

SOFTWARE PER IL CALCOLO DELL'ERRORE CASUALE E LA SCELTA DEI DPI UDITIVI

Stefano Casini

INAIL, Direzione Regionale Sicilia - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

Riassunto

Viene presentata una procedura informatica che facilita la scelta del DPI ed il calcolo della protezione da essi fornita, in accordo con la norma armonizzata UNI EN 458 (1995) *“Protettori auricolari - Raccomandazioni per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione. Documento guida”*.

La procedura propone anche un metodo di calcolo, non presente nella UNI EN 458, che permette di utilizzare le misure eseguite con la curva di pesatura A.

Inoltre, viene presentata una procedura su foglio elettronico per calcolare l'errore casuale associato alle misure di rumore, secondo quanto riportato nelle *“Linee guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro”*.

Abstract

A software procedure is illustrated to lead to a better hearing protectors selection and calculation of their effective protection, according to European standard EN 458 (1995) *“Hearing protectors - Recommendations for selection, use, care and maintenance - Guidance document”*.

The procedure proposes a calculation method, not included in EN 458, to allow the use of A-weighted measures.

Besides, a software spreadsheet is illustrated to calculate uncertainties in noise measurements, according to the *“Guidelines for the evaluation of noise risk in working environments”*.

Premessa

Con l'istituzione da parte dell'ISPESL del *“Gruppo di lavoro per la predisposizione di procedure operative standardizzate per la valutazione del rischio da rumore e vibrazioni in ambiente di lavoro”* si è avuto modo di partecipare attivamente alla redazione delle *“Linee guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di*

lavoro”, linee guida che contengono una sezione dedicata alla scelta appropriata dei dispositivi di protezione individuale (DPI) dell’udito, ed una sezione dedicata al calcolo dell’errore associato alle misure; quest’ultimo è da anni un punto dolente sia per che debba redigere una relazione tecnica di valutazione del rischio rumore in ambiente di lavoro, ed è oggetto di dibattito anche all’interno del GdL 3 della Commissione Acustica UNI, che sta revisionando la Norma UNI 9432.

PARTE I: DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE DELL’UDITO

Protezione e livello d’azione

Si rammenta che l’intera materia dei DPI, di cui anche gli otoprotettori fanno parte, è stata regolamentata anche dal Titolo IV del D.Lgs.626/94 [1] e dal D.Lgs.475/92 [2], che stabilisce, tra l’altro, l’obbligo della marcatura CE dei dispositivi.

Riguardo gli otoprotettori esiste, nello specifico, la norma armonizzata UNI EN 458 [3], che definisce le linee guida per la scelta dei DPI dell’udito, e fornisce 4 metodi per calcolarne l’efficacia nella protezione; questi metodi, che la norma indica in ordine di preferenza per l’accuratezza che li contraddistingue, sono:

- il metodo per bande d’ottava;
- il metodo HML;
- il controllo HML;
- il metodo SNR.

Nella norma EN 458 è presente anche un metodo per il calcolare l’efficacia nella protezione del DPI nel caso di rumore impulsivo, ma quest’ultimo aspetto non viene trattato all’interno del presente lavoro.

Tutti i metodi permettono di calcolare, dato il livello di rumore ambientale, il livello effettivo pesato A (L'_{Aeq}) presente all’orecchio dopo aver correttamente indossato il DPI dell’udito; confrontando L'_{Aeq} con il massimo livello di esposizione personale quotidiana oltre il quale devono, ai sensi di legge, essere resi disponibili o indossati i DPI (livello d’azione L_{act}), si può stimare la protezione fornita dal DPI, secondo la seguente tabella:

Livello effettivo all’orecchio, L'_{Aeq} , in dB(A)	Stima della protezione
$L'_{Aeq} > L_{act}$	Insufficiente
$L_{act} - 5 < L'_{Aeq} \leq L_{act}$	Accettabile
$L_{act} - 10 < L'_{Aeq} \leq L_{act} - 5$	Buona
$L_{act} - 15 < L'_{Aeq} \leq L_{act} - 10$	Accettabile
$L'_{Aeq} \leq L_{act} - 15$	Troppo alta (<u>iperprotezione</u>)

Concordemente con quanto indicato nelle linee guida sopra citate, si ritiene che L_{act} debba corrispondere a **85 dB(A)** per il livello di esposizione quotidiana personale, ed a **140 dB** per il livello di picco.

Utilizzo pratico dei metodi di calcolo della protezione

Esaminando i singoli metodi si può evincere quanto, nella pratica, sia difficile utilizzarli per calcolare la protezione nel caso di rumore in ambiente di lavoro; infatti, l'attuale normativa italiana [4] richiede ai fini della propria applicazione la conoscenza del parametro $L_{ep,d}$ espresso secondo la curva di pesatura A, pertanto le misure di livello equivalente L_{eq} sono condotte utilizzando tale pesatura: e, non essendo richiesta la composizione spettrale del rumore, ben pochi sono i tecnici che eseguono le misure in banda d'ottava.

Viceversa, per applicare i metodi della EN 458 sono richieste informazioni supplementari sul rumore, e precisamente:

<i>per utilizzare il ...</i>	<i>... è necessario conoscere</i>
metodo per bande d'ottava	il livello equivalente di pressione acustica del rumore per banda d'ottava $L_{oct,eq}$
metodo HML	il livello equivalente di pressione acustica del rumore pesato secondo la curva A (L_{Aeq}) e secondo la curva C (L_{Ceq})
controllo HML	il livello equivalente di pressione acustica del rumore pesato secondo la curva A (L_{Aeq}) e l'impressione prodotta dal suono per decidere la classe di rumore (utilizzando liste d'esempio di sorgenti di rumore)
metodo SNR	il livello equivalente di pressione acustica del rumore pesato secondo la curva C (L_{Ceq}) o, in alternativa, non pesato ($L_{Lin,eq}$)

Come si vede per la stragrande maggioranza dei casi, l'unico metodo applicabile con la sola conoscenza del L_{Aeq} sarebbe il controllo HML (sempre ammesso che si possa decidere la classe di rumore), ma questo metodo in alcuni casi non fornisce una risposta precisa, e rimanda per maggior sicurezza all'applicazione di uno degli altri 3 metodi!

Appare perciò importante sensibilizzare i datori di lavoro affinché facciano eseguire dal personale competente, soprattutto in ambienti particolarmente rumorosi, la misura del rumore anche secondo la curva di pesatura C o, meglio ancora, l'analisi spettrale del rumore in banda d'ottava (o terzi d'ottava); analogamente il personale competente dovrebbe proporre di integrare le valutazioni fonometriche ai sensi del D. Lgs. 277/91 coi valori pesati C del rumore o con l'analisi spettrale: quest'ultima analisi, inoltre, può tornare utile successivamente per studiare gli interventi di bonifica acustica delle macchine e degli ambienti.

Nel frattempo rimane aperto il problema del calcolo della protezione utilizzando le misure di rumore esistenti, ovvero quelle eseguite con la pesatura A.

Innanzitutto vediamo in cosa consiste la differenza tra le curve di pesatura A e C.

La prima è stata implementata per meglio avvicinare le misure strumentali al comportamento dell'orecchio umano la cui sensibilità, per livelli di pressione sonora non molto elevati (fino ai 70 - 80 dB), è molto bassa alle frequenze inferiori ai 100 Hz e superiori ai 5 kHz; per elevati livelli di pressione sonora, superiori ai 100 dB,

la sensibilità dell'orecchio migliora alle estremità della gamma udibile, per cui fu delineata la curva C, con attenuazioni minori rispetto alla curva A.

Nella tabella seguente si può osservare la differenza tra le due curve:

f (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	8k
A _f (dB)	- 16,1	- 8,6	- 3,2	0	1,2	1	- 1,1
C _f (dB)	- 0,2	0,0	0	0	- 0,2	- 0,8	- 3,0

Pur non essendo esplicitato dalla norma EN 458, si ritiene che per il calcolo della protezione dei DPI uditivi in alternativa al livello equivalente pesato C possa essere eccezionalmente utilizzato il valore del livello equivalente non pesato, espresso in dBLin, in quanto la differenza tra i valori non è, per le frequenze d'interesse, particolarmente significativa; questa sostituzione, che comporta una protezione finale superiore, può ritenersi accettabile salvo condurre, in alcune situazioni, ad una iperprotezione.

Una soluzione per il presente

Oltre ai metodi prescritti dalla EN 458 si vuole presentare in questa sede il metodo “**SNR corretto**” desunto da uno standard OSHA [5], che permette di calcolare la protezione fornita dall'otoprotettore conoscendo solo i livelli equivalenti di rumore pesati secondo la curva A (L_{Aeq}), risolvendo almeno temporaneamente il problema dell'assenza di misure di rumore eseguite ad hoc per la EN 458.

Per il livello di approssimazione che lo contraddistingue si ritiene che l'applicazione di questo metodo debba essere considerata solo come ultima ratio, vale a dire da superare provvedendo, alla prima ripetizione della valutazione del rischio, a misurare anche i livelli di rumore pesati secondo la curva C o in banda d'ottava.

Utilizzando il metodo “**SNR corretto**”, si ricava L'_{Aeq} con la seguente, banale formula:

$$L'_{Aeq} = L_{Aeq} - (SNR - 7)$$

confrontandolo poi con il livello di azione L_{act} per valutare l'idoneità dell'otoprotettore.

L'approssimazione introdotta dal metodo “SNR corretto” di diminuire di 7 dB il valore di SNR mette in “sicurezza” il calcolo, nel senso di fornire una protezione reale maggiore di quella calcolata, quanto più lo spettro di frequenza del rumore è spostato verso le alte frequenze, visto che la pesatura C differisce in maniera significativa dalla A solo per le frequenze inferiori a 500 Hz; l'utilizzo di questo metodo è pertanto sconsigliato nel caso di rumori con elevate componenti spettrali in bassa frequenza, quali ad esempio:

- escavatori e macchine movimento terra;
- gruppi compressori a pistone;
- altoforni, forni di fusione elettrici e cubilotti;
- forni a combustione;
- macchine per pressofusione;

- frantumatori meccanici.

Software di supporto

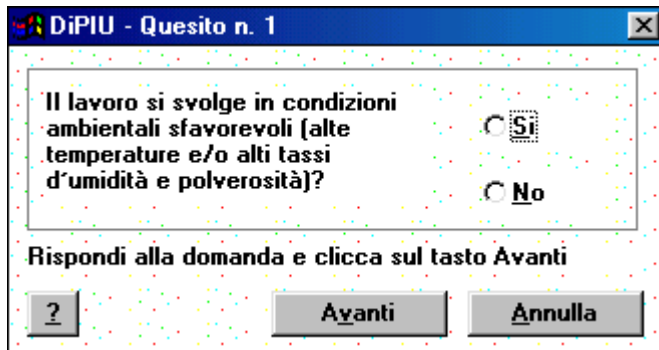
In corrispondenza alla redazione delle Linee guida citate in premessa, lo scrivente ha realizzato un software chiamato **DiPIU** (Dispositivi di Protezione Individuale dell'Udito) che facilita la scelta del tipo di DPI ed il calcolo della protezione fornita rispetto al rumore.

Il software è sviluppato per l'ambiente Windows 3.1 e successivi (Windows 95, 98, 2000, NT) e non richiede particolari risorse (spazio su hard disk, memoria RAM, scheda video ecc.) al PC, così da poter essere utilizzato anche su macchine della serie 386 - 486.

Il software è disponibile gratuitamente attraverso Internet sui siti dell'INAIL [7], dell'ISPESL [8] e sul sito dell'autore [9], agli indirizzi indicati in bibliografia.

L'interfaccia del software è organizzata attraverso una serie di finestre che guidano in successione l'utente nelle singole fasi di scelta del DPI e di inserimento dei dati sul rumore e sulla attenuazione fornita dal dispositivo, fino ad arrivare, attraverso uno dei metodi di calcolo proposti dalla EN 458, alla determinazione dell'efficacia della protezione; viene distribuito insieme al software un database con archiviati i valori di attenuazione di alcuni dei più noti DPI dell'udito in commercio; questo tipo di interfaccia, chiamata in gergo "wizard", facilita l'utilizzo del software anche ai non esperti nell'uso del computer.

Vediamo di seguito un'applicazione pratica; la prima finestra del wizard pone un quesito:



(figura 1)

dopo aver risposto compare un'altro quesito:

DiPIU - Quesito n. 2

Vi è esposizione ripetitiva a rumori di breve durata?

☐ **Sì**

☐ **No**

Rispondi alla domanda e clicca sul tasto Avanti

? Indietro Avanti Annulla

(figura 2)

in base alle risposte date ai quesiti precedenti la finestra successiva metterà dei segni di spunta vicino ai tipi di otoprotettori più idonei:

DiPIU - Tipologie di DPI idonei

Scegli l'otoprotettore tra quelli appartenenti alle tipologie selezionate col segno di spunta:

☒ Cuffie

☒ Cuffie con cuscinetti ricoperti o imbottiti

☒ Inserti con archetto

☒ Inserti monouso

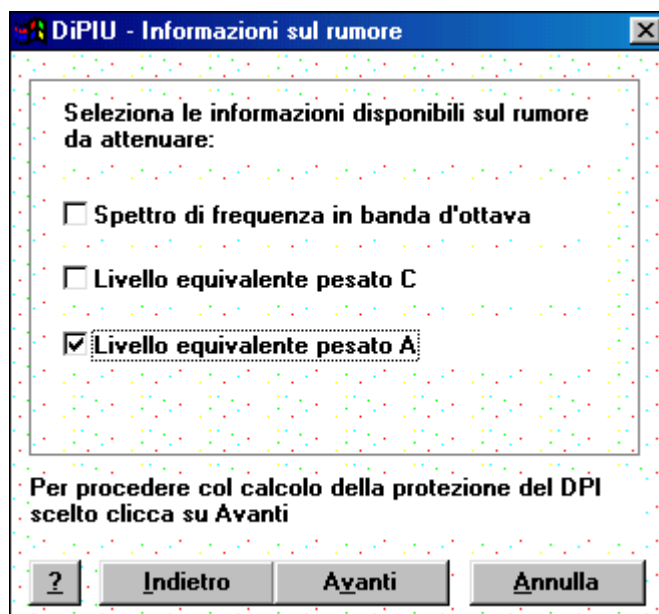
☐ Utilizza l'archivio degli otoprotettori

Se vuoi calcolare la protezione del DPI scelto clicca su Avanti, altrimenti clicca su Annulla

? Indietro Avanti Annulla

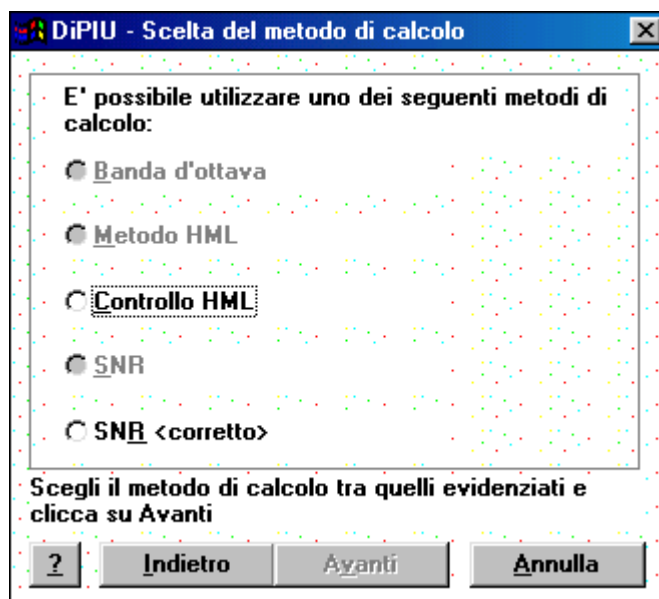
(figura 3)

viene poi chiesto all'utente quali tipi di informazioni sul rumore sono disponibili:



(figura 4)


ed in base alle informazioni sul rumore si prospettano i metodi di calcolo applicabili:



(figura 5)

da notare che il software permette di utilizzare oltre ai metodi della EN 458 anche il metodo “SNR corretto” in precedenza descritto.

Scelto il metodo, viene chiesto di inserire i dati sul rumore e sul DPI:



DiPIU - SNR <corretto>

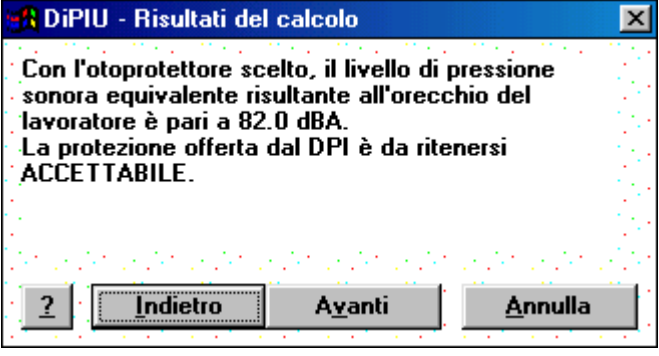
Inserire il livello equivalente di rumore espresso in dBA:

Inserire il valore SNR dell'otoprotettore:

? Indietro Avanti Annulla

(figura 6)

infine, eseguito il calcolo, viene data la risposta sull'efficacia della protezione fornita dal DPI:



DiPIU - Risultati del calcolo

Con l'otoprotettore scelto, il livello di pressione sonora equivalente risultante all'orecchio del lavoratore è pari a 82.0 dBA.
La protezione offerta dal DPI è da ritenersi ACCETTABILE.

? Indietro Avanti Annulla

(figura 7)

Volendo, è possibile utilizzare l'archivio degli otoprotettori, richiamandolo dalla terza finestra del wizard, ed è possibile aggiungere, eliminare o modificare i record dell'archivio:

DiPIU - Selezione del DPI dall'archivio

Scegli un otoprotettore dalla lista

Spettro in banda d'ottava dell'attenuazione (in dBLin)

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	8 kHz	4 kHz

Attenuazione in forma HML

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
H	M	L

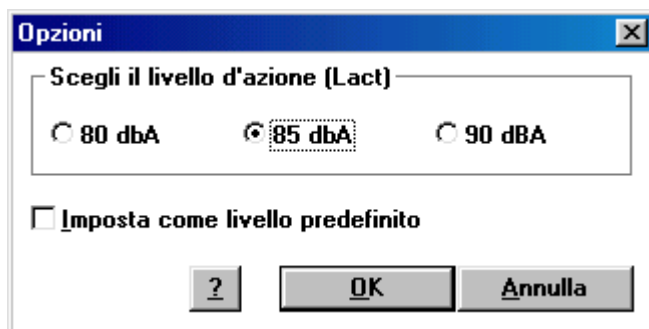
Attenuazione SNR

<input type="text"/>
SNR

Nome del DPI (max 64 caratteri)

(figura 8)

Infine, abbiamo detto che si ritiene che L_{act} corrisponde a **85 dB(A)**; è però consigliabile che il livello effettivo all'orecchio, L'_{Aeq} , non debba superare gli **80 dB(A)**, per tener conto del fatto che un uso non corretto del DPI fa decadere bruscamente la protezione; dall'altra parte, si potrebbe cavillosamente interpretare il D. Lgs. 277/91 nel senso di attribuire per L_{act} il valore di **90 dB(A)**; è stata quindi aggiunta a **DiPIU** un'interfaccia per settare il valore del livello d'azione:



(figura 9)

Il nuovo valore del livello d'azione può essere impostato in maniera temporanea, valido solo per il calcolo in corso, oppure permanente, predefinito ogni volta che si utilizza il software.

L'interfaccia delle **Opzioni** non fa parte del wizard, ed il comando che la visualizza è, per scelta progettuale, nascosto; infatti è un settaggio che viene fatto “una tantum”, e per la maggior parte degli utenti andrà bene il valore predefinito di **85 dB(A)**; per conoscere il comando che visualizza le **Opzioni** occorre consultare la **Guida di DiPIU**.

Altre considerazioni da fare per la scelta

La scelta del DPI uditivo migliore non è legata solo al calcolo della protezione fornita: aspetti altrettanto importanti vanno presi in considerazione per l'ottimale selezione.

Innanzitutto va tenuto conto dell'ambiente di lavoro e dell'attività lavorativa svolta da colui che dovrà indossare il DPI, nonché della “predisposizione” o del “rifiuto”, per motivi psicologici o di comfort, che l'utilizzatore può avere verso una specifica tipologia di DPI; a questo possono aggiungersi problemi per la compatibilità dell'otoprotettore con altri dispositivi di protezione della testa (elmetti, occhiali), e la presenza di disturbi sanitari (otite, ipoacusia) all'apparato uditivo, cosa che richiede la consultazione di un medico prima di scegliere la tipologia del DPI.

E' comunque opportuno consultare il lavoratore o il rappresentante dei lavoratori per la scelta degli otoprotettori.

Va tenuto conto che, se si scelgono DPI riutilizzabili, questi devono essere soggetti a pulizia e manutenzione periodica, pena la perdita di efficacia nel tempo; devono essere conservati nei luoghi e nei modi appropriati; e comunque questi DPI sono

soggetti a deterioramento, pertanto ne va prevista la sostituzione ad intervalli regolari.

Per quanto possibile, i DPI riutilizzabili vanno assegnati ad personam.

Riguardo i DPI monouso, è opportuno che questi non vengano riutilizzati, in special modo da persone diverse; allo scopo, è necessario che siano disponibili in posizioni facilmente accessibili all'interno dell'ambiente di lavoro delle scorte adeguate di protettori.

Infine, acquisire informazioni quanto più dettagliate sul rumore da attenuare, quale il suo spettro di frequenza, permette di scegliere dai cataloghi il protettore il cui spettro di attenuazione più si avvicina a quello da attenuare, realizzando così la protezione per le frequenze in cui serve, senza penalizzare troppo le altre frequenze, togliendo così il senso di isolamento dato dall'iperprotezione.

Informazione sul corretto uso

Una volta scelto il miglior protettore è necessario informare il lavoratore sul suo corretto uso: in particolare sulle modalità di indossamento, su quali siano gli ambienti e l'arco temporale per il quale va indossato, e sulla cura e manutenzione.

Non ci si vuole dilungare in questa sede, ma è necessario ricordare che la protezione effettiva offerta da un otoprotettore si dimezza se non viene indossato per solo il 10% del tempo di esposizione al rumore; e si avvicina allo zero se lo stesso non viene indossato per il 50% del tempo.

Inoltre, i valori di attenuazione dichiarati dal fabbricante vengono ricavati da prove di laboratorio [6] eseguite con soggetti esperti ed allenati; un indossamento scorretto del protettore da parte dell'utilizzatore può portare a dimezzare l'attenuazione fornita dal DPI: da questo punto di vista le cuffie sono molto meno critiche rispetto agli inserti.

Se poi non si cura l'utilizzo del DPI, magari facendolo entrare in contatto con oli, polveri, o altre sostanze irritanti, si corre il rischio di salvarsi dall'ipoacusia, ma di prendersi qualche altra malattia dell'orecchio.

PARTE II: CALCOLO DELL'ERRORE ASSOCIATO ALLE MISURE DI RUMORE

L'errore, questo sconosciuto

Il famigerato allegato VI al D. Lgs. 277/91 [4] recita, al punto 3.3: "Di ogni misurazione deve essere indicata anche l'incertezza di cui la medesima è affetta (errore casuale)".

Si è molto disquisito su cosa si dovesse intendere per "errore casuale" [11] [12] [13] [14], e la discussione continua anche in sede UNI per il rifacimento della Norma 9432 [15].

Quello che è certo è che nella stragrande maggioranza dei casi chi redige la relazione tecnica di valutazione del rischio rumore omette di indicare l'errore associato alle misure [16], vuoi per la mancanza di un'univoca definizione dello stesso, vuoi per la difficoltà nel calcolarlo, vuoi per la scarsa voglia di ripetere più volte la stessa misura, condizione necessaria per ottenere una significatività statistica dei risultati.

Resta il fatto che l'incertezza legata alle misure va comunque calcolata, sia per rispettare l'obbligo di legge, sia perché scientificamente corretto, sia per dare i margini necessari di verifica della ripetibilità della misura: misurare 87 ± 2 dB(A) significa garantire che se una successiva misura rileva $85 \pm 1,5$ dB(A), la prima è stata comunque eseguita correttamente, e viceversa.

In questa sede, senza voler entrare nel merito di quanto riportato nell'allegato VI al D. Lgs. 277/91 [4], si propone un metodo per calcolare l'incertezza di misura legata alle differenti fasi che portano alla costruzione del livello di esposizione personale del lavoratore, il tutto supportato dall'illustrazione di un software che facilita il calcolo matematico.

Come calcolare l'incertezza

Riassumiamo in breve, rimandando per la trattazione approfondita all'allegato 2 delle *“Linee guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro”*, i diversi tipi di incertezza che possono entrare in giuoco nella misura dell'esposizione personale dei lavoratori, partendo da quella più semplice da determinare: man mano che si andrà avanti, aumenterà la “raffinatezza” della relazione tecnica di valutazione del rischio e, paradossalmente, aumenterà anche l'incertezza.

Parafrasando Socrate: “Di una cosa ho certezza, di non avere certezze!”.

Incetezza strumentale

Per quanto riguarda l'incertezza dovuta allo strumento, questa può ipotizzarsi compresa tra un valore minimo, rilevato nelle condizioni di laboratorio e generalmente riportato nel certificato di taratura, ed un valore massimo, corrispondente alla classe IEC della strumentazione (0,7 dB per strumentazione in classe 1).

Dipenderà dal tecnico scegliere il valore che più rispecchia le reali condizioni di misura: valore minimo per misure in condizioni quasi standard di pressione, temperatura, gradiente termico; valore massimo per condizioni fuori standard e stressanti per l'apparecchio; un valore intermedio negli altri casi.

Incetezza dovuta al campionamento

E' legata al fatto che, invece di eseguire una sola misura per tutta la durata del fenomeno acustico da misurare, vengono presi N campioni di rumore di durata inferiore, per un tempo totale di misura che è inferiore alla durata del fenomeno acustico.

L'incertezza legata al campionamento decresce, come ovvio, con l'aumentare del numero di campioni: generalmente si suggerisce di effettuare un numero di campioni minimo pari a 3, mentre per valori di N superiori a 5 non si hanno significative diminuzioni dell'incertezza; è da porre l'accento che i campioni devono riferirsi a fenomeni acustici simili, e non devono essere correlati tra loro, pena la decadenza delle ipotesi alla base del calcolo.

Per il calcolo dell'incertezza legata al campionamento, ci si può riferire all'allegato D della norma ISO 9612 [10].

Incetezza del livello equivalente

L'incertezza totale della misura di un livello equivalente deve prendere in considerazione sia l'incertezza strumentale sia l'incertezza dovuta al campionamento, ed è pari alla radice quadrata dei quadrati dei due termini: naturalmente, se non si adotta la tecnica del campionamento ma si misura il livello equivalente per il tempo totale di durata del fenomeno acustico, il secondo termine è nullo, e l'incertezza del livello equivalente coincide con l'incertezza strumentale; quindi, a meno di avere uno strumento con errore zero, ad ogni livello equivalente è associata un'incertezza diversa da zero.

La norma ISO 9612 [10], allegato D, indica come classe di precisione 1 (di riferimento) quella con incertezza del livello equivalente compresa tra 0 e 1,5 dB(A), e come classe di precisione 2 (ingegneristica) quella con incertezza del livello equivalente compresa tra 1,5 e 3 dB(A); la classe di precisione 3 (stima) prevede l'incertezza del livello equivalente compresa tra 3 e 8 dB(A).

A nostro avviso, le misure di livello equivalente dovrebbero avere classe di precisione pari almeno a 2, per poter essere valide ai fini della redazione di una relazione tecnica di valutazione del rischio.

Incetezza del tempo di esposizione

Questa è legata al fatto che la medesima lavorazione non viene eseguita sempre per il medesimo intervallo di tempo; si può procedere in due modi:

- misurare a campione i tempi di alcuni cicli di lavorazione, ed applicare poi i metodi di calcolo dell'incertezza legata al campionamento, in maniera simile a quanto descritto riguardo l'incertezza del livello equivalente;
- applicare al tempo di esposizione dichiarato dal lavoratore o misurato una sola volta un'incertezza pari al 4 per cento, con un valore minimo di 2,5 minuti; questo secondo metodo è valido solo se i tempi di adibizione alla lavorazione non sono molto variabili, e superiori alla mezz'ora.

Incetezza del livello di esposizione personale quotidiano

Applicando la legge di propagazione degli errori alla formula per il calcolo del $L_{ep,d}$, noti i livelli equivalenti con le relative incertezze ed i tempi di esposizione con le relative incertezze, è possibile calcolare l'incertezza del livello di esposizione quotidiana.

Incetezza del livello di esposizione personale settimanale

Analogamente, applicando la legge di propagazione degli errori alla formula per il calcolo del $L_{ep,w}$, noti i livelli quotidiani con le relative incertezze, è possibile calcolare l'incertezza del livello di esposizione settimanale.

Software per il calcolo delle incertezze

In occasione della pubblicazione delle “*Linee guida*” è stato realizzato dall'ISPESL un software che facilita il calcolo matematico delle incertezze di misura.

Si tratta di un foglio elettronico in formato Excel organizzato in 3 diverse sezioni:

calcolo dell'incertezza legata al livello equivalente;

calcolo dell'incertezza legata al livello di esposizione personale quotidiano;

calcolo dell'incertezza legata al livello di esposizione personale settimanale.

Rispetto a quanto presentato in questo articolo, la versione definitiva potrà avere un'interfaccia leggermente diversa.

Anche questo software è disponibile gratuitamente attraverso Internet sul sito dell'ISPESL [8], all'indirizzo indicato in bibliografia.

Nella **Sezione 1**, si inseriscono i dati relativi ai livelli equivalenti misurati nei singoli campionamenti, e si ottiene in uscita il livello equivalente e l'incertezza totale (comprendente, quindi, anche l'incertezza strumentale).

A		B	
Campionamento		$L_{Aeq,Ti}$ - dB(A)	
n.		misurato	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
$L_{Aeq,Ti}$ Livello equivalente		-	dB(A)
$E_{(L_{Aeq,Ti})}$ Incertezza totale sul livello equivalente		-	dB

(figura 10)

Nella **Sezione 2**, si inseriscono i dati relativi ai livelli equivalenti e le relative incertezze, nonché tempi di esposizione e relative incertezze.

	A	B	C	D	E
n.	$L_{Aeq,T}$ dB(A)	$\mathcal{E}(L_{Aeq,T_i})$ dB	T_i minuti	$\mathcal{E}(T_i)$ minuti	$\mathcal{E}(T_i)$ minuti
				Calcolato aut.	Inserito
1				0,0	
2				0,0	
3				0,0	
4				0,0	
5				0,0	
6				0,0	
7				0,0	
8				0,0	
9				0,0	
10				0,0	
11				0,0	
12				0,0	
13				0,0	
14				0,0	
15				0,0	
16				0,0	
17				0,0	
18				0,0	
19				0,0	
20				0,0	

(figura 11)

Per l'incertezza dei tempi di esposizione sono previste 3 opzioni:

- incertezza pari a zero;
- incertezza calcolata in automatico, pari al 4 per cento del tempo di esposizione;
- incertezza calcolata ed inserita direttamente dall'utente.

In uscita si ottengono il tempo totale di esposizione ed il livello di esposizione personale quotidiano con la relativa incertezza.

Utilizza $\mathcal{E}(T_i) = 0$					SI
Utilizza $\mathcal{E}(T_i)$ calcolato in modo automatico					NO
Utilizza $\mathcal{E}(T_i)$ inserito nella colonna E della tabella.					NO
					<input type="text"/>
	T_e	0	minuti		
	$L_{EP,d}$	-	dB(A)		
	$\mathcal{E}(L_{EP,d})$	-	dB		

(figura 12)

	A	B
	$L_{EP,d}$	$\mathcal{E}(L_{EP,d})$
	dB(A)	dB
1° giorno		
2° giorno		
3° giorno		
4° giorno		
5° giorno		
6° giorno		
7° giorno		
$L_{EP,w} =$	-	dB(A)
$\mathcal{E}(L_{EP,w})$	-	dB

L'autore ringrazia Aldo Pieroni dell'ISPEL, che ha realizzato e messo a disposizione il foglio elettronico per il calcolo delle incertezze.

[1] Decreto Legislativo del 19/09/1994, n. 626 *“Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro”* e successivi aggiornamenti e integrazioni;

[3] Norma EN 458 (1993) *“Protettori auricolari - Raccomandazioni per la selezione, l’uso, la cura e la manutenzione. Documento guida”*, tradotta in Italia con la UNI EN 458 (1995);

[4] Decreto Legislativo del 15/08/1991, n. 277 “Attuazione delle direttive n. 80/1107/CEE, n.82/605/CEE, n. 83/477/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell’art.7 della legge 30/07/1990, n. 212” e successivi aggiornamenti e integrazioni;

[5] Raccomandazione OSHA (Occupational Safety & Health Administration) n. 1910.95 App. B - *"Methods for estimating the adequacy of hearing protector attenuation"*;

[6] Norma UNI EN 24869/1 (1993) *"Acustica - Protettori auricolari - Metodo soggettivo per la misurazione dell'attenuazione sonora (ISO 4869-1: 1990)"*;

[7] <http://www.inail.it>

[8] <http://www.ispesl.it>

[9] <http://space.tin.it/scienza/stcasini/download/software.html>

[10] International Standard ISO 9612 (1997) *"Acoustics - Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment"*;

[11] C. Arcari, A. Zambonelli *"Strumentazione ed errore statistico nella valutazione dell'esposizione professionale a rumore"*; dBA '94 - Rumore e vibrazioni - Valutazione, Prevenzione e bonifica; Ed. Regione Emilia-Romagna & Az.USL di Modena, Bologna - Modena 1994

[12] S. Atzeri *"Sulla variabilità di $L_{ep,d}$ "*; dBA '94 - Rumore e vibrazioni - Valutazione, Prevenzione e bonifica; Ed. Regione Emilia-Romagna & Az.USL di Modena, Bologna - Modena 1994

[13] M. Sergenti *"Determinazione dell'errore statistico associato alle misure di L_{ep} "*; dBA '94 - Rumore e vibrazioni - Valutazione, Prevenzione e bonifica; Ed. Regione Emilia-Romagna & Az.USL di Modena, Bologna - Modena 1994

[14] B. Abrami *"Precisione ed accuratezza dei fonometri, errore statistico degli operatori. Necessità di una procedura normalizzata"*; dBA '94 - Rumore e vibrazioni - Valutazione, Prevenzione e bonifica; Ed. Regione Emilia-Romagna & Az.USL di Modena, Bologna - Modena 1994

[15] Norma UNI 9432 (1989) *"Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro"*;

[16] P. Nataletti, A. Pieroni, R. Sisto, M. Nesti; *"I rapporti di valutazione del rischio ex art. 40 D.Lgs.277/91: un bilancio indicativo dei primi cinque anni di applicazione e proposta normativa"*; Atti Congresso Nazionale AIDII, Faenza 1997;