

Ricerca di Sistema elettrico



Diffusione delle PdC: misurazioni e sperimentazione soluzioni
di mitigazione del rumore (LA 4.18)

M. Pieve, R. Trinchieri, S. Attanasi, A. Mariani, M. Marrocco, A. Naviglio, P. Polito

Diffusione delle PdC: misurazioni e sperimentazione soluzioni di mitigazione del rumore

LA 4.18: diffusione delle PdC: misurazioni e sperimentazione soluzioni di mitigazione del rumore

M. Pieve, R. Trinchieri, S. Attanasi, A. Mariani, M. Marrocco, A. Naviglio, P. Polito (ENEA)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.7 – Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: LA 4.18

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Raniero Trinchieri, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Maurizio Pieve, ENEA

Mese inizio previsto: luglio 2023

Mese inizio effettivo: luglio 2023

Mese fine previsto: dicembre 2024

Mese fine effettivo: dicembre 2024

Indice

1	Risultati attesi	4
2	Risultati ottenuti.....	5
3	Prodotti attesi	6
4	Prodotti sviluppati	7
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	8
6	Sintesi delle attività svolte	9
7	Dettaglio delle attività svolte.....	10
7.1	Richiami sulle principali grandezze acustiche e sull'intensimetria acustica.....	10
7.2	Descrizione della strumentazione impiegata	11
7.3	Campagne di misure sperimentali	12
7.3.1	Pompa di calore acqua-acqua	12
7.3.2	Pompa di calore aria-acqua	19
7.3.3	Pompa di calore aria-aria.....	21
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	24
9	Pubblicazioni scientifiche.....	25
10	Eventi di disseminazione	26

Indice delle figure

Figura 1 - Strumentazione utilizzata per le prove di intensimetria.....	12
Figura 2 - Centrale termica con pompa di calore acqua-acqua.....	13
Figura 3 - Superficie oggetto di misure intensimetriche. In basso a destra la zona con i compressori	14
Figura 4 - Livelli di potenza sonora della macchina acqua-acqua (con curva di ponderazione A)	14
Figura 5 - livello massimo di potenza per la frequenza di 1,25 kHz	15
Figura 6 - infittimento della griglia di misura in corrispondenza dei compressori	15
Figura 7 - picco di potenza alla frequenza di 500 Hz	16
Figura 8 - Andamento dei livelli di potenza sonora in funzione della frequenza misurati sull'intera superficie e sulla zona compressori	16
Figura 9 - Caratteristiche dei pannelli fonoassorbenti impiegati	17
Figura 10 - Confronto tra potenza totale con e senza l'interposizione di pannelli fonoassorbenti	18
Figura 11 - confronto tra potenza sonora nella zona compressori con e senza l'interposizione di pannelli fonoassorbenti.....	18
Figura 12 - pompa di calore aria-acqua	19
Figura 13 - Superficie oggetto di misure intensimetriche per la PdC aria-acqua.....	20
Figura 14 - livelli di potenza sonora della macchina aria-acqua (con curva di ponderazione "A")	20
Figura 15 - livello massimo di potenza per la frequenza di 1,25 kHz.....	20
Figura 16 - Distribuzione della potenza totale della superficie in funzione della frequenza	21
Figura 17 - Unità esterna della pompa di calore aria-aria a servizio di un ufficio	21
Figura 18 - Livelli di potenza sonora sulle superfici anteriore (sx) e posteriore (dx) della pompa di calore aria-aria.....	22
Figura 19 - picchi dei livelli di potenza sonora (superfici anteriore a sx e posteriore a dx) per la pompa di calore aria-aria	22
Figura 20 - Livelli di potenza sonora delle superfici anteriore e posteriore in funzione delle frequenze	23

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Dati di targa della pompa di calore acqua-acqua	13
Tabella 2 - Dati di targa della pompa di calore aria-acqua.....	19

1 Risultati attesi

I risultati attesi, riportati nel presente rapporto tecnico, riguardano la tematica della misura del rumore emesso nell'ambiente esterno dalle pompe di calore (o dalle unità esterne, nel caso di macchine di tipo split).

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono stati in linea con quelli attesi.

L'attività di analisi delle emissioni sonore illustrata nel presente rapporto può essere considerata come un primo approccio allo studio delle problematiche associate alla diffusione massiccia di unità esterne o di intere macchine a pompa di calore, e alla ricerca delle opportune misure di mitigazione del rumore, da valutare innanzitutto in base alle modalità di collocazione della sorgente sonora, in relazione agli edifici circostanti, e al tipo di superfici (dei fabbricati) più vicine, in relazione alle caratteristiche che ne determinano la risposta al rumore.

Durante le prove sperimentali è stata misurata l'emissione sonora, in termini di potenza, di 3 macchine di tipo diverso (aria-acqua, acqua-acqua, aria-aria). Per la macchina di tipo aria-aria è stato possibile effettuare una prova di attenuazione della potenza sonora con l'interposizione di pannelli fonoassorbenti posizionati direttamente sulla struttura di sostegno del gruppo compressori, evidenziando una capacità di riduzione dei livelli di potenza molto buona, con valori di attenuazione superiori a 18 dB per frequenze superiori a 500 Hz.

3 Prodotti attesi

Il prodotto atteso è un rapporto tecnico.

4 Prodotti sviluppati

Il prodotto sviluppato consiste nel presente rapporto tecnico.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

L'attività è stata completata nella sua interezza, pertanto non si segnalano scostamenti rispetto a quanto preventivato. Per quanto riguarda l'aspetto economico, si segnala un incremento significativo del costo del personale (circa 9 k€) per l'aumento dei costi orari del personale coinvolto. Si aggiunga un aumento dei costi per "strumenti, attrezzature e software specifico", di circa 2100 €, in quanto in sede di acquisto è stato scelto uno strumento con prestazioni di alta gamma (fonometro e analizzatore a due canali con sonda intensimetrica) ritenuto più idoneo a garantire l'adeguata accuratezza necessaria per le misure previste. I maggiori costi sopra descritti sono stati parzialmente compensati da una minor spesa (per circa € 1500) per beni consumabili.

6 Sintesi delle attività svolte

L'attività della presente LA si è concretizzata nell'esecuzione di prove di intensimetria acustica su 3 macchine di tipo diverso, meglio descritte nel capitolo successivo. Sono stati determinati i livelli di potenza sonora sulle varie macchine, individuando le frequenze in cui essi sono più elevati ed altri comportamenti caratteristici. Per una delle 3 macchine è stato possibile anche analizzare l'effetto dell'attenuazione della potenza sonora tramite l'interposizione di pannelli fonoassorbenti direttamente a contatto con la struttura, in prossimità del gruppo compressori. È stata misurata l'attenuazione alle varie frequenze, rilevando un valore medio di riduzione dei livelli di potenza sonora di oltre 18 dB per le frequenze da 500 Hz in su, con delle punte superiori a 20 dB a partire da frequenze di 4000 Hz.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Richiami sulle principali grandezze acustiche e sull'intensimetria acustica

Tra le proprietà delle onde sonore, che caratterizzano i suoni emessi dalle sorgenti, una delle più importanti per l'attività svolta è la pressione sonora o acustica; indicata con Δp , essa è definita come la differenza tra la pressione istantanea in un certo punto e in un certo istante e la pressione media (barometrica). La pressione sonora efficace p è definita come il valore medio efficace (ampiezza quadratica media) della pressione sonora istantanea. Per un'onda sinusoidale (come ad es. per suoni costituiti da un'unica frequenza, ovvero i cd. toni puri), la pressione sonora efficace è pari a 0,707 volte il valore massimo della pressione sonora istantanea.

La pressione sonora è una grandezza di base in acustica, poiché essa, agendo sul timpano, produce la sensazione sonora percepita dal cervello. Il timpano oscilla alla frequenza delle onde di pressione, tanto più intensamente quanto più è elevata p . Per l'orecchio umano il campo di udibilità è contenuto generalmente tra 20 μPa e 20 Pa.

La **potenza sonora W_s** è definita come l'energia emessa nell'unità di tempo, e si misura in W.

L'**intensità sonora I_s** , infine, si definisce come il rapporto tra la potenza sonora e la superficie del fronte d'onda. Per un'onda sferica (sorgente sferica), l'intensità sonora diminuisce con il quadrato della distanza dal punto di emissione. Si misura in W/m^2 . La relazione tra l'intensità sonora e la pressione è data dall'equazione

$$I_s = v_i \Delta p,$$

in cui v_i è la velocità istantanea di oscillazione delle particelle del mezzo (da questa forma è anche evidente che I_s è una grandezza vettoriale).

Con alcuni semplici passaggi si può ricavare la relazione tra intensità sonora e pressione sonora:

$$p^2 = R I_s,$$

in cui R è la resistenza del mezzo, data dal prodotto della densità per la velocità di propagazione del suono nel mezzo. Nel caso dell'aria atmosferica in condizioni normali (densità di 1,2 kg/m^3 circa e velocità di 340 m/s) tale relazione diventa

$$p^2 \approx 400 * I_s$$

Livelli e decibel

Per consentire una rappresentazione più compatta e semplificata delle grandezze acustiche, data la notevole estensione delle pressioni sonore misurabili e percepibili dall'orecchio umano (che peraltro non risponde agli stimoli in modo lineare ma con una scala pressoché logaritmica), si ricorre ad una scalatura logaritmica. La più importante grandezza in questo

caso è il decibel, ovvero un decimo di bel, che propriamente non è un'unità di misura, ma un modo per esprimere la misura, detto livello. Si definisce livello il logaritmo in base 10 del rapporto tra una determinata quantità e una quantità di riferimento dello stesso tipo. Il decibel (dB) si ottiene come 10 volte il logaritmo del rapporto tra le due grandezze.

Per la misura della pressione sonora si usa il decibel, poiché i valori utilizzati correntemente coprono un'estensione di circa 6 ordini di grandezza nei valori della pressione. Adottando la convenzione comune di fissare 0 dB a $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ (corrispondente alla soglia di udibilità), la scala di suoni da 0 a 120 dB corrisponde a valori di pressione sonora compresi tra $20 \mu\text{Pa}$ e oltre 10 Pa. Il livello di pressione sonora L_p , o più semplicemente livello sonoro, è definito come

$$L_p = 20 \log (p/p_0) = 20 \log (p/20),$$

in cui p è la pressione sonora efficace espressa in μPa .

Per come è definita la relazione tra livelli e pressione sonora, un raddoppio della pressione sonora corrisponde ad un incremento di 6 dB.

Anche per la potenza sonora si utilizzano i livelli, definendo

$$L_w = 10 \log W_s + 120,$$

avendo definito come potenza di riferimento per il livello di 0 dB quella di 1 pW (10^{-12} W)

Il livello di potenza sonora si distingue dal livello di pressione sonora, in quanto il primo misura la potenza acustica emessa da una determinata sorgente, mentre il secondo dipende non solo dalla potenza ma anche dalla distanza tra la sorgente e il punto di misura e dalle caratteristiche dello spazio circostante la sorgente stessa. In caso di onda sferica (sorgente che irradia in modo uniforme in tutte le direzioni), in assenza di ostacoli o superfici riflettenti o assorbenti nelle vicinanze, il livello di potenza sonora e quello di pressione sonora sono correlati dalla legge

$$L_p = L_w - 20 \log r - 10,9 + C,$$

in cui r è la distanza dalla sorgente (in metri) e C un termine correttivo (in dB), dipendente dalla temperatura e dalla pressione atmosferica. Esso vale 0 per una temperatura di 20°C e la pressione di 1000 mbar.

7.2 Descrizione della strumentazione impiegata

Per le campagne di misura la strumentazione impiegata (illustrata in Figura 1) è un fonometro e analizzatore a due canali, equipaggiato con una coppia di microfoni, per effettuare misure di intensimetria acustica. Con i due microfoni, infatti, distanziati e calibrati, la sonda intensimetrica permette di individuare la direzione di provenienza di un determinato suono e misurare il livello di intensità sonora in un determinato punto. La sonda risulta particolarmente utile per mappare l'intensità sonora su una superficie ed individuare la sorgente specifica del

rumore attraverso un'analisi della propagazione sonora. Il vantaggio principale dell'utilizzo della sonda intensimetrica rispetto alla misura della pressione sonora è la possibilità di individuare la provenienza di un rumore anche in presenza di altre rumorosità circostanti, che potrebbero mascherarlo.

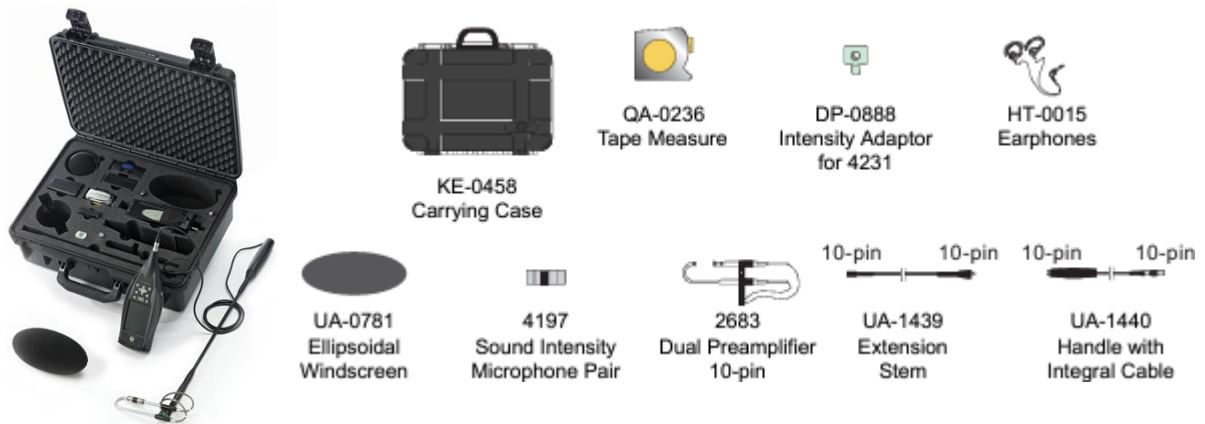


Figura 1 – Strumentazione utilizzata per le prove di intensimetria

7.3 Campagne di misure sperimentali

Sono state effettuate misure su 3 tipologie diverse di pompa di calore: acqua-acqua, aria-acqua e aria-aria. In parallelo alle misure finalizzate all'attività della presente LA le stesse misure sono state condotte nell'ambito di un lavoro di tesi magistrale di acustica in Ingegneria Edile-Architettura dell'Università di Pisa, con strumentazione analoga a quella a disposizione dell'ENEA. I risultati, confrontati con quelli qui riportati, hanno mostrato un'ottima corrispondenza.

7.3.1 Pompa di calore acqua-acqua

Il primo modello di pompa di calore analizzato è di tipo acqua-acqua (AERMEC mod. NXW0750XH), ed è ospitato nella centrale termica di un edificio dell'Università di Pisa inaugurato nel 2020 e denominato "Polo della Memoria – San Rossore 1938". Fa parte di un sistema geotermico misto con pozzi e sonde ed è dotata di 2 gruppi, visibile in Figura 2, le cui caratteristiche principali sono elencate in Tabella 1.



Figura 2 - Centrale termica con pompa di calore acqua-acqua

Tabella 1 - Dati di targa della pompa di calore acqua-acqua

Potenza termica in modalità "caldo"	240 kW
Potenza elettrica	53,8 kW
Potenza termica in modalità "freddo"	212 kW
Potenza elettrica	45,5 kW
Carica di refrigerante (R410A, circuito principale/secondario)	13 kg/11 kg

Le prove intensimetriche sono state condotte impostando una griglia di misura di 4 righe x 5 colonne (dimensioni della superficie di misura: 2,1 m di larghezza; 1,6 m di altezza), con successivo infittimento nella zona dei compressori, con una griglia ulteriore di 3 righe x 2 colonne (dimensioni della superficie di misura: 0,8 m di larghezza e 0,65 m di altezza). Sono state effettuate prove con le impostazioni dello standard ISO 9164-2 (misura ripetuta 2 volte per ciascun segmento, con tempo di almeno 20 s). La Figura 3 mostra il dettaglio della macchina.



Figura 3 - Superficie oggetto di misure intensimetriche. In basso a destra la zona con i compressori

La Figura 4 riporta i risultati delle misure di potenza sonora, ricavati applicando la curva di ponderazione "A" (trattasi della ponderazione di frequenza più comunemente usata, che fornisce risultati indicati spesso come dB(A), molto vicini alla risposta dell'orecchio umano. Nel seguito, anche se omesso, si intenderà sempre applicata questa ponderazione). Si osserva in generale che la potenza sonora aumenta procedendo dall'alto verso il basso e da sinistra verso destra, con i valori più alti in corrispondenza dei compressori, dove si rileva il massimo di 69,1 dB. La potenza totale (somma su tutte le partizioni della griglia) risulta pari a 74 dB.

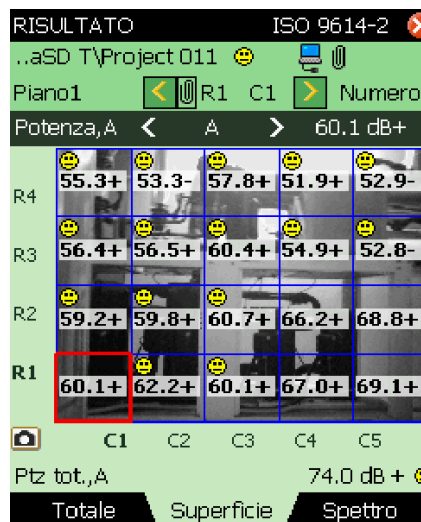


Figura 4 - Livelli di potenza sonora della macchina acqua-acqua (con curva di ponderazione A)

Analizzando i livelli di potenza in funzione della frequenza, si osserva un massimo in corrispondenza di 1,25 kHz, con un valore di 63,6 dB, come illustrato in Figura 5; spazialmente, esso viene rilevato in corrispondenza della porzione inferiore del compressore.



Figura 5 - livello massimo di potenza per la frequenza di 1,25 kHz

Infittendo la griglia in corrispondenza dei 2 compressori, si osservano i valori riportati in Figura 6, pienamente compatibili con quelli ricavati nella prima misura, con un valore massimo, sempre nell'angolo in basso a destra, di 67,8 dB. Si precisa che la seconda misura è stata effettuata in un momento successivo alla prima, dopo che la macchina aveva effettuato una pausa, su segnale proveniente dall'utenza, e riavviandosi successivamente sempre con lo stesso comando.

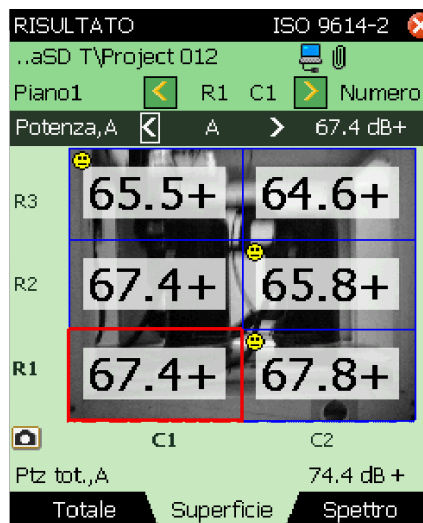


Figura 6 - infittimento della griglia di misura in corrispondenza dei compressori

Come evidenziato dalla Figura 7, il picco in termini di frequenza con la potenza massima si riscontra in questo caso in corrispondenza della frequenza di 500 Hz, con un valore di 62,8 dB, sempre nell'angolo in basso a destra della superficie analizzata.

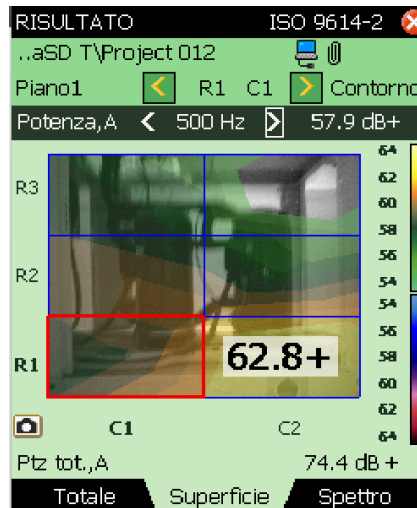


Figura 7 - picco di potenza alla frequenza di 500 Hz

È utile osservare l'andamento della potenza sonora sull'intera superficie e sulla zona di dettaglio dei compressori in funzione delle frequenze. In Figura 8 sono riportati gli andamenti della potenza sonora per le due superfici, che mostrano un sostanziale accordo dei livelli di potenza per le frequenze dai 400 Hz circa in su; tra 100 e 300 Hz circa si notano significative differenze, con valori maggiori se riferiti all'intera superficie. Per le frequenze più basse (25 e 31,5 Hz) si rilevano valori inferiori a quelli di riferimento, tali per cui il livello risulta negativo. Complessivamente, il massimo dei livelli si osserva nel range di frequenze 500÷1600 Hz, con livelli di poco superiori a 65 dB.

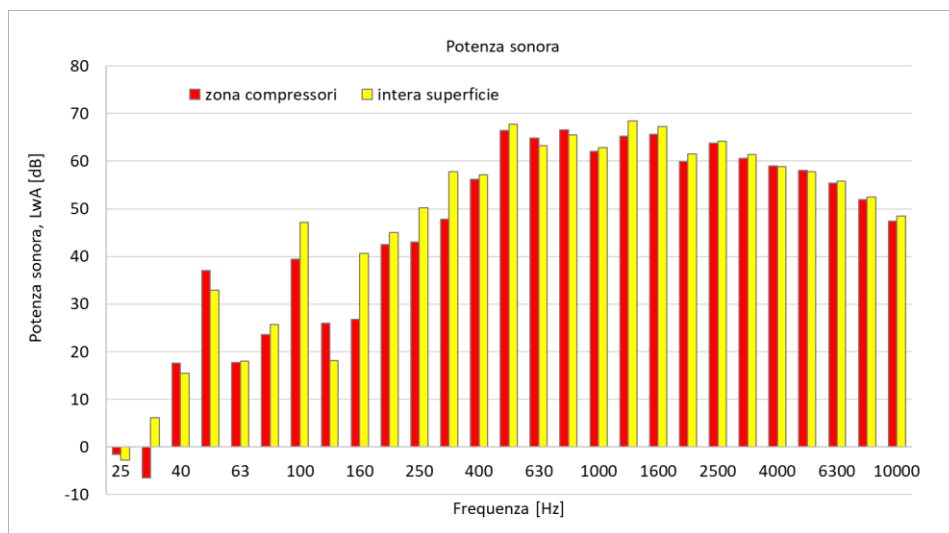
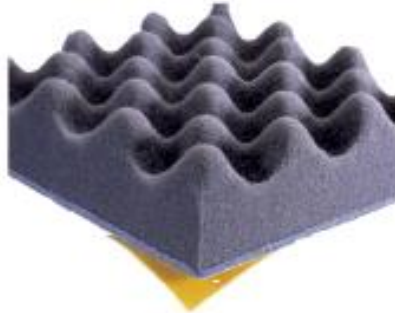


Figura 8 - Andamento dei livelli di potenza sonora in funzione della frequenza misurati sull'intera superficie e sulla zona compressori

Per questa macchina è stato possibile testare l'attenuazione della potenza sonora con l'interposizione di pannelli fonoassorbenti, applicati direttamente alla struttura di sostegno del gruppo compressori. In Figura 9 sono riportate alcune delle loro caratteristiche.

POLYURETHANE FOAM

CORRUGATED, WITH SELF ADHESIVE LAYER AND HEAVY WEIGHT



DESCRIPTION

50 mm of heavy weight 5 kg/m², corrugated PU Ether absorption foam bonded to 3 mm of spring foam.
 Temperature range : from - 25°C to + 110°C.
 Fire resistance : M4.

APPLICATIONS

- Air compressors
- Compressors
- Gearboxes
- Electric motors
- Presses

DIMENSIONS

Reference	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg)
B41001	700	500	50	2,13
B41001-50"	700	500	50	2,05

*Self adhesive layer on one side.

Tolerance : ± 6 mm

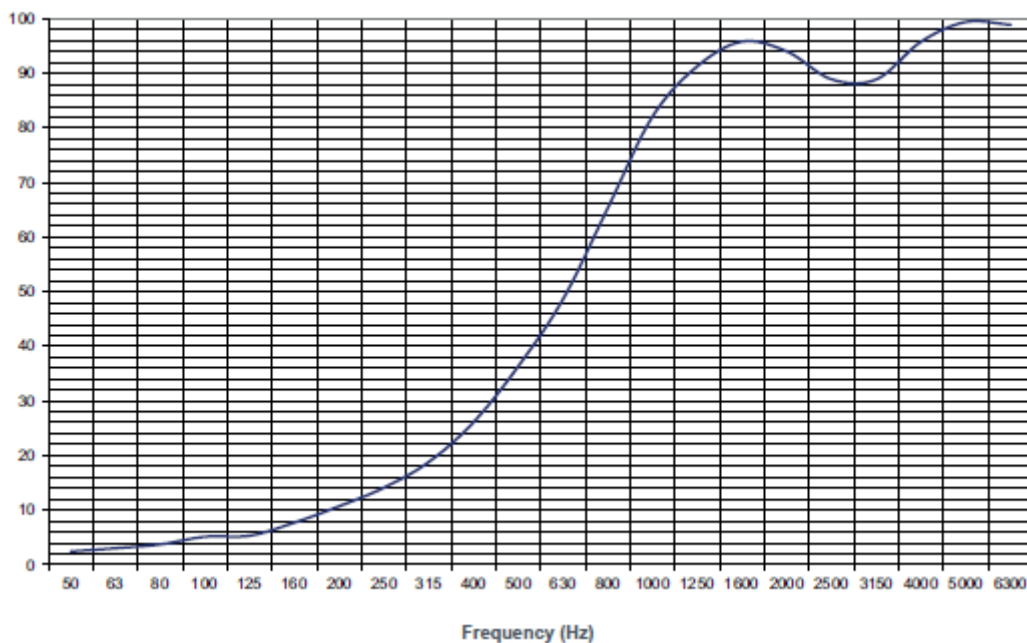


Figura 9 - Caratteristiche dei pannelli fonoassorbenti impiegati

In particolare, i pannelli sono stati disposti in modo da coprire pressoché integralmente la superficie direttamente comunicante con il vano compressori, mentre nelle zone adiacenti sono state lasciate alcune aree non coperte. Si possono confrontare gli effetti di riduzione sia sull'intera superficie (Figura 10) che sulla zona compressori (Figura 11).

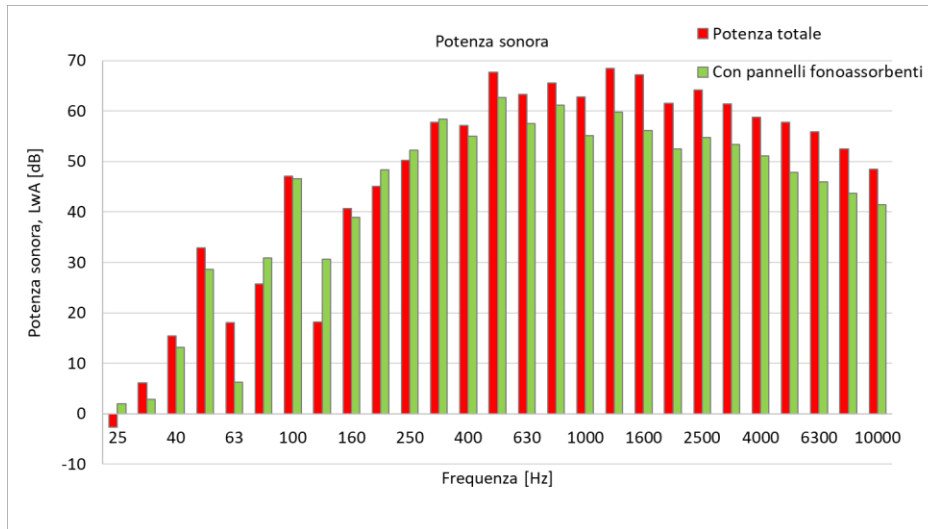


Figura 10 – Confronto tra potenza totale con e senza l'interposizione di pannelli fonoassorbenti

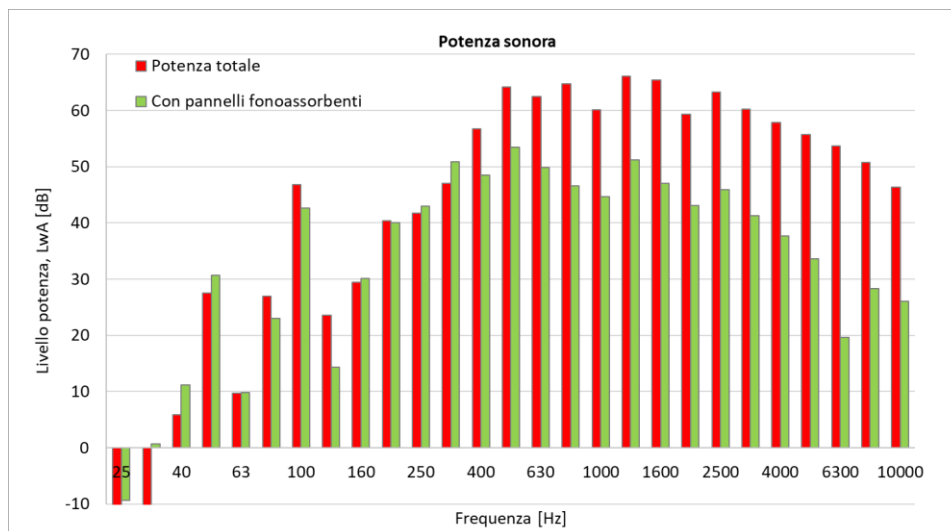


Figura 11 – confronto tra potenza sonora nella zona compressori con e senza l'interposizione di pannelli fonoassorbenti

Si nota, per entrambi i grafici, che l'azione dei pannelli è efficace da un certo valore di frequenza in su, ovvero circa 400 Hz, coerentemente con l'andamento qualitativo della curva di Figura 9, mentre al di sotto di tale frequenza non si evidenzia un'efficacia, avendosi addirittura alcune basse frequenze in cui la potenza misurata in presenza dei pannelli appare leggermente superiore a quella senza alcuna schermatura. Per frequenze ≥ 500 Hz, si ha un'attenuazione media superiore a 18 dB, con punte superiori a 20 dB a frequenze ≥ 4000 Hz.

7.3.2 Pompa di calore aria-acqua

La seconda macchina analizzata, di tipo aria-acqua (CLIVET mod. WSAN-XEE 602), è installata nel cortile della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa, ed è a servizio di una porzione delle aule e degli uffici della stessa facoltà. Trattasi di una pompa di calore reversibile per installazione esterna, visibile in Figura 12, con le caratteristiche riportate in Tabella 2.



Figura 12 - pompa di calore aria-acqua

Tabella 2 - Dati di targa della pompa di calore aria-acqua

Potenza termica in modalità "caldo"	181,4 kW
Potenza termica in modalità "freddo"	155,4 kW
Potenza elettrica	80,8 kW
Carica di refrigerante (R410A)	56 kg

Le prove intensimetriche sono state condotte impostando una griglia di misura di 3 righe x 4 colonne (dimensioni della superficie di misura: 4 m di larghezza; 1,5 m di altezza, riportata in Figura 13). Anche in questo caso sono state effettuate prove con le impostazioni dello standard ISO 9164-2.

La Figura 14 mostra i livelli di potenza sonora, con la curva di ponderazione "A". Il valore massimo si individua nella porzione più alta, vicino alla mezzeria, con circa 72 dB. Si notano alcune icone di colore rosso legate alla difficoltà di ripetibilità dovuta alla presenza di raffiche di vento verificatesi durante le prove. La potenza totale raggiunge 77,3 dB.



Figura 13 - Superficie oggetto di misure intensimetriche per la PdC aria-acqua

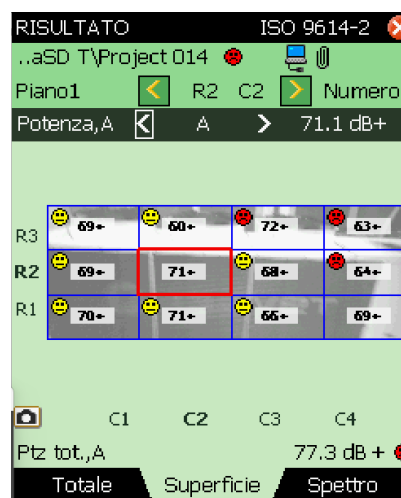


Figura 14 - livelli di potenza sonora della macchina aria-acqua (con curva di ponderazione "A")

Il massimo di potenza sonora in funzione della frequenza si trova a 1,25 kHz, con circa 64 dB, posto nella stessa posizione del massimo della potenza totale, come mostrato in Figura 15.

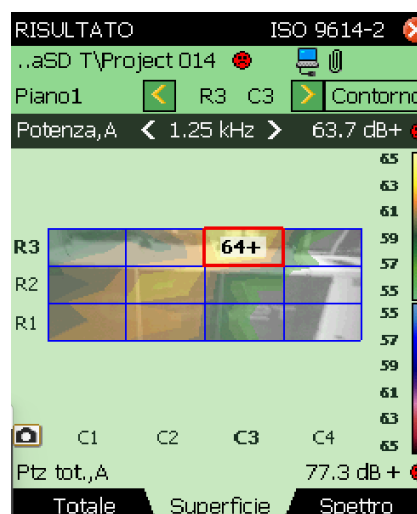


Figura 15 - livello massimo di potenza per la frequenza di 1,25 kHz

Considerando la potenza totale in uscita dalla superficie di misura, la sua distribuzione in funzione della frequenza mostra un ampio intervallo in cui il livello si attesta intorno a 70 dB, compreso tra circa 300 Hz e 1,25 kHz, come illustrato in Figura 16.

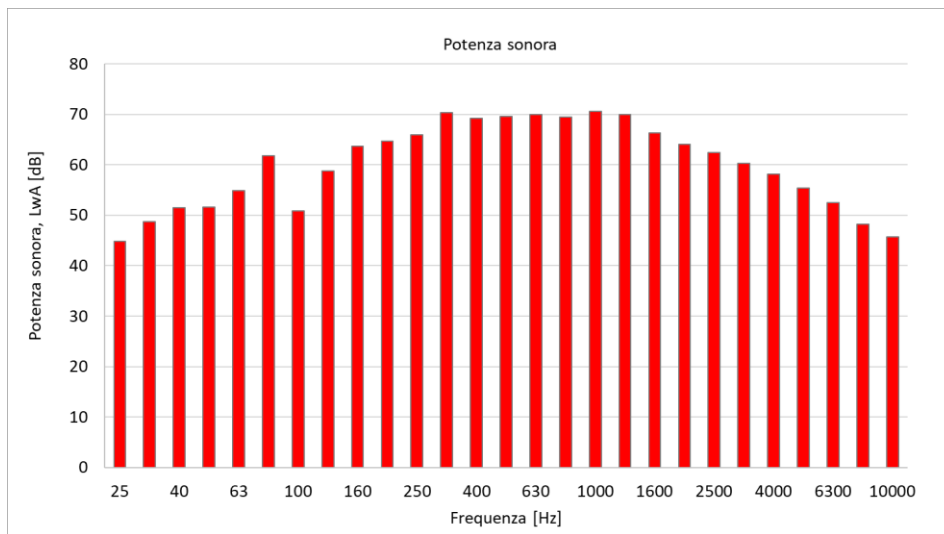


Figura 16 - Distribuzione della potenza totale della superficie in funzione della frequenza

7.3.3 Pompa di calore aria-aria

La terza macchina analizzata è di tipo aria-aria, molto più piccola delle altre 2, ed è a servizio di un ufficio all'interno della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa; l'unità esterna, oggetto delle misure intensimetriche, è posizionata verticalmente ed è dotata di due ventilatori, come mostrato in Figura 17. Trattasi di un modello Hitachi, RAS-4H(V)RNM1E, a servizio di un singolo ambiente. È alimentato a R410A, con una carica di 3,9 kg. Le potenze nominali in riscaldamento e in raffrescamento sono rispettivamente di 11,2 e 10 kW termici. Può essere applicata in abbinamento con varie unità interne, con assorbimenti elettrici compresi tra 2,77 e 3,24 kW elettrici. Per le misure sono state scelte le 2 superfici frontali, anteriore e posteriore (essendo accessibile e aperta anche quest'ultima).



Figura 17 - Unità esterna della pompa di calore aria-aria a servizio di un ufficio

Le dimensioni della griglia di misura sono di 0,95 m di altezza e 1,35 m di altezza, con un reticolo di 3 righe x 2 colonne. La Figura 18 riporta i livelli di potenza sonora per le superfici anteriore e posteriore. Per quest'ultima la posizione è ribaltata specularmente rispetto all'altra, ovvero l'angolo in basso a destra di una corrisponde con quello in basso a sinistra dell'altra.

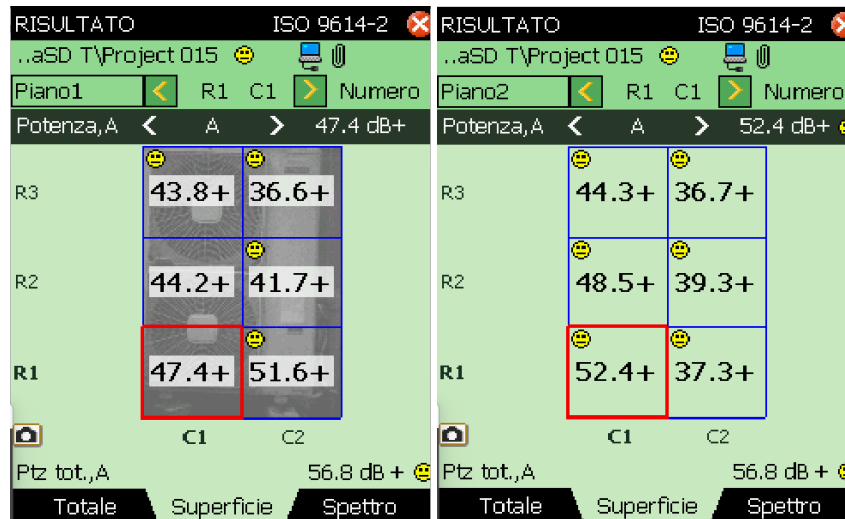


Figura 18 - Livelli di potenza sonora sulle superfici anteriore (sx) e posteriore (dx) della pompa di calore aria-aria

I valori massimi di potenza sonora (con ponderazione di tipo "A") sono di 51,6 dB sulla superficie anteriore e 52,4 dB su quella posteriore.

Si osserva una certa differenza di livelli sonori tra fronte e retro della macchina, dovuta principalmente alle differenti condizioni al contorno delle rispettive emissioni sonore. Sul lato anteriore il rumore si propaga in campo libero; sul lato posteriore, a causa della presenza del muro dell'edificio ubicato vicino alla macchina (circa 25 cm di distanza), si generano effetti di riflessione sonora che incrementano i livelli.

Riguardo al valore di massima potenza in funzione della frequenza (vedi Figura 19), esso è individuato ad 1 kHz per quanto riguarda la superficie anteriore (con 48,2 dB) e a 1,6 kHz (con 48,7 dB) sulla superficie posteriore, in corrispondenza della stessa posizione sulla griglia di misura, ovvero nell'angolo in basso a destra, guardando la superficie anteriore.

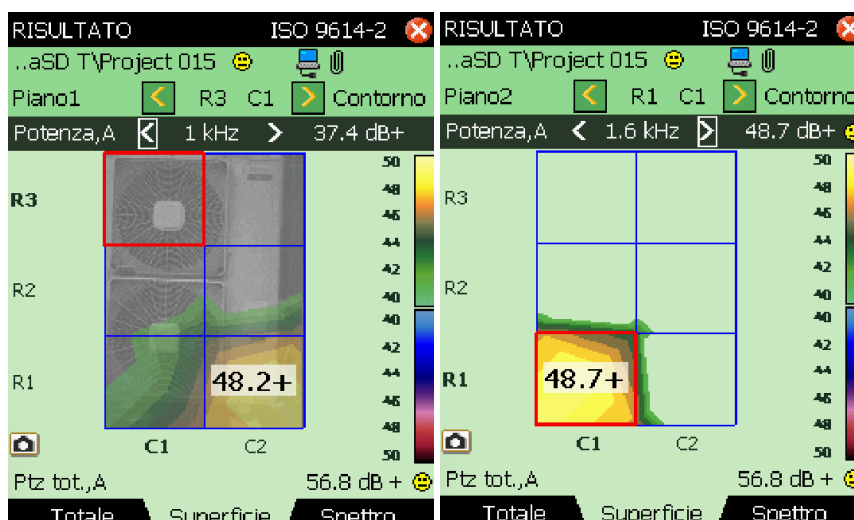


Figura 19 - picchi dei livelli di potenza sonora (superfici anteriore a sx e posteriore a dx) per la pompa di calore aria-aria

L'andamento dei valori di potenza delle superfici (unico valore per l'intera superficie) e della potenza dell'intera macchina è riportato in Figura 20, dove si possono osservare alcuni picchi, uno più importante, di poco superiore a 50 dB in corrispondenza dei valori di 1÷1,25 kHz, uno secondario intorno a 6,3 kHz ed uno ancora più basso intorno a 100÷160 Hz. Rispetto alle altre 2 macchine si rileva una sensibile riduzione dei livelli, legata alla taglia molto inferiore, e una distribuzione più articolata dei picchi alle varie frequenze (ovvero sono presenti più picchi caratteristici), presumibilmente a causa di una gestione meno accurata delle vibrazioni su macchine di piccola taglia.

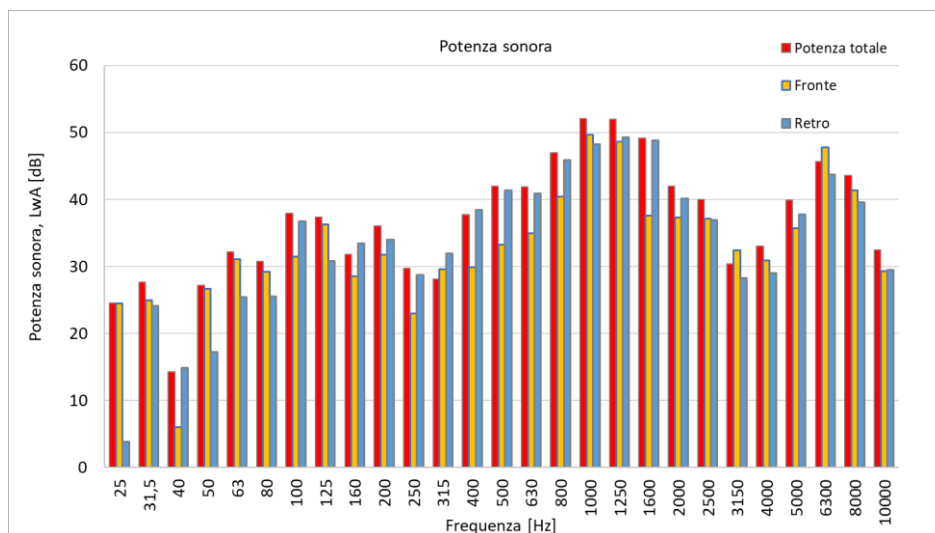


Figura 20 – Livelli di potenza sonora delle superfici anteriore e posteriore in funzione delle frequenze

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state utilizzate consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

Non sono state ancora finalizzate pubblicazioni scientifiche sugli argomenti oggetto della LA.

10 Eventi di disseminazione

Non si è partecipato ad eventi specifici di disseminazione sulle tematiche afferenti all'oggetto di questa linea di attività.