

LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE NEGLI AMBIENTI DI LAVORO

NOTA: Quanto segue è un estratto dalle "LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE NEGLI AMBIENTI DI LAVORO", versione 2002, pubblicate dall'ISPESL, alla cui stesura l'autore di **Rumours** ha partecipato come membro del gruppo di lavoro.

La versione integrale ed aggiornata delle Linee Guida può essere scaricata dal sito ISPESL www.ispesl.it o dal sito INAIL www.inail.it gratuitamente.

ALLEGATO R2

GUIDA ALLA VALUTAZIONE DELLE INCERTEZZE DI MISURA

PREMESSA

Il D.Lgs.277/91 stabilisce che la misurazione del rumore deve essere effettuata in osservanza ai criteri riportati nell'Allegato VI.

Quest'ultimo, a sua volta, prevede che di ogni misurazione sia indicata anche l'incertezza di cui la medesima è affetta (errore casuale).

Normalmente, per errore casuale si intende lo scarto quadratico medio (deviazione standard) su di un numero significativo di campionamenti. In attesa di auspicabili puntualizzazioni a livello centrale, si consiglia di continuare ad applicare le consolidate norme di buona tecnica (UNI 9432 del 2002) che, in sintesi, danno le seguenti indicazioni:

- *Le misurazioni eseguite per brevi periodi sono soddisfacenti nel caso di rumori stabili o poco fluttuanti o fluttuanti ciclicamente su tempi più brevi;*
- *Se le fluttuazioni sono estese in ampiezza o si prolungano nel tempo ovvero se il fenomeno sonoro è irregolare occorrerà rivolgersi sempre a fonometri integratori e prolungare l'osservazione strumentale fin anche a misurare il livello dell'intera giornata di lavoro (metodo di riferimento);*
- *In situazioni estreme, qualora possa prevedersi un'oscillazione dei valori di esposizione giornaliera, occorre ripetere le misure giornaliere sino al computo del $L_{EP,w}$;*

In ogni caso, la scelta dei tempi e delle metodologie di misura devono avere come obiettivo la stabilizzazione del L_{Aeq} del fenomeno acustico rappresentativo delle condizioni di esposizione del/dei lavoratori.

Ai valori di L_{Aeq} così misurati si può associare, in mancanza dei dati di taratura relativi allo specifico fonometro, un errore casuale pari a 0,7 dB, corrispondente alla tolleranza ammessa dalle norme IEC 651/79 e IEC 804/85 (CEI EN 60651/82 e CEI EN 60804/99) per i fonometri di classe 1. In questo modo si rispetta formalmente la legge, ma dal punto di vista tecnico-scientifico il metodo non è corretto e può portare a sottostimare in modo significativo l'entità dell'errore casuale.

Di seguito si riporta un metodo per la valutazione e l'utilizzo dell'errore casuale nelle misurazioni del rumore, tratto dalla recente letteratura scientifica e normativa in materia.

1. Introduzione

In questa sede si propone un metodo per il calcolo dell'incertezza sui L_{Aeq} , sui tempi di esposizione e sul $L_{EP,d}$ globale, basato sui criteri consigliati dallo standard ISO 9612 (1997). Un semplice programma (**Lepdw_Error**) per l'applicazione di tale metodo può essere scaricato dal sito ISPESL (www.ispesl.it). Attualmente esiste anche una guida ISO, recepita in Italia come Guida UNI CEI 9 (1997) "Guida all'espressione dell'incertezza di misura", che può essere utilizzata. Trattasi però di un testo assolutamente generale per la valutazione dell'incertezza di un generico misurando, e di non facile applicazione per i non addetti ai lavori. Lo standard ISO 9612 (*"Acoustics - Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment"*), invece, riguarda specificatamente il rumore in ambiente di lavoro e, a nostro avviso, meglio si adatta alla valutazione del rischio rumore secondo le prescrizioni del D.Lgs.277/91.

Una stima dell'incertezza associata al valore misurato o calcolato di una grandezza è un elemento essenziale in quanto rende possibile controllare la ripetibilità di una misura, e rende significativo il confronto tra i risultati di misure effettuate da diversi soggetti nelle stesse condizioni di misura.

Viene definita incertezza sulla quantità y la quantità $\varepsilon(y)$ data dalla deviazione standard della distribuzione di probabilità dei valori assunti dal risultato della misura di y . Vanno calcolate separatamente tre tipi di incertezze: una componente di tipo "strumentale"; una di tipo "ambientale", dovuta alla incompleta campionatura della distribuzione dei livelli sonori; una componente "temporale" dovuta alla variabilità dei tempi di esposizione.

2. Incertezze strumentali

Le incertezze strumentali vanno dedotte dalle indicazioni fornite dal costruttore, dalle informazioni ricavabili dal certificato di taratura SIT o WECC dello strumento, o, ove queste manchino, dalle tolleranze ammesse dagli standards IEC 651/79 e IEC 804/85 per i fonometri di classe 1. In assenza di qualsiasi informazione sulla distribuzione di probabilità, come accade nella maggior parte dei casi, l'ipotesi più ragionevole è che tale distribuzione sia rettangolare (probabilità costante) con intervallo totale di variabilità pari al massimo scostamento, dato ricavabile dalle informazioni a disposizione o dalle tolleranze.

Assumendo che le singole componenti dell'incertezza strumentale siano mutuamente indipendenti, i singoli contributi possono essere combinati quadraticamente nell'incertezza strumentale totale.

Le principali componenti dell'incertezza strumentale sono le seguenti:

- accuratezza del calibratore;
- non perfetta linearità della risposta del fonometro a diversi livelli di rumore (la calibrazione è effettuata normalmente ad un'unica frequenza e livello sonoro);
- scarti della curva di pesatura A del fonometro rispetto a quella standard;
- risposta in frequenza non simmetrica rispetto ai vari angoli di incidenza del suono;
- variazione della risposta del fonometro nel caso si usi un fondo scala diverso da quello di riferimento;
- variazione della risposta del fonometro al variare della pressione atmosferica statica;
- variazione della risposta del fonometro al variare della temperatura ambiente;
- variazione della risposta del fonometro al variare dell'umidità;
- variazione del valore misurato di L_{eq} in caso di pressione sonora variabile nel tempo rispetto alla misura del L_{eq} di un evento sonoro di livello costante e di uguale contenuto energetico;
- possibile deriva della risposta del fonometro per misure prolungate nel tempo.

Nel certificato di taratura SIT o WECC del fonometro può essere riportato il valore dell'incertezza strumentale ε_s dell'apparecchio.

Questo valore può essere utilizzato tenendo conto che si tratta di un valore riferito a condizioni standard di laboratorio (temperatura, pressione, umidità controllate): quindi deve intendersi come valore minimo dell'incertezza strumentale.

Viceversa, basandosi solo sulle tolleranze ammesse per i fonometri di classe 1 si può stimare, per le situazioni più comuni di utilizzo sul campo, un'incertezza complessiva massima dovuta ai contributi sopra elencati pari a 0.7 dB.

3. Incertezze ambientali

3.1. Campionamento del livello equivalente

Un segmento di attività di durata T_i che si svolge all'interno di un ambiente acusticamente omogeneo (ambiente nel quale i livelli di rumore misurati in prelievi successivi non differiscono di molto), può essere esaminato col metodo del "campionamento": effettuando cioè N misure indipendenti di livello equivalente di durata individuale T_{ij} i cui risultati vengono indicati con L_{ij} . Il livello equivalente relativo al periodo T_i è dato dalla relazione:

$$L_{Aeq,T_i} = 10 \log \left(\frac{\sum_{j=1}^N 10^{0,1L_{ij}}}{N} \right) \equiv \bar{L}_i + 0,115s^2$$

dove

$$\bar{L}_i = \frac{\sum_{j=1}^N L_{ij}}{N}$$

è la media aritmetica dei livelli, e

$$s = \left(\frac{\sum_{j=1}^N (L_{ij} - \bar{L}_i)^2}{N-1} \right)^{1/2}$$

è la deviazione standard della distribuzione dei livelli stessi.

L'incertezza relativa alla componente ambientale vale:

$$\varepsilon(L_{Aeq,T_i}) = \left(\frac{s^2}{N} + \frac{0,026s^4}{N-1} \right)^{1/2} \left(\frac{T_i - \sum_{j=1}^N T_{ij}}{T_i - T_{ij}} \right)^{1/2}$$

dove l'ultimo termine a destra è un fattore di correzione dovuto alla dimensione finita della popolazione da cui viene estratto il campione analizzato (cioè alla durata finita T_i del periodo); al denominatore compare la media aritmetica dei tempi di campionamento T_{ij} .

Dal punto di vista pratico, si consiglia di effettuare un numero di campionamenti N pari a 3, generalmente sufficiente, mentre un numero di campionamenti superiore a 5 non fornisce un significativo aumento della precisione della misura.

L'incertezza totale sul livello equivalente vale:

$$\varepsilon(L_{Aeq,T_i}) = (\varepsilon_s^2 + \varepsilon_A^2(L_{Aeq,T_i}))^{1/2}$$

3.2. Misura diretta del livello equivalente

Nel caso in cui viene eseguita una misura “diretta” del livello equivalente L_{Aeq,T_i} , per tutta la durata T_i del periodo di tempo acusticamente omogeneo, per quanto detto al punto precedente l’incertezza “ambientale” è in questo caso nulla, e pertanto a tale valore va associata una incertezza puramente strumentale.

$$\varepsilon(L_{Aeq,T_i}) = \varepsilon_S$$

Nella Tabella delle misure della **Relazione tecnica** di cui all’**Allegato R3**, nella colonna “Errore casuale” vanno riportati i valori degli errori casuali sui livelli equivalenti, $\varepsilon(L_{Aeq,T_i})$, come sopra definiti.

E’ chiaro, quindi, che una misura di livello equivalente sonoro non può essere esente da errore: quest’ultimo sarà più o meno elevato, a seconda della tecnica di misura scelta, ma non può essere inferiore all’incertezza strumentale.

4. Incertezza sui tempi di esposizione

Anche i tempi di esposizione T_i sono generalmente affetti da una incertezza di cui va tenuto conto. L'incertezza sul tempo di esposizione $\varepsilon(T_i)$ può essere calcolata con i classici metodi appropriati alle distribuzioni normali. Nel caso non si disponga di alcuna informazione per utilizzare una procedura di questo tipo, possono essere calcolati valori indicativi mediante la formula:

$$\varepsilon(T_i) = 0,04 T_i$$

con un valore minimo di 2,5 minuti.

E' bene ricordare l'importanza della corretta valutazione dei tempi di esposizione alle singole mansioni e/o fasi lavorative e delle rispettive incertezze, in quanto, come vedremo nel paragrafo successivo, questi parametri contribuiscono in maniera decisiva alla determinazione dell'incertezza complessiva sul livello di esposizione personale.

5. Incertezza sul livello di esposizione personale

Nonostante il D.Lgs.277/91, nell'Allegato VI, parli solo di errore casuale sui livelli equivalenti misurati, in questa sede si è ritenuto utile fornire una metodologia di calcolo dell'incertezza complessiva sul livello di esposizione personale. Considerato infatti che è l' $L_{EP,d}$ il risultato finale della misura della esposizione professionale a rumore, anche ad esso può essere associata una incertezza. Tale quantità permetterà di stabilire se un certo limite di esposizione è, o può essere, superato e regolare di conseguenza i relativi adempimenti di legge.

L'incertezza sul livello di esposizione personale giornaliero può essere ottenuta applicando il modo opportuno la legge di propagazione degli errori alle incertezze sui livelli equivalenti e sui tempi di esposizione visti nei paragrafi precedenti. Si calcola dapprima la componente dovuta ai fattori "ambientali", $\varepsilon_A(L_{EP,d})$:

$$\varepsilon_A(L_{EP,d}) = \frac{\left[\sum_{i=1}^M 10^{0.2L_i} T_i^2 \varepsilon_i^2 + 18.86 \sum_{i=1}^M 10^{0.2L_i} \varepsilon_{Ti}^2 \right]^{1/2}}{\sum_{i=1}^M 10^{0.1L_i} T_i}$$

a questa si aggiunge poi la componente dovuta ad effetti strumentali, ε_s , per ottenere l'incertezza complessiva sul $L_{EP,d}$:

$$\varepsilon(L_{EP,d}) = [\varepsilon_A^2(L_{EP,d}) + \varepsilon_s^2]^{1/2}$$

Per sinteticità si è posto $L_i = L_{Aeq,T_i}$, $\varepsilon_i = \varepsilon_A(L_{Aeq,T_i})$, $\varepsilon_{Ti} = \varepsilon(T_i)$ ed M è il numero di periodi in cui si effettuano misure di livello equivalente. Come si può vedere, sono soltanto le componenti "ambientali" delle incertezze, $\varepsilon_A(L_{Aeq,T_i})$, che compaiono effettivamente nella propagazione dell'incertezza complessiva sul livello di esposizione personale, mentre il termine strumentale ε_s viene inserito a valle della procedura, in quanto si riferisce ad un effetto sistematico che non viene ridotto dal numero di periodi nei quali si articola la giornata lavorativa.

(N.B. Le formule utilizzate in questo paragrafo valgono se si effettuano tutte le misure con lo stesso fonometro, cosa che avviene nella generalità dei casi. Se si utilizzano più fonometri occorre utilizzare un'altro formalismo).

All. R2

Operando in modo analogo, a partire dall'incertezze sugli m livelli di esposizione personale giornalieri, si può calcolare l'incertezza sul valore del $L_{EP,w}$ che vale:

dove: $\varepsilon(L_{EP,w}) = [\varepsilon_A^2(L_{EP,w}) + \varepsilon_s^2]^{1/2}$,

$$\varepsilon_A(L_{EP,w}) = \frac{\left[\sum_{k=1}^m 10^{0,2L_k} \varepsilon_k^2 \right]^{1/2}}{\sum_{k=1}^m 10^{0,1L_k}}$$

è la componente "ambientale" dell'incertezza sul $L_{EP,w}$, e per sinteticità si è posto $L_k = (L_{EP,d})_k$, $\varepsilon_k = \varepsilon_A (L_{EP,d})_k$.

Quindi, nel **Rapporto di Valutazione** del rischio ex articolo 40 del D.Lgs.277/91 potrà essere riportato, per ogni operatore esposto, il livello di esposizione personale con associata la relativa incertezza:

$$L_{EP,d} \pm \varepsilon (L_{EP,d});$$

$$L_{EP,w} \pm \varepsilon (L_{EP,w})$$

Si pone infine il problema di quale significato concretamente attribuire al calcolo dell'incertezza nel classificare i livelli di esposizione del personale. A questo riguardo, si raccomanda l'adozione di criteri cautelativi nell'individuazione delle misure di prevenzione e protezione, nello spirito prevenzionistico del D.Lgs.277/91, in particolare nelle situazioni che mostrano valori del livello di esposizione personale al limite della attribuzione alla fasce di esposizione superiori di 80, 85 e 90 dB(A).

A titolo esemplificativo, supponiamo che per un lavoratore sia stato calcolato un $L_{EP,d}$ pari a $84,0 \pm 1,5$ dB(A). Allora due sono le possibilità: o questo lavoratore viene assegnato cautelativamente alla fascia di rischio corrispondente a 85÷90 dB(A), con tutti gli adempimenti conseguenti; oppure, si aumenta la precisione della determinazione del $L_{EP,d}$ tramite, ad esempio, un maggior numero di campionamenti e/o misure dirette e/o una migliore determinazione dei tempi di esposizione. In tal modo, si riducono le componenti che contribuiscono all'incertezza complessiva $\varepsilon (L_{EP,d})$, e si fa rientrare l'intervallo di variabilità del livello di esposizione personale all'interno della fascia di rischio inferiore (ad es. ottenendo un nuovo $L_{EP,d}$ pari a: $84,0 \pm 0,8$ dB(A).