28

Francesco Asdrubali, Patrizio Fausti,
Simone Secchi, Claudia Guattari

28

VOLUME TECNICO

IL RUMORE DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

IL RUMORE DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

Editoriale Delfino

Editoriale Delfino

COLLANA AiCARR
Cultura e Tecnica per l'Energia Uomo e Ambiente

Sommario

I volumi AiCARR 7
La collaborazione tra AiCARR e AIA 9
Presentazione 11
Autori 13
Revisori 13

CAPITOLO 1 - **Richiami di acustica** 15
1.1 - Introduzione 15
1.2 - Il suono 15
1.3 - I campi sonori 17
1.4 - Le grandezze acustiche 18
1.4.1 - L'intensità sonora 19
1.4.2 - La pressione sonora 20
1.4.3 - La potenza sonora 20
1.5 - I livelli sonori e i decibel 21
1.5.1 - La combinazione di livelli sonori 24
1.6 - Le scale di ponderazione 25
1.6.1 - La curva di ponderazione A 27
1.6.2 - Il rumore bianco e il rumore rosa 28
1.7 - Il suono in ambiente confinato 28
1.7.1 - Il campo libero e il campo riverberante 29
1.7.2 - Il tempo di riverberazione 31
1.7.3 - Le proprietà di isolamento acustico dell'involucro edilizio 31
1.8 - La strumentazione 32
1.8.1 - Le tipologie di misure 33
1.8.2 - La strumentazione di base per le misure acustiche 36

CAPITOLO 2 - **Legislazione e normativa acustica in ambito edilizio** 39
2.1 - Introduzione 39
2.2 - La legislazione 39
2.2.1 - Il D.P.C.M. 01 marzo 1991 43
2.2.2 - La legge Quadro 447/95 44
2.2.2.1 - Il D.P.C.M. 14 novembre 1997 46
2.2.2.2 - Il D.P.C.M. 05 dicembre 1997 49
2.2.2.3 - Il D.M. 16 marzo 1998 52
2.2.2.4 - Il D.L. 17 febbraio 2017 53
2.2.2.5 - Il D.M. 11 ottobre 2017 54

2.3 - La normativa ... 56
2.3.1 - La norma UNI 11367 ... 59
2.3.2 - La serie UNI 11532 ... 61
2.3.3 - La norma UNI 8199 ... 63
2.3.4 - La norma UNI EN 16798-1 ... 63
2.3.5 - Le criticità della normativa ... 63
2.4 - La certificazione Eurovent ... 64
2.4.1 - La raccomandazione Eurovent sulle prestazioni acustiche ... 65

CAPITOLO 3 - **Le modalità di verifica del rumore degli impianti** ... 67
3.1 - Introduzione ... 67
3.2 - Riferimenti legislativi e normativi ... 68
3.2.1 - Gli impianti a funzionamento continuo e discontinuo ... 68
3.2.1.1 - Gli impianti a funzionamento continuo ... 69
3.2.1.2 - Gli impianti a funzionamento discontinuo ... 69
3.3 - Le grandezze e i valori di riferimento per il rumore degli impianti all'interno dell'edificio ... 70
3.3.1 - La procedura secondo UNI 11367, Appendice D ... 71
3.3.1.1 - La misura del livello di rumorosità ambientale ... 72
3.3.1.2 - La misura del livello del rumore residuo ... 72
3.3.1.3 - La misura del livello di rumorosità ambientale ... 73
3.3.1.4 - Il livello di rumore corretto degli impianti a funzionamento continuo ... 74
3.3.1.5 - Il livello di rumore corretto degli impianti a funzionamento discontinuo ... 74
3.3.2 - La serie UNI 11532 ... 75
3.3.2.1 - Il livello di rumore corretto degli impianti in ambiente per gli impianti a funzionamento continuo ... 76
3.3.2.2 - Il livello di rumore corretto degli impianti in ambiente per gli impianti a funzionamento discontinuo ... 76
3.3.3 - La norma UNI 8199 ... 78
3.3.3.1 - Procedura di misura per impianti a funzionamento continuo ... 79
3.3.3.2 - Procedura di misura per impianti a funzionamento discontinuo ... 81
3.3.4 - La norma UNI EN 16798-1 ... 82
3.4 - I metodi previsionali del rumore degli impianti negli edifici ... 82
3.4.1 - La trasmissione di rumore attraverso le condotte ... 84
3.4.2 - La trasmissione di rumore aereo attraverso gli elementi dell'edificio ... 85
3.4.3 - La trasmissione di rumore strutturale attraverso gli elementi e i componenti dell'edificio ... 87
3.4.4 - Alcune considerazioni sull'applicabilità dei modelli ... 89
3.4.4.1 - La trasmissione di rumore attraverso le condotte ... 89
3.4.4.2 - La trasmissione di rumore aereo attraverso gli elementi dell'edificio ... 89
3.4.4.3 - La trasmissione di rumore strutturale attraverso gli elementi dell'edificio ... 90

CAPITOLO 4 - **Sorgenti impiantistiche del rumore e accorgimenti progettuali** ... 91
4.1 - Introduzione ... 91
4.2 - I modelli di sorgenti sonore ... 92

4.2.1 - Le sorzgenti puntiformi ... 93
4.2.2 - Le sorgenti planari ... 94
4.3 - L'acustica degli impianti in ambiente esterno ... 95
4.3.1 - I gruppi frigoriferi ... 96
4.3.1.1 - Il controllo del rumore nella fase di progettazione e installazione ... 96
4.3.1.2 - Le componenti acustiche di un gruppo frigorifero ... 96
4.3.1.2.1 - I compressori ... 97
4.3.1.3 - Gli organi del circuito frigorifero ... 98
4.3.1.4 - La scelta del compressore frigorifero ... 101
4.3.1.5 - La definizione della sezione ventilante e la conseguente scelta della forma della macchina ... 101
4.3.1.6 - Il lay-out del circuito frigorifero ... 102
4.3.1.7 - Il collocamento delle apparecchiature più rumorose all'interno di vani insonorizzati e la scelta dei materiali insonorizzanti in funzione dei punti precedenti ... 103
4.3.2 - Le torri evaporative ... 104
4.3.3 - Le centrali termiche ... 106
4.3.4 - I cogeneratori ... 107
4.3.5 - Le eventuali verifiche prestazionali del prototipo con test intensimetrici ... 107
4.4 - L'acustica degli impianti in ambiente interno ... 108
4.4.1 - I ventilatori ... 109
4.4.2 - Il plenum ... 110
4.4.3 - Le condotte di distribuzione ... 112
4.4.4 - Le curve ... 113
4.4.5 - Le diramazioni ... 114
4.4.6 - L'irradiazione sonora dalle condotte ... 115
4.4.7 - I terminali ... 116

CAPITOLO 5 - **Interventi migliorativi** ... 119
5.1 - Introduzione ... 119
5.2 - Gli aspetti impiantistici ... 119
5.3 - Il controllo dell'impatto acustico degli impianti tecnologici ... 122
5.3.1 - Alcuni interventi migliorativi e loro ambito di efficacia ... 122
5.3.2 - Il controllo del rumore da impianti all'interno degli edifici ... 124
5.3.3 - Le bonifiche acustiche in opera ... 124
Bibliografia ... 127
Simbologia ... 137
Glossario ... 143

PRESENTAZIONE

Questo volume è stato predisposto congiuntamente da AiCARR e da AIA nell'ambito di un percorso di collaborazione avviato già da diversi anni e sempre più strutturato, con un duplice intento: da un lato favorire la diffusione della cultura scientifica e delle corrette informazioni in merito agli aspetti tecnici e normativi che disciplinano il settore del rumore degli impianti e della qualità ambientale nell'ambiente interno ed esterno agli edifici e, dall'altro, rendere disponibile ai soci, di entrambe le associazioni, materiali utili allo svolgimento della loro attività professionale e/o scientifica.
Il volume vuole fornire ai lettori un quadro generale sulle problematiche acustiche determinate dalla presenza delle sorgenti sonore impiantistiche all'interno e all'esterno degli edifici. Il taglio è quello della divulgazione: non entra negli aspetti più complessi dei calcoli progettuali e previsionali, ma è articolato e dettagliato nella descrizione delle tipologie delle sorgenti e negli aspetti legislativi, normativi e procedurali. Proprio con l'obiettivo di dare un'impostazione adatta anche ai non specialisti, il volume è strutturato in capitoli generali sul fenomeno sonoro e sulla legislazione nel settore acustico e in capitoli specialistici sulle modalità di verifica e previsione del rumore degli impianti, sulle sorgenti di rumore impiantistico, sugli accorgimenti progettuali e sugli interventi migliorativi.
In particolare, nel primo Capitolo vengono richiamati alcuni concetti e alcune definizioni generali sul fenomeno sonoro, sulla propagazione del rumore all'interno dell'organismo edilizio, sulla strumentazione e sulle modalità di misura del rumore.
Nel secondo Capitolo vengono sintetizzate la legislazione principale vigente all'atto della pubblicazione in relazione alle problematiche di rumore in ambito edilizio e le norme tecniche principali che descrivono le procedure per la caratterizzazione acustica delle sorgenti e degli elementi di edificio, sia in laboratorio che in opera, anche con riferimento alle norme tecniche cogenti nell'ambito dei Criteri Ambientali Minimi per gli edifici pubblici, noti come CAM.
Nel terzo Capitolo si entra nello specifico campo delle modalità di verifica e previsione del rumore degli impianti attraverso la descrizione delle diverse procedure

previste dalle norme tecniche. In questo ambito il massimo sforzo è stato rivolto a fornire un'ampia descrizione dei diversi ambiti di verifica, cercando di fare chiarezza su una materia in cui convivono sia le verifiche dei requisiti prestazionali delle macchine e degli elementi di edificio che le verifiche relative al disturbo generato dal rumore degli impianti.
Nel quarto Capitolo si pone l'attenzione sulle tipologie e sulla progettazione acustica delle principali sorgenti di rumore degli impianti che possono essere inserite sia all'interno che all'esterno degli stessi edifici.
Il quinto ed ultimo Capitolo, infine, tratta degli interventi principali per il controllo e la riduzione del rumore degli impianti.
Vogliamo ringraziare gli Autori, che hanno saputo fare una perfetta sintesi tra gli aspetti teorici e le applicazioni, fornendo un dettagliato quadro informativo e di aggiornamento su una materia tanto complessa. Il nostro augurio è che questo volume costituisca uno strumento utile in ambito tecnico-professionale, soprattutto, ma non solo, per i progettisti di impianti di climatizzazione.

Eleonora Carletti
Presidente AIA 2018-2021

Francesca Romana d'Ambrosio
Presidente AiCARR 2017-2020

CAPITOLO 1

RICHIAMI DI ACUSTICA

1.1 - Introduzione

Prima di illustrare le principali sorgenti del rumore impiantistico e gli adempimenti normativi relativi all'acustica edilizia e di passare in rassegna le misure e le strategie contenitive più opportune, risulta doveroso richiamare alcuni concetti fondamentali di acustica.
L'acustica è quella parte della fisica e dell'ingegneria che si occupa dello studio della produzione e della propagazione dei suoni e degli strumenti e delle apparecchiature per misurare, registrare e riprodurre questi ultimi, oltre che della natura del processo auditivo e. infine, della progettazione.
In questo Capitolo vengono pertanto definiti il suono e le grandezze acustiche e descritti i fenomeni di propagazione del rumore all'interno dell'organismo edilizio.

1.2 - Il suono

L'acustica studia la generazione, la propagazione e la ricezione di onde in mezzi elastici. Il suono è una perturbazione prodotta da una sorgente sonora che, propagandosi in un mezzo elastico con un meccanismo oscillatorio caratterizzato da compressioni e rarefazioni del mezzo stesso, provoca una variazione di pressione e uno spostamento delle particelle attorno al loro punto di equilibrio, tali da essere rilevati dall'orecchio umano. Le particelle perturbate oscillano sempre in prossimità della posizione originaria mentre la perturbazione trasporta il segnale sonoro lungo la direzione di propagazione. Non si assiste infatti a un trasporto di massa bensì a un trasporto netto di energia. Sul piano energetico i suoni sono caratterizzati dall'intensità sonora, definita come la potenza sonora trasmessa attraverso l'unità di superficie perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda longitudinale considerata, dove la potenza sonora è a sua volta definita come l'energia sonora fornita dalla sorgente nell'unità di tempo. Anche la pressione sonora efficace percepita dall'uditore è legata all'intensità sonora efficace, e quindi alla potenza sonora, in funzione delle caratteristiche della sorgente, della distanza tra la sorgente e il ricettore e delle modalità di propagazione del suono nell'ambiente considerato.

Il suono è caratterizzato da alcune grandezze fondamentali, quali:

- l'ampiezza dell'onda, ovvero l'ampiezza delle fluttuazioni della pressione sonora;
- la velocità di propagazione nel mezzo attraversato, indicata con c e il cui valore è funzione della densità e dell'elasticità del mezzo stesso;
- la frequenza f (o il periodo di oscillazione $T = 1/f$), ovvero il numero di oscillazioni effettuate nell'unità di tempo, la cui unità di misura nel Sistema Internazionale (SI) è l'hertz [Hz];
- la lunghezza d'onda λ, ossia la distanza tra due fronti d'onda aventi la stessa fase, ad esempio tra due punti successivi, come mostrato in *Figura 1*.

Si noti bene che l'ampiezza delle variazioni della pressione sonora è la caratteristica che ci permette di distinguere i suoni forti da quelli deboli, ovvero quella che comunemente chiamiamo "volume" del suono; l'orecchio umano è infatti sostanzialmente un sensore di pressione. Normalmente, però, non si utilizza l'ampiezza della variazione di pressione sonora espressa in Pa per misurare la sensazione sonora percepita dall'uomo, bensì si è soliti convertire tale valore nella scala logaritmica dei decibel, dB, definendo così il Livello di pressione sonora, spesso indicato con l'acronimo inglese SPL-Sound Pressure Level.
La pressione acustica minima necessaria perché un suono sia udibile dall'orecchio umano varia a seconda della frequenza dei suoni. Un suono a 1.000 Hz è udibile a 0 dB, mentre scendendo a una frequenza di 30 Hz occorre raggiungere un livello di pressione sonora di almeno 60 dB affinché il suono sia udibile.
Per quanto riguarda la condizione opposta, l'esposizione prolungata a livelli di pressione sonora superiori a 85 dB può causare forti disturbi o addirittura sordità permanente.
Lunghezza d'onda, velocità e frequenza sono inoltre collegate dalla seguente relazione:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1}$$

dove:
λ = lunghezza d'onda, m;
c = velocità di propagazione del suono, m/s;
f = frequenza, Hz.

L'orecchio umano può udire suoni di frequenza compresa tra 20 Hz e 20 kHz.
In alcuni casi può essere necessario considerare anche i suoni caratterizzati da frequenze <20 Hz, definiti infrasuoni, e quelli caratterizzati da frequenze >20 Hz, definiti ultrasuoni, ma è un tema a elevata specializzazione che non interessa la climatizzazione.

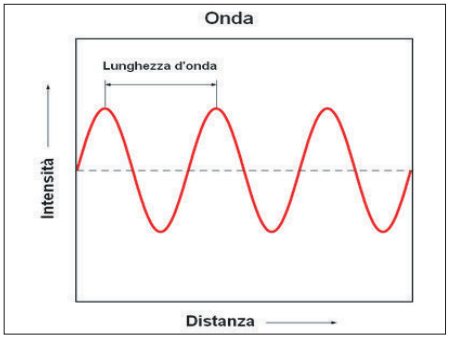

Figura 1 - Lunghezza d'onda sonora.

Frequenza *f* [Hz]	Lunghezza d'onda λ [m]
20	17
30	11,3
50	6.8
100	3.4
250	1.36
800	0.425
2.000	0.17
5.000	0.068
10.000	0.034
20.000	0.017

Tabella 1 - Lunghezza d'onda in aria per alcune frequenze udibili.

La *Tabella 1* mostra i valori della lunghezza d'onda in aria per alcune frequenze udibili.

1.3 - I campi sonori

Le relazioni esistenti fra i parametri di base del suono, quali pressione, intensità e potenza, dipendono dalle modalità di propagazione delle onde acustiche, che a loro volta sono funzione delle caratteristiche dell'ambiente in cui è posta la sorgente.
Il campo sonoro può essere definito come la zona in cui si genera e si propaga il suono. Viene classificato principalmente in base a due fattori, ossia le caratteristiche acustiche dell'ambiente e il modo in cui si propagano le onde. In particolare, è possibile distinguere due situazioni limite nella propagazione:

- campo sonoro libero: ambiente in cui il suono si propaga senza alcuna riflessione, come all'aria aperta;
- campo sonoro diffuso: ambiente in cui le onde si riflettono ripetutamente e in tutte le direzioni.

Quando una particella di aria si sposta dalla sua posizione di equilibrio genera una variazione transitoria della pressione che trasmette la perturbazione alla particella adiacente. Essendo tuttavia il mezzo elastico, ogni particella tende a ritornare nella propria posizione di equilibrio. In questo processo si evidenziano due parametri fondamentali: la *pressione* e la *velocità di oscillazione delle particelle* attorno alla loro posizione di equilibrio.
La velocità delle particelle può essere scomposta in due componenti: una attiva "u", in fase con la pressione, e una reattiva "j", sfasata di 90°.
Alla luce di quanto appena descritto, si possono definire altri due tipi di campi:

- campo attivo;
- campo reattivo.

In un campo totalmente attivo, coincidente con il campo libero, è presente solo la componente attiva "u" della velocità, per cui velocità e pressione risultano in fase e nel campo esiste un flusso di energia. Avvalendosi di un'analogia elettrica si può quindi affermare che, così come nel campo elettrico si dissipa energia su una resistenza, in un campo attivo si irradia la massima quantità di energia acustica dalla sorgente.
Il campo reattivo è invece caratterizzato da uno sfasamento di 90° fra la pressione e la velocità di oscillazione delle particelle, per cui in esso non esiste un flusso d'energia, ma solo un movimento. Utilizzando anche in questo caso l'analogia elettrica, si può affermare che, così come viene immagazzinata energia nei componenti elettrici reattivi, quali induttanze e condensatori, anche nel campo acustico reattivo viene immagazzinata l'energia sonora, che oscilla tra la sorgente e il mezzo acustico ma non si propaga.
In ultimo si può citare, come caso particolare del campo reattivo, il campo sonoro diffuso, che rappresenta un campo in cui esiste uno sfasamento casuale fra pressione e velocità.

1.4 - Le grandezze acustiche

Per illustrare al meglio il fenomeno della propagazione delle onde sonore occorre far riferimento a una serie di grandezze fisiche, le più importanti delle quali risultano essere la pressione sonora e la potenza sonora.
L'uomo è in grado di percepire esclusivamente l'effetto fisico della pressione sonora, sebbene questa sia causata dalla potenza sonora generata dalla sorgente. La potenza sonora può essere dunque considerata la causa, mentre la pressione è l'effetto.
Nel campo della climatizzazione la pressione sonora rappresenta il parametro più conosciuto e utilizzato, in quanto consente di stimare gli effetti del rumore sull'uomo, verificando l'ottemperanza ai valori imposti dalla legislazione vigente.

Inoltre, lo strumento di misura che elabora questa grandezza, il fonometro, ha un costo relativamente contenuto.
La potenza sonora, da sempre considerata una grandezza strategica dai tecnici dell'acustica, è stata recepita come grandezza fondamentale dal pubblico dei non addetti ai lavori solo di recente, venendo utilizzata dalla Certificazione di Prodotto Eurovent come coefficiente di prestazione acustico di diversi elementi impiantistici, come le macchine frigorifere e i terminali d'impianto.

1.4.1 - L'intensità sonora

L'intensità sonora è utilizzata principalmente per caratterizzare acusticamente singole sorgenti, laddove siano contemporaneamente presenti altre sorgenti in funzione, e per pianificare eventuali interventi di bonifica del rumore. Inoltre, la strumentazione in grado di misurare l'intensità sonora è più complessa e costosa rispetto a quella fonometrica e in quanto tale è utilizzata soprattutto per scopi di ricerca.
Descrivere il significato fisico e le peculiarità dell'intensità sonora non è né semplice né rapido; questa grandezza, infatti, necessiterebbe di una trattazione specifica e mirata che esula dagli scopi di questo testo, per cui nel seguito sono illustrati solo gli aspetti principali.
L'intensità sonora, I, espressa in W/m^2, descrive la quantità di energia che fluisce, nell'unità di tempo, attraverso una superficie di area unitaria perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda e può essere calcolata in forma scalare:

$$I = \frac{P}{A} \tag{2}$$

o vettoriale:

$$I = p \cdot v \tag{3}$$

dove:
I = intensità sonora, W/m^2;
P = potenza sonora, W;
A = area della superficie, m^2;
p = pressione sonora, Pa;
v = velocità delle particelle, m/s.

L'intensità sonora è una grandezza vettoriale in grado di fornire due tipologie di informazione: l'ampiezza del fenomeno e la direzione di propagazione; è quindi molto

utile nella localizzazione delle zone e delle direzioni in cui si concentra la maggiore emissione di una sorgente.
A differenza delle misure fonometriche, effettuabili in qualsiasi ambiente acustico, quelle di intensità richiedono specifici requisiti dell'indice pressione-intensità.

1.4.2 - La pressione sonora

La pressione sonora, che si misura in pascal, viene definita come l'entità della variazione del valore della pressione attorno al suo valore di equilibrio, indotta dall'accensione di una sorgente sonora e rappresenta, per l'uomo, l'unico effetto tangibile dell'emissione sonora di una sorgente. Dipende principalmente da due parametri: la distanza tra sorgente e ricevitore e il tipo di campo acustico in cui avviene la propagazione.
A differenza dell'intensità, la pressione sonora è una grandezza scalare in grado di fornire informazioni solo sull'ampiezza del fenomeno. Inoltre, non essendo in grado di distinguere fra l'energia stazionaria, legata al suono reattivo, e quella in propagazione, legata al suono attivo, le misure di pressione sonora non sempre permettono la determinazione dell'effettivo livello di emissione della sorgente sonora.

1.4.3 - La potenza sonora

La potenza sonora di una sorgente, espressa in watt,è definita come l'energia sonora che, nell'unità di tempo, viene emessa nello spazio circostante; descrive la capacità di emissione della sorgente.
Tale grandezza, a differenza dell'intensità e della pressione, non è direttamente misurabile, ma si ricavae attraverso misure intensimetriche o misure di pressione.
La potenza sonora è una grandezza acustica fondamentale in quanto è la sola in grado di quantificare l'emissione della sorgente indipendentemente da possibili condizionamenti indotti dall'ambiente circostante, consentendo quindi di ottenere una fotografia della sorgente valida come dato assoluto.
Tuttavia, questa non è l'unica motivazione per la quale è indispensabile disporre di dati relativi alla potenza sonora. Infatti, quest'ultima permette di effettuare un confronto oggettivo dell'energia sonora emessa da sorgenti di tipo diverso, di valutare i livelli di pressione presenti quando la sorgente è attiva, qualora siano note le caratteristiche acustiche dell'ambiente, e di individuare le singole sorgenti di una macchina complessa. Inoltre, la valutazione della potenza sonora caratteristica di una sorgente viene richiesta dalle direttive europee.
In generale è necessario distinguere tra la potenza sonora relativa all'emissione per via aerea e quella relativa all'emissione per via strutturale. Quest'ultima è la potenza immessa nella struttura dell'edificio da parte della sorgente e dipende dalle caratteristiche della sorgente stessa, da quelle dell'elemento di supporto e dalle sue

condizioni di montaggio. In questo caso, la trasmissione sonora dall'ambiente emittente di un edificio all'ambiente ricevente coinvolge la trasmissione attraverso vari percorsi tra l'elemento di supporto nell'ambiente emittente e gli elementi (pareti e solai) dell'ambiente ricevente (UNI, 2009a).
Alla luce di quanto visto finora è utile sottolineare che, mentre la misura dell'intensità sonora considera solo la parte di energia che si propaga nel mezzo (suono attivo), la misura della pressione è la risultante di entrambi i contributi, quello di propagazione e quello stazionario.

1.5 - I livelli sonori e i decibel

L'orecchio umano è in grado di percepire suoni caratterizzati da pressioni comprese in un intervallo molto esteso, da 20 a 200.000.000 μPa (da 0,00002 a 200 Pa).
Al fine di compattare tale scala, si è perciò deciso di introdurre una formulazione di tipo logaritmico.
Un'altra ragione a supporto di questa scelta è basata sugli studi di Weber-Fechner, secondo i quali la sensazione acustica di soglia avrebbe un'espressione logaritmica.
A seguito di questa assunzione, è risultato utile esprimere la pressione sonora sotto forma di livello, ovvero come logaritmo del rapporto fra il valore di pressione misurato e un valore di riferimento a esso omogeneo, espresso in dB:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \tag{4}$$

dove:
L_p = livello di pressione sonora, dB;
p = pressione misurata, μPa;
p_0 = pressione di riferimento, pari a 20 μPa = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

La gamma dei suoni udibili all'orecchio umano è caratterizzata dai suoni con un livello di pressione compreso tra 0 e 140 dB, posto che essi siano emessi a frequenze appartenenti all'intervallo 20 Hz ÷ 20.000 Hz.
Anche i valori di potenza sonora sono caratterizzati da un range di variazione molto ampio, motivo per cui anche in questo caso si preferisce parlare di livello di potenza sonora, espresso in dB:

$$L_p = 10 \log \frac{W}{W_0} \tag{5}$$

dove:
L_p = livello di pressione sonora, dB;
W = potenza sonora della sorgente, W;
W_0 = potenza sonora di riferimento, pari a 10^{-12} W.

A titolo esemplificativo, in *Tabella 2* sono riportati la pressione e il livello di pressione sonora di alcune sorgenti tipiche, unitamente ai possibili effetti sull'uomo. La *Tabella 3*, invece, mostra la potenza sonora e il corrispondente livello di potenza sonora per alcune categorie di sorgenti acustiche.

Sorgente	Pressione sonora [Pa]	Livello di pressione sonora [dB]	Sensazione
Decollo di jet militare a 30 m	200	140	Pericolo di danni al timpano
Fuoco di artiglieria a 3 m	63	130	
Rampa accesso jet di linea (picco)	20	120	Soglia di dolore
Musica rock (in ambiente)	6,3	110	Soglia di disagio
Vagoni di metropolitana in frenata	2	100	
Grande motore diesel senza marmitta a 40 m	0,6	90	Disturbo acustico
Stanza con stampanti meccaniche	0,2	80	
Treno a 30 m	0,06	70	Comfort acustico
Conversazione normale a 1 m	0,02	60	
Condizionatore portatile a 1 m	0,006	50	
Area residenziale	0,002	40	
Conversazione sussurrata a 2 m	0,0006	30	
Ronzare d'insetto a 1 m	0,0002	20	
Soglia di buon udito	0,00006	10	Livello molto basso
Soglia di udito eccellente	0,00002	0	Soglia dell'udibile

Tabella 2 - Pressione sonora, livello di pressione sonora di sorgenti tipiche e sensazione corrispondente.

Sorgente	Potenza sonora [W]	Livello di potenza sonora [dB]
Razzo	100.000.000	200
Motore turbogetto	100.000	170
Jet in decollo	10.000	160
Turboelica in decollo	1.000	150
Aereo a elica in decollo	100	140
Organo da chiesa	10	130
Piccolo motore di aereo	1	120
Radio ad alto volume	0,1	110
Automobile alta velocità	0,01	100
Voce che grida	0,001	90
Tritarifiuti	0,0001	80
Voce che conversa	0,00001	70
Ventilatore da computer	0,000001	60
Diffusore d'aria	0,0000001	50
Piccolo orologio elettrico	0,00000001	40
Sussurro	0,000000001	30
Stormire di foglie	0,0000000001	20
Respiro umano	0,00000000001	10
Soglia del sentire	0,000000000001	0

Tabella 3 - Potenza sonora e livello di potenza sonora di sorgenti tipiche.

In entrambe le Tabelle è utilizzato il decibel, in riferimento sia alla pressione sonora che alla potenza sonora. Infatti, quando si usa il decibel non si parla più di una specifica grandezza fisica, potenza sonora o pressione sonora, ma di un livello di quella grandezza rispetto a un valore convenzionale adottato come riferimento. Si ottengono così il livello di pressione sonora e il livello di potenza sonora.
Molto spesso la confusione che si genera tra livello di potenza sonora e livello di pressione sonora nasce dal fatto che hanno la stessa unità di misura, laddove in genere grandezze diverse hanno unità di misura diverse. A questo proposito, va sottolineato che il decibel non è una vera e propria unità di misura, ma una modalità per esprimere una certa misura: esso è definito come 10 volte il logaritmo su base 10 del rapporto fra due quantità e, pertanto, descrive il livello energetico posseduto da una certa grandezza fisica.
Con il decibel, quindi, si può indicare qualunque cosa, anche una distanza. Se si ponesse il valore di 1 metro come riferimento, una distanza di 1 km darebbe origine a un livello di distanza pari a 30 dB, mentre una distanza di 1.000 km darebbe un livello di distanza pari a 60 dB.

1.5.1 - La combinazione di livelli sonori

Spesso può essere necessario effettuare combinazioni di livelli sonori per calcolare il corrispondente livello sonoro risultante dalla combinazione di più sorgenti o di una sorgente e del rumore di fondo ambientale, oppure per determinare il livello sonoro globale o il livello sonoro ponderato in A, definito al paragrafo 6.

Il livello sonoro ottenuto dalla combinazione di suoni diversi, ma emessi contemporaneamente, non risulta pari alla somma algebrica dei singoli livelli, in quanto i decibel traspongono i valori da una scala lineare a una scala logaritmica. Dunque, per sommare due livelli L_1 e L_2 espressi in dB, bisogna ricorrere alla seguente relazione:

$$L_1 + L_2 = \max\left(L_1; L_2\right) + \mathrm{k} \tag{6}$$

dove:

L_1 = livello di pressione sonora della sorgente 1, dB;

L_2 = livello di pressione sonora della sorgente 2, dB;

k = coefficiente, funzione del valore assoluto della differenza (L_1-L_2) tra L_1 e L_2, dB.

In *Tabella 4* sono riportati alcuni valori di k.

L_1-L_2	K	L_1-L_2	K
0,0	3,00	8,0	0,64
0,5	2,77	8,5	0,57
1,0	2,54	9,0	0,51
1,5	2,32	9,5	0,46
2,0	2,12	10,0	0,41
2,5	1,94	10,5	0,37
3,0	1,76	11,0	0,33
3,5	1,60	11,5	0,30
4,0	1,46	12,0	0,27
4,5	1,32	12,5	0,24
5,0	1,19	13,0	0,21
5,5	1,08	13,5	0,19
6,0	0,97	14,0	0,17
6,5	0,88	14,5	0,15
7,0	0,79	15,0	0,14
7,5	0,71	15,5	0,12

Tabella 4 - Combinazione di due livelli sonori.

Il volume vuole fornire ai lettori un quadro generale sulle problematiche acustiche determinate dalla presenza delle sorgenti sonore impiantistiche all'interno e all'esterno degli edifici. Il taglio è quello della divulgazione: il testo non entra negli aspetti più complessi dei calcoli progettuali e previsionali, ma è articolato e dettagliato nella descrizione delle tipologie delle sorgenti e negli aspetti legislativi, normativi e procedurali. Proprio con l'obiettivo di dare un'impostazione adatta anche ai non specialisti, il volume è strutturato in due capitoli generali sul fenomeno sonoro e sulla legislazione nel settore acustico e in tre capitoli specialistici sulle modalità di verifica e previsione del rumore degli impianti, sulle sorgenti di rumore impiantistico, sugli accorgimenti progettuali e sugli interventi migliorativi. Il testo è completato da un glossario e da un'aggiornata bibliografia, comprensiva di tutti i riferimenti legislativi e degli standard tecnici vigenti.

Francesco Asdrubali, *ingegnere, professore ordinario di Fisica Tecnica Ambientale presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi Roma Tre, è autore di oltre 400 pubblicazioni scientifiche in materia di energetica degli edifici, acustica edilizia ed ambientale, illuminotecnica, fonti energetiche rinnovabili, analisi di ciclo di vita.*

Patrizio Fausti, *ingegnere, professore associato di Fisica Tecnica Ambientale presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara, è autore di oltre 200 pubblicazioni scientifiche in materia di acustica edilizia ed ambientale, proprietà vibro-acustiche dei materiali, controllo del rumore.*

Simone Secchi, *architetto, PhD, professore associato di Tecnologia dell'Architettura presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, è autore di oltre 200 pubblicazioni scientifiche in materia di acustica edilizia ed ambientale, illuminotecnica, comfort indoor, analisi delle prestazioni di materiali per l'architettura.*

Claudia Guattari, *ingegnere, ricercatrice di Fisica Tecnica Ambientale dell'Università degli Studi Roma Tre, è autrice di oltre 60 memorie scientifiche pubblicate su riviste internazionali in materia di energetica degli edifici, diagnosi energetica strumentale, acustica e sostenibilità ambientale.*

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aira, Riscaldamento e Refrigerazione, è un'associazione culturale no profit. Dal 1960 crea e promuove cultura tecnica per il benessere sostenibile, occupandosi di uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali e di innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio. AiCARR conta oltre 2.000 Soci fra progettisti, costruttori di macchine, installatori, manutentori, accademici, ricercatori, studenti, funzionari di Enti e Agenzie governative e di istituzioni nazionali e internazionali.
La Collana AiCARR propone testi tecnici elaborati da Soci e selezionati dalla Commissione Editoria AiCARR, traduzioni di Linee Guida pubblicate da associazioni internazionali quali REHVA e ASHRAE e le Guida AiCARR realizzate dai Comitati Tecnici dell'Associazione.
AiCARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aira, Riscaldamento e Refrigerazione - **www.aicarr.org**

Questo volume sprovvisto del talloncino è da considerare copia SAGGIO - CAMPIONE GRATUITO, fuori commercio (vendita e altri atti di disposizione vietati: art. 17, c. 2, L. 633/1941). Esente da bolla di accompagnamento (D.P.R. 6/10/1978, n. 627, art. 4, n. 6). Esente da I.V.A. (D.P.R. 26/10/1972, n. 633, art. 2, lett. d)

FRANCESCO ASDRUBALI, PATRIZIO FAUSTI, SIMONE SECCHI, CLAUDIA GUATTARI
IL RUMORE DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI
ISBN 978-88-31221-25-2

CODICE RIE
www.editorialedelfino.it
ISBN 978-88-31221-25-2
9 788831 221252
Euro 28,00