

OTTIMIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI ACUSTICHE E TERMOFLUIDODINAMICHE DI UNA CALDAIA MURALE A GAS

Franco Cotana*, Federico Rossi**, Andrea Nicolini***

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti, 1/A-4, 06125 Perugia

* Tel. 0755853714 – Fax 0755853697 – E-mail: cotana@unipg.it

** Tel. 0755853846 – Fax 0755848470 – E-mail: frossi@unipg.it

*** Tel. 0755853845 – Fax 0755848470 – E-mail: ciriaf@unipg.it

SOMMARIO

Nella presente memoria vengono proposti interventi per la riduzione delle emissioni acustiche di una caldaia murale a gas nell'ambito di una convenzione fra Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Perugia ed Immergas. Allo scopo è stata condotta una campagna di misure intensimetriche e di vibrazioni per caratterizzare le cause del rumore e individuare gli interventi per il suo contenimento. La compatibilità di suddetti interventi con le prestazioni termofluidodinamiche della caldaia è stata valutata mediante una simulazione numerica con il codice di calcolo Fluent. A seguito della realizzazione degli interventi, è stata riscontrata una riduzione della potenza sonora pari a 3.5dBA e una riduzione del livello medio di vibrazioni pari a 5.0dB. Misure termofluidodinamiche hanno infine confermato i risultati delle simulazioni numeriche, verificando che gli interventi effettuati non causano significative modifiche delle prestazioni della caldaia ed in particolare della portata di evacuazione fumi, caratteristica di fondamentale importanza per la sicurezza.

1. INTRODUZIONE

Le caldaie murali a gas a camera stagna consentono una gestione indipendente del riscaldamento delle singole unità abitative operando in condizioni di elevata efficienza e sicurezza. Per questi motivi si è assistito, negli ultimi anni, ad un'ampia diffusione di tali sistemi al punto che, attualmente, costituiscono la soluzione più comune per il riscaldamento residenziale in Italia.

Le caldaie murali a gas, spesso, sono installate all'interno delle stesse unità abitative, a stretto contatto con gli occupanti; particolare importanza assume dunque l'aspetto relativo alle emissioni acustiche, anche in considerazione del funzionamento durante le ore notturne, quando la sensibilità al rumore è particolarmente elevata [1].

Nella presente memoria si riportano i risultati di uno studio volto alla riduzione delle emissioni acustiche della caldaia modello "EOLO 27 Maior @", effettuato nell'ambito di una convenzione fra Dipartimento di Ingegneria Industriale e Immergas. A tale proposito, sulla base dei risultati di una campagna di misure intensimetriche e del livello di vibrazioni, sono stati proposti interventi per l'isolamento dalle vibrazioni indotte dal ventilatore di evacuazione fumi ed il fonoisolamento della pre-camera di combustione mediante una opportuna pannellatura.

Una simulazione numerica con il codice di calcolo ai volumi finiti (Fluent) ha messo in evidenza che le soluzioni proposte non modificano le caratteristiche di funzionamento termofluidodinamico della caldaia. La simulazione numerica ha inoltre suggerito la realizzazione di un condotto supplementare, sulla parete superiore della camera di combustione, che consentirebbe un ulteriore incremento della capacità di evacuazione dei fumi del sistema di scarico.

Una seconda campagna di misure intensimetriche e del

livello di vibrazione è stata effettuata dopo la realizzazione degli interventi, al fine di verificarne l'efficacia; a tale proposito il livello di potenza sonora ponderato A ed il livello di vibrazioni si riducono rispettivamente di 3.5dBA e di 5.0dB.

Si sono infine effettuate misure termofluidodinamiche, anch'esse dopo la realizzazione degli interventi; i risultati mostrano che non si hanno significative modifiche alle prestazioni termofluidodinamiche della caldaia, confermando i risultati delle simulazioni.

2. MISURE ACUSTICHE PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE

Lo scopo della campagna di misure intensimetriche è la determinazione delle caratteristiche del rumore emesso dalla caldaia e dai suoi componenti, al fine di individuare possibili interventi di contenimento dello stesso. Le misure sono state effettuate all'interno di un ambiente avente dimensioni pari a 4.5m X 4.5m X 3m e caratterizzato da circa 65 m² di unità assorbenti; la parete su cui è fissata la caldaia presenta un coefficiente di assorbimento elevato, pari a 0.7 [2] [3]. Le misure hanno consentito di determinare la potenza acustica della caldaia in diverse condizioni di funzionamento:

- A. solo circolatore acceso;
- B. solo ventilatore acceso;
- C. tutte le sorgenti accese.

La strumentazione impiegata è una sonda intensimetrica, modello AKSUD F.83, con preamplificatore AKSUD, collegata ad un sistema di acquisizione ed elaborazione dati (modello Aria bicanale in tempo reale) prodotto dalla 01 dB.

2.1 Metodo di misura

Nelle condizioni A le misure sono state effettuate nei 12 punti numerati, disposti sopra una superficie fittizia, a forma di parallelepipedo, costruita attorno alla sorgente di rumore (vedi Fig. 1) [4].

Le dimensioni della superficie sono pari a $x=1.2m$, $y=1.2m$, $z=0.6m$ dove il piano $x-y$ coincide con la parete su cui è fissata la caldaia. La scelta del numero e della posizione dei punti di misura è stata effettuata in base alle prescrizioni della norma tecnica UNI EN ISO 9614-1/97 [4], secondo la quale la distanza tra la superficie di misura e la sorgente in prova (solo circolatore) deve essere maggiore di 0.5 m.

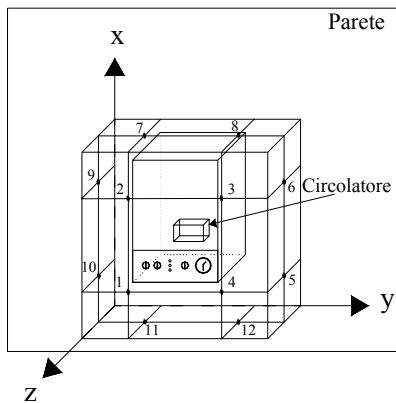


Fig. 1: superficie di misura nella condizione di funzionamento A.

Nelle condizioni di funzionamento B e C sono stati individuati 20 punti di misura disposti sopra una superficie fittizia, a forma di parallelepipedo, avente dimensioni pari a $x=1.8m$, $y=1.8m$, $z=1.8m$ dove il piano $x-y$ coincide con la parete su cui è fissata la caldaia (vedi Fig. 2).

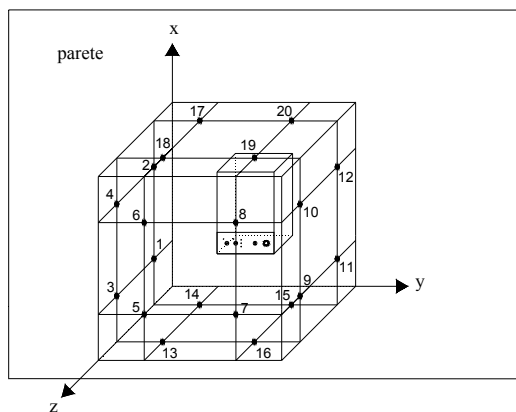


Fig. 2: superficie di misura nelle condizioni di funzionamento B e C.

In accordo con le prescrizioni della norma tecnica UNI EN ISO 9614-1/97, la scelta del numero e della posizione dei punti di misura è stata effettuata in base alle dimensioni della sorgente che coincidono, in questi casi, con le dimensioni della caldaia ($x=0.8m$, $y=0.56m$, $z=0.45m$). I livelli di pressione sonora sono stati elaborati dal sistema di acquisizione dati che permette il calcolo dell'intensità e dello spettro di potenza della sorgente. In Fig. 3 è riportata una fotografia della caldaia durante le fasi di misura.

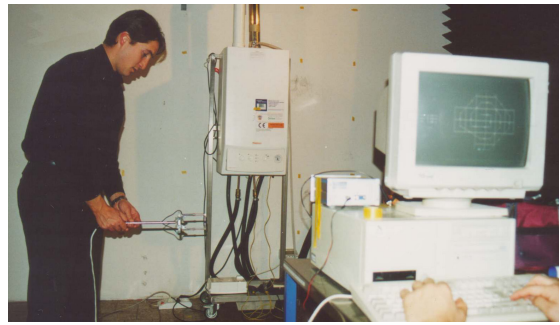


Fig. 3: fasi delle misure.

2.2 Risultati delle misure

Il calcolo del livello di potenza sonora è stato effettuato in accordo alle prescrizioni della norma tecnica UNI EN ISO 9614-1/97 [4].

In Tabella 1 è riportato il valore del livello di pressione sonora ponderato A misurato in ciascun punto nelle diverse condizioni di funzionamento.

Tabella 1: livelli di pressione misurati

| Punto di Misura | Condizione A | Condizione B | Condizione C |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | L_{pA} (dBA) | L_{pA} (dBA) | L_{pA} (dBA) |
| 1 | 32.5 | 43.5 | 43.5 |
| 2 | 35.0 | 44.0 | 44.5 |
| 3 | 35.0 | 42.5 | 42.5 |
| 4 | 31.5 | 45.5 | 46.0 |
| 5 | 32.5 | 42.5 | 43.0 |
| 6 | 34.5 | 45.5 | 46.0 |
| 7 | 33.0 | 40.5 | 41.0 |
| 8 | 33.5 | 42.5 | 43.0 |
| 9 | 33.0 | 41.5 | 41.5 |
| 10 | 32.5 | 42.0 | 42.0 |
| 11 | 31.5 | 41.5 | 41.5 |
| 12 | 30.5 | 41.0 | 42.0 |
| 13 | - | 42.5 | 42.5 |
| 14 | - | 42.5 | 43.0 |
| 15 | - | 42.5 | 42.5 |
| 16 | - | 41.0 | 41.0 |
| 17 | - | 43.5 | 43.5 |
| 18 | - | 44.5 | 44.5 |
| 19 | - | 42.5 | 43.0 |
| 20 | - | 41.0 | 41.5 |

Dai valori dei livelli di pressione riportati in Tabella 1 e dalla loro distribuzione in frequenza si evince quanto segue.

Condizione A (solo circolatore acceso):

- la componente principale dello spettro del rumore è individuata alla frequenza 125 Hz per tutti i 12 punti di misura;

- il livello di pressione sonora ponderato A assume il valore massimo, pari a 35.0 dBA, nei punti 2 e 3 di Fig. 1.

Condizione B (solo ventilatore acceso):

- in tutti i 20 punti di misura, la componente principale dello spettro di rumore è individuata in corrispondenza della frequenza di 200 Hz;

- il livello di pressione sonora ponderato A assume il valore massimo, pari a 45.5 dBA, nei punti 4 e 6 di Fig. 2.

Condizione C (tutte le sorgenti accese):

- in tutti i 20 punti di misura, la componente principale dello spettro di rumore è relativa alla frequenza di 200 Hz e coincide quindi con la componente principale del rumore prodotto dal ventilatore;

- il livello di pressione sonora ponderato A assume il valore massimo, pari a 46.0 dBA, nei punti 4 e 6 di Fig. 2, cui corrisponde il massimo valore del livello di rumore prodotto dal ventilatore;

Quanto sopra riportato mostra che il rumore prodotto dalla caldaia nelle condizioni d'esercizio è dovuto essenzialmente al ventilatore.

In Fig. 4, 5 e 6 sono rappresentati gli spettri dei livelli di potenza acustica relativi rispettivamente alle condizioni A, B e C.

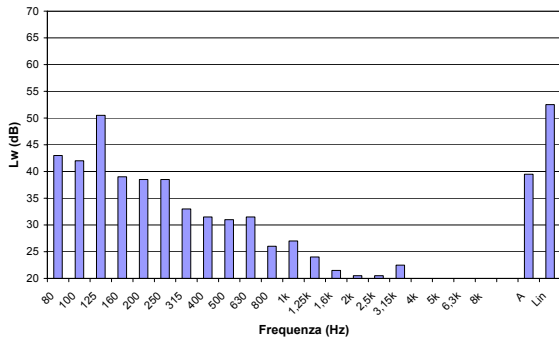


Fig. 4: livello di potenza acustica (condizione A).

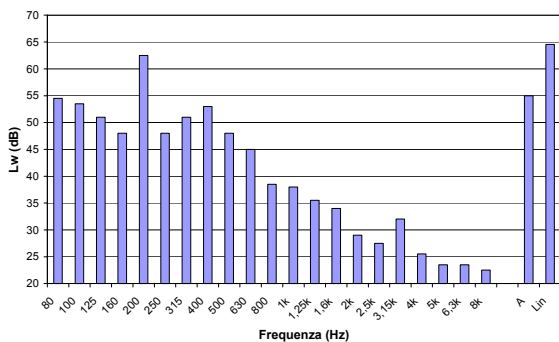


Fig. 5: livello di potenza acustica (condizione B).

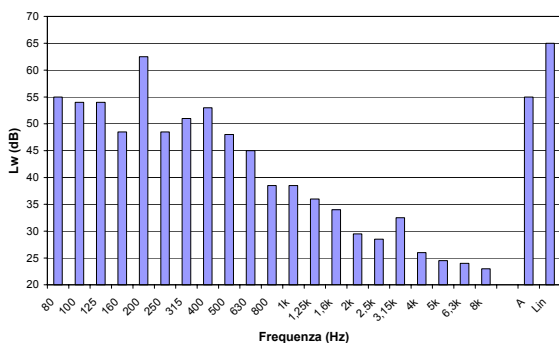


Fig. 6: livello di potenza acustica (condizione C).

L'andamento della potenza complessiva generata dalle sorgenti nelle diverse condizioni di funzionamento conferma le osservazioni effettuate sui livelli di pressione sonora misurati. In particolare:

- nella condizione A, la componente principale è localizzata a 125 Hz;

- nella condizione B, la componente principale è localizzata a 200 Hz;

- anche nella condizione C, la componente a 200 Hz, dovuta al rumore prodotto dal ventilatore, costituisce la componente principale.

Il livello di potenza sonora ponderato A, prodotto dalla caldaia "EOLO 27 Maior @" nelle condizioni di funzionamento suddette risulta pari a:

- 39.5 dBA nella condizione A;
- 55.0 dBA nella condizione B;
- 55.0 dBA nella condizione C.

Confrontando i risultati delle misure effettuate nelle tre condizioni di funzionamento, emerge che lo spettro di potenza sonora emesso dalla caldaia nella condizione C ha lo stesso andamento di quello dovuto al solo ventilatore e presenta la stessa componente principale (200 Hz). Pertanto, il ventilatore contribuisce, in misura predominante, al rumore della caldaia nelle condizioni d'esercizio.

3. MISURE TERMOFLUIDODINAMICHE PRIMA DEGLI INTERVENTI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE

Una campagna di misure è stata effettuata per valutare le caratteristiche termofluidodinamiche della caldaia. In particolare, sono state determinate le caratteristiche del circuito aeraulico costituito da: circuito di aspirazione, camera di combustione e condotto di evacuazione fumi. E' stata misurata la portata dell'aria al variare della differenza di pressione (ΔP) tra le sezioni di ingresso e di uscita della caldaia. In questo modo, è stata ricavata la curva caratteristica (ΔP -portata) del circuito aeraulico suddetto (vedi Fig. 7).

Infine, sono state misurate la temperatura dell'aria in ingresso alla caldaia nella sezione finale del condotto di aspirazione dell'aria e la temperatura dei fumi in uscita dalla caldaia, in corrispondenza del condotto di evacuazione dei fumi.

3.1 Risultati delle misure

Il punto di lavoro del ventilatore è l'intersezione fra la curva caratteristica (ΔP -portata) del suddetto circuito aeraulico e la curva caratteristica del ventilatore, come mostrato in Fig. 7 [5].

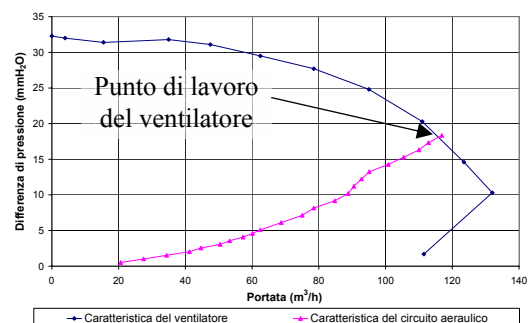


Fig. 7: curva caratteristica del circuito aeraulico.

La portata dell'aria aspirata e dei fumi di scarico è pari a 115.5 m³/h; tale valore corrisponde ad una velocità di aspirazione dell'aria pari a 4.7 m/s (diametro del tubo di aspirazione = 0.093 m) ed una velocità di evacuazione fumi di 5.2 m/s. La temperatura in ingresso al condotto di aspirazione coincide con la temperatura ambiente e varia quindi con le

condizioni climatiche. La temperatura dei fumi è di circa 125°C.

4. MISURE DI VIBRAZIONI PRIMA DEGLI INTERVENTI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE

Un contributo non trascurabile all'energia sonora generata dalla caldaia è trasmesso per via solida alle pareti della camera di combustione, ai pannelli esterni ed ai tubi dell'acqua. A tale proposito, è stata effettuata una campagna di misure di vibrazioni per individuare la presenza di eventuali correlazioni tra lo spettro dei livelli di accelerazione e quello dei livelli di potenza sonora precedentemente misurati. Le misure sono state effettuate con un analizzatore di spettro a 1/3 di ottava (modello ARIA prodotto dalla 01dB); l'accelerometro utilizzato è il modello 4502 prodotto dalla Bruel & Kjaer. I rilievi sono stati effettuati nella condizione di funzionamento C (tutte le sorgenti accese) in corrispondenza di 10 punti di misura, situati sui pannelli esterni della caldaia (vedi Fig. 8). Il livello di vibrazioni misurato nei dieci punti di misura è stato valutato nell'intervallo di frequenze da 12.5 a 8000 Hz. In Fig. 9 è riportato l'andamento dello spettro medio del livello di accelerazione (espresso in dB) relativo alle misure effettuate nei punti di Fig. 8. Dall'esame dello spettro del livello di accelerazione misurato, emerge che la componente principale (200 Hz) dello spettro delle vibrazioni coincide con quella del livello di potenza sonora dovuto al ventilatore. Pertanto, l'energia sonora trasmessa per via solida all'ambiente esterno è dovuta principalmente al ventilatore.

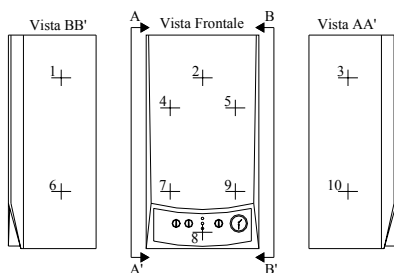


Fig. 8: punti di misura delle vibrazioni

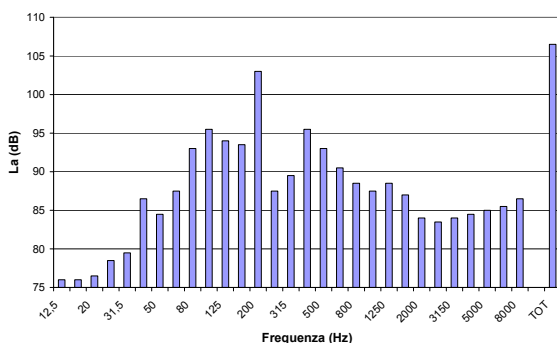


Fig. 9: spettro medio dei livelli di accelerazione

5. PROPOSTA DI INTERVENTI DI BONIFICA ACUSTICA

Lo spettro di potenza acustica del ventilatore mostra le

seguenti caratteristiche:

- distribuzione in frequenza variabile nell'intervallo da 80 a 1600 Hz;
- presenza di una componente tonale la cui frequenza (200 Hz) è proporzionale al numero di giri di rotazione delle pale del ventilatore nelle condizioni di funzionamento nominale.

Sulla base di queste considerazioni si propongono due diversi tipi di interventi di isolamento:

- 1) interventi di isolamento del rumore trasmesso per via solida;
- 2) interventi di isolamento da rumore aereo.

Gli interventi di tipo 1) possono essere realizzati mediante guarnizioni in poliuretano posizionate sulla superficie di contatto tra il ventilatore e gli altri elementi della caldaia a contatto con esso. Gli interventi di tipo 2) prevedono l'installazione, nelle pareti interne della caldaia e nelle pareti esterne della camera di combustione, di pannelli fonoisolanti in poliuretano e piombo.

6. VERIFICA NUMERICA DELLA COMPATIBILITA' DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA ACUSTICA CON LE PROPRIETA' TERMOFLUIDODINAMICHE DELLA CALDAIA

Gli interventi proposti prevedono l'interazione di elementi aggiuntivi quali guarnizioni e pannelli fonoisolanti con il flusso d'aria aspirato dalla caldaia. Tale circostanza può determinare una riduzione delle prestazioni termofluidodinamiche della caldaia in termini di diminuzione del flusso di evacuazione fumi e incremento della temperatura. A tale scopo, il comportamento termofluidodinamico della caldaia è stato studiato mediante il codice di calcolo ai volumi finiti Fluent [6]. La simulazione è stata effettuata suddividendo il volume interno della caldaia in circa 500.000 elementi tetraedrici. E' stato quindi simulato l'andamento di pressione, velocità e temperatura dell'aria all'interno della caldaia in due diverse condizioni di funzionamento:

1. caldaia prima degli interventi proposti (condizione ANTE);
2. caldaia dopo l'effettuazione degli interventi proposti (condizione POST);

Le simulazioni nei due casi suddetti sono state effettuate imponendo le seguenti condizioni al contorno:

- pressione in ingresso in corrispondenza del tubo di aspirazione uguale alla pressione in uscita della caldaia stessa;
- differenza di pressione tra le sezioni di ingresso e uscita del ventilatore uguale a quella individuata attraverso le misure aeruliche;
- temperature in ingresso e uscita dalla caldaia uguali a quelle misurate, pari rispettivamente a 27°C e 125°C;
- presenza di un flusso di calore pari a 31.5kW dovuto al bruciatore;
- un flusso di calore pari a 28.5kW è assorbito da parte dello scambiatore di calore presente nella parte alta della camera di combustione.

In Fig. 10 e 11 sono riportati gli andamenti della pressione e della velocità dell'aria all'interno della caldaia rispettivamente nelle condizioni ANTE e POST.

Le simulazioni hanno mostrato che gli interventi non producono variazioni significative nell'andamento di pressione, velocità e temperatura dell'aria. Pertanto, gli interventi proposti non modificano le prestazioni termofluidodinamiche della caldaia.

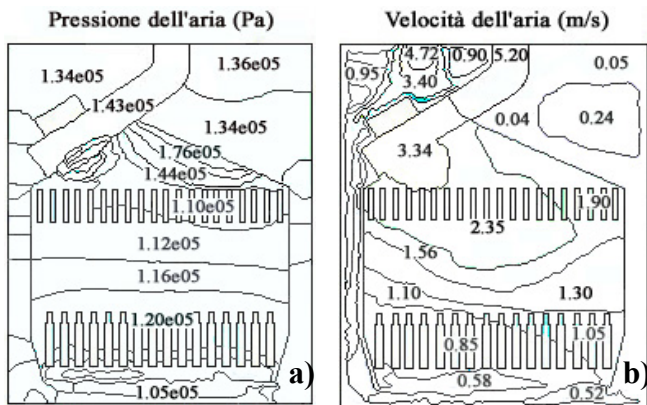


Fig. 10: distribuzione della pressione (a) e della velocità assoluta (b) dei gas all'interno della caldaia nelle condizioni ANTE.

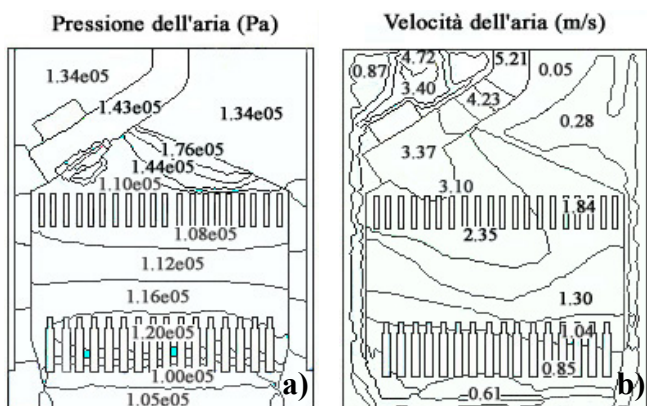


Fig. 11: distribuzione della pressione (a) e della velocità assoluta (b) dei gas all'interno della caldaia nelle condizioni POST.

Le simulazioni numeriche mostrano inoltre la presenza di un'elevata pressione all'interno della camera di combustione, sul collettore di raccolta fumi, in corrispondenza della parete opposta a quella occupata dal ventilatore. Pertanto, la realizzazione di un condotto supplementare che connette la camera di combustione con il già presente condotto di evacuazione fumi (vedi Fig. 12) potrebbe migliorare le prestazioni fluidodinamiche della caldaia.

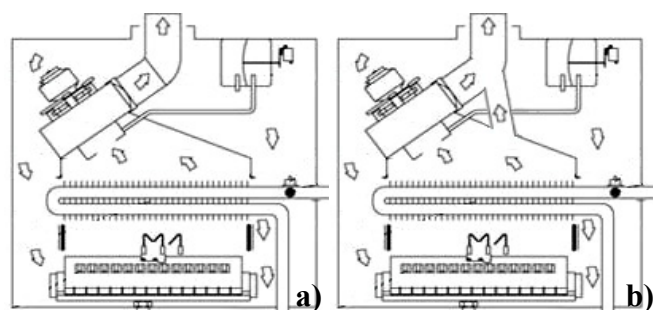


Fig. 12: a) camera di combustione originaria; b) camera di combustione in presenza del condotto supplementare di scarico.

La simulazione nella condizione POST è stata quindi ripetuta inserendo un condotto supplementare di uscita dei fumi, di sezione pari alla metà di quella del condotto già

presente, nella parte superiore della camera di combustione. In Fig. 13 sono riportati gli andamenti della pressione e della velocità dopo l'inserimento del condotto suddetto. La simulazione effettuata con la configurazione che prevede l'inserimento del condotto supplementare ha dimostrato che l'incremento della portata dei fumi in corrispondenza della sezione d'uscita della caldaia è circa il 10%.

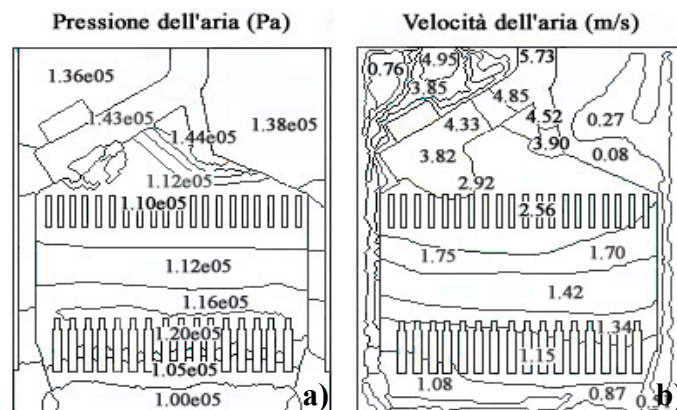


Fig. 13: distribuzione della pressione (a) e della velocità assoluta (b) dei gas all'interno della caldaia in presenza del condotto supplementare di scarico.

7. REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA ACUSTICA

I risultati delle simulazioni hanno mostrato che gli interventi proposti nel paragrafo 5 non introducono variazioni significative nelle prestazioni termofluidodinamiche della caldaia. Pertanto, i suddetti interventi sono stati realizzati adottando materiali aventi proprietà di resistenza al fuoco e scarsa tendenza alla frammentazione.

Per quanto riguarda gli interventi di tipo 1), il ventilatore è stato isolato dagli altri elementi della caldaia mediante una guarnizione in poliuretano, dello spessore di 3 mm, posizionata sulla superficie di contatto tra quest'ultimo e la camera di combustione (vedi Fig. 14). Una guarnizione in poliuretano è stata inoltre installata nel punto di connessione del ventilatore con il condotto di evacuazione dei fumi. I pannelli della camera di combustione, fissati con rivetti, sono stati isolati mediante l'inserimento di guarnizioni in Flexoid dello spessore di 1 mm tra le superfici di contatto. Infine, la parete frontale della camera stagna è stata irrigidita tramite l'applicazione di due staffe in acciaio dello spessore di 2 mm.

Per quanto riguarda gli interventi di tipo 2), l'isolamento dal rumore aereo è stato ottenuto mediante l'installazione, nelle pareti interne della caldaia e nelle pareti esterne della camera di combustione, di pannelli fonoisolanti dello spessore di 20 mm (vedi Fig. 15 e 16). Questi ultimi sono costituiti da due strati di poliuretano (densità 35 Kg/m³, conducibilità termica 0.018 W/m K, calore specifico a pressione costante 1400 J/Kg K) con interposto uno strato di piombo di spessore 1 mm (densità 11300 Kg/m³, conducibilità termica 35.3 W/m K, calore specifico a pressione costante 130 J/Kg K). Il potere fonoisolante dei pannelli suddetti è superiore a 20 dB per frequenze superiori ai 125 Hz. Le su citate caratteristiche dei materiali sono garantite per temperature di esercizio minori di 120°C [7], condizione sempre rispettata durante il funzionamento nominale della caldaia.

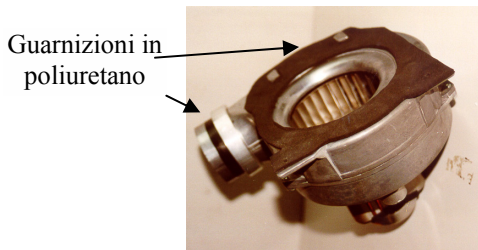


Fig. 14: intervento di isolamento dal rumore trasmesso per via solida mediante guarnizioni in poliuretano.

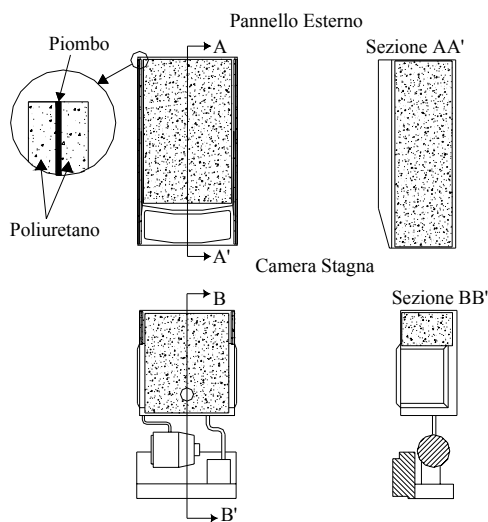


Fig. 15: interventi fonoisolanti sui pannelli della caldaia mediante pannelli multistrato

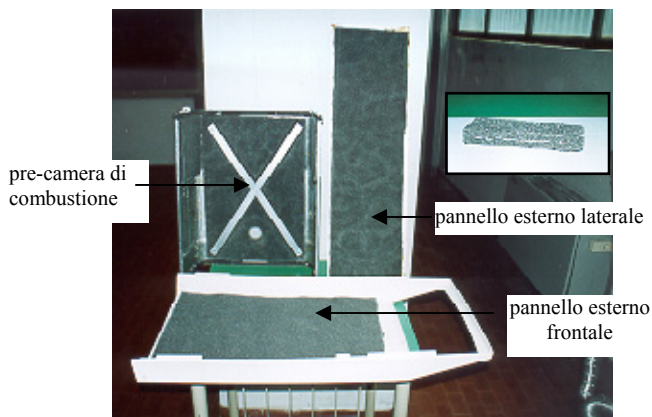


Fig. 16: pannelli fonoisolanti multistrato installati nella caldaia

8. MISURE ACUSTICHE DOPO GLI INTERVENTI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE

La campagna di misure acustiche è stata ripetuta dopo gli interventi di bonifica, con le stesse modalità della precedente, in accordo alle prescrizioni della norma tecnica UNI EN ISO 9614-1/97 [4].

In Tabella 2 sono riportati i valori dei livelli di pressione ponderati A misurati in ciascun punto dopo gli interventi effettuati e la riduzione ottenuta nelle condizioni di funzionamento A, B e C.

Tabella 2: livelli di pressione acustica misurati e riduzioni ottenute a seguito degli interventi effettuati

| Punto di Misura | Condizione A | | Condizione B | | Condizione C | |
|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Lp _A (dBA) | ΔLp _A (dBA) | Lp _A (dBA) | ΔLp _A (dBA) | Lp _A (dBA) | ΔLp _A (dBA) |
| 1 | 31.0 | 1.5 | 40.5 | 3.0 | 40.0 | 3.5 |
| 2 | 32.0 | 3.0 | 39.5 | 4.5 | 40.0 | 4.5 |
| 3 | 32.0 | 3.0 | 39.5 | 3.0 | 40.0 | 2.5 |
| 4 | 30.0 | 1.5 | 41.0 | 4.5 | 41.5 | 4.5 |
| 5 | 31.0 | 1.5 | 39.5 | 3.0 | 40.5 | 2.5 |
| 6 | 31.5 | 3.0 | 41.5 | 4.0 | 42.0 | 4.0 |
| 7 | 29.5 | 3.5 | 37.5 | 3.0 | 37.5 | 3.5 |
| 8 | 30.0 | 3.5 | 39.0 | 3.5 | 39.5 | 3.5 |
| 9 | 30.0 | 3.0 | 39.0 | 2.5 | 38.5 | 3.0 |
| 10 | 30.5 | 2.0 | 39.5 | 2.5 | 38.5 | 3.5 |
| 11 | 30.0 | 1.5 | 38.0 | 3.5 | 38.0 | 3.5 |
| 12 | 29.0 | 1.5 | 38.5 | 2.5 | 39.0 | 3.0 |
| 13 | - | - | 38.5 | 4.0 | 38.5 | 4.0 |
| 14 | - | - | 39.5 | 3.0 | 39.5 | 3.5 |
| 15 | - | - | 38.5 | 4.0 | 38.5 | 4.0 |
| 16 | - | - | 37.5 | 3.5 | 38.0 | 3.0 |
| 17 | - | - | 40.5 | 3.0 | 40.0 | 3.5 |
| 18 | - | - | 41.0 | 3.5 | 41.0 | 3.5 |
| 19 | - | - | 38.5 | 4.0 | 39.5 | 3.5 |
| 20 | - | - | 38.5 | 2.5 | 38.5 | 3.0 |

Per misurare l'incremento delle prestazioni acustiche della caldaia è stato effettuato un confronto tra i livelli di pressione prima e dopo la realizzazione degli interventi. In particolare, emerge quanto segue.

Condizione A (solo circolatore acceso):

- per tutti i 12 punti di misura la pressione sonora subisce la diminuzione più significativa nell'intervallo di frequenze compreso tra 125 Hz e 1600 Hz; la riduzione massima si ottiene in corrispondenza a 200 Hz (5.5 dB).

- il livello di pressione sonora ponderato A presenta la diminuzione massima, pari a 3.5 dBA, nei punti 7 e 8 di Fig. 1, corrispondenti alle posizioni dove sono presenti i pannelli fonoisolanti.

Condizione B (solo ventilatore acceso):

- per tutti i 20 punti di misura la pressione sonora subisce una diminuzione significativa nell'intervallo di frequenze tra 125 Hz e 1600 Hz; la riduzione massima si ottiene, anche in questo caso, in corrispondenza a 200 Hz ed è pari a 6.0 dB.

- il livello di pressione sonora ponderato A presenta la massima riduzione, pari a 4.5 dBA, in corrispondenza dei punti 2 e 4 di Fig. 2.

Condizione C (tutte le sorgenti accese):

- per tutti i 20 punti di misura la pressione sonora subisce una diminuzione significativa nell'intervallo di frequenze tra 125 Hz e 1600 Hz; la riduzione massima si ottiene in corrispondenza a 200 Hz ed è pari a 6.0 dB.

- il livello di pressione sonora ponderato A presenta la massima diminuzione, pari a 4.5 dBA, in corrispondenza dei punti 2 e 4 di Fig. 2, come mostrano anche i risultati delle misure nella condizione B.

In Fig. 17, 18 e 19 è rappresentato il confronto tra gli spettri dei livelli di potenza acustica relativi rispettivamente alle condizioni A, B e C prima (ANTE) e dopo (POST) gli interventi di bonifica acustica.

In Tabella 3 sono indicati i valori delle riduzioni ottenute nel livello di potenza globale ponderato A (L_{W_A}) e per la componente fondamentale del rumore (L_{W_F}, 125 Hz per la condizione A, 200 Hz per le condizioni B e C) nelle tre condizioni di funzionamento.

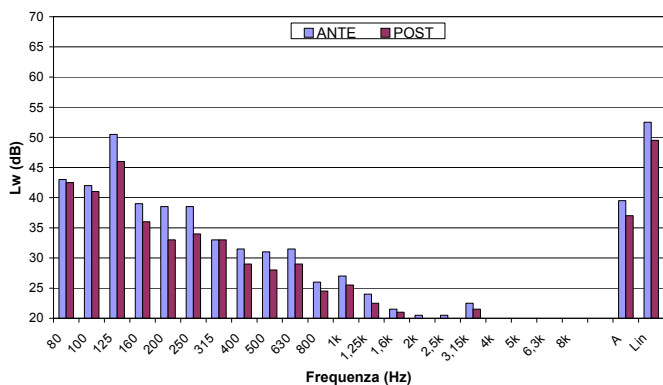


Fig. 17: confronto tra i livelli di potenza acustica prima e dopo gli interventi (condizione A).

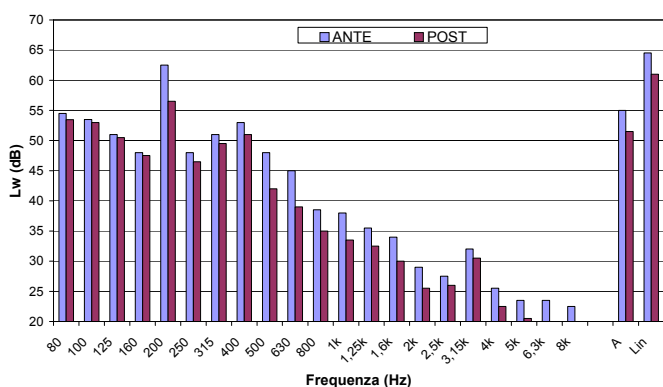


Fig. 18: confronto tra i livelli di potenza acustica prima e dopo gli interventi (condizione B).

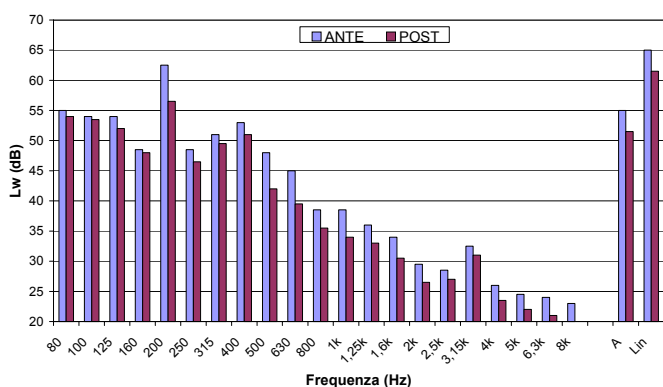


Fig. 19: confronto tra i livelli di potenza acustica prima e dopo gli interventi (condizione C).

Tabella 3: livelli di potenza sonora misurati e riduzioni ottenute a seguito degli interventi effettuati.

| Misura | L _{WA} (dBA) ANTE | L _{WA} (dBA) POST | ΔL _{WA} (dBA) | L _{Wf} (dB) ANTE | L _{Wf} (dB) POST | ΔL _{Wf} (dB) |
|--------|----------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| A | 39.5 | 37.0 | 2.5 | 50.5 | 46.0 | 4.5 |
| B | 55.0 | 51.5 | 3.5 | 62.5 | 56.5 | 6.0 |
| C | 55.0 | 51.5 | 3.5 | 62.5 | 56.5 | 6.0 |

I risultati delle misure dopo gli interventi di bonifica acustica (POST) mostrano un' apprezzabile riduzione dei livelli di potenza acustica. In particolare, nelle condizioni nominali di funzionamento della caldaia (condizione C), la componente fondamentale della potenza sonora è ridotta di 6.0 dB. La riduzione ottenuta del livello di potenza ponderato A è pari a:

- 2.5 dBA nella condizione A;
- 3.5 dBA nella condizione B;
- 3.5 dBA nella condizione C (funzionamento nominale della caldaia).

9. MISURE AERULICHE DOPO GLI INTERVENTI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE

Al fine di verificare che gli interventi acustici non abbiano apportato modifiche alle prestazioni termofluidodinamiche della caldaia, come mostrato dai risultati delle simulazioni nel paragrafo 6, è stata ripetuta la misura della portata dei fumi al variare della differenza di pressione tra le sezioni di ingresso e di uscita della caldaia. In Fig. 20 sono riportati gli andamenti delle curve caratteristiche del circuito aerulico, ottenute sperimentalmente prima (ANTE) e dopo (POST) gli interventi attuati, e della caratteristica del ventilatore fornita dal costruttore. La curva caratteristica del circuito dopo gli interventi di bonifica presenta uno scostamento trascurabile rispetto alla curva relativa alle condizioni ANTE. Il punto di lavoro del ventilatore non viene modificato dalla introduzione degli interventi e la portata dei fumi è pari a 115.5m³/h sia nelle condizioni ANTE che POST. Infine, è stato verificato che anche la temperatura dell'aria aspirata e quella dei fumi in uscita alla caldaia non sono modificate dagli interventi. Le modifiche apportate per la riduzione delle emissioni acustiche non hanno quindi effetti significativi sulle prestazioni termofluidodinamiche della caldaia.

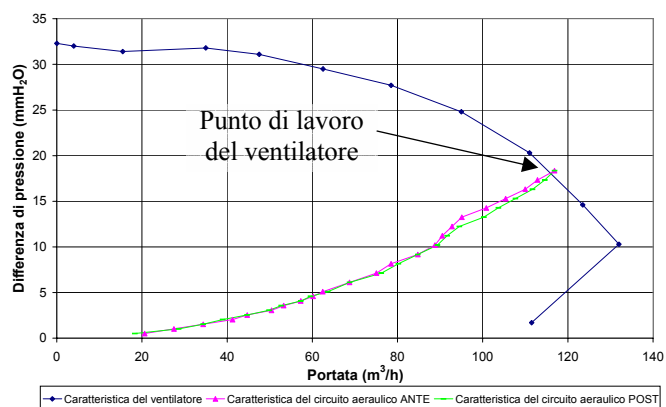


Fig. 20: punto di lavoro del ventilatore dopo gli interventi di contenimento del rumore.

10. MISURE DI VIBRAZIONI DOPO GLI INTERVENTI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE

Le misure di vibrazioni sono state ripetute dopo gli interventi di bonifica acustica, nelle stesse condizioni descritte nel paragrafo 4. In Tabella 4 sono riportati, in corrispondenza di ciascun punto di misura, il livello globale di accelerazione (L_{aT}) ed il livello di accelerazione relativo alla componente

fondamentale (La_f , frequenza 200 Hz) delle vibrazioni. In Fig. 21 è riportato il confronto tra gli spettri medi del livello di accelerazione (espresso in dB) prima (ANTE) e dopo (POST) gli interventi effettuati.

Tabella 4: confronto tra i livelli di accelerazione misurati nei 10 punti di misura in condizioni ANTE e POST

| Punto di Misura | La_T (dB) ANTE | La_T (dB) POST | ΔLa_T (dB) | La_f (dB) ANTE | La_f (dB) POST | ΔLa_f (dB) |
|-----------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 1 | 107.5 | 101.5 | 6.0 | 104.5 | 95.5 | 9.0 |
| 2 | 107.5 | 102.0 | 6.0 | 103.5 | 94.5 | 9.0 |
| 3 | 106.5 | 101.5 | 5.0 | 104.0 | 95.5 | 8.5 |
| 4 | 107.5 | 102.0 | 6.0 | 104.0 | 95.5 | 8.5 |
| 5 | 106.5 | 101.5 | 4.5 | 103.5 | 95.5 | 8.0 |
| 6 | 105.5 | 102.0 | 5.0 | 102.5 | 94.5 | 8.0 |
| 7 | 105.0 | 100.5 | 4.5 | 102.5 | 95.0 | 7.5 |
| 8 | 105.5 | 101.0 | 4.5 | 103.0 | 96.0 | 7.0 |
| 9 | 106.0 | 101.0 | 4.5 | 102.5 | 96.0 | 7.5 |
| 10 | 105.5 | 101.0 | 4.5 | 102.0 | 95.0 | 7.0 |

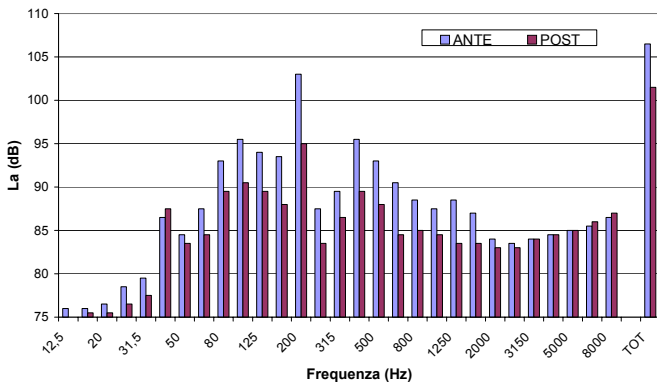


Fig. 21: spettro medio dei 10 punti di misura relativo al livello di accelerazione prima e dopo gli interventi (condizione C).

La riduzione del livello medio di accelerazione è pari a 5.0dB ed è sempre superiore a 4.5dB nei 10 punti di misura. La componente principale a 200 Hz è ridotta in media di 8.0 dB e presenta una riduzione massima pari a 9.0 dB. La massima riduzione è stata ottenuta nella zona in cui è collocato il ventilatore, fonte primaria delle vibrazioni, dove sono concentrati in maggior misura gli interventi effettuati. Dai risultati delle misure si evince che la trasmissione del rumore generato dal ventilatore per via solida è fortemente ridotta in seguito agli interventi realizzati.

11. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato affrontato il problema della riduzione delle emissioni acustiche di una caldaia murale a gas attraverso interventi di isolamento delle principali fonti di rumore. Una campagna di misure intensimetriche e di vibrazioni ha permesso di individuare che il ventilatore è la fonte principale di rumore, che viene trasmesso sia per via aerea che solida. L'isolamento da rumore aereo è stato effettuato mediante pannelli in poliuretano piombato. Per l'isolamento dal rumore trasmesso per via solida sono state invece impiegate guarnizioni in poliuretano e flexoid. Una simulazione mediante un codice di calcolo ai volumi finiti ha permesso di verificare che le soluzioni proposte non

introducono modifiche apprezzabili del punto di lavoro del ventilatore. Tale circostanza è stata verificata anche attraverso una campagna di misure aerauliche. Le simulazioni effettuate hanno inoltre evidenziato la presenza di una elevata pressione all'interno della camera di combustione sulla parete opposta a quella di uscita del ventilatore. Una ulteriore simulazione numerica ha messo in evidenza che l'introduzione di un condotto supplementare di evacuazione dei fumi porterebbe ad un incremento di circa il 10% della portata di evacuazione fumi.

A seguito della realizzazione degli interventi di contenimento del rumore sono state ottenute le seguenti riduzioni delle emissioni acustiche e delle vibrazioni della caldaia:

- 3.5 dBA del livello di potenza sonora ponderato A;
- 6.0 dB del livello di potenza sonora relativo alla componente principale del rumore (200 Hz);
- 5.0 dB del livello di vibrazioni;
- 8.0 dB del livello di vibrazioni relativo alla componente principale (200 Hz).

12. RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il p.i. Leandro Lunghi per la collaborazione fornita nell'effettuazione delle misure.

13. LISTA DEI SIMBOLI

| Simbolo | Descrizione | Unità di misura |
|---------------|--|--------------------|
| ΔP | differenza di pressione tra le sezioni di ingresso e di uscita della caldaia | mmH ₂ O |
| ΔLa_f | Differenza tra i livelli di accelerazione della componente fondamentale prima e dopo gli interventi | dB |
| ΔLa_T | Differenza tra i livelli di accelerazione globali prima e dopo gli interventi | dB |
| ΔLp_A | Riduzioni ottenute nei livelli di pressione | dBA |
| ΔLw_A | Differenza tra i livelli di potenza sonora ponderati A prima e dopo gli interventi | dBA |
| ΔLw_f | Differenza tra i livelli di potenza sonora della componente fondamentale prima e dopo gli interventi | dB |
| La_f | Livello di accelerazione della componente fondamentale | dB |
| La_T | Livello di accelerazione globale | dB |
| Lp_A | Livello di pressione sonora ponderato A | dBA |
| Lw_A | Livello di potenza sonora ponderato A | dBA |
| Lw_f | Livello di potenza sonora della componente fondamentale | dB |

14. BIBLIOGRAFIA

1. D.M. Howard and J.A.S. Angus, Acoustics and Psychoacoustics, Focal Press, 2000.
2. R. Spagnolo, Manuale di Acustica, UTET Libreria, Torino, 2001;
3. L.L. Beranek, Noise and Vibration Control, edito da L.L. Beranek, 1988;
4. Norma UNI EN ISO 9614-1/97, Acustica. Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico. Misurazione per punti discreti;
5. www.ln.natalini.it, Elettroventilatori EV-200P;
6. Fluent Incorporated, Fluent 5 user guide, 1998.
7. ASM International, Engineering Plastics, 2000;

