

Francesco Leccese, Giacomo Salvadori, Michele Rocca, Nicola Spinelli

Valutazione del rischio da esposizione al rumore in un'officina meccanica e scelta dei dispositivi di protezione uditiva

Department of Energy engineering, Systems, Territory and Constructions, School of Engineering, University of Pisa, Pisa, Italy

RIASSUNTO. Nel presente lavoro gli Autori intendono descrivere e commentare criticamente, attraverso l'analisi di un caso di studio, le valutazioni necessarie per la selezione dei più adeguati dispositivi di protezione individuale uditivi per i lavoratori esposti al rumore nell'ambiente interno di lavoro con particolare riferimento alle metodologie di calcolo indicate nelle norme, di carattere internazionale, UNI EN ISO 9612 ed UNI EN 458.

Parole chiave: rischio rumore, dispositivi di protezione uditiva, livelli di esposizione al rumore.

ABSTRACT. In this study the Authors intended to describe and provide a critical remark of the necessary assessments for the selection of the most appropriate personal protective equipment. This selection has been made with reference to the calculation methods specified in the International Standard UNI EN ISO 9612 and UNI EN 458.

Key words: noise risk, hearing protection, levels of noise exposure.

1. Introduzione

Il rumore negli ambienti di lavoro rappresenta uno degli aspetti principali tra quelli inerenti l'igiene del lavoro (1-3). La continua meccanizzazione della produzione e l'introduzione di processi tecnologici avanzati ha portato un notevole incremento delle possibili fonti di rumore ed un aumento della percentuale di lavoratori esposti a questo fattore di rischio (4-7). In passato ci si adattava al rumore nell'ambiente di lavoro oppure lo si accettava come un inconveniente inevitabile. Oggi non è più così: in questi ultimi decenni si è assistito ad un generale miglioramento delle condizioni lavorative e ad una maggiore attenzione verso la sicurezza nei luoghi di lavoro e la salvaguardia della salute e della sicurezza dei lavoratori.

L'effetto più noto del rumore nei luoghi di lavoro è l'ipoacusia: la patologia professionale più diffusa in Europa (1, 4). Al fine di tutelare la salute del lavoratore e migliorare le condizioni di comfort durante lo svolgimento del lavoro, l'accurata valutazione del rischio rumore diviene quindi una attività indispensabile.

L'analisi delle procedure di valutazione del rischio rumore si fonda sulle indicazioni riportate nel D. Lgs. vo 81/2008 (DL81), Testo Unico di riferimento in materia di salute e sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro. Il DL81 integra e amplia le indicazioni dei precedenti Decreti Lgs. vi 195/2006 e 626/1994 e segna il passaggio da una logica prevalentemente risarcitoria ad una marcatamente preventiva riguardo al rischio rumore. In particolare nel DL81 l'argomento è trattato al Titolo VIII (Agenti fisici), Capo I (Disposizioni generali) e Capo II (Protezione dei lavoratori contro il rischio di esposizione al rumore durante il lavoro).

Per quanto riguarda i dispositivi di protezione individuale uditivi (DPIu) nel Decreto del Ministero del Lavoro del 2 maggio 2001 sono stati inizialmente precisati i criteri per l'individuazione e l'uso, ora contenuti nel DL81, all'Art. 193 (Titolo VIII, Capo II). Più in generale nel DL81 i dispositivi di protezione individuale sono trattati al Titolo III (Uso delle attrezzature di lavoro e dei dispositivi di protezione individuale), Capo II (Uso dei dispositivi di protezione individuale).

La normativa tecnica per l'applicazione di quanto contenuto nel DL81 ha subito negli ultimi anni continui ag-

Tabella 1. Normativa tecnica per l'attuazione del DL81 relativa alla scelta dei DPIu (ordinata per data)

| Norma | Titolo | Data |
|-----------------|---|--------------|
| UNI/TR 11450 | Acustica - Valutazione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro per lavoratori che utilizzano sorgenti sonore situate in prossimità dell'orecchio | Giugno 2012 |
| UNI EN ISO 9612 | Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale | Marzo 2011 |
| UNI 9432 | Acustica - Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro | Marzo 2011 |
| UNI/TR 11347 | Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro | Gennaio 2010 |
| UNI EN 458 | Protettori dell'udito - Raccomandazioni per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione - Documento guida | Giugno 2005 |

giornamenti e si presenta notevolmente articolata; in particolare quella relativa ai criteri di scelta, selezione ed utilizzo dei DPIu è elencata sinteticamente in Tab. I.

2. Il rischio rumore nell'ambiente di lavoro: il caso di studio di un'officina meccanica

Il rischio rumore nelle officine meccaniche è molto frequente in quanto, durante la lavorazione dei metalli (in particolare alluminio ed acciaio), i macchinari utilizzati costituiscono sorgenti di elevata rumorosità da cui possono conseguire livelli sonori superiori alle soglie previste dalla legge.

Con la finalità di descrivere la procedura con cui si effettua la valutazione del rischio rumore e si definiscono le strategie di riduzione del rischio, nel presente lavoro si considera, come esempio, il caso di studio di una officina meccanica dell'Università di Pisa.

La procedura di valutazione del rischio rumore e la successiva definizione di strategie per la riduzione del rumore stesso, in particolare attraverso l'utilizzo di DPIu, si articola nelle fasi elencate di seguito.

- Analisi generale del luogo di lavoro, necessaria a raccogliere le informazioni riguardanti la disposizione delle sorgenti rumorose e le caratteristiche di esposizione dei lavoratori, sia in termini di distanza dalla singola sorgente che in quelli di durata dell'esposizione.
- Analisi dell'emissione rumorosa delle sorgenti, effettuata generalmente attraverso misure acustiche *in situ* condotte con idonea strumentazione.
- Determinazione dei livelli di esposizione al rumore dei lavoratori e confronto con i rispettivi valori limite fissati dalla legislazione vigente.
- Individuazione di sistemi di protezione collettiva e valutazione della riduzione del rischio rumore conseguita attraverso il loro impiego.
- Selezione dei DPIu più adeguati e valutazione della riduzione del rischio rumore conseguita attraverso il loro corretto utilizzo (nell'eventualità che l'impiego dei dispositivi di protezione collettiva non risulti sufficiente).

La procedura descritta è stata applicata nella valutazione del rischio da esposizione al rumore in una officina meccanica della Scuola di Ingegneria dell'Università di Pisa (6), situata al piano terra di uno degli edifici del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni (Fig. 1). L'officina analizzata si

presenta come un unico ambiente, a pianta rettangolare ed altezza costante, in cui sono presenti sei diverse attrezzature da lavoro: una sega a nastro, una fresatrice, un trapano a colonna, un tornio, una mola da banco ed una smerigliatrice angolare (Fig. 2). Tutte le attrezzature sono utilizzate da un unico lavoratore, addetto alle macchine utensili e impiegato a tempo pieno.



Figura 1. Immagine fotografica dell'officina meccanica oggetto di studio

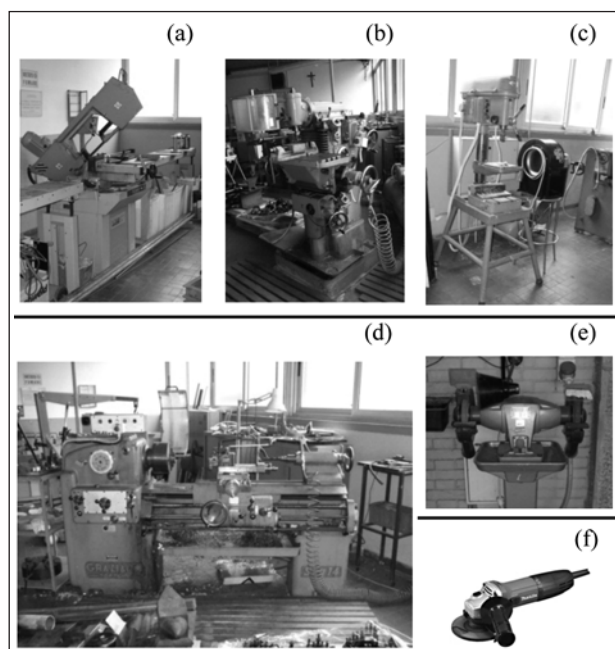


Figura 2. Attrezzature presenti nell'officina meccanica esaminata: (a) sega a nastro, (b) fresatrice, (c) trapano a colonna, (d) tornio, (e) mola da banco, (f) smerigliatrice angolare

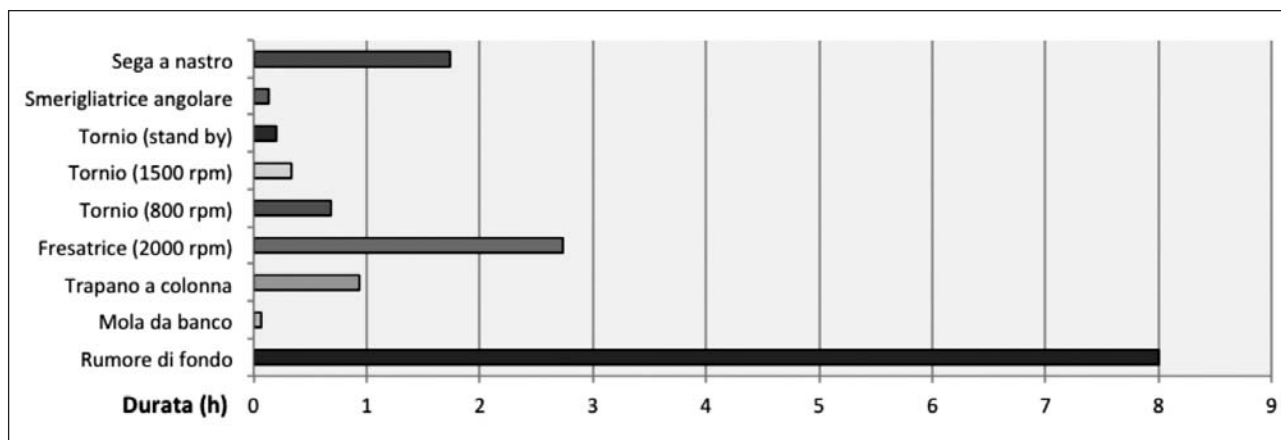


Figura 3. Tempi di utilizzo delle macchine utensili nella giornata lavorativa tipo analizzata

La valutazione dell'esposizione al rumore del lavoratore è stata ottenuta considerando il profilo di lavoro della giornata tipo. Il lavoratore nella sua giornata tipo (giornata lavorativa di otto ore per cinque giorni settimanali) riferisce di eseguire una serie di lavorazioni per i tempi indicati schematicamente nel grafico di Fig. 3. Ai fini della valutazione del rischio rumore si sono considerate 6 ore e 45 minuti di effettivo lavoro ed 1 ora e 15 minuti dedicata alla pianificazione del lavoro, al controllo del lavorato, alla manutenzione ordinaria delle attrezzature ed alle (eventuali) pause di riposo. In quest'ultimo arco di tempo il lavoratore rimane all'interno dell'officina e può considerarsi esposto al rumore di fondo misurato nell'ambiente interno con le macchine utensili spente.

La valutazione del rumore è stata effettuata scegliendo la strategia di misurazione basata sui compiti (UNI EN ISO 9612) essendo il lavoro, svolto durante la giornata lavorativa, facilmente divisibile in un numero di compiti rappresentativi delle differenti lavorazioni, ciascuna con caratteristiche di emissione sonora chiaramente individuabili. La durata di ciascun compito è stata determinata eseguendo più misure di durata del compito e calcolando la media aritmetica.

Le misure acustiche *in situ* sono state effettuate con fonometro integratore di Classe 1 tipo Brüel&Kjær - Modello 2250, ripetendo tre misure complete di durata pari ad almeno 5 minuti per ciascun compito come previsto nella UNI EN ISO 9612. Per le misure sul trapano a colonna e sulla mola da banco, essendo le lavorazioni di durata inferiore a 5 minuti, sono state effettuate misure delle intere lavorazioni. Inoltre, per ognuno dei compiti, è stato verificato che i risultati delle misure non differissero tra loro per più di 3 dB, diversamente sarebbero state necessarie ulteriori misure o differenti strategie di misurazione.

Poiché il lavoratore durante la misura non poteva essere allontanato dalla postazione di lavoro, lo strumento è stato posto ad una distanza di 10÷15 cm dall'orecchio, dalla parte di maggiore esposizione (come previsto nella normativa vigente). I livelli sonori equivalenti $L_{eq,i}$ dell'iesimo compito sono stati calcolati utilizzando la seguente relazione:

$$L_{eq,i} = 10 \cdot \text{Log} \left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n 10^{L_{eq,Tj}/10} \right] \quad (1)$$

dove n rappresenta il numero di misure ed $L_{eq,Tj}$ il livello equivalente relativo alla j -esima misura. In Tab. II sono riportati i valori medi dei livelli sonori equivalenti in scala di ponderazione A e C ed i valori medi dei livelli sonori di picco di ciascuna lavorazione. Per completezza in Tab. II sono anche riportati i risultati delle misure relative al rumore di fondo. Si osservi che i livelli equivalenti sonori (L_{Aeq} , L_{Ceq}) risultano massimi per le lavorazioni alla smerigliatrice angolare, mentre il livello di picco (L_{picco}) è massimo per le lavorazioni alla mola da banco.

Tabella II. Valori medi ottenuti dalle misure acustiche in situ

| Sorgente sonora | Durata (minuti) | L_{Aeq} (dBA) | L_{Ceq} (dBC) | L_{picco} (dBC) |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Sega a nastro | 100 | 81 | 80 | 93 |
| Smerigliatrice angolare | 8 | 102 | 100 | 106 |
| Tornio (stand by) | 12 | 60 | 64 | 74 |
| Tornio (1500 rpm) | 20 | 79 | 79 | 93 |
| Tornio (800 rpm) | 41 | 74 | 75 | 87 |
| Fresatrice (2000 rpm) | 164 | 83 | 83 | 95 |
| Trapano a colonna | 56 | 89 | 88 | 96 |
| Mola da banco | 4 | 100 | 99 | 107 |
| Rumore di fondo | 480 | 42 | 61 | 70 |

3. Valutazione del rischio rumore

Come indicato nel DL81 si è proceduto alla determinazione del livello di esposizione giornaliera al rumore ($L_{EX,8h}$), comprensivo dell'incertezza estesa (relativa in particolare al campionamento, alla strumentazione, al posizionamento del microfono, come definita nella UNI EN ISO 9612) e alla determinazione del livello di picco (L_{picco}), comprensivo anch'esso dell'incertezza estesa (relativa in particolare al tipo di strumentazione e al posizionamento del microfono).

Considerando la media ponderata, rispetto ai tempi di esposizione, dei livelli equivalenti L_{Aeq} misurati per le

varie lavorazioni, il livello $L_{EX,8h}$ è stato calcolato con la relazione:

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \text{Log} \left[\frac{1}{T_0} \cdot \sum_{i=1}^n (T_i \cdot 10^{L_{Aeq,i}/10}) \right] \quad (2)$$

dove $L_{Aeq,i}$ è il livello equivalente in dB(A) relativo all'i-esima lavorazione, T_i il tempo di esposizione dell'i-esima lavorazione della giornata e T_0 le ore giornaliere complessive di lavoro ($T_0=8$ h).

L'incertezza estesa relativa all'esposizione giornaliera è stata valutata con la relazione:

$$U(L_{EX,8h}) = k \cdot u(L_{EX,8h}) \quad (3)$$

dove k è un fattore di copertura assunto pari a 1,65 corrispondente ad un intervallo di confidenza del 95% (in accordo con quanto previsto nella UNI EN ISO 9612) ed $u(L_{EX,8h})$ è calcolato con la seguente:

$$u(L_{EX,8h}) = \sqrt{\sum_{m=1}^M [c_{1a,m}^2 \cdot (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} \cdot u_{1b,m})^2]} \quad (4)$$

con m generico compito lavorativo, $u_{1a,m}$ incertezza standard relativa al campionamento del livello di rumore del singolo compito, $u_{1b,m}$ incertezza standard relativa alla stima della durata del compito, $u_{2,m}$ incertezza standard relativa alla strumentazione usata nell'analisi fonometrica del compito, u_3 incertezza standard dovuta al posizionamento del microfono, $c_{1a,m}$ e $c_{1b,m}$ coefficienti di sensibilità relativi al compito.

L'incertezza estesa relativa al livello di picco è stata calcolata, con ovvio significato dei simboli, con la relazione:

$$U(L_{picco}) = k \cdot u(L_{picco}) \quad (5)$$

dove k è un fattore di copertura assunto pari a 1,65 ed $u(L_{picco})$ è calcolato con la seguente:

$$u(L_{picco}) = \sqrt{u_3^2 + u_{2,m}^2} \quad (6)$$

I valori ottenuti per il caso in esame, comprensivi dell'incertezze estese, risultano quindi: $L_{EX,8h}=88$ dB(A) ed $L_{picco}=110$ dB(C).

Dal grafico a torta riportato in Fig. 4, inerente l'influenza percentuale delle varie lavorazioni sul calcolo di $L_{EX,8h}$, si può osservare che la lavorazione alla smerigliatrice angolare (per una durata di 8 minuti), pesa per circa il 50% sul livello complessivo, mentre per esempio

la mola da banco (durata 4 min) incide per il 14% e la fresatrice (durata 2 ore e 44 min) pesa appena per il 13%. Il rumore di fondo, sempre presente durante la giornata lavorativa, risulta ininfluenza. Da ciò risulta chiaramente come le caratteristiche di emissione delle singole sorgenti possano influenzare, in maniera significativamente differente, i livelli espositivi cui è sottoposto il lavoratore, risultando più pericolosi rumori di livello elevato anche se di breve durata rispetto a quelli di livello meno elevato ma durata più lunga.

Il confronto tra i valori ottenuti per i parametri L_{EX} e L_{picco} ed i relativi valori limite, riportati all'Art. 189 del DL81, permette di classificare il livello di rischio rumore nelle quattro classi indicate in Tab. III. Le classi, dalla Classe 0 alla Classe 3, sono caratterizzate da un livello di rischio crescente; per esempio con la Classe 0 si esprime un rischio trascurabile e con la Classe 3 si esprime un rischio inaccettabile. Considerando quindi i risultati ottenuti per il caso di studio, il lavoratore sarà sottoposto ad un rischio di Classe 1 in relazione al valore $L_{picco}=110$ dB(C) e ad un rischio di Classe 3 in relazione al valore $L_{EX}=88$ dB(A).

Con riferimento alla Classe 3 il datore di lavoro dovrà, di conseguenza, adottare misure atte alla riduzione del rischio rumore privilegiando quelle rivolte alla collettività rispetto a quelle per l'individuo e scegliendo

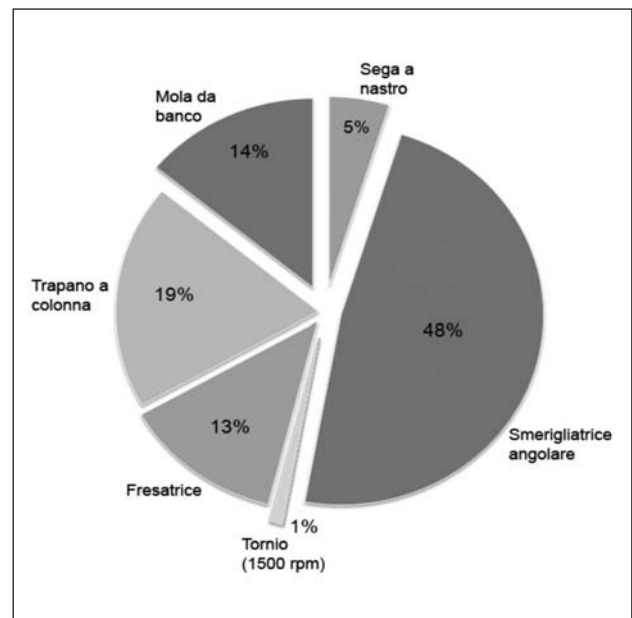


Figura 4. Influenza percentuale delle varie lavorazioni sul valore di $L_{EX,8h}$ (le lavorazioni non indicate nel grafico non influenzano significativamente il valore $L_{EX,8h}$)

Tabella III. Classificazione del rischio rumore in base ai valori ottenuti per L_{EX} e L_{picco}

| Valore di L_{EX} ottenuto dalle misure (dBA) | Valore di L_{picco} ottenuto dalle misure (dBC) | Classe di Rischio Rumore |
|--|---|--------------------------|
| $L_{EX} \leq 80$ | $L_{picco} \leq 135$ | 0 Trascurabile |
| $80 < L_{EX} \leq 85$ | $135 < L_{picco} \leq 137$ | 1 Bassa |
| $85 < L_{EX} \leq 87$ | $137 < L_{picco} \leq 140$ | 2 Media |
| $L_{EX} > 87$ | $L_{picco} > 140$ | 3 Inaccettabile |

Tabella IV. Stima della protezione fornita dal DPIu (UNI EN 458)

| Livello sonoro effettivo L'_A all'orecchio del lavoratore che indossa il DPIu (dBA) | | Stima della protezione fornita dal DPIu |
|---|---------|---|
| Maggiore di L_{ACT} | > 85 | Insufficiente |
| Tra L_{ACT} ed $(L_{ACT} - 5)$ | 80 ÷ 85 | Accettabile |
| Tra $(L_{ACT} - 5)$ e $(L_{ACT} - 10)$ | 75 ÷ 80 | Buona |
| Tra $(L_{ACT} - 10)$ e $(L_{ACT} - 15)$ | 70 ÷ 75 | Accettabile |
| Minore di $(L_{ACT} - 15)$ | < 70 | Troppo alta (iperprotezione) |

la soluzione che rappresenti il miglior compromesso tra valutazione della fattibilità, analisi dei costi e benefici ottenibili. Nel semplice caso di studio esaminato, essendo presente un solo lavoratore, l'intervento di riduzione del rischio potrebbe realizzarsi dotando il lavoratore di adeguati DPIu (otoprotettori).

All'Art. 193 del DL81 infatti, con riferimento alle azioni da compiere a cura del datore del lavoro per ridurre l'esposizione al rumore, si precisa che, nel caso in cui si raggiunga o si superi il valore $L_{EX}=85$ dB(A), il datore di lavoro "esige che i lavoratori utilizzino i dispositivi di protezione individuale dell'udito". Con lo stesso scopo nella UNI EN 458 viene definito il livello di azione L_{ACT} come il livello oltre il quale devono essere obbligatoriamente indossati gli otoprotettori. Sulla base delle vigente legislazione nazionale (cfr. DL81) risulta:

$L_{ACT}=85$ dB(A), cfr. Tab. IV. La stima della protezione (o attenuazione sonora) fornita da un particolare DPIu in una specifica situazione di rumore viene quindi determinata sulla base dei valori di L_{ACT} come indicato nella UNI EN 458 (v. Tab. IV), al fine di valutare il livello effettivo (L'_A) di rumore all'orecchio quando il lavoratore indossa il DPIu. Come esempio sono state prese in esame le attività lavorative alla smerigliatrice angolare ed alla mola da banco, caratterizzate da emissioni sonore elevate. Nelle Figg. 5 e 6, oltre alle caratteristiche tecniche delle due attrezzature da lavoro esaminate, si riportano l'analisi spettrale, relativa ad un istante della misura, del livello di pressione sonora misurato con costante di tempo Fast (125 ms) e gli andamenti dei livelli equivalenti sonori (ponderati A e C), con passo temporale di 1 secondo (mediati sui vari campionamenti effettuati).

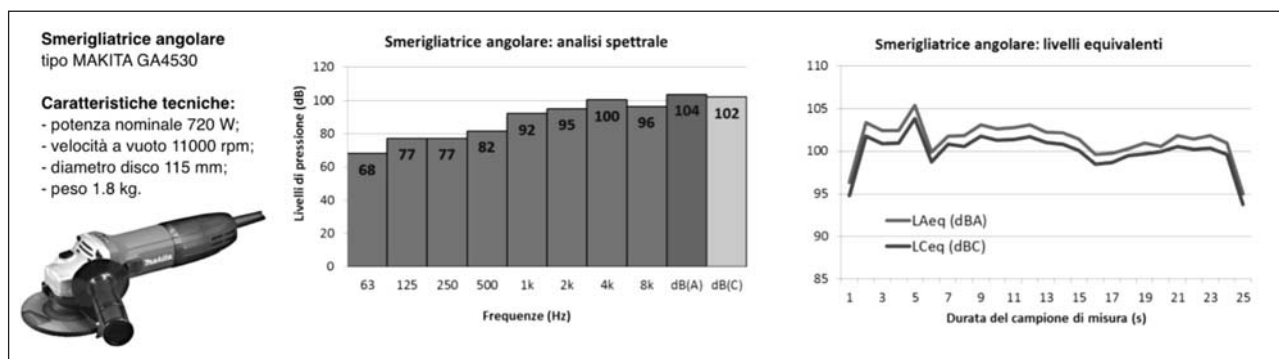


Figura 5. Smerigliatrice angolare: caratteristiche tecniche, rappresentazione grafica dell'analisi spettrale relativa ad un istante del livello di pressione sonora misurato con costante di tempo Fast (125 ms) e andamenti dei livelli equivalenti sonori (ponderati A e C) con passo temporale di 1 secondo (mediati sui vari campionamenti effettuati)

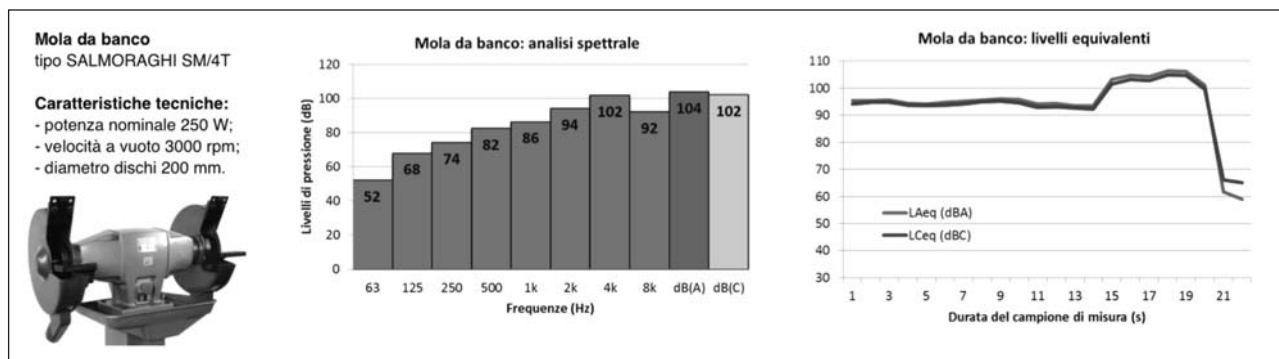


Figura 6. Mola da banco: caratteristiche tecniche, rappresentazione grafica dell'analisi spettrale relativa ad un istante del livello di pressione sonora misurato con costante di tempo Fast (125 ms), andamenti dei livelli equivalenti sonori (ponderati A e C) con passo temporale di 1 secondo (mediati sui vari campionamenti effettuati)

4. Scelta dei DPIu

Ai fini della valutazione dell'idoneità di un determinato DPIu rispetto ad una specifica lavorazione, si procede quindi calcolando il livello sonoro L'_A . Per il caso di studio, il calcolo di L'_A è stato effettuato utilizzando i metodi descritti nella UNI EN 458, in particolare: il metodo in bande di ottava (OBM, *Octave Band Method*), il metodo degli indici alto medio basso (HML, *High Medium Low*) e il metodo dell'indice unico (SNR, *Single Number Rating*). Il metodo OBM richiede la conoscenza dei livelli sonori emessi alle frequenze centrali di bande di ottava e dell'attenuazione fornita dall'otoprotettore alle corrispondenti frequenze. Il livello sonoro effettivo a valle dell'otoprotettore (L'_A) si determina attraverso la seguente relazione:

$$L'_A = 10 \cdot \text{Log} \sum_f 10^{(L_f + A_f - APV_f)/10} \quad (7)$$

dove f è la frequenza centrale della banda di ottava considerata, L_f è il livello di pressione acustica alla frequenza f , A_f è la ponderazione in scala A ed APV_f è il valore di attenuazione sonora dell'otoprotettore alla frequenza f .

Il metodo HML prevede di individuare la relazione per il calcolo della riduzione del livello di pressione sonora prevista (PNR) in funzione della differenza tra il livello di pressione acustica ponderato C (L_C) ed il livello di pressione acustica ponderato A (L_A):

per $L_C - L_A \leq 2$ dB si ha:

$$PNR = M - \frac{H - M}{4} (L_C - L_A - 2) \quad (8)$$

per gli altri casi si ha:

$$PNR = M - \frac{M - L}{8} (L_C - L_A - 2) \quad (9)$$

dove H , M , L sono i valori di attenuazione dell'otoprotettore analizzato relativi alle alte, medie e basse frequenze, in genere forniti dal produttore e dichiarati sulla confezione e sulla scheda tecnica. Il livello effettivo di pressione sonora all'orecchio del lavoratore (L'_A) si determina quindi con la seguente relazione:

$$L'_A = L_A - PNR \quad (10)$$

Infine il metodo SNR prevede di sottrarre al livello di pressione sonora ponderato C del compito in esame, l'indice SNR fornito dal produttore per l'otoprotettore analizzato. In questo caso il livello effettivo di pressione sonora all'orecchio del lavoratore (L'_A) si determina con la seguente relazione:

$$L'_A = L_C - SNR \quad (11)$$

I risultati ottenuti con i vari metodi, utilizzando tre diversi otoprotettori (cuffie, inserti preformati e inserti espandibili) con le caratteristiche precisate in Tab. V, sono stati di seguito confrontati e discussi. Si tenga presente che per considerare la reale protezione fornita dai DPIu si dovranno moltiplicare i valori di attenuazione dati dal produttore per i coefficienti di correzione (β) previsti nella UNI 9432 ($\beta=0,75$, $0,50$ e $0,30$ rispettivamente per cuffie, inserti espandibili ed inserti preformati). I risultati del calcolo potranno essere utilmente confrontati con i valori limite come precisati in Tab. IV (UNI EN 458), in accordo con quanto previsto nel DL81.

Come esempio si riporta la valutazione della riduzione del rumore ottenuta durante la lavorazione alla smerigliatrice angolare mediante l'impiego di cuffie protettive (v. Tab. Va). I risultati dei calcoli ottenuti con i metodi OBM, HML e SNR sono riportati nelle Tabb. VI, VII ed VIII.

Per calcolare il livello effettivo di pressione sonora L'_A con il metodo OBM (v. Tab. VI) è stato determinato il livello di pressione sonora (medio tra le misure effettuate

Tabella V. Valori di attenuazione forniti dai produttori dei DPIu scelti: a) cuffie, b) inserti auricolari preformati, c) inserti auricolari espandibili




| | | Frequenza (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
|----|---|--------------------------|----|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| a) |  | Attenuazione media (dB) | | 11,2 | 17,4 | 29,7 | 36,2 | 37,3 | 34,7 | 35,7 | |
| | | Deviazione standard (dB) | | 3,7 | 3,8 | 2,5 | 3,1 | 3,6 | 3,2 | 3,7 | |
| | | Protezione prevista (dB) | | 7,5 | 13,6 | 27,2 | 33,1 | 33,7 | 31,5 | 32,0 | |
| | | | | SNR=27dB; H=33dB, M=25dB, L=15dB | | | | | | | |
| b) |  | Attenuazione media (dB) | | 3,9 | 2,9 | 4,3 | 8,3 | 18,3 | 26,9 | 31,4 | 29,9 |
| | | Deviazione standard (dB) | | 3,0 | 1,9 | 1,7 | 3,0 | 2,2 | 2,2 | 3,4 | 3,9 |
| | | Protezione prevista (dB) | | 0,9 | 1,0 | 2,6 | 5,3 | 16,1 | 24,7 | 28,0 | 26,0 |
| | | | | SNR=14dB; H=22dB, M=10dB, L=5dB | | | | | | | |
| c) |  | Attenuazione media (dB) | | 22,3 | 23,3 | 24,6 | 26,9 | 27,4 | 34,1 | 41,6 | 40,4 |
| | | Deviazione standard (dB) | | 5,4 | 5,3 | 3,6 | 5,4 | 4,8 | 3,1 | 3,5 | 6,4 |
| | | Protezione prevista (dB) | | 16,9 | 18,1 | 20,9 | 21,5 | 22,6 | 30,9 | 38,1 | 34,0 |
| | | | | SNR=28dB; H=30dB, M=24dB, L=22dB | | | | | | | |

Tabella VI. Metodo OBM, calcolo del livello sonoro effettivo L'_A (dBA) a cui è sottoposto il lavoratore alla smerigliatrice angolare e che indossa le cuffie

| f | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-------------------------|----------|-------|------|------|------|------|-------|------|
| L_f | 68,1 | 77,1 | 77,1 | 81,6 | 92,1 | 95,0 | 100,3 | 96,4 |
| A_f | -26,2 | -16,1 | -8,6 | -3,2 | 0 | 1,2 | 1 | 1,1 |
| Attenuazione dichiarata | — | 7,5 | 13,6 | 27,2 | 33,1 | 33,7 | 31,5 | 32 |
| APV_f | — | 5,6 | 10,2 | 20,4 | 24,8 | 25,3 | 23,6 | 24 |
| $L_f + A_f - APV_f$ | — | 55,4 | 58,3 | 58,0 | 67,3 | 70,9 | 77,7 | 71,3 |
| L'_A | 80 dB(A) | | | | | | | |

Tabella VII. Metodo HML, calcolo del livello sonoro effettivo L'_A (dBA) a cui è sottoposto il lavoratore alla smerigliatrice angolare e che indossa le cuffie

| Indici | H (dB) | M(dB) | L(dB) |
|-------------------------|-----------|-------|-------|
| Attenuazione dichiarata | 33 | 25 | 15 |
| Attenuazione corretta | 24,75 | 18,75 | 11,25 |
| PNR | 25 dB | | |
| L_C | 100 | | |
| L_A | 102 | | |
| L'_A | 77 dB (A) | | |

Tabella VIII. Metodo SNR, calcolo del livello sonoro effettivo L'_A (dBA) a cui è sottoposto il lavoratore alla smerigliatrice angolare e che indossa le cuffie

| Indice | SNR (dB) |
|-------------------------|----------|
| Attenuazione dichiarata | 27 |
| Attenuazione corretta | 20 |
| L_C | 100 |
| L'_A | 80 dB(A) |

sulla lavorazione) alle frequenze centrali di banda di ot-tava (L_p), la ponderazione in scala A (A_p) e l'attenuazione effettiva del dispositivo di protezione alle varie frequenze (APV_p). Quest'ultima è stata calcolata moltiplicando l'attenuazione dichiarata dal produttore per il coefficiente correttivo β (per le cuffie $\beta=0,75$). Con i valori così calcolati utilizzando la relazione (7), è stato ottenuto il livello sonoro sotto l'otoprotettore (L'_A) pari a 80 dB (v. Tab VI).

Con il metodo HML (v. Tab. VII) si deve inizialmente determinare la differenza tra il livello di pressione sonora ponderata C ed il livello di pressione sonora ponderata A.

Nel caso in esame le misure (v. Tab II) hanno fornito rispettivamente 100 dB(C) e 102 dB(A), di conseguenza la loro differenza è risultata pari a -2 dB. A questo punto è stato calcolato PNR scegliendo la relazione (8), ed inserendo i valori di H, M, L forniti dal produttore ($H=33$ dB, $M=25$ dB, $L=15$ dB) moltiplicati per il coefficiente correttivo β , v. Tab VII. Il livello effettivo di pressione sonora all'orecchio del lavoratore (L'_A) è stato infine determinato con la relazione (10) ed è risultato pari a 77dB(A), v. Tab. VII.

Infine per il metodo SNR (v. Tab. VIII) è stato sottratto al livello di pressione sonora ponderato C (ottenuto dalla media pesata delle misurazioni), l'indice SNR fornito dal produttore ($SNR=27$ dB) anch'esso corretto con il coefficiente β . Il livello di pressione sonora L'_A è stato quindi determinato applicando la relazione (11) ed è risultato pari a 80 dB, v. Tab. VIII.

In Tab. IX sono riassunti i risultati della valutazione delle riduzioni del livello sonoro ottenute con i tre diversi otoprotettori durante le diverse lavorazioni. Dai risultati ottenuti è emerso che sia per la smerigliatrice angolare che per la mola da banco (v. Tab. IX) la protezione stimata fornita dalle cuffie risulta essere buona (v. Tab. IV) e si può affermare che il DPIu scelto risulta idoneo per le lavorazioni a queste macchine utensili. Tuttavia eseguendo i calcoli con lo stesso DPIu anche nel caso delle lavorazioni alle altre macchine utensili (sega a nastro, fresatrice, trapano a colonna, v. Tab. IX) si osserva come la protezione risulti troppo alta (v. Tab IV) comportando nella maggior parte dei casi una iperprotezione. Le cuffie in quest'ultimo caso non sono il dispositivo più idoneo da fornire all'operatore che potrebbe avere difficoltà nel recepire comunicazioni verbali o segnali di pericolo e, più in generale, provare un senso di eccessiva alienazione dal contesto. Per queste lavorazioni occorre quindi procedere valutando la scelta di un altro DPIu, che fornisca un'attenuazione meno elevata.

Tabella IX. Livelli sonori L'_A (dBA) a cui è sottoposto il lavoratore che indossa le cuffie, ottenuti con diversi metodi di calcolo

| Metodo di calcolo per L'_A | Smerigliatrice angolare | Mola da banco | Sega a nastro | Fresatrice | Trapano a colonna |
|------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|------------|-------------------|
| OBM | 80 | 80 | 58 | 67 | 71 |
| HML | 77 | 76 | 58 | 61 | 65 |
| SNR | 80 | 78 | 60 | 63 | 67 |

Tabella X. Livelli sonori LA' (dBA) a cui è sottoposto il lavoratore che indossa gli inserti auricolari, ottenuti con diversi metodi di calcolo

| Metodo di calcolo per L'A | Inserti auricolari preformati (v. Tab. Vb) | | | Inserti auricolari espandibili (v. Tab. Vc) | | |
|---------------------------|--|------------|-------------------|---|------------|-------------------|
| | Sega a nastro | Fresatrice | Trapano a colonna | Sega a nastro | Fresatrice | Trapano a colonna |
| OBM | 74 | 84 | 87 | 65 | 76 | 79 |
| HML | 76 | 78 | 83 | 70 | 73 | 78 |
| SNR | 76 | 79 | 83 | 66 | 69 | 74 |

Si considerino ad esempio degli inserti auricolari, nei tipi preformati (v. Tab. Vb) ed espandibili (v. Tab. Vc). Ripetendo i calcoli in questi due casi si ottengono i risultati riassunti in Tab. X. Dal confronto dei valori di Tab. X (per gli inserti) con quelli riportati in Tab. IX (per le cuffie), la scelta del DPIu deve essere condotta in maniera attenta poiché in funzione del tipo di inserto auricolare e del tipo di lavorazione, la protezione offerta può risultare significativamente variabile passando da insufficiente (p.e. gli inserti preformati per il trapano a colonna, calcolo con Metodo OBM) a troppo elevata (p.e. gli inserti espandibili per la sega a nastro, calcolo con Metodo SNR). In Tab. X risultano inoltre chiaramente evidenti gli scostamenti tra i valori di protezione ottenuti utilizzando i differenti metodi di calcolo proposti nella normativa.

Infine dall'analisi dei risultati di calcolo riportati in Tab. X è possibile affermare che per la lavorazione alla sega a nastro ed alla fresatrice gli inserti auricolari preformati risultano il dispositivo più idoneo, mentre per la lavorazione al trapano a colonna risulta più opportuno l'utilizzo degli inserti espandibili.

5. Conclusioni

Con la finalità di descrivere la procedura con cui si effettua la valutazione del rischio rumore e si definiscono le strategie di riduzione del rischio, nel presente lavoro è stato analizzato il caso di studio di una officina meccanica del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi e del Territorio e delle Costruzioni (DESTeC) dell'Università di Pisa. La maggioranza delle macchine presenti nell'officina meccanica oggetto di studio è a comando manuale ed in servizio da più di 10 anni.

Dalle misure effettuate *in situ* e dal profilo temporale di lavoro della giornata tipo, è stato possibile osservare che l'operatore addetto alle macchine utensili è esposto a livelli sonori decisamente elevati, soprattutto in caso di permanenza, anche breve, davanti ad attrezzature quali smerigliatrice angolare, mola da banco, trapano a colonna, fresatrice e sega a nastro.

Come principio generale al fine di ridurre l'esposizione al rumore dei lavoratori le misure di protezione collettiva sono prioritarie rispetto alle misure di protezione individuali; si possono ottenere separando le attività rumorose da quelle che non lo sono tramite pareti costituite da materiali fonoassorbenti e fonoisolanti, oppure insonorizzando l'ambiente di lavoro e, ove possibile, le sorgenti

di rumore. Tuttavia, quest'ultima soluzione è di difficile gestione: si pensi ad esempio alla sega a nastro ove i pezzi da sottoporre a lavorazione hanno misure variabili in un campo decisamente ampio. Una soluzione frequentemente adottata in ambienti analoghi al caso di studio è l'utilizzo dei DPIu, specifici a seconda del tipo di lavorazione effettuata, con i quali si ha una buona protezione dal rischio rumore, rispettando i valori limite previsti dal DL81. Tuttavia è opportuno ricordare che il lavoratore non può essere costretto cautelativamente ad indossare gli otoprotettori per tutta la giornata lavorativa e che i DPIu debbono essere correttamente dimensionati in funzione degli effettivi livelli di esposizione, al fine di non ottenere una protezione insufficiente o al contrario troppo elevata.

Dall'analisi condotta è possibile trarre le considerazioni riportate nel seguito.

- La valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro e la scelta dei DPIu più adeguati in riferimento alle lavorazioni che si eseguono con attrezzature da lavoro rumorose, risulta una attività specialistica che richiede approfondite conoscenze in materia di acustica, di misurazioni fonometriche e metodologie di calcolo.
- Le caratteristiche di emissione delle singole sorgenti influenzano in maniera significativamente differente i livelli espositivi a cui è sottoposto il lavoratore risultando più pericolosi rumori di breve durata ma elevata intensità rispetto a quelli di durata più lunga ma intensità più contenuta.
- Il DPIu selezionato dovrebbe avere caratteristiche di attenuazione tali da ridurre il livello di rumore percepito all'orecchio del lavoratore al di sotto di $L_{EX}=80$ dB(A), evitando fenomeni di iperprotezione cui possono conseguire senso di isolamento e difficoltà nel recepire comunicazioni verbali o avvertire segnali di pericolo.
- Valutando l'attenuazione sonora con un metodo di calcolo più dettagliato (OBM) oppure meno dettagliato (SNR) possono essere evidenziati scostamenti sulla protezione uditiva prevista da uno stesso DPIu.

Bibliografia

- 1) ISPESL, Linee guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro, Luglio 2005 (<http://www.ispesl.it/documentazione/linee.asp>).
- 2) AA VV. Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro - Manuale operativo, Novembre 2012 (<http://www.lavoro.gov.it/lavoro/sicurezza/lavoro>).

- 3) AA VV. Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro - Schede di approfondimento, Novembre 2012 (<http://www.lavoro.gov.it/lavoro/sicurezzaalavoro>).
- 4) Campurra G, Rotella A. Il rischio rumore negli ambienti di lavoro, IPSOA - Wolters Kluwer Italia, 2013.
- 5) Carrai P, Rocchi C. Il rischio da esposizione al rumore nelle falegnamerie artigiane, Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Gennaio 2013, 1:4, 23-29.
- 6) Spinelli N. Il rumore negli ambienti di lavoro - Il caso di studio di un'officina meccanica della Facoltà di Ingegneria di Pisa, Tesi di Laurea in Ingegneria Edile (relatori: F. Leccese, G. Salvadori), Università di Pisa, Febbraio 2013.
- 7) Leccese F, Salvadori G, Bertozzi M, Spinelli N. Procedure di valutazione del rischio rumore: sorgenti sonore, misure fonometriche in situ e dispositivi di protezione per l'udito. AIDII 2013 - Atti del 30° Congresso Nazionale dell'Ass.ne It. degli Igienisti Industriali, Modena, Giugno 2013, pubbl.: AIDII (Milano), ISBN: 978-88-86293-22-8, pp. 429-435.

Corrispondenza: Michele Rocca, e-mail: michele.rocca.au@gmail.com