

METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DELL'IMMISSIONE DI RUMORE A BASSA FREQUENZA

Raffaele Mariconte (1), Augusto Papa (2)

- 1) INAIL ex ISPESL DIPIA, Roma, r.mariconte@inail.it
- 2) INAIL ex ISPESL DIPIA, Roma, a.papa@inail.it

1. Premessa

Il presente lavoro si propone di analizzare diverse metodologie e procedure impiegate per la valutazione del rumore a bassa frequenza e applicarle a casi pratici relativi ad alcune tipologie di sorgenti sonore, dato che la normativa nazionale attualmente non dispone di metodologie standardizzate per tali tipi di valutazione (a meno della penalità di ulteriori 3 dB per componenti tonali al di sotto dei 200 Hz da applicare nel periodo notturno, come indicato nel D.M. 16 Marzo 98).

2. Fenomenologia del rumore a bassa frequenza

Ventilatori, pompe, musica amplificata, impianti elettrici, caldaie, camini, trasformatori, motori elettrici o a combustione, sistemi di condizionamento e generatori eolici, sono soltanto alcune delle possibili sorgenti sonore che possono presentare uno sbilanciamento spettrale al di sotto dei 200 Hz con un caratteristico aumento generale del livello della pressione sonora al diminuire della frequenza.

Una sorgente di rumore a bassa frequenza può essere collocata all'interno di un edificio o in esterno. Informazioni sulla sorgente si possono spesso raccogliere analizzando il contenuto spettrale del rumore. Ad esempio, le apparecchiature elettriche generano rumore alla frequenza di rete di 50 Hz e possono anche presentare armoniche di ordine superiore. La frequenza fondamentale per i trasformatori è il doppio della frequenza di rete (100 Hz). Per apparecchiature con componenti in rotazione (ventilatori), frequenze specifiche sono generate in funzione del numero di pale e della velocità di rotazione. Inoltre, più bassa è la frequenza del rumore, maggiore è la probabilità di avere sorgenti con consistenti dimensioni fisiche e con pattern di irradiazione omnidirezionale.

La propagazione può comportare un'ulteriore perdita di energia alle frequenze medio alte come risultato della trasmissione del suono attraverso elementi strutturali o per via dell'attenuazione in esterno su grandi distanze. In alcuni casi due o più sorgenti vicine possono operare contemporaneamente, interagendo e generando effetti di battimento a bassa frequenza che sono potenzialmente molto fastidiosi.

L'individuazione del rumore a bassa frequenza negli ambienti chiusi è complicata dall'eventuale formazione di onde stazionarie, dal rumore aereo di tipo secondario cau-

sato dalla vibrazione di elementi leggeri e dalla difficoltà nel distinguere tra rumore aereo e strutturale.

Il rumore può essere percepito anche al di sotto dei 16-18 Hz. A tali frequenze, si perde la percezione della tonalità a favore di una sensazione pulsante e pressione sulle orecchie o sul torace (alcune parti del corpo umano, testa e torace in primis, possono risuonare alle frequenze in gioco).

Empiricamente, per frequenze superiori ai 500 Hz, ad un incremento del livello di 10 dB, corrisponde un raddoppio della percezione della loudness. Tale regola non è valida per il rumore a frequenze inferiori: a 20 Hz, per esempio, un raddoppio della loudness si ottiene per una variazione di livello di circa 5 dB. Alcuni studi effettuati (Møller, Henningsen and Andresen, 1984) dimostrano che minore è la frequenza e maggiore è la pressione sonora necessaria a creare la stessa sensazione di annoyance e che a piccole variazioni di pressione possono corrispondere elevati incrementi di annoyance. La combinazione di basso livello sonoro e bassa frequenza, soprattutto se sono assenti gli effetti di mascheramento a frequenze superiori, può causare annoyance, stress, irritazione, discomfort, affaticamento, cefalea, nausea e possibile interferenza con il sonno.

3. Panoramica su diverse metodologie di valutazione

Buona parte delle metodologie di valutazione fanno riferimento a soglie di udibilità a bassa frequenza. Storicamente, sono stati compiuti diversi studi con differenti approcci (campo libero, camera in pressione, cuffia monoaurale, cuffia binaurale) con lo scopo di determinare i livelli più bassi udibili da un individuo giovane normoudente, in modo da rappresentare una misurazione “quasi oggettiva” della soglia di udibilità (figura 1).

I criteri di valutazione, invece, possono essere sommariamente catalogati in tre categorie: criteri in ambiente abitativo, criteri in ambiente esterno e criteri occupazionali.

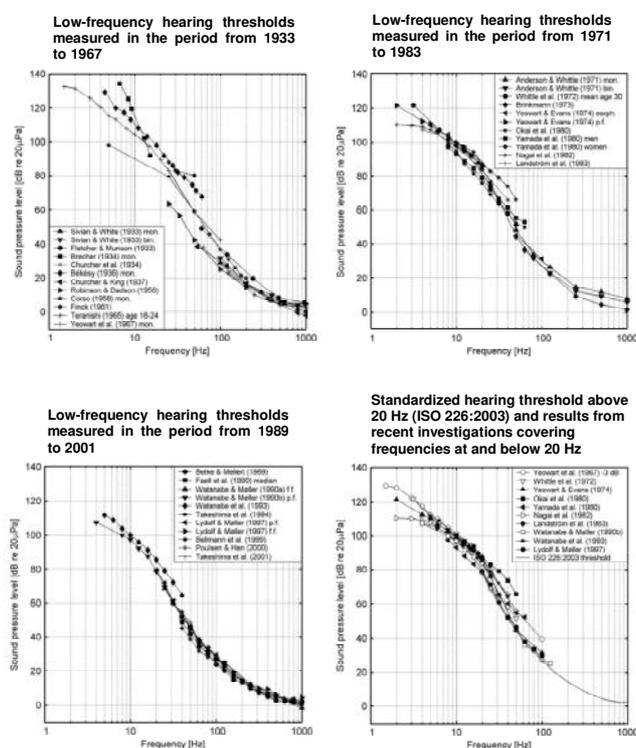


Figura 1 – Soglie di udibilità a bassa frequenza dal 1933 alla ISO 226 del 2003

3.1 Criteri in ambiente abitativo

Le linee guida svedesi prevedono una valutazione in terzi di ottava nella gamma di frequenze 31,5-200 Hz. I livelli di pressione sonora in ogni banda non devono superare i valori di una curva di riferimento.

Il metodo danese prescrive misurazioni in terzi di ottava nella gamma di frequenze 10-160 Hz, successivamente ponderate A e sommate per ottenere un livello globale in bassa frequenza $L_{pA,LF}$. Questo valore viene confrontato con dei valori limite che dipendono dal periodo della giornata e dall'ambiente in cui è stato valutato. Il metodo presenta una specifica penalizzazione di 5 dB per rumori impulsivi ed esiste uno specifico criterio per valutare gli infrasuoni.

I Paesi Bassi adottano un criterio per determinare se il rumore a bassa frequenza è udibile o meno che si basa sulla soglia uditiva mediana superata dal 10% di un campione di popolazione non selezionato di età compresa tra 50-60 anni. Queste soglie sono tipicamente di circa 4-5 dB inferiori alle soglie mediane per i giovani adulti normoudenti (18-25 anni).

Nel metodo tedesco (DIN 45680), si esegue una misurazione preliminare. Se la differenza dBC-dBA è maggiore di 20 dB, allora vanno eseguite misurazioni in terzi di ottava nella gamma di frequenze 8-100 Hz. Esistono procedure diverse a seconda che il rumore sia tonale o non tonale: per rumori tonali le bande vanno confrontate con una curva di riferimento, mentre per rumori non tonali esistono limiti diurni e notturni con cui vanno confrontati i livelli globali ponderati A nel range di frequenze analizzate.

Il metodo polacco utilizza l'analisi in terzi di ottava rapportata a una curva di riferimento definita nel range di frequenze 10-250 Hz e indicata come LA10 (il valore ad ogni frequenza è pari ad un tono puro di 10 dBA, corrispondente ai valori della curva A incrementata di 10 dB). Esso richiede anche la correzione per il rumore di fondo.

Le linee guida del Regno Unito prevedono di acquisire i parametri L_{LINeq} , L_{10} e L_{90} nelle bande di terzi di ottava nel range di frequenze 10-160 Hz. L_{LINeq} viene confrontato con dei valori di riferimento tabellati. Per rumori nel periodo diurno si applica un incremento di 5dB a tutte le bande di terzi di ottava della curva di riferimento; un ulteriore incremento di 5 dB si applica se il rumore ha caratteristiche costanti (cioè se soddisfa uno dei seguenti criteri: $L_{10}-L_{90}<5$ dB oppure la variazione del livello di pressione con costante Fast è inferiore a 10 dB al secondo).

Le linee guida dell'agenzia di protezione dell'ambiente del Queensland prevedono di determinare i livelli globali L_{Aeq} e L_{LINeq} per un tempo di misurazione rappresentativo e verificare se $L_{LINeq}-L_{Aeq}>15$ dB; in caso affermativo, si valuta L_{LINeq} in bande di terzi di ottava, nel range di frequenze 10-200 Hz che vengono confrontati con i valori della soglia uditiva mediana superata dal 10% di un campione di popolazione non selezionato di età compresa tra 50-60 anni. Va verificata anche l'eventuale componente di modulazione di ampiezza che deve essere tenuta in considerazione attraverso un fattore correttivo di -5 dB da applicare ai valori della soglia uditiva, nelle bande in cui si manifesta tale effetto. Si impiegano procedure diverse a seconda che il rumore sia tonale o non tonale: per rumori tonali le bande vanno confrontate con dei superamenti oltre i quali si ritiene che il rumore possa provocare annoyance, mentre per rumori non tonali si ricavano i livelli globali ponderati A nel range di frequenze analizzate che sono confrontati con dei limiti specifici che differiscono per il periodo diurno e notturno e per i diversi ambienti. È prevista la possibilità di applicare una correzione per il rumore di fondo e un'ulteriore penalizzazione di 5 dB se si è in presenza di rumori impulsivi.

I criteri RC (valutazione del rumore di fondo in ambienti non occupati) e NCB (valutazione del rumore di fondo in ambienti occupati), nati per la valutazione del rumore degli impianti di climatizzazione, utilizzano gli spettri in bande di ottava e, per basse frequen-

ze e alti valori delle curve di riferimento, indicano la probabilità di avere vibrazioni più o meno percepibili di oggetti leggeri. Il criterio RC classifica il rumore in “R” (rombante: i livelli di rumore superano la curva RC per più di 5 dB in una o più bande inferiore o uguale a 500 Hz) e “RV” (vibrazioni percepibili: i livelli di rumore sono caratterizzati da basse frequenze e alti livelli).

3.2 Criteri in ambiente esterno

I criteri in ambiente esterno nascono storicamente in relazione alla pianificazione di grosse centrali elettriche o, in periodi più recenti, per la gestione del rumore degli impianti eolici. La tabella 1 ne riassume alcuni. Come si può notare, tutti i criteri analizzati impiegano dei limiti globali con la curva di ponderazione C.

Tabella 1 – Criteri per la valutazione del rumore a bassa frequenza in esterno

<i>Criterio</i>	<i>Limiti</i>
Hoover	67 dBC (70 dB a 31,5 Hz) da non superare
Challis	72 dBC globali con 70 dB a 16 Hz 60 dBC globali con 60 dB a 31,5 Hz
ANSI B133.8 1977	75-80 dBC
Hessler	70 dBC quando $L_{90} > 40$ dBA nel periodo diurno per rumori intermittenti in contesti normali 65 dBC quando $L_{90} > 40$ dBA nel periodo notturno in contesti normali 65 dBC quando $L_{90} < 40$ dBA nel periodo diurno per rumori intermittenti in contesti poco rumorosi 60 dBC quando $L_{90} < 40$ dBA nel periodo notturno in contesti poco rumorosi
Newman	57 dBC e 60 dB a 31,5 Hz
ANSI S12.9	67 dBC per minimizzare l'annoyance 72 dBC per prevenire il rumore prodotto da vibrazioni di elementi leggeri
Oregon USA	65 dBC tra le 22 e le 7 68 dBC tra le 7 e le 22
Hale	65 dBC
Hessler	65 dBC consigliato con un limite massimo di 70 dBC (per wind farm)

3.3 Criteri occupazionali

I criteri occupazionali analizzati differiscono nell'approccio, nel range di frequenza da analizzare, nelle reti di ponderazione usate (A, C, G o non standardizzate) e nell'obiettivo. La tabella 2 ne riassume alcuni. Tali criteri sembrano basarsi più sul comfort a lungo termine sul luogo di lavoro piuttosto che su considerazioni di rischio, in quanto i livelli risultano più bassi (15 dB o più) rispetto a quelli individuati da von Gierke e Ward come adeguati per la protezione da esposizioni acute (“Criteria for noise and vibration exposure” capitolo 26 in Harris's Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control).

Tabella 2 – Criteri occupazionali per la valutazione del rumore a bassa frequenza

<i>Criterio</i>	<i>Descrizione</i>
HTL20	20 dB più alti dei livelli della soglia di udibilità secondo la ISO 226: 2003
DIN20	20 dB più alti della curva di riferimento della DIN 45680: 1997
S70	Corrispondente alle linee guida Svedesi per i luoghi di lavoro
UK18	18 dB più alti dei livelli della curva di riferimento proposta nel Regno Unito
A40	40-A(f), dove A(f) è la risposta in frequenza della curva di ponderazione A in bande di terzi di ottava
INFRA AFS 1992: 10	Regolamento svedese per gli infrasuoni
S40 [Persson-Waye]	Curva di riferimento in ambienti con livelli fino a 40 dBA
S60 [Persson-Waye]	Curva di riferimento in ambienti con livelli tra 40 e 60 dBA
S80 [Persson-Waye]	Curva di riferimento in ambienti con livelli tra 40 e 80 dBA
SOS FS 1996: 7	Attuale raccomandazione svedese per generici ambienti
UNI EN ISO 389-7: 2006	Acustica - Zero di riferimento per la taratura degli audiometri - Parte 7: Riferimento liminare nelle condizioni di ascolto in campo libero o in campo diffuso

3.4 Considerazioni generali sui vari criteri

Dall'analisi dei vari criteri discussi, si possono fare una serie di considerazioni. Innanzitutto, i criteri occupazionali hanno valori limite mediamente superiori di circa 20 dB rispetto ai criteri in ambiente abitativo, da cui spesso derivano. La determinazione di un livello di rumore globale sarebbe da preferire rispetto ai criteri che richiedono un'analisi dettagliata dello spettro e calcoli, perché non richiede post-elaborazione e può fornire immediatamente il risultato in loco. In termini di pianificazione, è molto più facile impostare criteri in esterno in cui si eliminano le incertezze di misura indotte dall'ambiente abitativo e per i quali non è necessario accedere in locali di proprietà per confermare il rispetto dei limiti. I criteri in ambiente abitativo andrebbero così impiegati solo in caso di esposti. Quando possibile, sarebbe sempre opportuno eseguire una correzione per il rumore di fondo. Le principali differenze tra i criteri riguardano il range di frequenze da analizzare e i valori delle curve di riferimento, i quali spesso differiscono tra loro di diversi dB in ogni banda. Alcuni criteri hanno specifiche modalità di valutazione per rumori con caratteristiche tonali, impulsive o fluttuanti. Tutti i criteri, infine, utilizzano le bande in terzi di ottava per l'analisi in frequenza e i valori limite in termini globali risultano caratterizzati da una buona coerenza tra di loro.

4. Applicazione dei criteri a casi pratici

Alcuni dei criteri analizzati in ambiente esterno e abitativo sono stati applicati a casi reali di rumore proveniente da: musica amplificata, centrale eolica e impianto di condizionamento a servizio di un apparato radiobase per telefonia mobile. Nelle successive figure, si riportano i risultati sintetici di tali valutazioni.

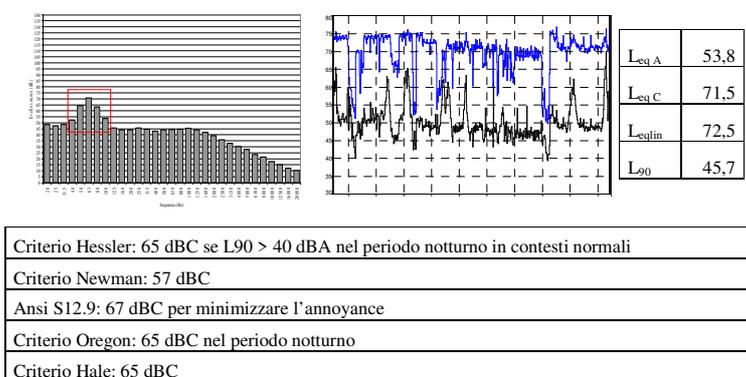


Figura 2 – Valutazione del rumore a bassa frequenza in esterno per musica amplificata

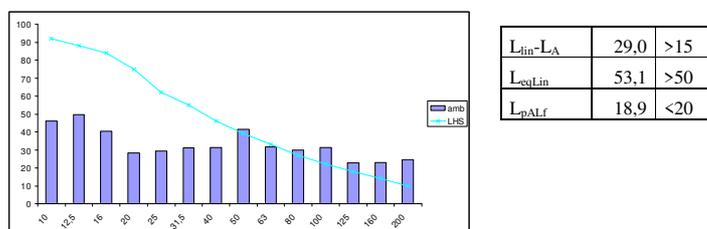
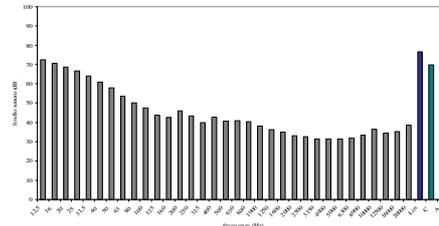
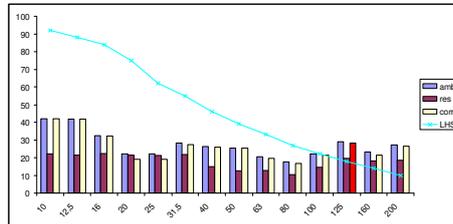


Figura 3 – Valutazione del rumore a bassa frequenza per un impianto di climatizzazione a servizio di un apparato radiomobile

$L_{in}-L_A$	17,8	>15
L_{eqLin}	43,2	<50
L_{pALr}	18,0	<20
$L_{125}-L_{HS}$	10,5	>7

$L_{eq A}$	48,8
$L_{eq C}$	69,7
L_{eqlin}	76,6
L_{90}	30,2



Criterio Hessler: 60 dBC se $L_{90} < 40$ dBA nel periodo notturno in contesti silenziosi
Criterio Newman: 57 dBC
Ansi S12.9: 67 dBC per minimizzare l'annoyance
Criterio Oregon: 65 dBC nel periodo notturno
Criterio Hale: 65 dBC con limite massimo di 70 dBC per rumore eolico

Figura 4 – Valutazione del rumore a bassa frequenza relativo al rumore di origine eolica

5. Conclusioni

L'applicazione di alcuni criteri (quello dell'agenzia di protezione dell'ambiente del Queensland è stato usato per l'ambiente abitativo) ha evidenziato la presenza di rumore a bassa frequenza per i casi analizzati. Sebbene l'analisi presenti limiti dovuti al fatto che i dati in possesso, conformi al D. M. 16 Marzo 1998, sono stati successivamente adattati ai criteri e che l'incertezza estesa di tali misurazioni potrebbe risultare di una certa rilevanza, c'è una sostanziale rispondenza tra il tipo di lamentela dei soggetti esposti e la presenza di energia a bassa frequenza. Nel caso di sorgente sonora eolica in ambiente abitativo è stato possibile applicare una correzione per il rumore residuo impiegando gli algoritmi della norma nazionale UNI 10855. Difficoltà interpretative sono sorte nell'individuare le componenti tonali (il D. M. 16 Marzo 1998 indica di determinare il minimo di ciascuna banda con costante di tempo Fast, mentre nelle linee guida analizzate non è stato trovato nessuna informazione in merito). In conclusione, data l'importanza che spesso il rumore a bassa frequenza può provocare, si ritiene di approfondire maggiormente la problematica partendo dalla creazione di uno specifico protocollo di indagine e misurazione coerente col fenomeno da valutare.

6. Bibliografia essenziale

- [1] Moller H, Pedersen CS., *Hearing at low and infrasonic frequencies*. Noise Health 2004; n. 6 pp. 37-57
- [2] Cedric Roberts, *A guideline for the assessment of low-frequency noise*. Acoustic Bulletin vol. 33 n. 5, September-October 2008 pp. 31-36
- [3] Acoustics Research Centre, Salford University, *Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance*. DEFRA NANR45: Project report
- [4] N. Broner, Sinclair Knight Merz, *A simple outdoor criterion for assessment of low frequency noise emission*
- [5] Sanford Fidell, Richard D. Horonjeff, Fredric H. Schmitz, *Research plans for improving understanding of effects of very low-frequency noise of heavy lift rotorcraft*