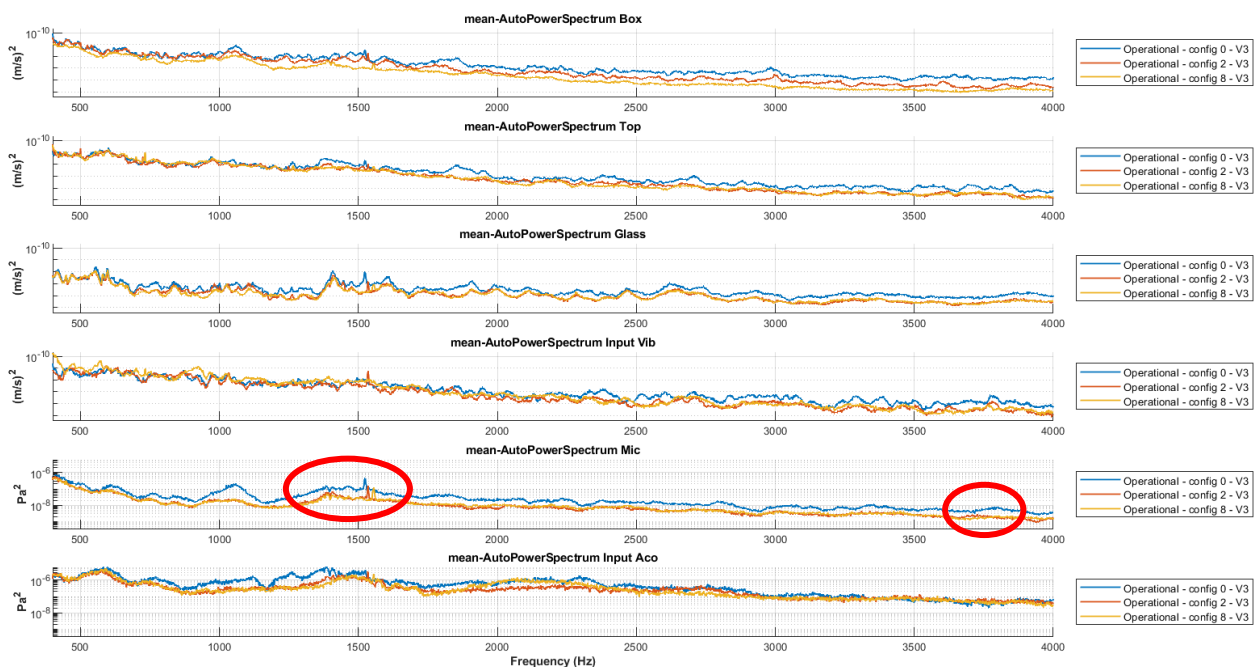


Figura 6.62 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config8

Analizzando i valori di overall dell'auto-spettro dei microfoni si ha un abbattimento di 3,5 dB in pressione acustica rispetto alla configurazione di riferimento. Tale valore è quasi analogo a quello della configurazione 2. Nel complesso, la configurazione 8 risulta comunque essere preferibile rispetto alla 2 perché ha stessi benefici per l'acustica ma è migliorativa anche per l'abbattimento della vibrazione.

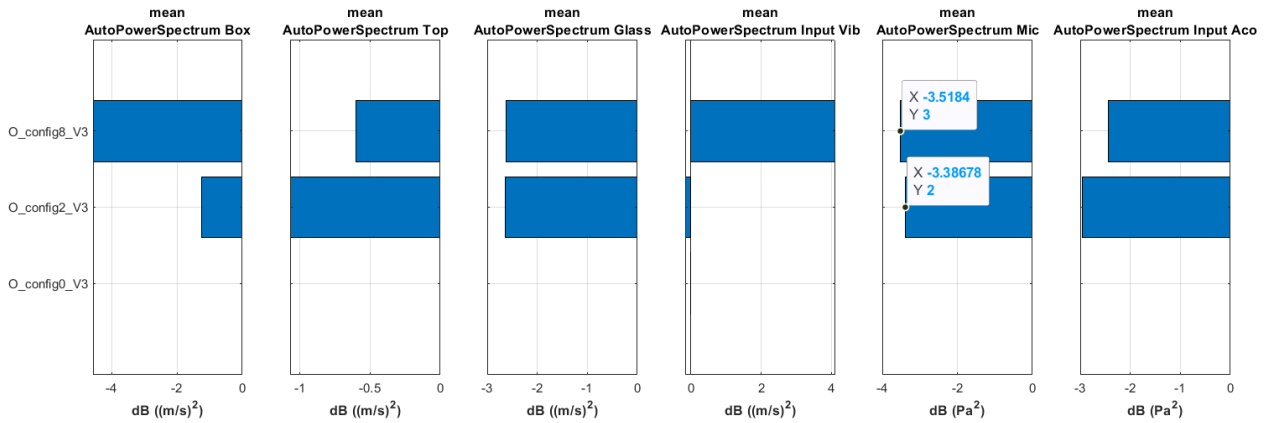


Figura 6.63 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config8

Di seguito una rappresentazione spaziale dell'auto-spettro medio dei microfoni che evidenzia una diminuzione della pressione sonora rispetto alla configurazione di riferimento.

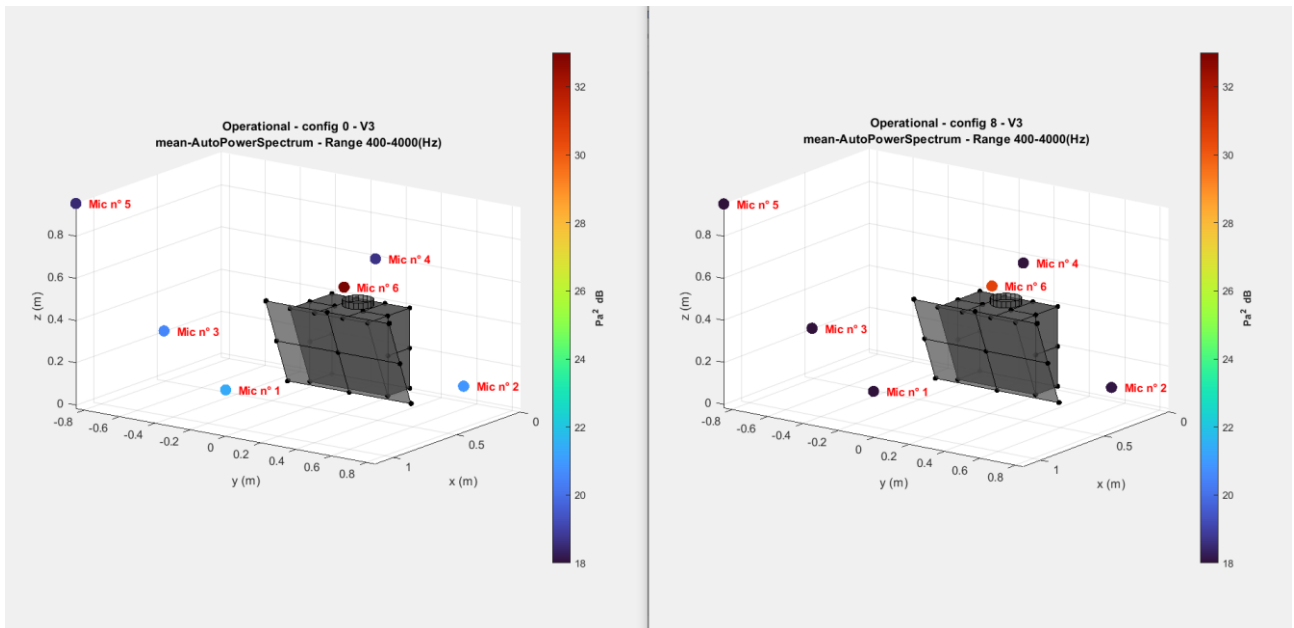


Figura 6.64 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config8

6.1.10. CONFIGURAZIONE 9

La configurazione 9, come la 8, implementa le configurazioni iniziali aggiungendo oltre alla melamina il nastro in alluminio. Questa volta la modifica viene applicata sul Top. La configurazione 9 verrà quindi confrontata con quella 0 di riferimento e con la 3 che presentava la sola melamina sul Top.

Vengono inizialmente considerati i risultati relativi all'Hammer Test per le FRF nel range 30-300 Hz. Per quanto riguarda l'Input 2 (collocato sul Top), vi è un abbattimento della vibrazione sul Top, i picchi sono infatti più smussati sia rispetto la configurazione di riferimento che la 3.

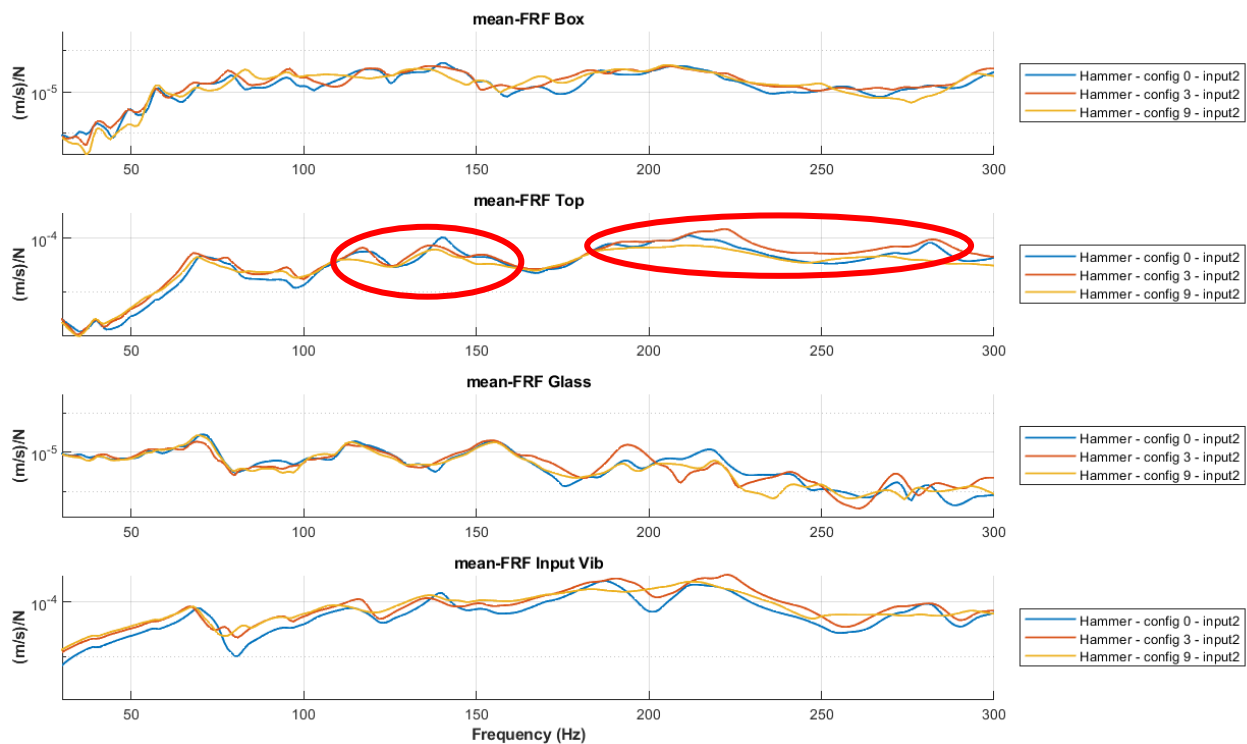


Figura 6.65 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3, config9 – Input2

Anche considerando l'Input 3 ovvero quando il colpo viene impartito sul Glass, considerando le FRF sul Top, vi è un abbattimento rispetto alle altre configurazioni.

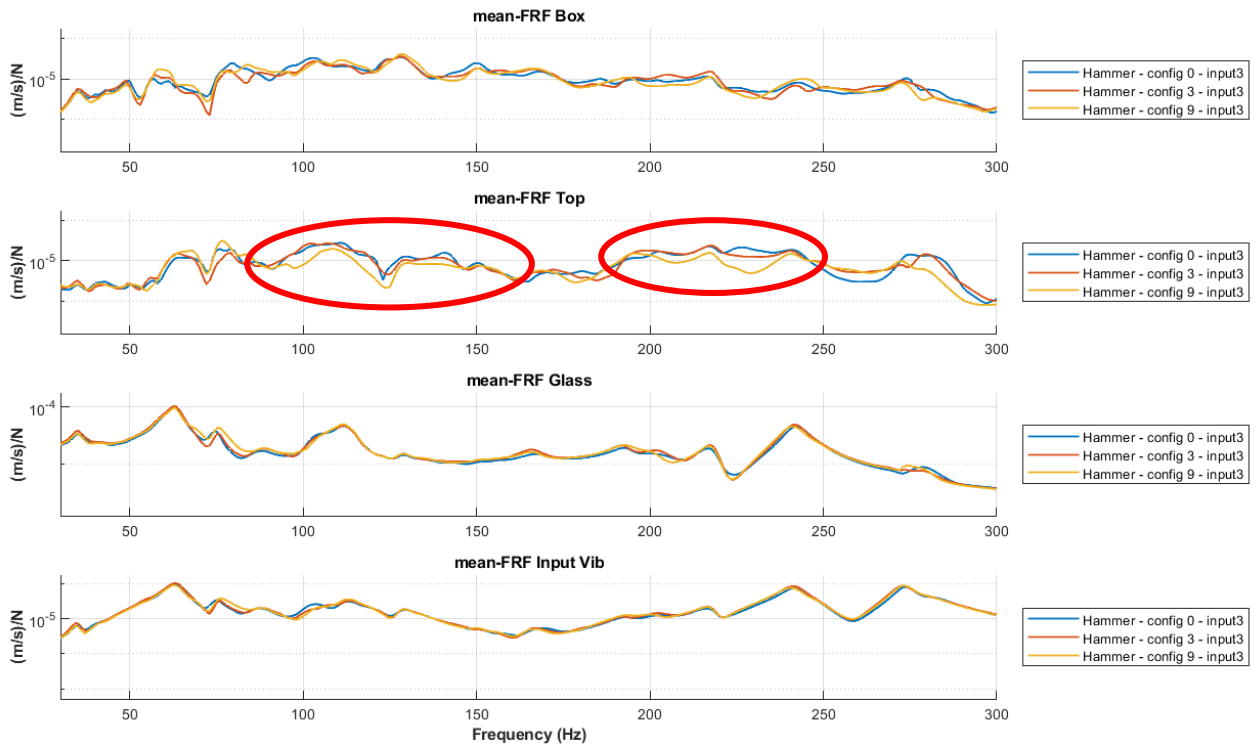


Figura 6.66 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3, config9 – Input3

Considerando l'Input 4 (collocato sul Box R) vi è un abbattimento della vibrazione sia sul Box che sul Top molto evidente rispetto alla configurazione 3. Le FRF sul Glass sono quasi analoghe alla configurazione di riferimento.

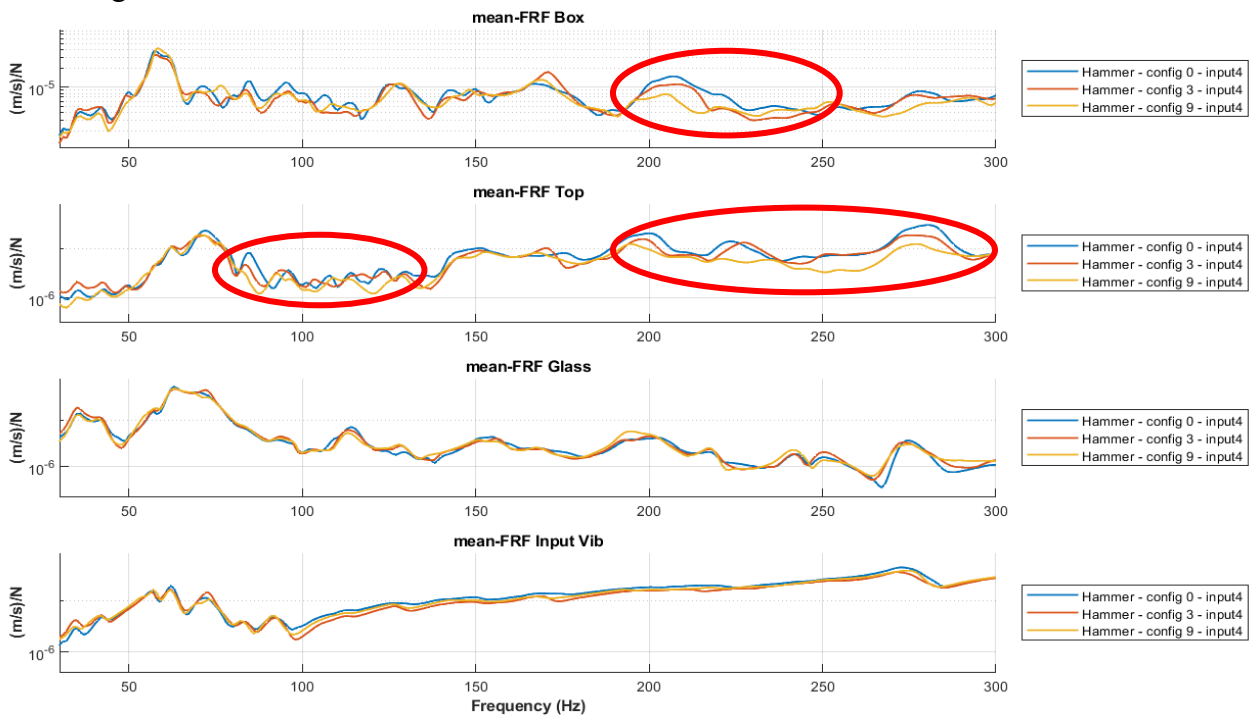


Figura 6.67 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3, config9 – Input4

Considerando l'Input 5 (collocato sul Box L) si possono fare analoghe considerazioni sui risultati.

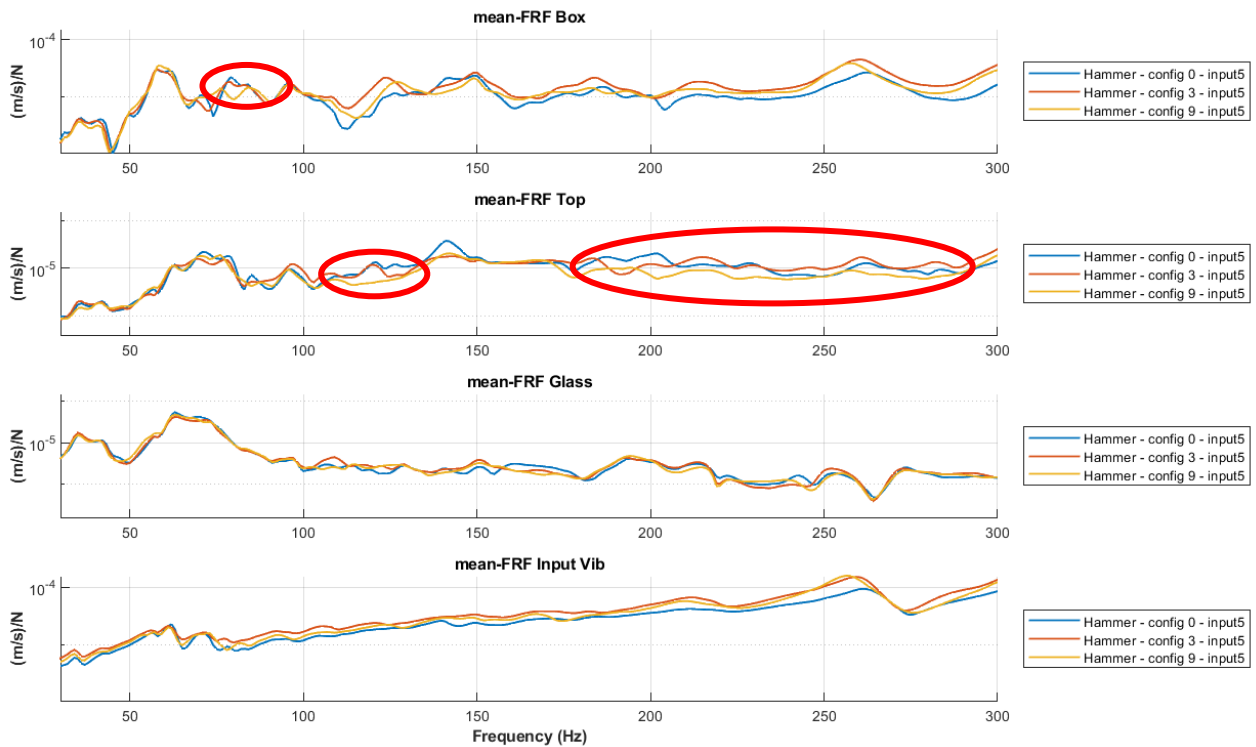


Figura 6.68 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3, config9 – Input5

Considerando i valori di overall delle FRF confrontati per ogni Input rispetto alla configurazione 0 si può notare come si abbia un abbattimento della vibrazione sul Top per tutti gli Input e sul Box soprattutto per gli Input 3 e 4. Le FRF sul Glass sono quasi analoghe alla configurazione di riferimento.

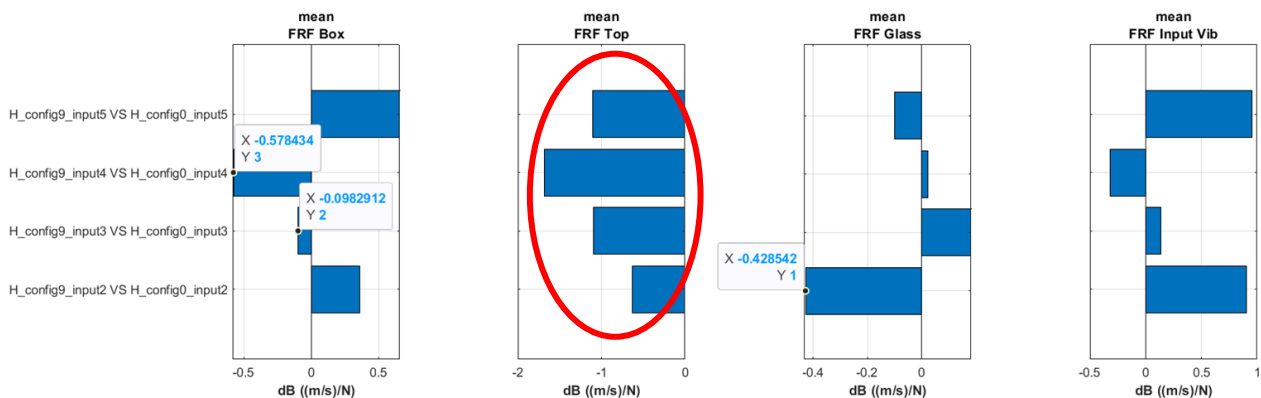


Figura 6.69 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config9

Di seguito viene riportato un grafico spaziale che mette a confronto la configurazione 9 con la 0 quando l'Input è impartito sul Top (Input 2), ovvero dove è applicata la modifica. Il dato rappresentato nelle patch è sempre il livello medio della FRF nel range 30-300 Hz.

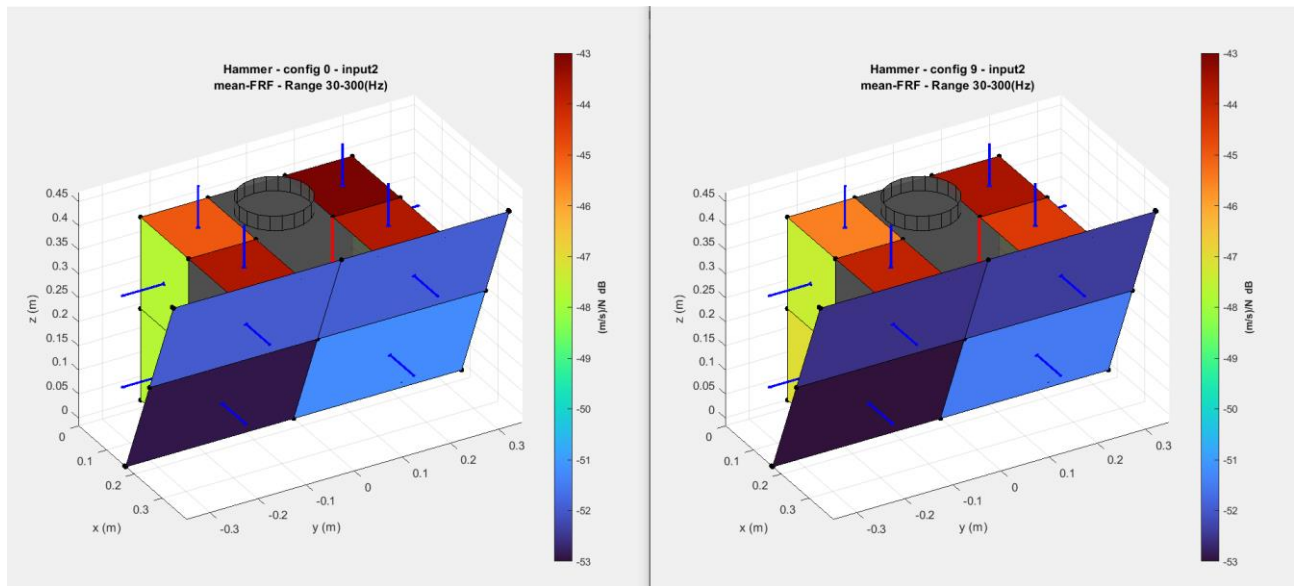


Figura 6.70 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz –config0, config9 – Input2

Si passa quindi all'analisi dei risultati relativi all'Operative Test. Osservando l'auto-spettro medio dei microfoni nel range 400-4000 Hz vi è un miglioramento rispetto alla configurazione di riferimento ma la configurazione 2 e la 8 (la 2 con melamina o la 8 melamina e nastro in alluminio) che apportano la modifica sul Box sono da preferire alla configurazione 9 che la apporta sul Top.

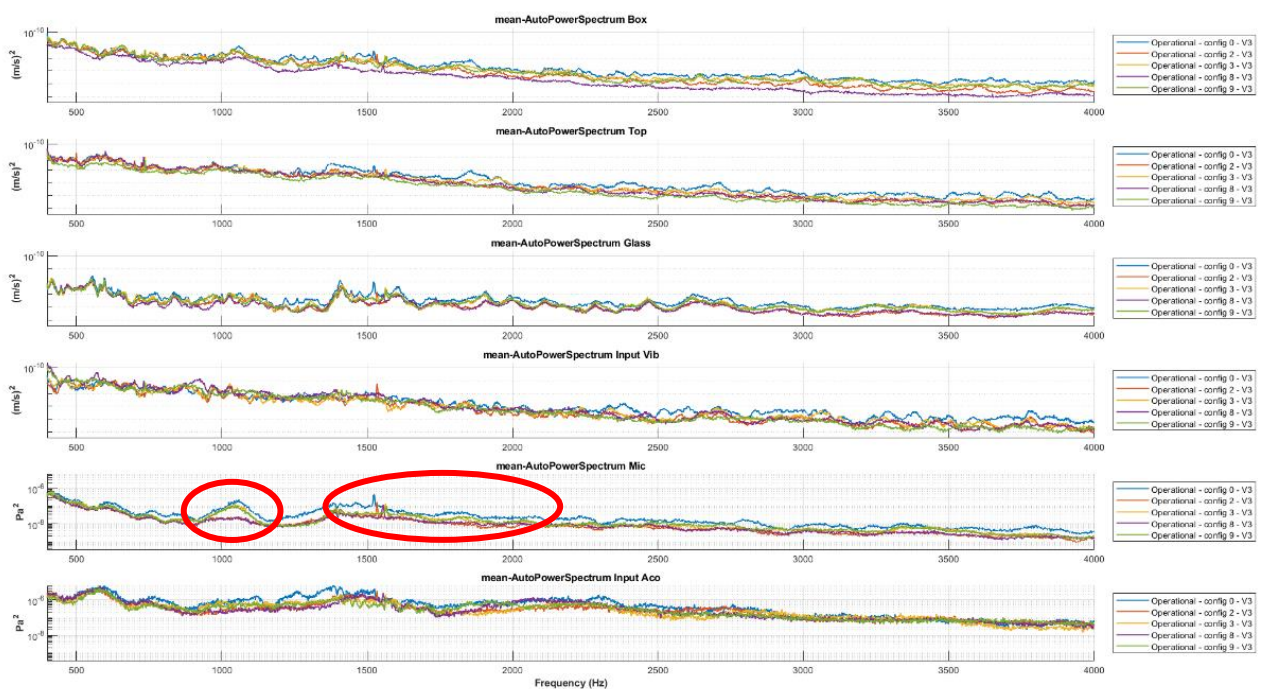


Figura 6.71 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config3, config8, config9

Considerando i valori di overall per l'AutoPower relativo al test in condizioni operative, la configurazione 9 apporta un abbattimento di 2,2 dB in pressione acustica rispetto alla configurazione 0. Stesso valore è attribuibile alla configurazione 3 con la sola melamina sul Top ma la configurazione 9 risulta essere preferibile in quanto, a pari abbattimento acustico, vi sono benefici anche per la vibrazione.

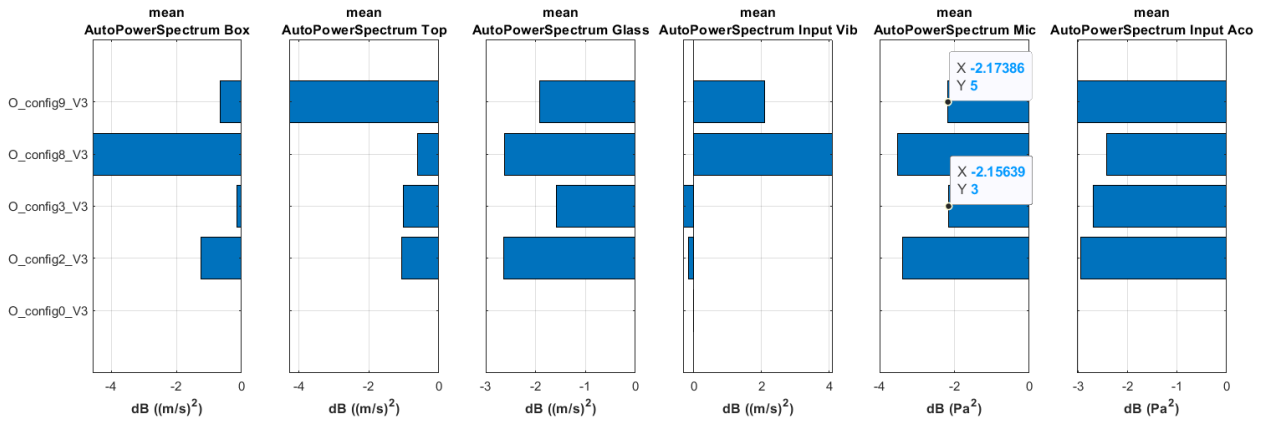


Figura 6.72 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config8, config9

Di seguito una rappresentazione spaziale dello stesso dato relativo all'auto-spettro medio sui microfoni per la configurazione 9 rispetto alla 0.

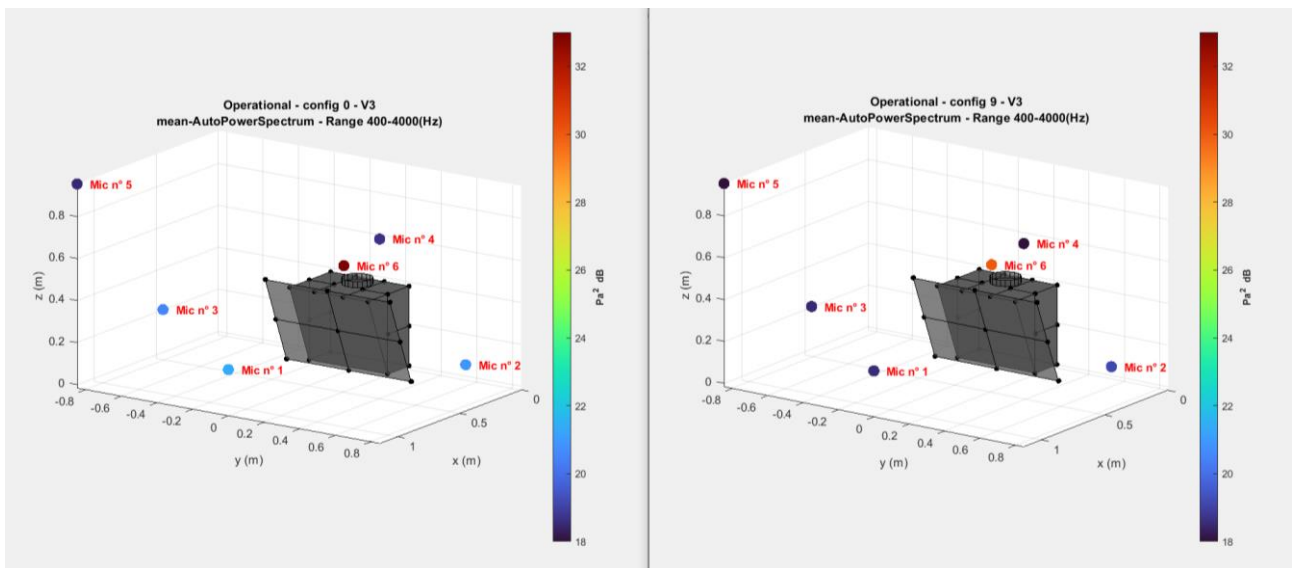


Figura 6.73 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config9

6.1.11. CONFIGURAZIONE 10

La configurazione 10 risulta essere identica alla configurazione 2 ovvero presenta i pannelli in melamina sui lati della scocca della cappa ovvero sul Box.

In questo caso è stato effettuato solo l'Operative Test, e non l'Hammer Test, in quanto si voleva verificare la coerenza dei risultati dopo vari montaggi e smontaggi della cappa e del gruppo di aspirazione.

Di seguito i risultati relativi all'Operative Test nel range 400-4000Hz. Per quanto riguarda l'auto-spettro medio dei microfoni vi sono degli scostamenti dovuti probabilmente alla variazione delle condizioni di vincolo tra i due test.

Analizzando tutto il range in frequenza, tuttavia, la curva relativa alla configurazione 10 risulta essere molto simile alla 2. Vi è uno scostamento molto evidente per l'auto-spettro medio del microfono di riferimento ovvero il numero 6 (Input Aco) dovuto probabilmente ad una variazione nel posizionamento del microfono stesso tra i due test. Anche spostamenti dell'ordine dei mm sono influenti sui risultati di pressione sonora.

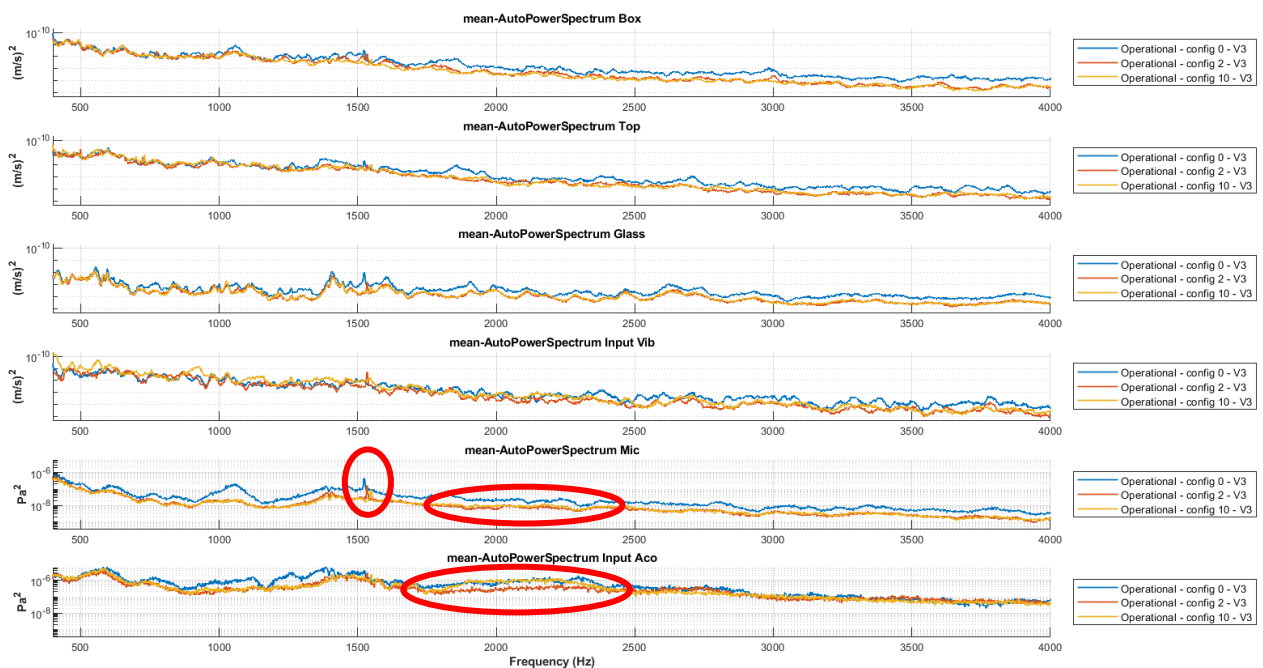


Figura 6.74 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config10

Considerando i valori di overall, la configurazione 10 comporta un abbattimento di 3,6 dB in pressione mentre la 2 abbatte 3,3 dB, sempre rispetto alla configurazione di riferimento. Lo scostamento di 0,3 dB, dovuto al montaggio e smontaggio della cappa tra un test e l'altro, è contenuto nell'incertezza di misura di 0,6 dB circa, quindi la configurazione risulta essere riproducibile.

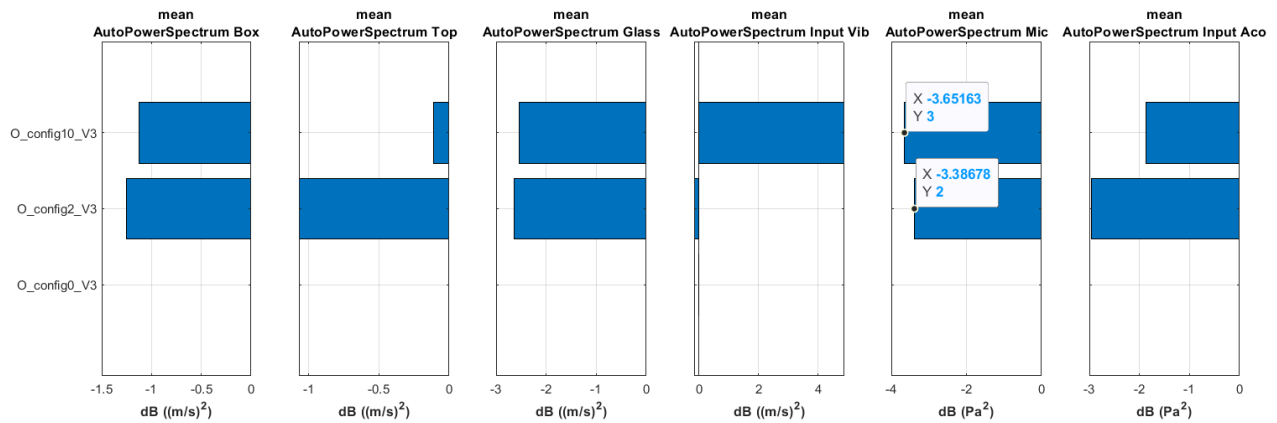


Figura 6.75 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config10

6.1.12. CONFIGURAZIONE 11

La configurazione 11 è anch'essa stata testata solo per l'Operative Test e non per l'Hammer Test. Essa si presenta come una implementazione della configurazione 4 (melamina diffusore) dove la melamina va a coprire tutte le cavità del naso del diffusore. Viene inoltre inserita melamina anche sui pannelli laterali del Box come era stato per la configurazione 2.

Di seguito sono riportati i risultati dell'Operative Test ed in particolare l'AutoPower nel range 400-4000 Hz. La configurazione 11 comporta un abbattimento nell'auto-spettro medio dei microfoni comparabile con quello delle configurazioni 2, 8, 10.

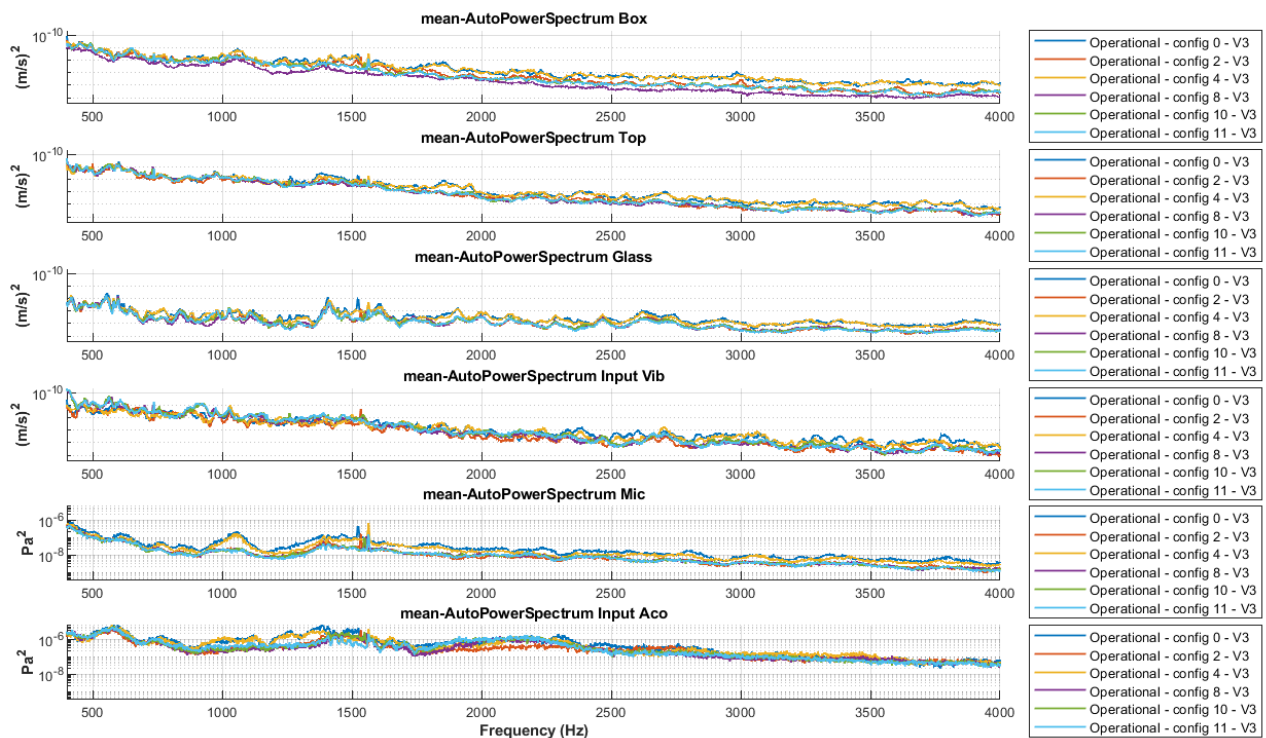


Figura 6.76 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config4, config8, config10, config11

Per quanto riguarda i valori di overall la configurazione 11 comporta un abbattimento di 3,74 dB in pressione sonora, comparabile con quello della configurazione 2 ed 8. La configurazione 4 della melamina sul solo diffusore risulta essere peggiore probabilmente perché la melamina non era stata inserita nelle cavità né erano presenti i pannelli in melamina sul Box. La configurazione 8 dal punto di vista acustico è equivalente alla 2 ma risulta essere preferibile poiché presenta benefici anche per le vibrazioni.

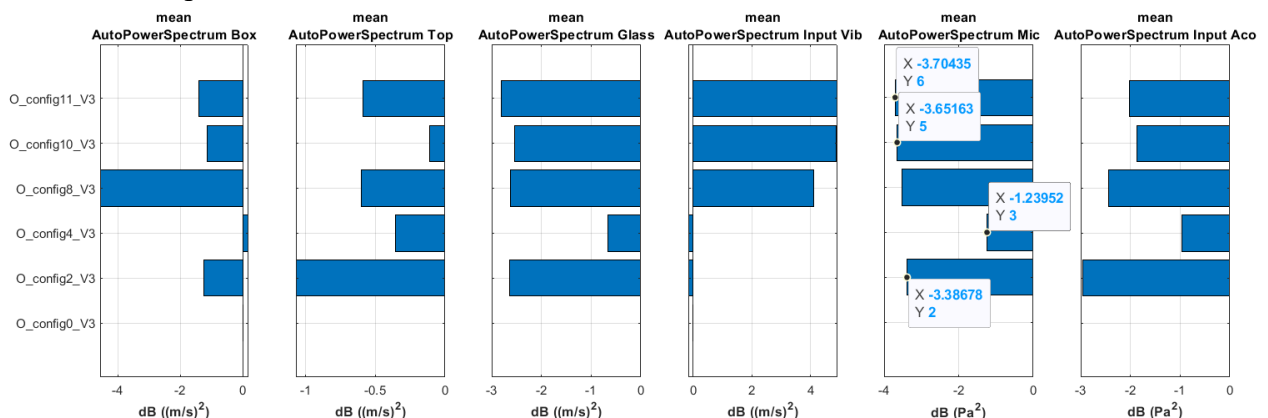


Figura 6.77 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config4, config8, config10, config11

6.2. RISULTATI DELL'ANALISI DI SOUND QUALITY

Oltre all'Hammer Test e all'Operative Test è stata effettuata un'ulteriore analisi ovvero quella di Sound Quality. Il calcolo delle metriche psicoacustiche è stato prima effettuato in Testlab ed in seguito è stato elaborato un modello in Matlab come riportato in Appendice 3.

Di seguito una breve tabella che riassume tutte le configurazioni testate con specificato quale modifica viene apportata su ognuna.

Tabella 6 Elenco delle configurazioni

Configurazione n°	Descrizione
1	As is
2	Melamina Box
3	Melamina Top
4	Melamina Diffusore
5	Gomma magnete
6	Gomma collarino
7	Irrigidimento Box
8	Melamina + nastro alluminio Box
9	Melamina + nastro alluminio Top
11	Melamina Diffusore + Melamina Box

Di seguito viene presentata l'analisi dei risultati che mette a confronto le varie configurazioni in base alle metriche di Sound Quality. Analizzando i risultati ottenuti per l'indice globale di SPI (Subjective Preference Index) è visibile come le configurazioni che hanno prestazioni peggiori siano la 5, 6, 7 mentre le configurazioni migliori sono quelle in cui è stata inserita la melamina ed in particolare quelle in cui la melamina è stata inserita sul Box ovvero la 2, 8 e 11.

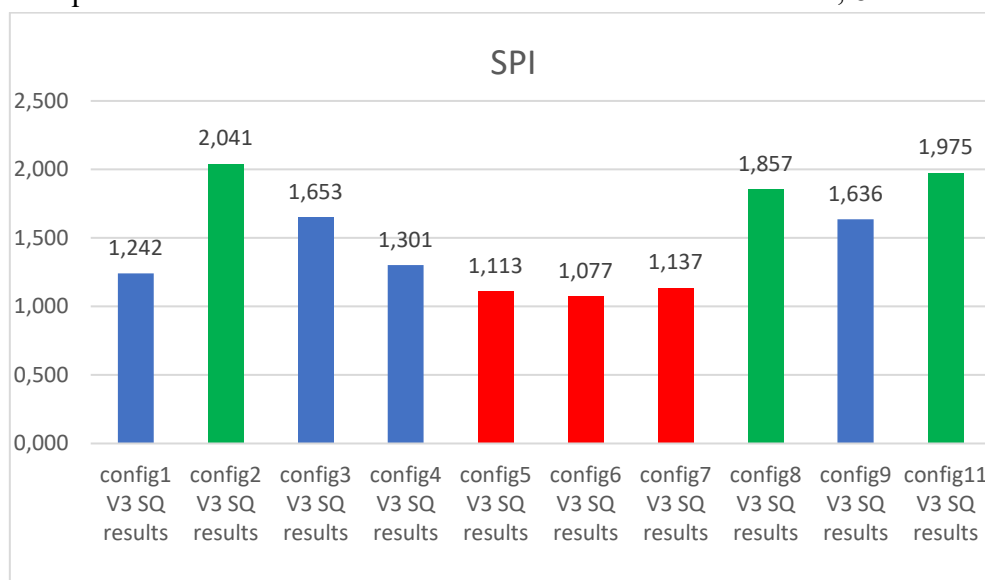


Figura 6.78 Sound Quality Results – SPI

Di seguito vengono analizzati nel dettaglio i dati relativi alle singole metriche. Per quanto riguarda l'OAI si può notare un miglioramento su tutte le configurazioni ma i risultati migliori sono ottenuti sempre per le configurazioni 2, 8, 11.

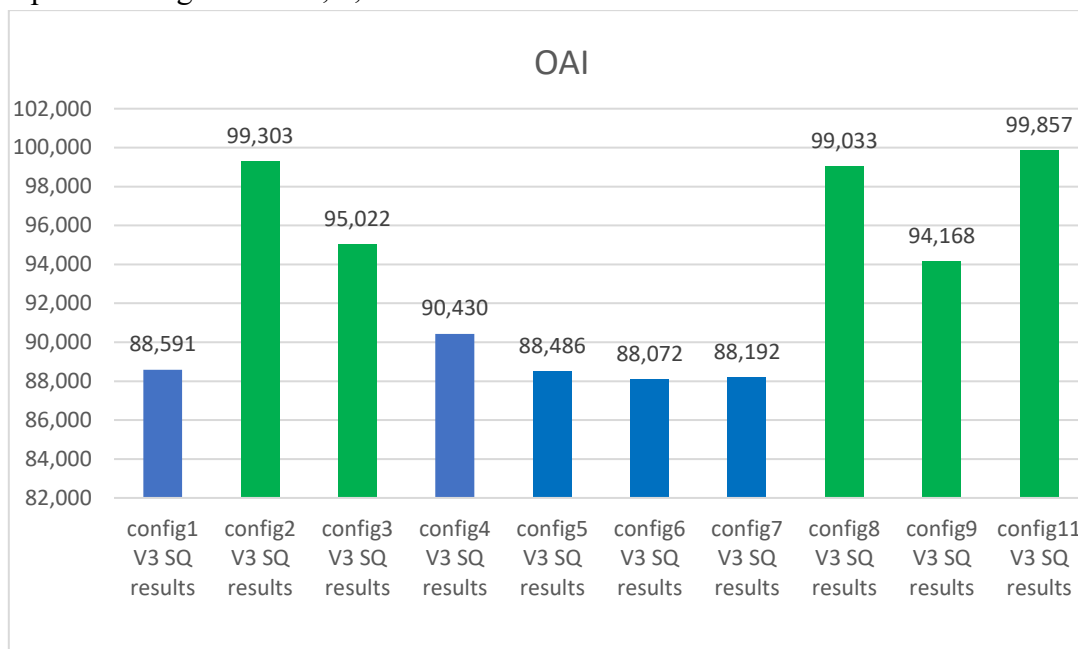


Figura 6.79 Sound Quality Results – OAI

Per quanto riguarda invece la metrica della Loudness si evidenzia un peggioramento per le configurazioni 5, 6, 7 mentre un miglioramento sempre per le configurazioni che prevedono l'aggiunta di melamina ovvero la 2, 3, 8, 9, 11.

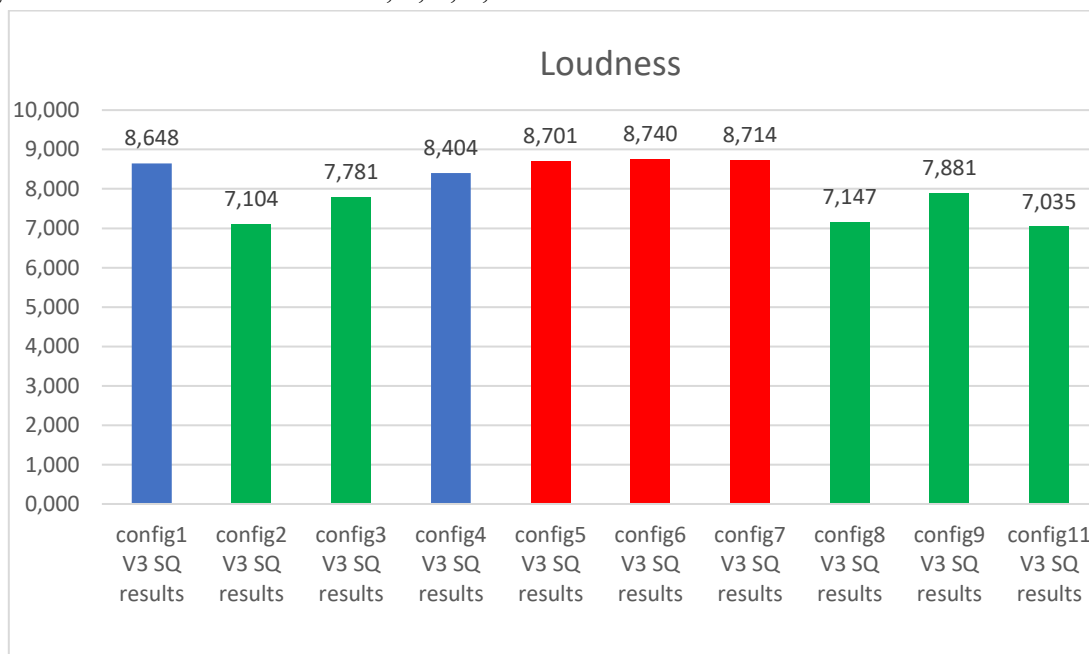


Figura 6.80 Sound Quality Results – Loudness

Per quanto riguarda la Sharpness è evidenziato un miglioramento su tutte le configurazioni testate con risultati nettamente migliori per le configurazioni con la melamina sul Box ovvero la 2 e la 8 così come la 11 che risulta essere la migliore.

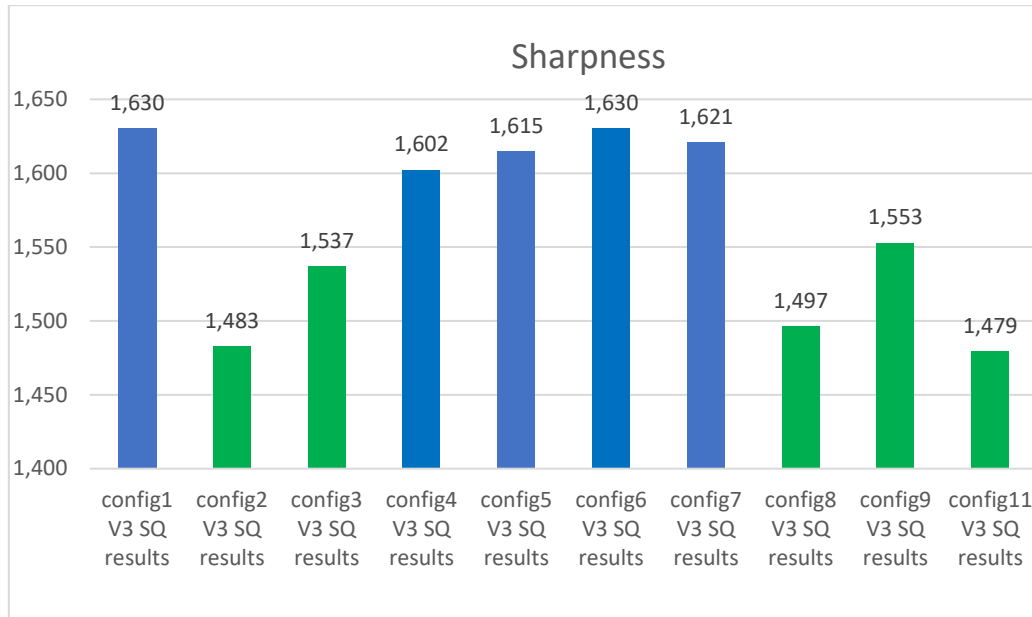


Figura 6.81 Sound Quality Results – Sharpness

Infine, per la metrica della Roughness possono essere fatte le medesime considerazioni in quanto si ha un miglioramento per tutte le configurazioni testate ed in particolare per la 8 e la 11 che sono quelle ottimali.

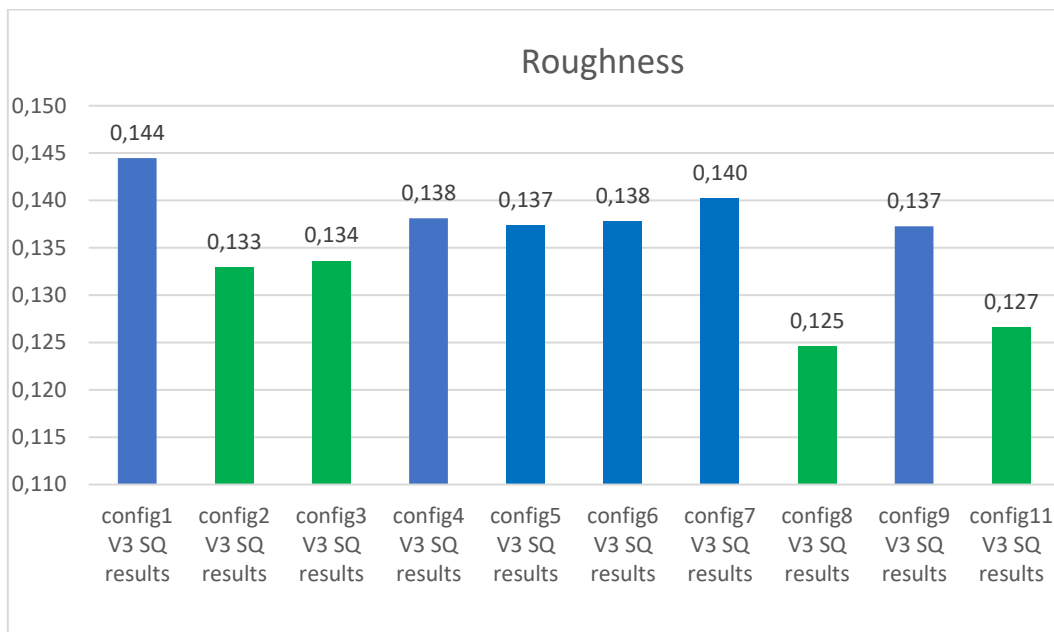


Figura 6.82 Sound Quality Results – Roughness

CONCLUSIONI

L'analisi vibroacustica della cappa aspirante è di notevole importanza in quanto le performance acustiche e vibrazionali di tale elettrodomestico sono altamente impattanti, anche sulla percezione del prodotto che ha il consumatore finale.

Analizzare il problema sia dal punto di vista vibrazionale che acustico si è rivelato importante in quanto alcune delle soluzioni studiate per abbattere le vibrazioni hanno riportato un miglioramento per l'acustica e viceversa.

In particolare, l'analisi di riproducibilità è stata fondamentale per la verifica dell'affidabilità della misura e dei test effettuati. In qualsiasi processo di acquisizione di misure vi è alla base la necessità di una stima dell'incertezza di misura.

Le configurazioni che hanno riportato risultati ottimali sono la 2 e la 8 nonché la 11 ovvero quelle che prevedono l'aggiunta di pannelli in melamina sul Box della cappa. Tale zona risulta quindi essere quella critica da considerare per l'emissione di rumore.

In particolare, la configurazione 8 che prevede l'aggiunta, oltre alla melamina, del nastro semi-rigido in alluminio, risulta essere molto efficace anche per abbattere le vibrazioni.

La configurazione 11 che implementa anche la melamina sul diffusore potrebbe essere ulteriormente migliorata andando a coprire meglio le cavità del nasello in quanto il gruppo di aspirazione è la principale sorgente di rumore.

I risultati dell'analisi di Sound Quality si sono dimostrati in accordo con quelli di Impact Testing e Operative Testing evidenziando le stesse configurazioni critiche e ottimali.

In conclusione, tale analisi ha affrontato il problema dell'abbattimento del rumore percepito di una cappa aspirante in maniera completa ed efficace andando a delineare delle possibili soluzioni implementative per un'ottimizzazione del prodotto. Tali soluzioni dovranno comunque essere validate in accordo con la produzione e quindi a tale analisi seguirà uno studio di fattibilità per la valutazione dei costi.

APPENDICE 1

```
clear; close all; clc
addpath('TL_funcs'),addpath('FABER_Vertical_funcs')
geometry_path = '.';

% Percorso file ".mat" da leggere basepath --> basepath
% Lista dei file da leggere --> fname_list (cell array di stringhe)

basepath = 'C:\Users\vale-\Desktop\TESI\FABER\MATLAB\Dati per analisi\O_converted'
fname_list =
{'O_config0_V3', 'O_config1_V3', 'O_config100_V3', 'O_config200_V3', 'O_config300_V3'};

%% Selezionare il tipo di dato da visualizzare
%data_type = 'FRF';
%data_type = 'Coherence';
data_type = 'AutoPowerSpectrum';
%% Scelta grandezza fisica da visualizzare

% Conversione acc->vel disponibile solo per le seguenti combinazioni
%{'H-FRF', 'O-AutoPowerSpectrum'}

% vibration_unit = 'acceleration'; % acceleration - velocity
vibration_unit = 'velocity'; % acceleration - velocity

%% Lettura file mat
F = length(fname_list);
meas_label = cell(F,1);
clc
for ff=1:F
    filename = fname_list{ff};
    [M(ff),meas_label{ff},meas_id,v_ref,v_unit,a_ref,a_unit] =
unpack_measurements_Vertical_v2(basepath,filename,data_type,vibration_unit);
end
f_axis = M(1).f_axis;

%% Cosa è possibile plottare tra i sub-groups?
sub_labels = {'Box', 'Top', 'Glass', 'Input Vib', 'Mic', 'Input Aco'};
sub_types = {'Vibration', 'Vibration', 'Vibration', 'Vibration', 'Acoustic', 'Acoustic'};
% =====
% switch meas_id
%     case {'H-FRF', 'H-Coherence'}
%         sub_list = [1 2 3 4];
%     case {'Q-FRF', 'Q-Coherence', 'O-AutoPowerSpectrum'}
%         sub_list = [1 2 3 4 5 6];
%     case {'O-FRF', 'O-Coherence'}
%         sub_list = [1 2 5];
% end
% =====
% Gli indici fanno riferimento alla lista "sub_labels".
% La variabile "sub_toplot" verrà intersecata con quelli disponibili per ogni caso
sub_toplot = 1:6;
% sub_toplot = [1 2 4]
% sub_toplot = 2
```

```

% sub_toplot = [1 2 3 4]
% sub_toplot = [5 6]

[sub_list,Nsub] = select_sub_groups_to_plot_Vertical(meas_id,sub_toplot);
%% Selezione sensori
% è possibile selezionare solo alcuni sensori sulla cappa per il plot delle
% FRF/Coherence... medie o massime.
% sub_labels = {'Box','Top','Glass','Input Vib','Mic','Input Aco'};
sens_inds = {[1 2 3 4], [1 2 3 4], [1 2 3 4], 1 , [1 2 3 4 5] , 1};

%% Plot curve
%to_zero = f_axis>=95 & f_axis<=105;
%to_zero2 = f_axis>=198 & f_axis<=202;
%to_zero = [(f_axis>=98 & f_axis<=102 f_axis>=198 & f_axis<=202)];
to_zero = [];
to_zero2 = [];

% Funzione da utilizzare per la visualizzazione di un dato sintetico
overall_operation = 'mean'
% overall_operation = 'max'
% overall_operation = 'min'

%spectral_mode = 'range';f_info = [30 300]; % vibrazioni
% spectral_mode = 'range';f_info = [300 2000]; % vib+acu
%spectral_mode = 'range';f_info = [30 4000]; % overall
spectral_mode = 'range';f_info = [400 4000]; % Acustica

[ f_li , f_label , fcal ] = spectral_selection( f_axis , spectral_mode , f_info , false
);
f_lims = [min(fcal) , max(fcal)];

% Prepare figure and subplots -----
clear ax
h=figure;
h.Position = [50 50 1200 650];
for k=1:Nsub
    ax(k) = subplot(Nsub,1,k);
    hold on
    grid on
end
v_lims = zeros(F,2);a_lims = zeros(F,2);
% Plot data -----

% !!! -----
%Selection of input
input_selected = 2
%-----

for ff=1:F
%for ff = [input_selected-1 input_selected+3 input_selected+7] %!!!! input selected

    s = M(ff).s;
    s(to_zero,:) = 0; % rimuovo contributi frequenze indesiderate
    s(to_zero2,:) = 0;
    sub_inds = M(ff).sub_inds;
    v_inds = M(ff).v_inds;
    a_inds = M(ff).a_inds;

```



```

s_plot = abs(s);

if any(v_inds)
    v_lims(ff,:) = [min(min(s_plot(f_li,v_inds))) , max(max(s_plot(f_li,v_inds)))];
end
if any(a_inds)
    a_lims(ff,:) = [min(min(s_plot(f_li,a_inds))) , max(max(s_plot(f_li,a_inds)))];
end
switch data_type
    case {'FRF','AutoPowerSpectrum'}
        y_scale = 'log';
    case 'Coherence'
        y_scale = 'lin';
        v_lims(ff,:) = [0 1];a_lims(ff,:) = [0 1];
end
for k=1:Nsub
    if any(sub_inds(:,sub_list(k)))
        s_tmp = s_plot(:,sub_inds(:,sub_list(k)));
        s_tmp = s_tmp(:,sens_inds{sub_list(k)});
        switch overall_operation
            case 'mean'
                s_overall = mean(s_tmp,2);
            case 'max'
                s_overall = max(s_tmp,[],2);
            case 'min'
                s_overall = min(s_tmp,[],2);
        end
        plot(ax(k),f_axis,s_overall,'linewidth',1)
    end
end
linkaxes(ax,'x')
xlabel('Frequency (Hz)','fontweight','bold')
switch data_type
    case {'FRF','AutoPowerSpectrum'}
        y_scale = 'log';
        v_lims = [min(v_lims(:,1)),max(v_lims(:,2))];
        a_lims = [min(a_lims(:,1)),max(a_lims(:,2))];
    case 'Coherence'
        y_scale = 'lin';
        v_lims = [0 1];a_lims = [0 1];
end
% Complete plots settings -----
xlim(ax(1),f_lims)
for k=1:Nsub
    set(ax(k),'YScale',y_scale)
    if strcmp(sub_types{sub_list(k)},'Vibration')
        ylabel(ax(k),v_unit,'fontweight','bold')
        ylim(ax(k),v_lims)
    end
    if strcmp(sub_types{sub_list(k)},'Acoustic')
        ylabel(ax(k),a_unit,'fontweight','bold')
        ylim(ax(k),a_lims)
    end
    title(ax(k),[overall_operation,'-',data_type,'
',sub_labels{sub_list(k)}],'interpreter','none')
    legend(ax(k),meas_label,'location','eastoutside','interpreter','none')

```

```

%-----
% !!!! caso di confronto su un solo input
%legend(ax(k),meas_label{input_selected-
1},meas_label{input_selected+3},meas_label{input_selected+7},'location','eastoutside','in
terpreter','none')
%-----
end

%% compare overalls
ovl = zeros(F,Nsub);

for ff=1:F
    s = M(ff).s;
    s(to_zero,:) = 0; % rimuovo contributi frequenze indesiderate
    sub_inds = M(ff).sub_inds;
    s_plot = abs(s(f_li,:));
    for k=1:Nsub
        if any(sub_inds(:,sub_list(k)))
            s_tmp = s_plot(:,sub_inds(:,sub_list(k)));
            % integrale sulle freq
            s_tmp = sum(s_tmp(:,sens_inds{k}),1);
%
            s_tmp = mean(s_tmp(:,sens_inds{sub_list(k)}),1);
            % Overall tra i sensori
            switch overall_operation
                case 'mean'
                    s_overall = mean(s_tmp,2);
                case 'max'
                    s_overall = max(s_tmp,[],2);
                case 'min'
                    s_overall = min(s_tmp,[],2);
            end
            ovl(ff,k) = s_overall;
        end
    end
end
end
%%
ref_meas_index = 1;
h=figure;
% h.Position = [100 100 1400 700];
h.Position = [100 100 1400 400];
for k=1:Nsub
    ax(k) = subplot(1,Nsub,k);
%     barh(ovl(:,k))
%     barh(10*log10(ovl(:,k)/ovl(ref_meas_index,k)))
    barh(10*log10(ovl(:,k))-10*log10(ovl(ref_meas_index,k)))

    grid on
    if strcmp(sub_types{sub_list(k)},'Vibration')
%         xlabel(ax(k),v_unit,'fontweight','bold')
        xlabel(ax(k),['dB (' ,v_unit,')'],'fontweight','bold')
    end
    if strcmp(sub_types{sub_list(k)},'Acoustic')
%         xlabel(ax(k),a_unit,'fontweight','bold')
        xlabel(ax(k),['dB (' ,a_unit,')'],'fontweight','bold')
    end
    title(ax(k), {overall_operation,[data_type,
',sub_labels{sub_list(k)}]},'interpreter','none')

```

```

%     xlim(3*[-1,1])
end
for k=1:Nsub
    if k==1
        set(ax(k), 'yticklabel', fname_list, 'TickLabelInterpreter', 'none')
    else
        set(ax(k), 'yticklabel', [])
    end
end

%% !!!!!!! Barplot confrontando ogni input singolarmente: plot della differenza tra due
config per lo stesso input (caso FRF)
h=figure;
% h.Position = [100 100 1400 700];
h.Position = [100 100 1400 400];

n_input = 4
ovl_input = zeros(4,Nsub)
for k=1:Nsub
    for input_index=1:n_input
        ovl_input(input_index,k)= 10*log10(ovl(input_index+4,k))-
10*log10(ovl(input_index,k))
    end
end

    for k=1:Nsub
        ax(k) = subplot(1,Nsub,k);
        barh(ovl_input(:,k))

        grid on
        if strcmp(sub_types{sub_list(k)}, 'Vibration')
%             xlabel(ax(k), v_unit, 'fontweight', 'bold')
            xlabel(ax(k), ['dB (' , v_unit, ')'], 'fontweight', 'bold')
        end
        if strcmp(sub_types{sub_list(k)}, 'Acoustic')
%             xlabel(ax(k), a_unit, 'fontweight', 'bold')
            xlabel(ax(k), ['dB (' , a_unit, ')'], 'fontweight', 'bold')
        end
        title(ax(k), {overall_operation, [data_type, '
', sub_labels{sub_list(k)}]}, 'interpreter', 'none')
%         xlim(3*[-1,1])
    end

fname_list_input = {} %new list
for input_index=1:n_input
    fname_list_input{input_index} = strcat([' ', fname_list{input_index+4}, ' VS
', fname_list{input_index}, ' '])
end

for k=1:Nsub
    if k==1
        set(ax(k), 'yticklabel', fname_list_input, 'TickLabelInterpreter', 'none')
    else
        set(ax(k), 'yticklabel', [])
    end
end
end

```

APPENDICE 2

```
clear
close all
clc
addpath('TL_funcs'),addpath('FABER_Vertical_funcs')
%[filename,basepath] = uigetfile;

% Percorso file ".mat" da leggere basepath --> basepath
% File da leggere --> filename
basepath = 'C:\Users\vale-\Desktop\TESI\FABER\MATLAB\Dati per analisi\H_converted'
filename = 'H_config0_input5';

%% Plot settings
colors = {
    [0.6350 0.0780 0.1840],... red
    [0 0.4470 0.7410],... blue
    [0.4660 0.6740 0.1880],... green
    [0.8500 0.3250 0.0980],... orange
    [0.4940 0.1840 0.5560],... purple
    [0.9290 0.6940 0.1250],... yellow
%    [0.3010 0.7450 0.9330],... cyan
};
geometry_path = '.';
%% Selezionare il tipo di dato da visualizzare
data_type = 'FRF';
% data_type = 'Coherence';
%data_type = 'AutoPowerSpectrum';
%% Scelta grandezza fisica da visualizzare (solo vibrazioni)
% Conversione acc->vel disponibile solo per {'H-FRF','O-AutoPowerSpectrum'}
% vibration_unit = 'acceleration'; % acceleration - velocity
vibration_unit = 'velocity'; % acceleration - velocity
%% Load Testlab Time Data
X = load(fullfile(basepath,filename));
[ I , X ] = get_measurement_info(X);
meas_type = I.meas_type;
%% Check measurement id
meas_id = join({meas_type,data_type},'-');
meas_id = meas_id{1};
switch meas_id
    case {'H-FRF','H-Coherence'}
    case {'Q-FRF','Q-Coherence'}
    case {'O-FRF','O-Coherence'}
    case 'O-AutoPowerSpectrum'
    otherwise
        error('Combinazione "meas_type-data_type" errata!!')
end
% Generate measurement label
switch meas_type
    case 'O'
        meas_label = ['Operational - config ',num2str(I.config_n),' - V',num2str(I.vel)];
    case 'H'
        meas_label = ['Hammer - config ',num2str(I.config_n),' - input',num2str(I.Hpos)];
    case 'Q'
        meas_label = ['Qsource - config ',num2str(I.config_n),' - Q',num2str(I.Qpos)];
```

```

end
%% Get selected data type and Run/Section/Project
% Detect wanted data and remove unwanted -----
[X,fd_names,N] = select_data_type(X,data_type);
% Check if all the same run and same length -----
TL_metadata = {'project_name','section_name','run_name'};
[ok,TL_exp] = check_TL_export_properties_annotation(X,TL_metadata,false);
if ~ok
    error('Check exported Section/Run!!')
end
% [TL_exp_list] = get_TL_export_properties_annotation(X,TL_metadata);
[L] = check_data_length(X);
%% Sort channels
ch_label = cell(N,1);
for k=1:N
    [~,ch_label{k}] = get_ch_info(X.(fd_names{k}));
end
[~,~,ch_name] = get_ch_dir(ch_label);
[~,srt_ind]=sort(ch_name);
fd_names = fd_names(srt_ind);
%% Get ch info
ch_id = zeros(N,1);
ch_label = cell(N,1);
ch_group = cell(N,1);
for k=1:N
    [ch_id(k),ch_label{k}] = get_ch_info(X.(fd_names{k}));
    [ch_group{k}] = get_ch_group(X.(fd_names{k}));
end
% Get dir
[ch_dir_label,ch_vers,ch_name] = get_ch_dir(ch_label);
%% Get spectra content
s = zeros(L,N); % Spectra/PSD/FRF/Coherence (Spectral Lines vs N sensors)
for k=1:N
    s(:,k) = get_y_values(X.(fd_names{k}));
end
% Get frequency axis
f_axis = get_x_values(X.(fd_names{1}));

% Vibration/Acoustics ch indexes
v_inds = strcmp(ch_group,'Vibration');
a_inds = strcmp(ch_group,'Acoustic');
% Get measurement units and log refs
if any(v_inds)
    [~,v_ref,v_unit]= get_y_values(X.(fd_names{find(v_inds,1)}));
else
    v_ref=1;v_unit='';
end
if any(a_inds)
    [~,a_ref,a_unit]= get_y_values(X.(fd_names{find(a_inds,1)}));
else
    a_ref=1;a_unit='';
end
% Convert vibration data to velocity (depending on vibration_unit selected)
if strcmp(vibration_unit,'velocity')
    switch meas_id
        case {'H-FRF','O-AutoPowerSpectrum'}

```

```

        s(:,v_inds) = s(:,v_inds)./(2*pi*f_axis')/9.81; % from acceleration (g) in
velocity (m/s)
        v_unit = strrep(v_unit,'g','(m/s)');
        otherwise
            disp('No conversion to velocity!')
        end
    end
end
s(1,:) = 0; % Avoid division by zero in case on conversion to velocity
%% Set proper ch names
% InputXX --> Input Vib (accelerometer)
% Mic YY --> Input Aco (microphone)
[ch_name] = replace_ch_name_Vertical(ch_name);
%% Arrange sub-groups
sub_labels = {'Box','Top','Glass','Input Vib','Mic','Input Aco'};
sub_types = {'Vibration','Vibration','Vibration','Vibration','Acoustic','Acoustic'};
Nsub = length(sub_labels);
sub_inds = false(N,Nsub);
for k=1:Nsub
    sub_inds(:,k) = contains(ch_name,sub_labels{k},'IgnoreCase',true);
end
% Vibration input point -----
vib_in_point = I.Hpos;
% Acoustic input point -----
aco_in_point = I.Qpos;
% Vibration inputs -----
vib_in_idx = any(sub_inds(:,4),2);
% Acoustic inputs -----
aco_in_idx = any(sub_inds(:,6),2);
% Vibration outputs -----
vib_out_idx = any(sub_inds(:,[1,2 3]),2);
% Acoustic outputs -----
aco_out_idx = any(sub_inds(:,5),2);
%% Cosa è possibile plottare tra i sub-groups?
% =====
% switch meas_id
%     case {'H-FRF','H-Coherence'}
%         sub_list = [1 2 3 4];
%     case {'Q-FRF','Q-Coherence','O-AutoPowerSpectrum'}
%         sub_list = [1 2 3 4 5 6];
%     case {'O-FRF','O-Coherence'}
%         sub_list = [1 2 5];
% end
% =====
% Gli indici fanno riferimento alla lista "sub_labels".
% La variabile "sub_toplot" verrà intersecata con quelli disponibili per ogni caso

sub_toplot = 1:6;
% sub_toplot = [1 2 3]
% sub_toplot = 2
% sub_toplot = [1 2 3 4]
% sub_toplot = [5 6]

[sub_list,Nsub] = select_sub_groups_to_plot_Vertical(meas_id,sub_toplot);
%% Selezione sensori
% è possibile selezionare solo alcuni sensori sulla cappa per il plot delle
% FRF/Coherence... medie o massime.
% sub_labels = {'Box','Top','Glass','Input Vib','Mic','Input Aco'};

```

```

sens_inds = {[1 2 3 4], [1 2 3 4], [1 2 3 4], 1 , [1 2 3 4 5] , 1};
%% Plot data and "overall"

% Funzione da utilizzare per la visualizzazione di un dato sintetico
overall_operation = 'mean'
% overall_operation = 'max'
% overall_operation = 'min'

clc
spectral_mode = 'range';f_info = [30 300]; % vibrazioni
% spectral_mode = 'range';f_info = [300 2000]; % vib+acu
% spectral_mode = 'range';f_info = [30 4000]; % overall
%spectral_mode = 'range';f_info = [400 4000]; % Acustica

[ f_li , f_label , fcal ] = spectral_selection( f_axis , spectral_mode , f_info , false
);
f_lims = [min(fcal) , max(fcal)];

% to_zero = f_axis>=95 & f_axis<=105;
% s(to_zero,:) = 0; % rimuovo contributi frequenze indesiderate
s_plot = abs(s);

switch data_type
    case {'FRF','AutoPowerSpectrum'}
        y_scale = 'log';
        v_lims = [min(min(s_plot(f_li,v_inds))) , max(max(s_plot(f_li,v_inds)))];
        a_lims = [min(min(s_plot(f_li,a_inds))) , max(max(s_plot(f_li,a_inds)))];
    case 'Coherence'
        y_scale = 'lin';
        v_lims = [0 1];a_lims = [0 1];
end
% Plot each subgroup -----
hh=figure;
hh.Position = [50 100 1200 600];
for k=1:Nsub
    ax(k)=subplot(Nsub,1,k);
    if any(sub_inds(:,sub_list(k)))
        s_tmp = s_plot(:,sub_inds(:,sub_list(k)));
        s_tmp = s_tmp(:,sens_inds{sub_list(k)});
        switch overall_operation
            case 'mean'
                s_overall = mean(s_tmp,2);
            case 'max'
                s_overall = max(s_tmp,[],2);
            case 'min'
                s_overall = min(s_tmp,[],2);
        end
        plot(f_axis,s_tmp,'-','color',[1 1 1]*0.7,'linewidth',1)
        hold on
        plot(f_axis,s_overall,'color',colors{sub_list(k)},'linewidth',1.5)
        title([meas_label,' - ',...
            overall_operation,'-',data_type,'
',sub_labels{sub_list(k)}], 'interpreter','none')
        set(gca,'YScale',y_scale)
        xlim(f_lims)
        grid on
        if strcmp(sub_types{sub_list(k)},'Vibration')

```

```

        ylabel(v_unit, 'fontweight', 'bold')
        ylim(v_lims)
    end
    if strcmp(sub_types{sub_list(k)}, 'Acoustic')
        ylabel(a_unit, 'fontweight', 'bold')
        ylim(a_lims)
    end
end
end
xlabel('Frequency (Hz)', 'fontweight', 'bold')
linkaxes(ax, 'x'), clear ax
%% Plot accelerometer data on Vertical geometry
s_plot = abs(s(f_li, vib_out_idx));
switch overall_operation
    case 'mean'
        s_overall = mean(s_plot, 1);
    case 'max'
        s_overall = max(s_plot, [], 1);
    case 'min'
        s_overall = min(s_plot, [], 1);
end

switch data_type
    case {'FRF', 'AutoPowerSpectrum'}
%       s_plot = 10*log10(mean(s_plot, 1));
        s_overall = 10*log10(s_overall/v_ref);
        v_lims = [min(s_overall(:)) max(s_overall(:))];
        cb_label = 'dB';
    case 'Coherence'
        v_lims = [0 1];
        cb_label = '';
end
figure
plot_cappa_Vertical(geometry_path, s_overall, vib_in_point, ch_name(vib_out_idx), ch_dir_label(vib_out_idx))
caxis(v_lims)
colormap(turbo)
hc = colorbar;
hc.Label.String = [v_unit, ' ', cb_label];
hc.Label.FontWeight = 'bold';
title({meas_label, ...
    [overall_operation, '-', data_type, ' - ', f_label]}, 'interpreter', 'none')
rotate3d on
%% Plot microphone data on Vertical geometry
switch meas_id
    case {'H-FRF', 'H-Coherence'}
        aco_plot_idx = [];
    case {'Q-FRF', 'Q-Coherence', 'O-AutoPowerSpectrum'}
        aco_plot_idx = aco_in_idx | aco_out_idx;
    case {'O-FRF', 'O-Coherence'}
        aco_plot_idx = aco_out_idx;
end
% aco_plot_idx = any(sub_inds(:, sub_list(strcmp(sub_types, 'Aco'))), 2);
s_plot = abs(s(f_li, aco_plot_idx));
mics_to_plot =
str2double(erase(ch_name(aco_plot_idx), sub_labels(strcmp(sub_types, 'Acoustic'))));
% ----- Evito che il Mic 1 saturi la colormap -----

```



```

% mics_to_plot(mics_to_plot==1) = [];s_plot = s_plot(:,mics_to_plot); % Rimuovo mic 1 dal
plot
% -----
switch overall_operation
    case 'mean'
        s_overall = mean(s_plot,1);
    case 'max'
        s_overall = max(s_plot,[],1);
    case 'min'
        s_overall = min(s_plot,[],1);
end

switch data_type
    case {'FRF','PSD','AutoPowerSpectrum'}
        s_overall = 10*log10(s_overall/a_ref);
        a_lim = [min(s_overall(:)) max(s_overall(:))];
        cb_label = 'dB';
    case 'Coherence'
        a_lim = [0 1];
        cb_label = '';
end
if ~strcmp(meas_type,'H')
    figure
    plot_geometria_cappa_Vertical(geometry_path)
    scat =
plot_mics_Vertical(geometry_path,s_overall,aco_in_point,mics_to_plot,meas_type)
    caxis(a_lim)
    colormap(turbo)
    hc = colorbar;
    hc.Label.String = [a_unit , ' ',cb_label];
    hc.Label.FontWeight = 'bold';
    title({meas_label,...
        [overall_operation,'-',data_type,' - ',f_label]},'interpreter','none')
    rotate3d on
% ADD DATA TIP
mic_n = [1;3;2;5;4;6]
for ix = 1:length(mic_n)
    text(scat.XData(mic_n(ix)),scat.YData(mic_n(ix)),...
        scat.ZData(mic_n(ix)),{[' Mic n° ',
num2str(mics_to_plot(ix))]},'FontWeight','bold','Color','r')
end
end

```

APPENDICE 3

```
clear
close all
clc

% Add the path containing UnivPM functions to run the code
addpath(fullfile('.', 'UnivPM_MATLAB_functions'))

ch_selected = [1 2 3 4 5]; % no Mic 6

basepath = uigetdir('.', 'Select the folder containing Sound Quality mat files');
W = what(basepath);
file_list = W.mat;
indx = listdlg('ListString',file_list,'SelectionMode','multiple',...
    'ListSize',[500 300],'PromptString','Select mat files to analyse:');
file_list = file_list(indx);
config_list = erase(file_list, '.mat');
F = length(file_list);
%%
% metrics_label = {'OAI','Loudness','Sharpness','Roughness','Fluctuation Strength','Tone-
to-noise Ratio','Prominence Ratio'};
metrics_label = {'OAI','Loudness','Sharpness','Roughness'};
M = length(metrics_label);
metrics_value = zeros(M,F);
TL_metadata = {'project_name','section_name','run_name'};
metadata_list = cell(F,3);
for ff=1:F
    filename = file_list{ff};
    X = load(fullfile(basepath,filename));
    [X,fd_names,N] = select_data_type(X,'Signal',false); % exclude Tacho

    [ok,TL_exp] = check_TL_export_properties_annotation(X,TL_metadata,false);
    if ~ok
        error('Check exported Section/Run!!')
    end
    ch_label = cell(N,1);
    for k=1:N
        [~,ch_label{k}] = get_ch_info(X.(fd_names{k}));
    end
    ch_label = sort(unique(ch_label));
    % Select mics =====
    ch_label = ch_label(ch_selected);
    C = length(ch_label);
    [X,fd_names,N,indx_found] = select_data_name(X,ch_label,true);
    % =====
    %% Split metrics data
    sq_mean = zeros(M,C);
    % M--> numero metriche
    % N--> numero sensori
    for m = 1:M % Average over time
        sq_mean(m,:) = get_single_value_metrics(metrics_label{m},X);
    end
    metrics_value(:,ff) = mean(sq_mean,2); % Average over sensors
%     figure,bar(ch_selected,sq_mean(1,:)),title(filename)
```

```

%%
metadata_list(ff,:) = {TL_exp.project_name,TL_exp.section_name,TL_exp.run_name};
end
%%
for m=1:M
figure

bar(metrics_value(m,:)),set(gca,'xtick',1:F,'xticklabel',config_list,'TickLabelInterpreter','none')
title(metrics_label{m})
grid on
end
%% SQ model
% OAI - Roughness - Sharpness
model_metrics_idx = [1 4 3];
coeffs = [8.558/100,18.242,-0.623]; % OAI va scalato tra 0 e 1
offset = -7.959;

spi_calc = metrics_value(model_metrics_idx,:);
SPI = coeffs*spi_calc+offset;

figure
bar(SPI)
set(gca,'xtick',1:F,'xticklabel',config_list,'TickLabelInterpreter','none')
title('Subjective Preference Index')
grid on
%% Save Excel with results
XL = [metadata_list,num2cell(SPI.),num2cell(metrics_value.)];
XL_header = [TL_metadata,{'SPI'},metrics_label];

writecell([XL_header;XL],fullfile(basepath,'Sound_quality_DEF_all_config_no_Mic_6.xlsx'))

```


INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 Dispositivo di eccitazione per Impact Testing [1]	3
Figura 2.2 Forza d'impatto: storia temporale (a) e spettro in frequenza (b) [1]	3
Figura 2.3 Trigger di un segnale [2].....	6
Figura 2.4 Finestra di forza: il tw (time window) ovvero il cut-off è pari a 10% [2]	7
Figura 2.5 Finestra esponenziale per il segnale di risposta [2]	7
Figura 2.6 FRF di un sistema SDOF, diagramma di Bode (scala logaritmica) [1].....	9
Figura 2.7 Coerenza di un segnale [2].....	11
Figura 2.8 Step per calcolo di una FRF in un Impact Test [2].....	11
Figura 2.9 FRF (diagramma di Bode) di un sistema a 3 gdl ottenute con tecnica del Roving Hammer [2]	12
Figura 2.10 Finestra di Hanning [2]	13
Figura 2.11 Effetto di modifiche strutturali sulla risonanza di un sistema [2].....	15
Figura 2.12 Principio di funzionamento di un microfono [4]	15
Figura 2.13 Reference value for SPL [5]	16
Figura 2.14 Jury Testing [9].....	18
Figura 2.15 Mappa dell'udibile e del parlato umano [10]	19
Figura 2.16 Spettro acustico in terzi d'ottava su scala lineare [10]	20
Figura 2.17 Articulation Window e fattori di pesatura per l'Articulation Index [10].....	21
Figura 2.18 Esempio di calcolo dell'AI [10]	21
Figura 2.19 Suono di 10 dB a 5000 Hz (udibile) e 50 Hz (non udibile) [12]	23
Figura 2.20 Curve di iso-loudness [12].....	24
Figura 2.21 Modulazione di un segnale acustico [13]	27
Figura 2.22 Segnale di riferimento (verde) per la definizione di 1 Asper (rosso) [13].....	27
Figura 3.1 Cappa aspirante [16]	30
Figura 3.2 Cappa a ricircolo d'aria [16].....	30
Figura 3.3 Cappa Vertical – vista frontale Figura 3.4 Cappa Vertical – vista superiore.....	31
Figura 3.5 Cappa Vertical – vista laterale	32
Figura 3.6 Filtri ai carboni attivi [18].....	33
Figura 3.7 Filtro anti-grasso [19]	33
Figura 3.8 Diffusore – vista laterale.....	34
Figura 3.9 Diffusore – vista superiore.....	34
Figura 3.10 Geometria e sistema di riferimento.....	36
Figura 3.11 Cappa Vertical - installazione.....	38
Figura 3.12 Configurazione 2: pannelli in melamina da 2 cm applicati sul Box.....	41
Figura 3.13 Configurazione 3: pannelli in melamina da 2 cm applicati sul Top	42
Figura 3.14 Configurazione 4: pannello in melamina da 2 cm applicato sul diffusore	42
Figura 3.15 Configurazione 6: nastro in gomma da 0,4 mm sul collarino.....	43

Figura 3.16 Configurazione 7: irrigidimento con staffe in acciaio	44
Figura 3.17 Configurazione 8: melamina e nastro in alluminio applicati sul Box	44
Figura 3.18 Configurazione 9: melamina e nastro in alluminio applicati sul Top.....	45
Figura 3.19 Configurazione 11: melamina sul Box e sul diffusore	45
Figura 4.1 Setup del sistema di misura	46
Figura 4.2 Schema catena di misura	47
Figura 4.3 Sistema di acquisizione Simcenter SCADAS Mobile	48
Figura 4.4 Setup accelerometri	49
Figura 4.5 Accelerometro monoassiale ICP, modello 352C33 [23]	50
Figura 4.6 Datasheet accelerometro monoassiale ICP, modello 352C33 [24]	51
Figura 4.7 Modalità di montaggio di un accelerometro [24]	52
Figura 4.8 Dettaglio di un accelerometro monoassiale – base di montaggio.....	52
Figura 4.9 Setup accelerometri – top	53
Figura 4.10 Accelerometro triassiale ICP, modello 356A32 [25]	53
Figura 4.11 Datasheet accelerometro triassiale ICP, modello 356A32 [26].....	54
Figura 4.12 Setup accelerometri – Box.....	55
Figura 4.13 Setup accelerometri - Glass	55
Figura 4.14 Setup microfoni	56
Figura 4.15 Microfono, PCB modello 378B02 [27]	57
Figura 4.16 Datasheet microfono, PCB modello 378B02 [27].....	58
Figura 4.17 Martello strumentato, B&K tipologia 8206.....	59
Figura 4.18 Tipologie di punta per il martello, B&K tipologia 8206 [29].....	60
Figura 4.19 Datasheet martello, B&K tipologia 8206 [29].....	60
Figura 5.1 Impact Testing - Channel Setup	62
Figura 5.2 Impact Testing – Impact Scope	63
Figura 5.3 Impact Testing – All Settings	64
Figura 5.4 Impact Testing – posizione accelerometri di riferimento	65
Figura 5.5 Impact Testing - Measure	66
Figura 5.6 Impact Testing – Errore di doppio colpo	66
Figura 5.7 Signature acquisition – Channel Setup	67
Figura 5.8 Calibratore acustico, B&K tipologia 4231	68
Figura 5.9 Datasheet calibratore acustico – B&K tipologia 4231 [31].....	68
Figura 5.10 Signature Acquisition - Calibration	69
Figura 5.11 Flattop window nel dominio del tempo [32]	70
Figura 5.12 Spettro di due segnali a 4 Hz di distanza, finestrato con Hanning (in verde) e Flattop (in blu) [32]	70
Figura 5.13 Signature Acquisition – Online Processing	71
Figura 5.14 Signature Acquisition – Measure: Time microfoni	73
Figura 5.15 Signature Acquisition – Measure: AP microfoni.....	73
Figura 5.16 Signature Acquisition – Measure: check sul Channel Overview	74

Figura 5.17 Signature Acquisition – Measure: errore di overload.....	75
Figura 5.18 Navigator – Add to Input Basket.....	77
Figura 5.19 Time Data Selection – Data Source: Input Basket – Replace	78
Figura 5.20 Time Data Processing	78
Figura 5.21 Time Data Processing – Time Domain Filtering Settings	79
Figura 5.22 Time Data Processing – Acquisition Parameters: Tracking and Triggering	79
Figura 5.23 Time Data Processing – Acquisition Parameters: FS Acquisition	80
Figura 5.24 Time Data Processing – Section Settings: Psychoacoustic Metrics	80
Figura 5.25 Time Data Processing – Section Settings: Modulation Metrics	81
Figura 6.1 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0	83
Figura 6.2 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0.....	84
Figura 6.3 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0.....	84
Figura 6.4 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config1, config100, config200, config300	85
Figura 6.5 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config1, config100, config200, config300	86
Figura 6.6 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2 – Input2.....	87
Figura 6.7 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2 – Input3.....	87
Figura 6.8 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2 – Input4.....	88
Figura 6.9 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2 – Input5.....	89
Figura 6.10 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config2	89
Figura 6.11 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config2 – Input4, Input5	90
Figura 6.12 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2	90
Figura 6.13 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2	91
Figura 6.14 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config2	91
Figura 6.15 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3 – Input2.....	92
Figura 6.16 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3 – Input3.....	93
Figura 6.17 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3 – Input4.....	93
Figura 6.18 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3 – Input5.....	94
Figura 6.19 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config3	94
Figura 6.20 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3	95
Figura 6.21 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3.....	95
Figura 6.22 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config4 – Input2.....	96
Figura 6.23 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config4 – Input3.....	97
Figura 6.24 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config4 – Input4.....	97
Figura 6.25 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config4 – Input5.....	98
Figura 6.26 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config4	98

Figura 6.27 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4.....	99
Figura 6.28 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4	99
Figura 6.29 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config5 – Input2.....	100
Figura 6.30 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config5 – Input3.....	101
Figura 6.31 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config5 – Input4.....	101
Figura 6.32 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config5 – Input5.....	102
Figura 6.33 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config5	102
Figura 6.34 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config5 – Input4, Input5	103
Figura 6.35 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4, config5	103
Figura 6.36 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4, config5	104
Figura 6.37 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config5	104
Figura 6.38 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config6 – Input2.....	105
Figura 6.39 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config6 – Input3.....	106
Figura 6.40 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config6 – Input4.....	106
Figura 6.41 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config6 – Input5.....	107
Figura 6.42 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config6	107
Figura 6.43 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config0, config6 – Input2	108
Figura 6.44 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config3, config4, config5, config6	108
Figura 6.45 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config4, config5, config6	109
Figura 6.46 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config6	109
Figura 6.47 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config7 – Input2.....	110
Figura 6.48 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config7 – Input3.....	111
Figura 6.49 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config7 – Input4.....	111
Figura 6.50 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config7 – Input5.....	112
Figura 6.51 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config7	112
Figura 6.52 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz –config7 – Input4, Input5	113
Figura 6.53 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config3, config7.....	113
Figura 6.54 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config7	114

Figura 6.55 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config7	114
Figura 6.56 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2, config8 – Input2	115
Figura 6.57 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2, config8 – Input3	116
Figura 6.58 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2, config8 – Input4	116
Figura 6.59 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config2, config8 – Input5	117
Figura 6.60 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config8	117
Figura 6.61 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config8 – Input4, Input5	118
Figura 6.62 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config8	118
Figura 6.63 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config8	119
Figura 6.64 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config8	119
Figura 6.65 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3, config9 – Input2	120
Figura 6.66 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3, config9 – Input3	121
Figura 6.67 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3, config9 – Input4	121
Figura 6.68 Hammer Test – FRF range 30-300 Hz – config0, config3, config9 – Input5	122
Figura 6.69 Hammer Test – Barplot FRF range 30-300 Hz – config0, config9	122
Figura 6.70 Hammer Test – FRF Spatial Distribution range 30-300 Hz – config0, config9 – Input2	123
Figura 6.71 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config3, config8, config9	123
Figura 6.72 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config3, config8, config9	124
Figura 6.73 Operative Test – Acoustic Pressure Spatial Distribution range 400-4000 Hz – config0, config9	124
Figura 6.74 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config10	125
Figura 6.75 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config10	126
Figura 6.76 Operative Test – Autopower range 400-4000 Hz – config 0, config2, config4, config8, config10, config11	127
Figura 6.77 Operative Test – Barplot Autopower range 400-4000 Hz – config0, config2, config4, config8, config10, config11	127
Figura 6.78 Sound Quality Results – SPI	128
Figura 6.79 Sound Quality Results – OAI	129
Figura 6.80 Sound Quality Results – Loudness	129
Figura 6.81 Sound Quality Results – Sharpness	130
Figura 6.82 Sound Quality Results – Roughness	130

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Punti scelti per modellare la geometria della cappa.....	37
Tabella 2 Sommario delle configurazioni testate.....	40
Tabella 3 Coordinate punti di posizionamento degli accelerometri.....	50
Tabella 4 Coordinate punti di posizionamento dei microfoni per Operative Test.....	56
Tabella 5 Coordinate punti di posizionamento dei microfoni per Sound Quality	76
Tabella 6 Elenco delle configurazioni.....	128

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] D. J. Ewins, *Modal Testing: Theory, Practice and Application*, Research Studies Press, 2000
- [2] Slide del corso di *Stumenti e metodi per misure di vibrazioni*, Univpm, Docente Milena Martarelli, a.a. 2019-2020
- [3] <https://community.sw.siemens.com/s/article/the-autopower-function-demystified>
- [4] <https://community.sw.siemens.com/s/article/sound-pressure>
- [5] <https://community.sw.siemens.com/s/article/basics-what-is-a-decibel-db-anyway-why-is-it-used>
- [6] <https://www.ni.com/it-it/support/documentation/supplemental/08/sound-quality-algorithms.html>
- [7] <https://www.spectra.it/applicazioni/sound-quality/>
- [8] <https://www.bksv.com/en/knowledge/applications/product-noise/sound-quality#:~:text=Sound%20quality%20metrics%20are%20well,measure%20of%20perceived%20sound%20quality.>
- [9] <https://www.head-acoustics.com/applications/sound-vibration/jury-testing>
- [10] <https://community.sw.siemens.com/s/article/articulation-index#:~:text=Open%20Articulation%20Index%20has%20a,of%2020%20and%20100%20dB>
- [11] <https://community.sw.siemens.com/s/article/Sharpness-in-Simcenter-Testlab>
- [12] <https://community.sw.siemens.com/s/article/sound-quality-metrics-loudness-and-sones>
- [13] <https://community.sw.siemens.com/s/article/sound-modulation-metrics-fluctuation-strength-and-roughness>
- [14] <http://www.magistersrl.eu/dimensionamento-di-un-impianto-di-aspirazione/>
- [15] <https://cappadacucina.it/>
- [16] <https://www.berbel-cappe.it/principio-berbel/aria-di-scarico-o-ricircolo-daria/>
- [17] <https://www.neff-home.com/it/the-ingredient/tips-tricks/come-funziona-filtro-carboni-attivi>
- [18] <https://www.elettrodomex.it/ita/electrolux-9029800464-filtro-ai-carboni-attivi-con-timestrip-advisor-per-cappe-da-cucina-faber-eff62-196-x-30-mm-2-pezzi.html>
- [19] <https://www.poliricambi.com/icalog/20344/prodotto.html>
- [20] <https://soundtech.it/fonoassorbenti/melamminici>
- [21] <https://www.acustico.com/approfondimenti/pannelli-fonoassorbenti.html>
- [22] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/it/products/simcenter/scadas-mobile.html>
- [23] <https://www.pcb.com/products?m=352c33>
- [24] https://www.pcb.com/contentStore/docs/pcb_corporate/vibration/products/manuals/352c33.pdf
- [25] <https://www.pcb.com/products?model=356a32>

- [26] https://www.pcb.com/contentStore/docs/pcb_corporate/vibration/products/manuals/356a32.pdf
- [27] https://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Vibration/products/Manuals/378B02.pdf
- [28] <https://www.pcb.com/products?m=378b02>
- [29] <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp2078.ashx>
- [30] <https://www.bksv.com/it/transducers/acoustic/calibrators/sound-calibrator-4231>
- [31] <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp1311.ashx>
- [32] <https://community.sw.siemens.com/s/article/window-types-hanning-flattop-uniform-tukey-and-exponential>
- [33] https://en.wikipedia.org/wiki/Band-stop_filter