

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE



LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE

Pubblicazione realizzata da

INAIL

Dipartimento Innovazioni Tecnologiche
e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici (DIT)

a cura di

Raffaele Sabatino, *DIT*

collaborazione di

Michele Del Gaudio, *Inail Unità Operativa Territoriale (UOT) di Avellino*

revisione scientifica di

Pietro Nataletti, *Inail Dipartimento di Medicina, Epidemiologia,
Igiene del Lavoro ed Ambientale (DiMEILA)*

per informazioni

INAIL

Dipartimento Innovazioni Tecnologiche
e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici
Via Alessandria, 220/E - 00198 Roma
dit@inail.it
www.inail.it

© 2015 INAIL

La pubblicazione viene distribuita gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

ISBN 978-88-7484-462-3

Tipolitografia INAIL - Milano, finito di stampare nel mese di settembre 2015

INDICE

Capitolo 1 – Introduzione	6
1.1 Gli agenti fisici	6
1.2 Il titolo VIII del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i	7
Capitolo 2 - Il rischio rumore	10
2.1 Generalità	11
2.2 Il rischio rumore nel d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i	13
2.3 Il livello sonoro continuo equivalente L_{Aeq}	15
2.4 Il calcolo dei livelli sonori equivalenti $L_{EX,8h}$ e $L_{EX,w}$	16
2.5 Il livello sonoro di picco L_{picco} dB(C)	17
2.6 La valutazione del rischio rumore	18
2.7 La normativa tecnica	22
2.8 La norma UNI 9432:2011	23
2.8.1 Livello di esposizione al rumore giornaliero e settimanale ($L_{EX,8h}$ e $L_{EX,w}$)	25
2.9 Le tipologie di rumore	25
2.10 Le strategie di misura	27
2.10.1 misurazioni basate sulle attività (compiti)	28
2.10.2 misurazioni basate sulle mansioni	30
2.10.3 misurazioni a giornata intera	32
2.11 Le strumentazioni di misura	33
2.12 Le incertezze	37
2.12.1 Calcolo dell'incertezza estesa $U(L_{EX,8h})$ secondo la norma UNI EN ISO 9612:2011	37
2.12.2 Calcolo dell'incertezza combinata standard - strategia basata sui compiti	38
2.12.3 Calcolo dell'incertezza sul livello sonoro di picco, L_{picco}	39
2.12.4 Calcolo dell'incertezza per l'esposizione settimanale	40
2.12.5 Calcolo dell'incertezza combinata standard - strategia basata sulle mansioni	40
2.12.6 Calcolo dell'incertezza combinata standard - strategia a giornata intera	41
2.12.7 Gestione dell'incertezza estesa $U(L_{EX,8h})$ secondo la norma UNI 9432:2011	43
2.13 I DPI uditivi	44
2.13.1 La verifica dell'idoneità dei DPI-u	44
2.13.2 Il metodo per banda d'ottava (OBM)	46
2.13.3 Il metodo HML	46
2.13.4 Il metodo SNR	47
2.13.5 La valutazione dell'attenuazione sonora di un DPI-u per rumori impulsivi	48
2.13.6 La verifica dell'adeguatezza a DPI-u indossato	49
2.13.7 L'efficacia dei DPI-u	50
2.13.8 Esempio applicativo	51
Capitolo 3 - La valutazione del rischio	54
3.1 I livelli di esposizione al rumore e le relative classi di rischio	54
3.1.1 L_{EX} e L_{Aeq} : concetti diversi	56
3.2 L'esposizione concomitante a sostanze ototossiche e/o a vibrazioni (HAV o WBV)	57
3.2.1 Interazione rumore e sostanze ototossiche	57

3.2.2	<i>Interazione tra rumore e vibrazioni</i>	58
3.2.3	<i>Interazione tra rumore e componenti impulsive</i>	58
3.2.4	<i>Proposta per valutare l'interazione tra rumore, sostanze ototossiche e vibrazioni</i>	58
3.2.5	<i>Interazione tra rumore e segnali di avvertimento acustico</i>	59
3.2.6	<i>L'emissione acustica delle macchine</i>	60
3.3	La mappatura acustica	64
3.4	Il P.A.R.E.	66
3.4.1	<i>La struttura della norma UNI 11347:2015</i>	69
3.4.2	<i>Esempio di una scheda di sintesi di una situazione di rischio contenuta nel P.A.R.E.</i>	71
3.5	Le misure di prevenzione	72
3.5.1	<i>Classe di rischio BASSA</i>	73
3.5.2	<i>Classe di rischio MEDIA</i>	73
3.5.3	<i>Classe di rischio ALTA</i>	73
3.5.4	<i>Esposizione INACCETTABILE</i>	74
Appendice		75
A.1	I criteri acustici di acquisto di macchine, attrezzature e impianti	76
A.1.1	<i>Un possibile capitolato di acquisto di una macchina</i>	76
A.1.2	<i>Scheda tecnica per l'acquisto di apparecchiature (UNI EN ISO 11690 - 1:1998)</i>	78
A.2	Un calcolo dell'esposizione giornaliera (strategie per compiti e per mansioni)	79
A.3	Un calcolo dell'esposizione giornaliera (strategia a giornata intera)	89
A.4	Un esempio di valutazione del rischio	91
A.4.1	<i>Gli interventi tecnici e organizzativi - il piano di miglioramento e il P.A.R.E.</i>	103
Bibliografia		107



Introduzione

Capitolo 1 - Introduzione

1.1 Gli agenti fisici

Gli agenti fisici rappresentano dei fattori, governati da leggi fisiche, che provocano una trasformazione delle condizioni ambientali nelle quali essi si manifestano.

La loro presenza determina un'immissione di energia negli ambienti di vita e di lavoro che, oltre i valori tollerati, risulta potenzialmente dannosa per la salute umana.

I rischi fisici contemplati nel Testo Unico della Sicurezza (d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.) riguardano il rumore, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche di origine artificiale, il microclima di ambienti severi, gli infrasuoni, gli ultrasuoni e le atmosfere iperbariche.

Peraltro, anche le radiazioni ottiche naturali sono ricomprese nel Testo Unico, in virtù dell'obbligo generale di valutazione di tutti i rischi (artt. 28 e 181); per quanto riguarda, invece, le radiazioni ionizzanti, il Testo Unico rimanda al d.lgs. 230 del 17 marzo 1995 e s.m.i..



FIGURA 1 - RISCHI DA AGENTI FISICI

I rischi derivanti da agenti fisici nell'ambiente lavorativo debbono essere rimossi, o ridotti il più possibile, attraverso le seguenti azioni:

- ❖ corretta progettazione e pianificazione dei processi lavorativi sul luogo di lavoro;
- ❖ riduzione della presenza di agenti fisici nell'ambiente di lavoro in base alle necessità lavorative;
- ❖ diminuzione della durata e dell'intensità di esposizione;
- ❖ restrizione al minimo del numero dei lavoratori potenzialmente esposti;
- ❖ corretta formazione ed informazione dei lavoratori;
- ❖ somministrazione di attrezzature adeguate alla specifica attività e indicazione delle relative procedure di manutenzione;
- ❖ determinazione di idonee misure tecnico-organizzative.

L'esposizione in ambiente lavorativo ad agenti di rischio di tipo fisico coinvolge in Italia milioni di lavoratori. Dati recenti, reperibili dal sistema di sorveglianza delle malattie professionali MALPROF, evidenziano come oltre il 70% delle malattie di probabile origine professionale, nell'ultimo triennio, siano riconducibili all'esposizione ad agenti fisici.

Lo scopo che si prefigge la presente pubblicazione è raccogliere gli elementi essenziali inerenti la gestione dei rischi dovuti all'esposizione all'agente fisico **rumore**, avendo in obiettivo di aggregare, in un contesto operativo, una serie di informazioni utili agli attori del sistema di sicurezza aziendale, Datori di lavoro e Responsabili del Servizio di Prevenzione e Protezione in primis.

1.2 Il titolo VIII del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.

Alla luce del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. la valutazione del rischio di un agente fisico - come del resto previsto dall'art. 28 e, in particolare per gli agenti fisici, dagli articoli del Titolo VIII - va fondamentalmente intesa come una sezione del generale Documento di Valutazione di tutti i Rischi per la salute e sicurezza (DVR), unitamente alla *relazione tecnica* redatta da *personale qualificato*¹, comprensiva di eventuali misurazioni, da tenersi in Azienda in vista della programmazione e dell'attuazione delle misure di prevenzione e protezione e, ovviamente, a disposizione degli organi di vigilanza.

Agenti fisici	Riferimenti legislativi
Rumore	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I; Titolo VIII, Capo II)
Vibrazioni	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I; Titolo VIII, Capo III)
Campi elettromagnetici	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I; Titolo VIII, Capo IV)
Radiazioni ottiche artificiali	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I; Titolo VIII, Capo V)
Microclima ambienti severi, infrasuoni, ultrasuoni, atmosfere iperbariche	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I)

TABELLA DEI RIFERIMENTI LEGISLATIVI

Il Documento dovrà, pertanto, riportare le misure di prevenzione e protezione in essere ed indicare il programma delle misure atte a garantire nel tempo il miglioramento dei livelli di salute e sicurezza, con le relative procedure aziendali e dei ruoli dell'organizzazione che vi debbono provvedere, cui debbono essere assegnati soggetti in possesso di adeguate competenze e poteri.

Nella valutazione del rischio di ogni agente fisico vanno indicati i seguenti elementi:

- A. data certa di esecuzione della valutazione dell'agente fisico, con eventuali misurazioni;
- B. dati identificativi del *personale qualificato* che ha provveduto alla valutazione;
- C. dati identificativi del Medico Competente (se previsto ai sensi degli artt. 41 e 185) e del RSPP che hanno partecipato alla valutazione del rischio;
- D. dati identificativi del RLS o, ove assente, dei lavoratori, consultati ai sensi dell'art. 50, comma 1, e delle modalità della relativa consultazione e informazione;
- E. dati identificativi della *relazione tecnica* allegata (es.: data, estremi del protocollo, numero di pagine, ecc.) che deve contenere, almeno:
 - l'elenco delle sorgenti riconducibili agli agenti fisici e le loro principali caratteristiche connesse al rischio in esame;
 - il quadro di sintesi degli esposti all'agente fisico, suddiviso per fasce di rischio con individuazione delle aree a rischio;
 - la valutazione della presenza di rischi potenzianti (ad es.: ototossici, vibrazioni meccaniche, segnali di avvertimento, condizioni di lavoro estreme (fredde e/o umide), materiali esplosivi e/o infiammabili, ecc.) e di approfondimenti specifici per singolo agente fisico (ad es.: valutazione dell'efficienza e dell'efficacia dei DPI uditivi);
 - la valutazione dei rischi legati alla presenza di lavoratori particolarmente sensibili, alla differenza di genere, all'età, alla provenienza da altri paesi ed alla tipologia contrattuale;
 - le proposte relative a soluzioni preventive e protettive adottabili nelle differenti situazioni di rischio presenti nei luoghi di lavoro.
- F. Il programma delle misure tecniche e organizzative che si adotteranno per eliminare, o ridurre, il rischio da esposizione all'agente fisico, con l'indicazione della tempistica, delle modalità e delle figure aziendali preposte alla loro attuazione.

¹ Si definisce *personale qualificato* un operatore che abbia affrontato, con valutazione finale positiva, un apposito corso di formazione; in assenza di ulteriori specifiche è possibile valutare l'operato del valutatore in base alla qualità dell'elaborato prodotto e in base all'aderenza alle normative cogenti e di buona tecnica.

È necessario che i Datori di lavoro, responsabili del processo di valutazione, esplicitino chiaramente i termini del *mandato al personale qualificato*, specie laddove esterno, e verifichino puntualmente i contenuti della prestazione affidata; tanto più che eventuali carenze della *relazione tecnica* dovranno successivamente essere gestite e risolte nel DVR.

A norma dell'art. 181, comma 2, la valutazione dei rischi derivanti da esposizioni ad agenti fisici è programmata ed effettuata, con cadenza almeno quadriennale, oltretutto aggiornata in occasione di modifiche del processo produttivo o della organizzazione del lavoro significative ai fini della salute e sicurezza dei lavoratori.

Si segnala, che dal 31 maggio 2013 non è più possibile avvalersi della "autocertificazione" inizialmente prevista all'art. 29, comma 5, del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., per effetto della cosiddetta Legge di Stabilità (L. 228 del 24 dicembre 2012); pertanto anche le aziende occupanti fino a dieci lavoratori debbono predisporre il DVR, che potrà essere redatto secondo le previsioni del D.M. 30 novembre 2012 ("Procedure standardizzate"), fermo restando le altre condizioni imposte dal Legislatore, o secondo le modalità previste dagli artt. 28 e 29, con riferimento ai singoli agenti fisici dettagliati al Titolo VIII.

Rimane quindi inalterato l'obbligo del Datore di lavoro che deve comunque effettuare la valutazione dei rischi da esposizione ad agenti fisici secondo le modalità indicate al Titolo VIII e, in particolare, a cura di *personale qualificato* che, identificate le sorgenti e gli esposti, determini in quale classe di rischio i lavoratori sono stati collocati e quali misure preventive e protettive sono state adottate e previste.

Si esamina, di seguito, la situazione normativa inerente gli obblighi, e le relative decorrenze del Titolo VIII del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i..

Il Capo I (Disposizioni generali) è pienamente in vigore, dal 1 gennaio 2009, per tutti gli obblighi in esso richiamati ed in tutte le realtà produttive.

Va specificato che mentre tale data è la stessa anche per l'entrata in vigore del Capo II (rumore) e del Capo III (vibrazioni), con la precisazione che le modifiche introdotte dal d.lgs. 106 del 3 agosto 2009 al d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 sono in vigore dal 20 agosto 2009, per il Capo IV (campi elettromagnetici) e il Capo V (radiazioni ottiche artificiali), con le deroghe di cui all'art. 306, comma 3, il Legislatore ha previsto un'entrata in vigore differita.

Infatti, relativamente ai campi elettromagnetici, con la formulazione adottata dal Legislatore all'art. 306 prima e l'emanazione della Direttiva 2013/35/UE (che ha abrogato la Direttiva 2004/40/CE cui è ispirata l'attuale formulazione del Capo IV) poi, l'entrata in vigore di questo Capo dovrebbe avvenire (con un testo sostanzialmente diverso dall'attuale, in quanto allineato alla citata Direttiva 2013/35/UE) entro il 1 agosto 2016. Il Capo V (radiazioni ottiche artificiali) è invece pienamente in vigore dal 26/04/2010.

Si sottolinea ancora una volta il principio affermato in generale all'art. 28, e ribadito relativamente agli agenti fisici all'art. 181, che obbliga il Datore di lavoro alla valutazione di tutti i rischi per la salute e la sicurezza, inclusi quelli derivanti da esposizioni a campi elettromagnetici, in relazione ai quali esiste quindi l'obbligo (sanzionabile) alla valutazione ed all'identificazione delle misure preventive e protettive per minimizzare il rischio.

Sussiste in ogni caso l'obbligo, di cui all'art. 184, di provvedere affinché i lavoratori esposti a rischi derivanti da agenti fisici sul luogo di lavoro, e i loro rappresentanti, vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi.

Tale obbligo assume particolare rilevanza nel caso dei lavoratori *particolarmente sensibili al rischio* ove una corretta informazione può condurre il lavoratore a formulare motivata richiesta di sorveglianza sanitaria come previsto dall'art. 41.



Il rischio rumore

Capitolo 2 - Il rischio rumore

Il rumore all'interno degli ambienti di lavoro rimane, come anticipato nelle premesse, una delle principali cause di malattia professionale.

Ma mentre nelle epoche passate, legate alla concezione di cicli produttivi obsoleti e, fondamentalmente, all'assenza di cultura della sicurezza, il lavoratore aveva poche altre possibilità, oltre che *adattarsi* al rumore presente nel contesto lavorativo, nell'epoca attuale le cose sono cambiate: esistono, infatti, molti mezzi per attenuare il rumore, all'interno e all'esterno degli ambienti di lavoro.

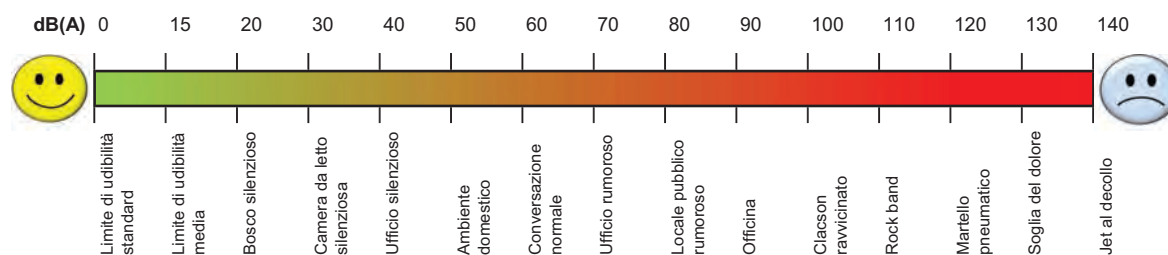


FIGURA 2 - SCALA DEL RUMORE IN RELAZIONE ALLA SENSIBILITÀ UDITIVA

Con il d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., il legislatore ha confermato le prescrizioni minime di sicurezza e di salute attinenti all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dall'esposizione al rumore durante il lavoro.

Le nuove norme tecniche UNI EN ISO 9612:2011 e UNI 9432:2011, dal canto loro, contribuiscono a far luce su alcuni punti che la normativa aveva lasciato in chiaroscuro, introducendo regole per la rilevazione dei dati e metodiche per la stima delle incertezze di misura più articolati, rispetto alle precedenti versioni.

Appare, in ogni caso, necessario da parte degli attori del sistema sicurezza (Datori di lavoro e Responsabili del Servizio di Prevenzione e Protezione, soprattutto) contribuire alla diffusione di una sempre più responsabile consapevolezza del rischio, specie sul versante dell'aggiornamento temporale delle misure preventive, e di una capillare formazione e informazione dei lavoratori esposti, in maniera particolare in merito al corretto utilizzo dei DPI uditivi.

In riferimento ai dati relativi all'ipoacusia, si segnalano le statistiche degli ultimi quattro anni (fonte Banca Dati Statistica INAIL), relativi alla Gestione: "Industria e servizi, agricoltura, dipendenti conto stato".

Malattia	2010	2011	2012	2013
Sovraccarico biomeccanico dell'arto superiore	8.385	9.939	9.340	10.643
Ernia discale lombare	3.367	4.210	4.058	4.349
Ipoacusia da rumore	6.196	5.692	4.868	4.970
Malattie da vibrazioni meccaniche trasmesse al sistema mano-braccio	528	597	472	508
Malattie da radiazioni ionizzanti	74	59	69	51
Malattie da radiazioni UV	30	49	52	58

MALATTIE PROFESSIONALI DA AGENTI FISICI DENUNCIATE ALL'INAIL NEL PERIODO 2010-2013
GESTIONE: INDUSTRIA E SERVIZI, AGRICOLTURA, DIPENDENTI CONTO STATO

Peraltro, in riferimento alle denunce di ipoacusie (circa il 10% del totale delle malattie professionali denunciate) ne sono state indennizzate poco più del 7%, registrandosi un trend positivo negli anni.

2.1 Generalità

Il suono è un'oscillazione di pressione che si diffonde in un mezzo elastico (gassoso, liquido o solido) senza trasporto di materia, ma solamente di energia; ad esempio, per un suono trasmesso in aria, quest'ultima non subisce uno spostamento, bensì ogni molecola presente vibra intorno ad una posizione di equilibrio determinando delle piccole variazioni di pressione rispetto alla pressione media. Nel vuoto, non essendoci alcun mezzo elastico, non può esistere alcun suono.

Caratteristiche del suono sono:

- ✓ la frequenza (f , in Hertz (Hz)): numero di cicli completi nell'unità di tempo; la caratteristica di un suono, da basso ad acuto, dipende dalla frequenza;
- ✓ il periodo (T , in secondi (s)): intervallo di tempo necessario per completare un ciclo; è uguale al reciproco della frequenza: $T = 1/f$;
- ✓ la lunghezza d'onda (λ , in metri (m)): spazio percorso dall'onda in un periodo;
- ✓ l'ampiezza (A , in Pascal (Pa)): ampiezza dell'onda; è indicativa del livello sonoro;
- ✓ la velocità di propagazione: nell'aria in condizioni standard di temperatura, umidità e pressione è pari a 344 m/s (1.238 km/h); nell'acqua è di 1.500 m/s e nell'acciaio 5.000 m/s.

La pressione acustica è una perturbazione subita dall'aria per effetto della sorgente sonora; equivale alla differenza tra la pressione $p(t)$ in un dato istante e quella $p(0)$ esistente prima dell'inizio del fenomeno sonoro: è la grandezza che meglio descrive il fenomeno acustico e viene espressa in Pascal (Pa).

Poiché il campo dinamico dell'udito umano è molto ampio, si preferisce esprimere i parametri acustici come logaritmo del rapporto tra valore misurato "p" ed un valore di riferimento pari alla più piccola pressione in grado di produrre una sensazione sonora "p₀"; il livello di pressione sonora (SPL) o livello sonoro L_p è pari a:

$$L_p = 10 \log (p^2/p_0^2) = 20 \log (p/p_0)$$

Come unità di misura viene utilizzato il decibel (dB); in effetti il dB non è una vera unità di misura, bensì una unità di livello che esprime il logaritmo del rapporto tra due quantità omogenee, una delle quali assunta come riferimento.

È possibile in tal modo comprimere la gamma dei rumori in un range compreso tra 0 e 120 dB, ricordando che ogni 6 dB si ha un raddoppio della pressione sonora.

In pratica, se una sorgente sonora produce in un certo punto un livello "x", due sorgenti sonore di pari potenza, contemporaneamente in funzione, produrranno un livello "x" + 3 dB totali.

Il principale vantaggio nell'uso dei logaritmi in acustica è rappresentato dalla capacità di comprimere campi di escursioni molto vasti, in numeri di poche cifre.

Potenze sonore comprese tra centomillesimi e migliaia di watt (grandezza assoluta) possono, pertanto, essere semplicemente trasposte in poche decine di decibel (unità di livello).

Nella misura della pressione sonora, e nel relativo calcolo, il logaritmo che viene adottato è in base 10.

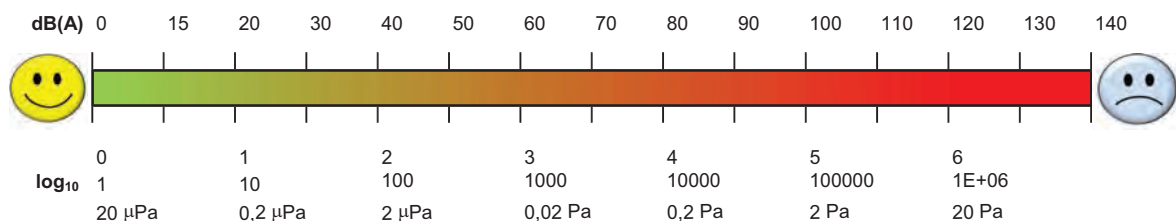


FIGURA 3 - SCALA DI INTENSITÀ DELLA PRESSIONE SONORA

In linea generale, il rumore è un segnale *non desiderato*, di origine naturale o artificiale.

I danni procurati dal rumore, pertanto, sono funzione della potenza acustica e del tempo di esposizione; è possibile suddividerli nelle seguenti tipologie:

- *traumi all'udito*: l'esposizione al rumore, alla lunga, può provocare la distruzione di cellule, che non si rigenerano, da cui deriva una perdita progressiva dell'udito, prima nella zona delle frequenze estreme (suoni molto acuti o molto gravi), poi anche in quella della regione media; nei casi più gravi può sopraggiungere anche la sordità;
- *effetti su altri organi di senso*: l'orecchio, come noto, è la sede del senso dell'equilibrio, il rumore pertanto può agire negativamente provocando vertigini e nausea; tale condizione si rileva, ad esempio, nei lavoratori che operano a contatto con i motori a reazione;
- *effetti fisiologici*: i principali effetti dell'esposizione al rumore possono essere: stanchezza, senso di fatica (in alcuni casi è documentato che neanche il riposo di qualche giorno riesce a eliminarlo), disturbi o impedimenti del sonno, sia per i rumori uditi mentre si dorme, sia per quelli che rimangono impressi dallo stato di veglia, emicrania, stordimento, inappetenza, anemia, disturbi neuro-vegetativi, accelerazione del battito cardiaco e della respirazione, innalzamento della pressione sanguigna, variazioni del metabolismo di base, ecc.;
- *effetti psicologici*: la conseguenza più comune dell'esposizione al rumore può essere l'insorgenza di sentimenti negativi quali angoscia, disagio, fastidio, paura ecc.; altri effetti, più gravi, possono essere rappresentati da: difficoltà di concentrazione, disturbi della memoria, disturbi della personalità, insorgenza di atteggiamenti ossessivi, irritabilità, astenia, difficoltà di comprensione di messaggi verbali nella conversazione, rallentamento dell'attività intellettuale e/o motoria, ecc..

L'ipoacusia, ossia la diminuzione della percezione sonora fino al limite della perdita della capacità uditiva, è il danno da rumore più noto e più studiato.

Essa è l'effetto dell'esposizione cronica a rumore con intensità uguali o superiori ad 80 dB (A).

Possono, inoltre, rilevarsi effetti acuti per l'apparato uditivo dovuti all'esposizione al rumore quali, ad esempio, danni meccanici al timpano nel caso di esposizione a rumori istantanei ma ad intensità molto elevate, come si evince dal diagramma seguente.

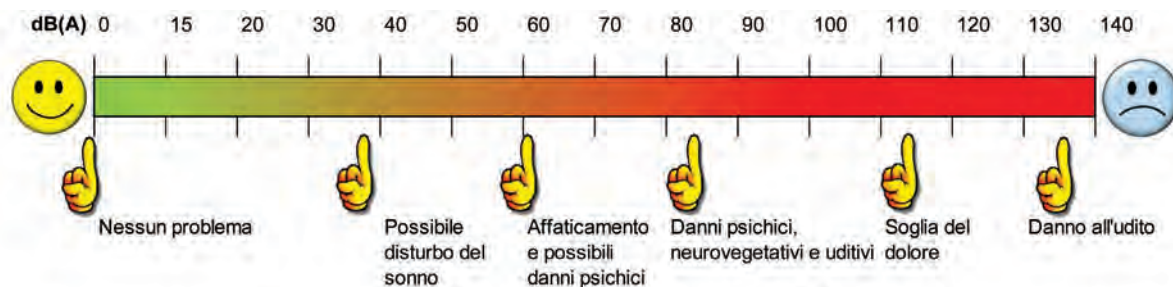


FIGURA 4 - DANNI PROVOCATI DAL RUMORE

La valutazione del rischio e le misurazioni fonometriche del rumore debbono essere effettuate, come anticipato, da personale competente, nel rispetto delle metodologie indicate nel d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. e della normativa tecnica (es.: norme UNI EN ISO 9612:2011 "Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro" e UNI 9432:2011 "Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro").

I valori misurati nell'ambito delle campagne fonometriche saranno utilizzati, dal tecnico competente che effettua la valutazione del rischio rumore, determinando i livelli di esposizione personali e confrontandoli con i valori d'azione e il valore limite, specificati nel d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.

Per eseguire la valutazione del rischio rumore si dovrà considerare, inoltre, anche l'eventuale contributo delle eventuali sostanze ototossiche e di altri fattori di rischio sinergici presenti nel luogo di lavoro.



FIGURA 5 - RILIEVO FONOMETRICO

2.2 Il rischio rumore nel d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.

Articolo 181 - Valutazione dei rischi

1. Nell'ambito della valutazione il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione

Articolo 182 - Disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi

1. Tenuto conto del progresso tecnico i rischi derivanti dall'esposizione agli agenti fisici sono eliminati alla fonte o ridotti al minimo.....
2. In nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione. Allorché, nonostante i provvedimenti presi i valori limite risultino superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite, individua le cause e adegua di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

Articolo 180 - Definizioni e campo di applicazione

..... per agenti fisici si intendono il **rumore** che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.

DEFINIZIONE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE D.LGS. 81 DEL 9 APRILE 2008 E S.M.I. - TITOLO VIII- CAPO I

Gli effetti di disturbo, potenzialmente connessi al rischio di danno uditivo, dipendono da tre fattori:

- dall'entità dei livelli sonori (energia);
- dalla durata dell'esposizione (tempo);
- dalla distribuzione in frequenza dell'energia (sensibilità dell'orecchio);

Le curve di ponderazione

La logica dell'impiego delle curve di ponderazione risiede nel fatto che l'orecchio umano non è indifferentemente reattivo su tutta la gamma delle frequenze; esso, infatti, risulta anatomicamente più sensibile alle alte frequenze rispetto a quelle basse.

La risposta dell'orecchio ad un certo suono è funzione sia della pressione sonora che della frequenza dello stesso e, pertanto, non è possibile valutare un suono solamente in base ad uno soltanto di questi due fattori. Di conseguenza, al fine di riprodurre, in maniera il più possibile fedele, il comportamento dell'orecchio umano, si utilizzano delle opportune curve di ponderazione (A, B, C, D), che hanno il compito di attenuare alcune frequenze e di accentuarne altre, a seconda del risultato che si vuole ottenere (vedi figura 6).

Le quattro curve di ponderazione normalizzate in campo internazionale sono:

- Curva di filtro A: andamento inverso rispetto alla curva isofonica a 40 phon
- Curva di filtro B: andamento inverso rispetto alla curva isofonica a 70 phon (in disuso)
- Curva di filtro C: andamento inverso rispetto alla curva isofonica a 100 phon
- Curva di filtro D: utilizzata nella valutazione di rumori aeroportuali

Dove il *phon* rappresenta il livello di sensazione sonora sulla base del quale si rappresentano le curve isofoniche.

Nella tabella seguente sono riportati, alle diverse frequenze, i valori di correzione in relazione alle diverse curve di ponderazione.

Sperimentalmente, la curva che si è rivelata essere più rispondente all'esigenza di riprodurre la risposta psicofisica dell'orecchio umano è la curva di ponderazione A (che attenua notevolmente le frequenze inferiori a 1 kHz, esaltando quelle tra 1 kHz e 5 kHz).

Tale curva è adottata dal d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. per la determinazione dei livelli di esposizione al rumore (L_{EX}), giornaliera e settimanale, mentre per la determinazione della pressione acustica di picco (p_{peak}) il valore della pressione dovrà essere ponderato in scala C (vedi paragrafi seguenti).

Le unità di misura dei livelli di pressione sonora misurati con la ponderazione dell'una o dell'altra curva, sono rispettivamente il dB(A) e dB(C).

Si segnala che, nonostante la curva di ponderazione A sia quella che meglio approssima la risposta dell'orecchio, essa presenta comunque dei limiti, in particolare se il rumore presenta importanti componenti impulsive, o tonali, o se è prevalente la bassa frequenza, nel qual caso esso potrebbe risultare sottostimato.

frequenza (Hz) f	Curva A (dB) A _f	Curva B (dB) B _f	Curva C (dB) C _f	Curva D (dB) D _f
10	-70,4	-38,2	-14,3	-26,5
12,5	-63,4	-33,2	-11,2	-24,5
16	-56,7	-28,5	-8,5	-22,5
20	-50,5	-24,2	-6,2	-20,5
25	-44,7	-20,4	-4,4	-18,5
31,5	-39,4	-17,1	-3,0	-16,5
40	-34,6	-14,2	-2,0	-14,5
50	-30,2	-11,6	-1,3	-12,5
63	-26,2	-9,3	-0,8	-11,0
80	-22,5	-7,4	-0,5	-9,0
100	-19,1	-5,6	-0,3	-7,5
125	-16,1	-4,2	-0,2	-6,0
160	-13,4	-3,0	-0,1	-4,5
200	-10,9	-2,0	0	-3,0
250	-8,6	-1,3	0	-2,0
315	-6,6	-0,8	0	-1,0
400	-4,8	-0,5	0	-0,5
500	-3,2	-0,3	0	0
630	-1,9	-0,1	0	0
1000	0	0	0	0
1250	0,6	0	0	2,0
1600	1,0	0	-0,1	5,5
2000	1,2	-0,1	-0,2	8,0
4000	1,0	-0,7	-0,8	11,0
8000	-1,1	-2,9	-3,0	6,0

VALORI DELLE CURVE DI PONDERAZIONE A, B, C, D

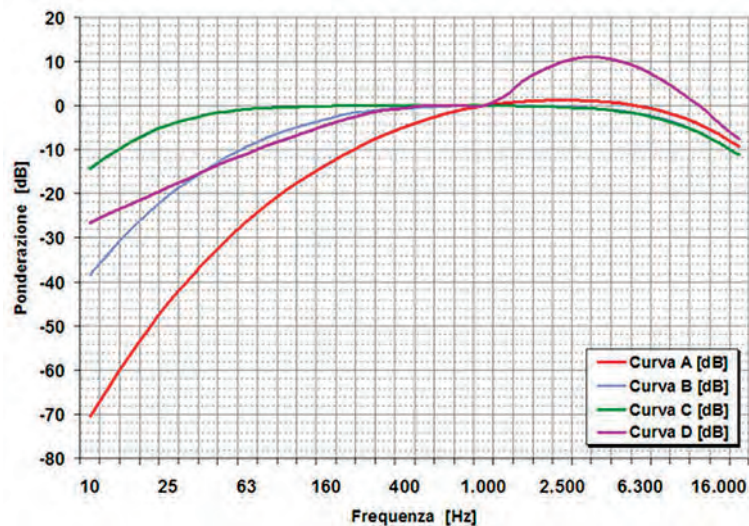


FIGURA 6 - CURVE DI PONDERAZIONE A, B, C, D IN FREQUENZA

Nella valutazione del disturbo, sono due i parametri da valutare: il livello di pressione sonora L_p , in dB(A) (valore medio r.m.s. nel tempo della pressione sonora) e il livello sonoro di picco L_{picco} , in dB(C) (valore istantaneo massimo della pressione sonora).

La legge pertanto stabilisce due *valori limite di esposizione da non superare*, uno continuo e l'altro di picco:

- 87 dB(A) come esposizione quotidiana personale al rumore
- 140 dB(C) come valore di picco

Per la misurazione del livello sonoro in ambito lavorativo, e quindi del relativo livello di rischio da esposizione al rumore, occorre tener conto sia dell'esposizione temporale del lavoratore sia dell'esposizione massima istantanea; a tale scopo l'art. 188 definisce i seguenti parametri:

- a) pressione acustica di picco (p_{peak}): valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza "C";
- b) livello di esposizione giornaliera al rumore ($L_{EX,8h}$) in dB(A): valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore, e si riferisce a tutti i rumori sul lavoro, incluso il rumore impulsivo;
- c) livello di esposizione settimanale al rumore ($L_{EX,w}$): valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione giornaliera al rumore per una settimana nominale di cinque giornate lavorative di otto ore.

2.3 Il livello sonoro continuo equivalente L_{Aeq}

Il livello sonoro continuo equivalente L_{Aeq} caratterizza, con un solo numero, in un certo intervallo di tempo T , un livello sonoro variabile nel tempo i cui effetti, di disturbo o di danno, sono legati al contenuto di energia.

$$L_{Aeq} = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_0^T (p(t)/p_0)^2 dt \right] \quad \text{dB(A)}$$

Pertanto, il L_{Aeq} è il livello, espresso in dB(A), di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale per lo stesso intervallo di tempo T , comporterebbe la stessa quantità totale di energia sonora all'orecchio.

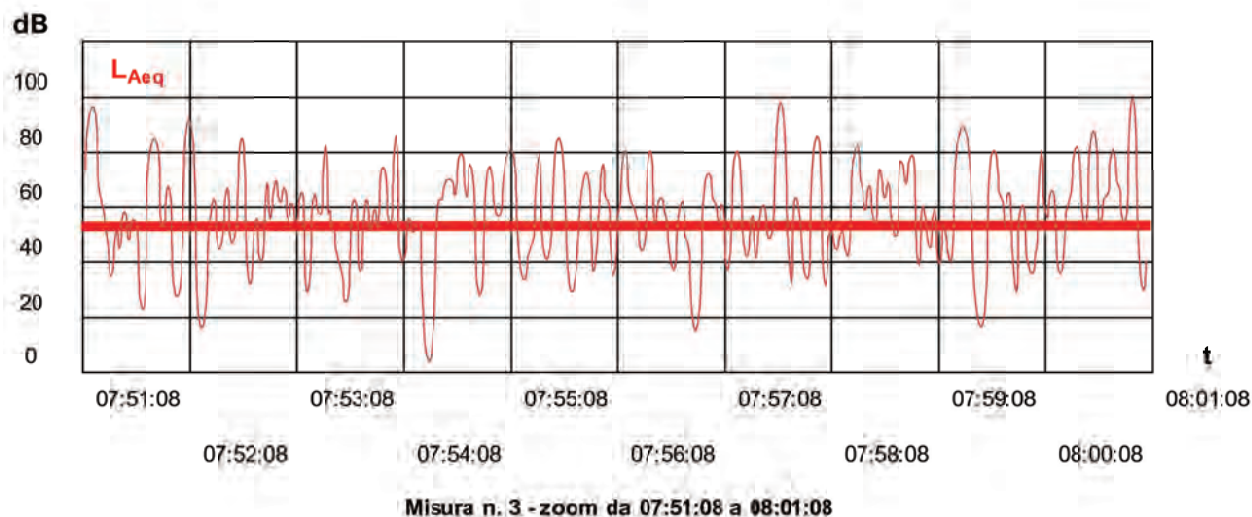


FIGURA 7 - IL LIVELLO EQUIVALENTE CONTINUO PONDERATO L_{Aeq}
QUALE MEDIA INTEGRATA NEL TEMPO DEL LIVELLO DI PRESSIONE SONORA

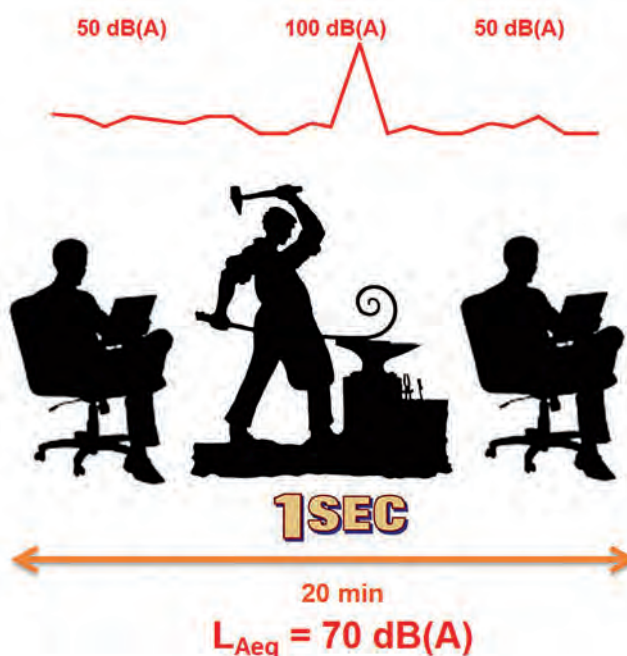


FIGURA 8 - IL LIVELLO EQUIVALENTE CONTINUO PONDERATO L_{Aeq}

Oltre al livello sonoro continuo equivalente L_{Aeq} , esiste anche il livello sonoro continuo equivalente L_{Ceq} , espresso in dB(C), valore utilizzato per la determinazione dell'efficienza di attenuazione dei livelli sonori da parte dei DPI uditivi.

2.4 Il calcolo dei livelli sonori equivalenti $L_{EX,8h}$ e $L_{EX,w}$

Per valutare l'esposizione personale giornaliera al rumore di un lavoratore si dovrà calcolare il $L_{EX,8h}$:

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n T_i 10^{0,1 L_i} \right] \quad \text{dB(A)}$$

dove:

- T_i è il tempo di esposizione quotidiano, in minuti, di un lavoratore alla fonte di rumore i -esima;
- L_i è il livello equivalente continuo della fonte di rumore i -esima;
- T_0 è pari ad 8 ore lavorative.

Esempio:

supponiamo che un lavoratore, durante le otto ore di lavoro, sia sottoposto:

- per tre ore ad un livello $L_{3h} = 77,6$ dB(A)
- per un'ora ad un livello $L_{1h} = 83,2$ dB(A)
- per quattro ore ad un livello $L_{4h} = 71,7$ dB(A)

il livello di esposizione quotidiano $L_{EX,8h}$ risulterà:

$$L_{EX,8h} = 10 \log [1/8 (3 \times 10^{7,76} + 1 \times 10^{8,32} + 4 \times 10^{7,17})] = 77,4 \text{ dB(A)}$$

Se le condizioni lavorative espongono i lavoratori a livelli di rumore significativamente variabili², tra le differenti giornate lavorative (art. 189, comma 2), è possibile calcolare il $L_{EX,w}$ ³ ossia la media settimanale dei valori quotidiani di esposizione, definito nel seguente modo:

$$L_{EX,w} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{0,1(L_{EX,8h})_k} \right] \quad \text{dB(A)}$$

dove:

- k è l'indice rappresentativo della giornata lavorativa;
- m è il numero delle giornate lavorative della settimana;
- $(L_{EX,8h})_k$ è il valore di $L_{EX,8h}$ relativo alla k -esima giornata lavorativa.

Esempio:

supponiamo che un lavoratore, durante la settimana lavorativa di cinque giorni, sia sottoposto:

- per due giorni ad un livello $L_{2d} = 83,7$ dB(A)
- per un giorno ad un livello $L_{1d} = 84,7$ dB(A)
- per due giorni ad un livello $L_{2d} = 81,1$ dB(A)

il livello di esposizione settimanale $L_{EX,w}$ risulterà:

$$L_{EX,w} = 10 \log [1/5 (2 \times 10^{8,37} + 10^{8,47} + 2 \times 10^{8,11})] = 83,1 \text{ dB(A)}$$

² Né il d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., né le norme tecniche UNI EN ISO 9612:2011 e UNI 9432:2011 forniscono criteri oggettivi per determinare se la variabilità del livello di esposizione giornaliera sia sufficientemente significativa da giustificare il ricorso al livello di esposizione settimanale.

Ci si può riferire, in proposito, alle indicazioni operative sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro del Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome in collaborazione con INAIL e Istituto Superiore di Sanità.

Al punto 2.11 di tali indicazioni viene affermato che: «Ai fini del Capo II del Titolo VIII del d.lgs. n. 81/2008 si fornisce l'indicazione di reputare significativa una variabilità che classifica il lavoratore in una fascia di rischio diversa a seconda che la stima venga fatta sul livello giornaliero o su quello settimanale».

³ La simbologia utilizzata dalla precedente legislazione nazionale (ex d.lgs. 277 del 15 agosto 1991) è del tutto equivalente, in termini di contenuto tecnico, a quella prevista dal d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.; pertanto, il $L_{EX,8h}$ coincide con il $L_{EP,d}$ e il $L_{EX,w}$ coincide con il $L_{EP,w}$.

2.5 Il livello sonoro di picco L_{picco} dB(C)

La norma stabilisce che, oltre ai livelli equivalenti, non possa essere mai superato un *livello di picco* $L_{\text{C picco}}$ pari a 140 dB(C) ponderato C:

$$L_{\text{picco}} = 10 \log (p_{\text{peak}}/p_{\text{ref}})^2 = 20 \log (p_{\text{peak}}/p_{\text{ref}})$$

dove:

- p_{peak} è la pressione acustica istantanea massima ponderata in frequenza "C";
- p_{ref} è la pressione sonora di riferimento, pari a 20 μPa .

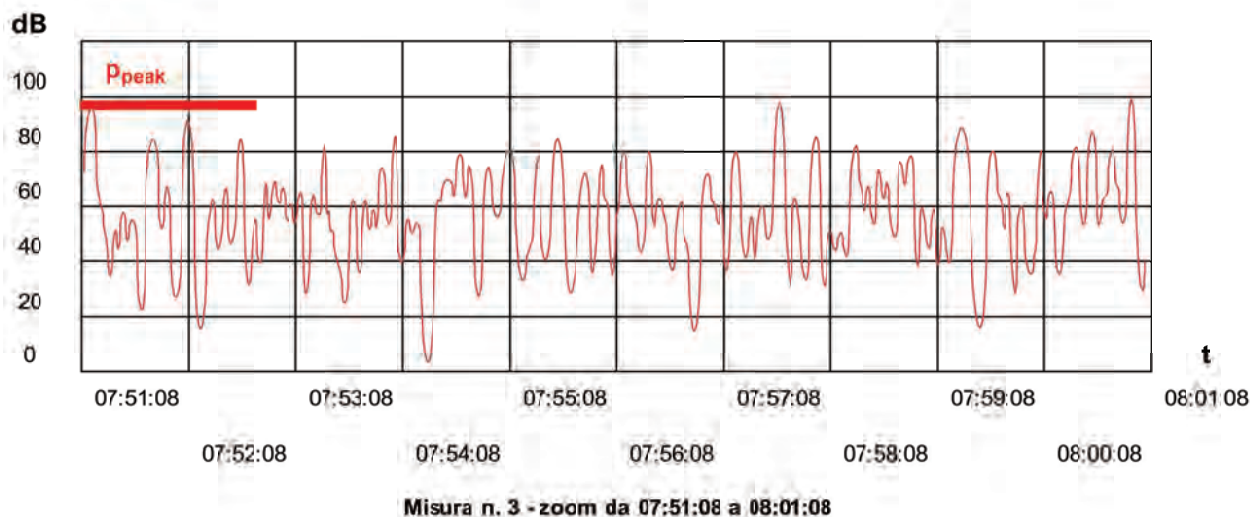


FIGURA 9 - IL LIVELLO SONORO DI PICCO P_{peak}

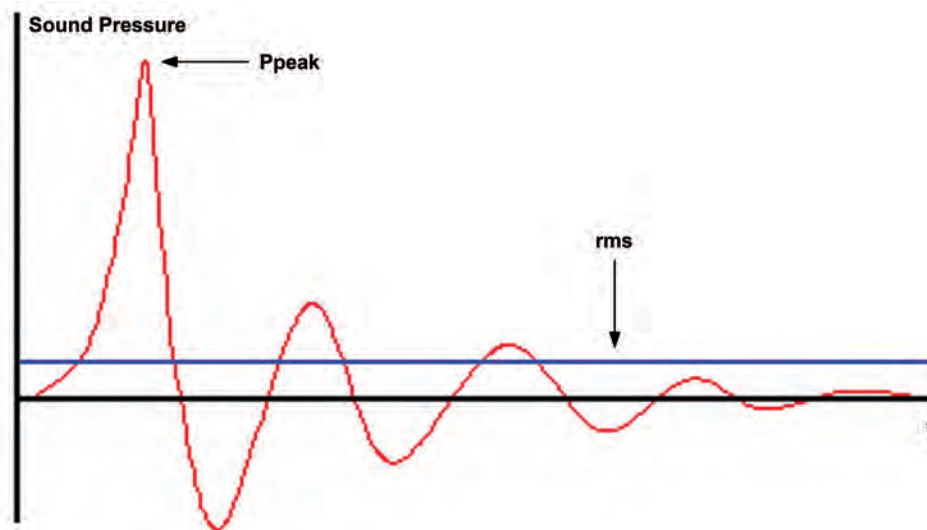


FIGURA 10 - LIVELLO SONORO DI PICCO (PEAK) E LIVELLO EQUIVALENTE PONDERATO (O RMS)

Ove si accerti la presenza di rumori impulsivi (caratterizzati da impulsi brevi, es.: operazioni di martellatura, o da impulsi prolungati, es.: operazioni di molatura), occorre segnalare, in sede di valutazione del rischio, tali componenti (fornendo le indicazioni relative alla stima del numero di impulsi giornalieri e loro frequenza nel tempo), al fine di renderne edotto il Medico Competente, in vista della predisposizione di un protocollo di sorveglianza sanitaria che ne contempli la presenza, e per la scelta del DPI uditivo più adeguato (verifica DPI u su L_{picco}) (vedi paragrafo 2.13).

A tal proposito si segnala che esistono oggi in commercio delle cuffie elettroniche ad attenuazione controllata, con amplificazione delle frequenze del parlato (400 ÷ 3000 Hz), regolabile dall'utilizzatore, e con un sistema di limitazione elettronica dei rumori impulsivi a 82 dB(A).

Queste cuffie consentono, pertanto, al lavoratore di comunicare agevolmente, pur essendo in presenza di rumori dannosi per l'udito.

In sintesi, occorrerà:

- determinato il livello sonoro $L_{EX,8h}$, affiancare ad esso, un valore di picco L_{picco} a riconoscimento dell'aggravio di rischio uditivo rappresentato dal rumore impulsivo;
- utilizzare il livello L_{picco} di massima ampiezza fra tutti quelli misurati per il confronto con i valori di azione e con il valore limite, previsti dalla normativa.

2.6 La valutazione del rischio rumore

Articolo 190 - Valutazione del rischio

1. Nell'ambito di quanto previsto dall'articolo 181, il datore di lavoro valuta l'esposizione dei lavoratori al rumore durante il lavoro.....
2. Se, a seguito della valutazione può fondatamente ritenersi che i valori inferiori di azione possono essere superati ($L_{EX} = 80$ dBA) e $p_{peak} = 112$ Pa (135 dB(C)), il datore di lavoro misura i livelli di rumore cui i lavoratori sono esposti, i cui risultati sono riportati nel documento di valutazione (di cui all'art. 28).
3. I metodi e le strumentazioni utilizzati devono essere adeguati alle caratteristiche del rumore da misurare, e possono includere la campionatura, purché sia rappresentativa dell'esposizione del lavoratore.
4. Nell'applicare quanto previsto nel presente articolo, il datore di lavoro tiene conto dell'incertezza delle misure determinate secondo la prassi metrologica.

Articolo 191 - Valutazione di attività a livello di esposizione molto variabile

1. Fatto salvo il divieto al superamento dei valori limite di esposizione, per attività che comportano un'elevata fluttuazione dei livelli di esposizione personale dei lavoratori, il datore di lavoro può attribuire a detti lavoratori un'esposizione al rumore al di sopra dei valori superiori di azione, garantendo loro le misure di prevenzione e protezione conseguenti e in particolare:
 - a) la disponibilità dei dispositivi di protezione individuale dell'udito;
 - b) l'informazione e la formazione;
 - c) il controllo sanitario. In questo caso la misurazione associata alla valutazione si limita a determinare il livello di rumore prodotto dalle attrezzature nei posti operatore ai fini dell'identificazione delle misure di prevenzione e protezione e per formulare il programma delle misure tecniche e organizzative di cui all'articolo 192, comma 2.
2. Sul documento di valutazione di cui all'articolo 28, a fianco dei nominativi dei lavoratori così classificati, va riportato il riferimento al presente articolo.

Articolo 192 - Misure di prevenzione e protezione

1. il datore di lavoro elimina i rischi alla fonte o li riduce al minimo mediante specifiche misure (adozione di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione al rumore; scelta di attrezzature di lavoro adeguate, che emettano il minor rumore possibile; progettazione della struttura dei luoghi e dei posti di lavoro;).
2. Se a seguito della valutazione dei rischi risulta che i valori superiori di azione sono superati $L_{EX} = 85$ dB(A) e $p_{peak} = 140$ Pa (137 dB(C)), il datore di lavoro elabora ed applica un programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore, oltre a quelle già adottate di cui al punto 1;
3. I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti ad un rumore al di sopra dei valori superiori di azione $L_{EX} = 85$ dB(A) e $p_{peak} = 140$ Pa (137 dB(C)) sono indicati da appositi segnali. Dette aree sono inoltre delimitate e l'accesso alle stesse è limitato, ove ciò sia tecnicamente possibile e giustificato dal rischio di esposizione.....

Articolo 193 - Uso dei dispositivi di protezione individuali (DPI)

1. il datore di lavoro, nei casi in cui i rischi derivanti dal rumore non possono essere evitati con le misure di prevenzione e protezione di cui all'articolo 192, fornisce i dispositivi di protezione individuali per l'udito conformi alle seguenti condizioni:
 - a) nel caso in cui l'esposizione al rumore superi i valori inferiori di azione $L_{EX} = 80$ dB(A) e $p_{peak} = 135$ dB(C) il datore di lavoro mette a disposizione dispositivi di protezione individuale dell'udito;
 - b) nel caso in cui l'esposizione al rumore sia pari o al di sopra dei valori superiori di azione $L_{EX} = 85$ dB(A) e $p_{peak} = 137$ dB(C) esige che i lavoratori utilizzino i dispositivi di protezione;
2. Il datore di lavoro tiene conto dell'attenuazione prodotta dai DPI indossati dal lavoratore solo ai fini di valutare l'efficienza dei DPI e il rispetto del valore limite di esposizione. I mezzi individuali di protezione dell'udito sono considerati adeguati ai fini delle presenti norme se, correttamente usati, e comunque rispettano le prestazioni richieste dalle normative tecniche.

L'art.190 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. impone, pertanto, al Datore di lavoro di effettuare una valutazione del rumore, all'interno della propria azienda e indipendentemente dal settore produttivo, nella quale siano presenti lavoratori subordinati, o equiparati ad essi, al fine di individuare i lavoratori esposti al rischio ed attuare i necessari idonei interventi di prevenzione e protezione della salute.

Nei casi in cui non si possa fondatamente escludere che siano superati i valori inferiori di azione ($L_{EX,8h} > 80$ dB(A) o $L_{picco} > 135$ dB(C)) la valutazione deve prevedere anche misurazioni effettuate secondo le già citate norme tecniche (UNI 9432:2011 e UNI EN ISO 9612:2011).

Per le situazioni nelle quali, invece, è evidente che l'esposizione al rumore risulti trascurabile, si può ricorrere alla cosiddetta "giustificazione" e, in tal caso, non sarà necessario approfondire oltre la valutazione del rischio oppure, nei casi dubbi, ci si potrà limitare ad alcune misurazioni, in maniera da poter escludere il superamento dei valori inferiori d'azione anche per i lavoratori più a rischio.

Pertanto, nell'ipotesi di una valutazione *senza misurazioni* la *relazione tecnica* dovrà indicare:

- il layout (planimetria e indicazione delle macchine, attrezzature, lavoratori esposti, ecc.);
- l'individuazione di eventuali fattori potenzianti il rischio (ad es.: ototossici, vibrazioni, rumori impulsivi, ecc.), come identificati dall'art.190, comma 1;
- l'indicazione delle motivazioni che escludono il superamento dei valori di azione inferiori nella giornata/settimana/settimana ricorrente a massimo rischio;
- le conclusioni con le eventuali indicazioni specifiche per la riduzione del rischio.

Mentre, una valutazione *con misurazioni* dovrà, invece, contemplare:

- il layout (planimetria e indicazione delle macchine, attrezzature, lavoratori esposti, ecc.);
- la descrizione del ciclo lavorativo (almeno di quelle fasi, in relazione alle quali, non è possibile ritenere la presenza di un rischio trascurabile);
- l'individuazione di eventuali fattori potenzianti il rischio (ad es.: ototossici, vibrazioni, rumori impulsivi, ecc.), come identificati dall'art.190, comma 1;
- i risultati delle misurazioni di rumore (L_{Aeq} , L_{picco} e L_{Ceq});
- l'individuazione delle aree e delle macchine a forte rischio ($L_{Aeq} > 85$ dB(A) e $L_{picco} > 137$ dB(C));
- la valutazione del rispetto dei valori limite di esposizione (per $L_{EX} > 87$ dB(A) e $L_{picco} > 140$ dB(C));
- il calcolo dei L_{EX} e dei L_{picco} degli esposti oltre gli 80 dB(A) e i 135 dB(C);
- la valutazione dell'efficienza e dell'efficacia dei DPI uditivi, se ed in quanto forniti ai lavoratori;
- la definizione delle misure tecniche e organizzative di contenimento del rischio (il P.A.R.E. *Programma Aziendale di Riduzione dell'Esposizione*, di cui alla norma UNI 11347:2015);
- le conclusioni (quadro d'insieme del rischio).

La valutazione del rumore deve, ovviamente, confluire nel DVR generale, di cui all'art. 28.

Casi particolari di valutazione del rischio sono quelli connessi alla redazione del PSC (Piano di Sicurezza e Coordinamento da redigere, preliminarmente l'affidamento di un contratto d'appalto, nell'ambito dei cantieri temporanei e mobili) e alla stesura del DUVRI (Documento Unico di Valutazione dei Rischi da Interferenza, da redigere secondo le previsioni dell'art. 26 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.).

Riepilogando, computando nei livelli di esposizione anche il contributo delle incertezze, di cui si parlerà al paragrafo 2.12:

- ✚ ai fini della individuazione degli obblighi che ricadono sui diversi soggetti interessati (Datore di lavoro, lavoratore, Medico Competente), si fa riferimento ai livelli di esposizione calcolati in assenza di DPI ($L_{EX, 8h}$);
- ✚ il superamento dei livelli di esposizione giornaliera di un lavoratore al rumore ($L_{EX, 8h}$) di 80, 85 e 87 dB(A) comporta il diritto/dovere per i vari soggetti (Datore di lavoro, lavoratori, Medico Competente, costruttore) di adempiere a diverse prescrizioni fissate a tutela della salute;
- ✚ ai fini della verifica del rispetto del limite di esposizione ($L_{EX, 8h} = 87$ dB(A)) si fa riferimento al livello di esposizione stimato con idonei dispositivi di protezione uditiva (DPI u) indossati ($L'_{EX, 8h}$ con DPI).

Il percorso per la redazione della relazione tecnica, allegata al DVR, prevede una serie di *step* che il *personale qualificato* incaricato dovrà seguire, in base al criterio logico da applicare al caso di specie.

Lo schema seguente riassume le principali tappe dell'iter, che saranno passate in rassegna nel prosieguo della pubblicazione.

Più in generale, il processo di valutazione del rischio rumore, che ovviamente deve essere effettuato adattandolo alle situazioni reali, avendo in obiettivo la protezione dei lavoratori, parte dall'identificazione dei pericoli, passando per la relativa valutazione, fino a giungere alla pianificazione degli interventi tecnici e organizzativi di riduzione del rischio.

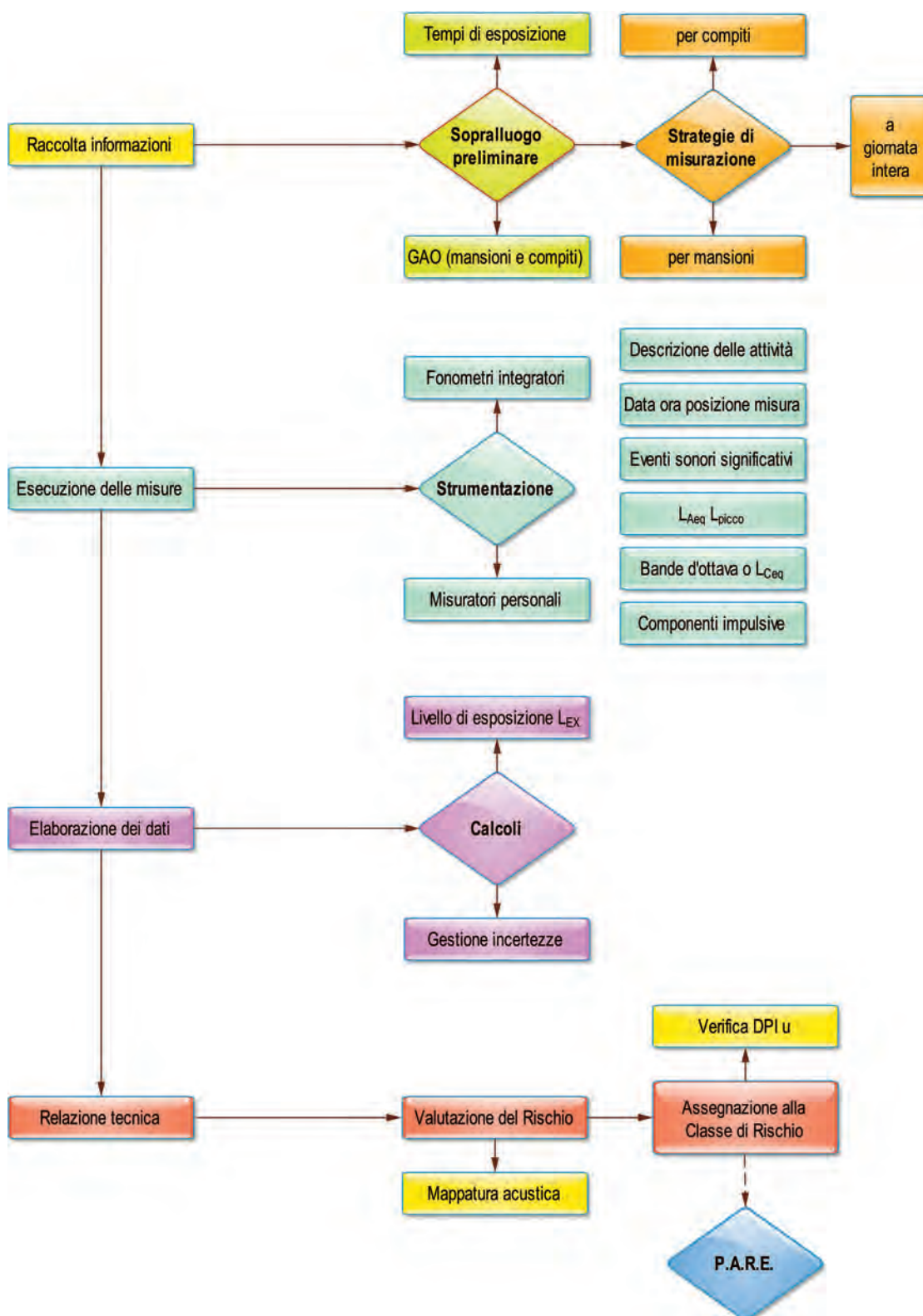


DIAGRAMMA DEL PROCESSO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE

2.7 La normativa tecnica

La conoscenza approfondita delle tre norme, la UNI 9432:2011, la UNI EN ISO 9612:2011 sulla determinazione del livello di esposizione al rumore e la UNI 11347:2015⁴ sui Programmi Aziendali di Riduzione dell'Esposizione a rumore (P.A.R.E., di cui si parlerà al paragrafo 3.4) risulta indispensabile per affrontare e risolvere il problema rumore.

La precedente edizione della norma UNI 9432, del 2008, "*Acustica - Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro*" era stata elaborata specificatamente per gli adempimenti previsti dalla legislazione vigente, rappresentata dal d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. e si prefiggeva lo scopo di descrivere un metodo di misurazione dei livelli di pressione sonora, continui equivalenti e di picco, ai quali risulta esposto un lavoratore, per il calcolo del *livello di esposizione giornaliera o settimanale* al rumore e la quantificazione delle relative *incertezze*.

La norma UNI 9432 ha subito una significativa revisione, a seguito dell'emanazione della norma UNI EN ISO 9612:2011 "*Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale*", parallela ad essa.

In realtà, la norma UNI EN ISO 9612:2011 si inquadra, in maniera non sempre pienamente congruente, nel quadro normativo nazionale; rispetto alla norma UNI 9432 essa, infatti, presenta alcune criticità:

- richiede un impiego superiore di tempo per le misurazioni di calcolo del livello di esposizione personale al rumore del lavoratore;
- le procedure per il calcolo dell'incertezza differiscono, richiedendo, a parità di condizioni, l'inserimento di un maggior numero di misurazioni e di parametri;
- la trattazione dell'esposizione dei gruppi omogenei di lavoratori non tiene conto del carattere individuale dell'esposizione.

La nuova versione della norma UNI 9432:2011, rispetto alla norma UNI EN ISO 9612:2011, contiene alcuni metodi semplificati per la valutazione dei livelli sonori di esposizione, utili a ridurre i tempi di misurazione e di calcolo, garantendo in ogni caso l'affidabilità del risultato.

Essa definisce, per di più, i criteri di valutazione di aspetti non delineati nella norma UNI EN ISO 9612:2011 e, in particolare, i metodi di calcolo della protezione offerta dai DPI uditivi, e della loro efficacia nelle situazioni reali di utilizzo, e un metodo per valutare il superamento delle soglie previste dalla normativa vigente.



Entrambe le norme sono finalizzate alla valutazione dei livelli di esposizione al rumore nell'ambiente di lavoro (con esclusione di quelli per i quali sono previste normative specifiche) su scala giornaliera, settimanale e di picco; rispetto alla precedente norma UNI 9432:2008 sono stati eliminati gli argomenti comuni con la norma UNI EN ISO 9612:2011 e introdotti degli opportuni richiami alla medesima norma.

Esse, inoltre, non possono essere utilizzate per valutare esposizioni ad infrasuoni e ultrasuoni e non si applicano, inoltre, per la valutazione dell'esposizione al rumore prodotto da sorgenti poste in prossimità dell'orecchio (per esempio cuffie, cornette, ecc.) per la quale si deve far riferimento alla norma UNI/TR 11450:2012 che a sua volta si ispira alle norme UNI EN ISO 11904-1, UNI EN ISO 11904-2 e ETSI EG 202 518 V1.1.1.

⁴ L'odierna UNI 11347:2015 è la norma tecnica che ha sostituito la precedente UNI/TR 11347:2010 che, negli ultimi cinque anni, ha costituito un riferimento come *rapporto tecnico*, ma non come *norma vera e propria*.

La UNI/TR 11347:2010 ha avuto un riscontro positivo nell'ambito dell'acustica dei luoghi di lavoro e non sono emerse indicazioni di imprecisioni o indeterminanze tali da indurre a modificare l'articolo (fonte UNI).

2.8 La norma UNI 9432:2011

La strutturazione della norma è la seguente:

1. Scopo e campo di applicazione
 2. Riferimenti normativi
 3. Termini e definizioni
 4. Strumentazione
 5. Misurazione dei livelli sonori
 6. Relazione Tecnica
- *Appendice A Esposizione al rumore a lungo termine*
 - *Appendice B Valutazione dell'incertezza sul livello di esposizione a lungo termine e sul livello sonoro di picco*
 - *Appendice C Valutazione dei DPI uditivi*
 - *Appendice D Attenuazione reale offerta dai DPI uditivi*
 - *Appendice E Confronto con i valori di legge*

Bibliografia

Dal confronto tra la norma UNI EN ISO 9612:2011 e la norma UNI 9432:2011, rispetto alla precedente versione UNI 9432:2008, emergono alcune modifiche e alcune conferme:

- sono raccomandati i fonometri di classe 1 ma ammessi anche fonometri di classe 2;
- la durata delle misure deve essere maggiore di 1' per i rumori costanti e ciclici e di 5' per i fluttuanti;
- occorre calcolare l'incertezza sui tempi di esposizione T_e ;
- è stato introdotto un criterio di verifica dei GAO⁵ (incertezza di campionamento < 3,5 dB);
- sono stati ripristinati la possibilità di utilizzare il L_{EX} "peggiore" della settimana ed il concetto di settimana ricorrente a massimo rischio (SRMR);
- il L_{EX} dei GAO è il valor medio energetico, e non quello al 95%, ma è stata ripristinata la possibilità di utilizzare il L_{EX} "peggiore" del GAO;
- è stato modificato il calcolo dell'incertezza;
- è stata ripristinata la valutazione dei DPI uditivi.

Le principali novità della norma UNI 9432:2011 riguardano:

1. *il numero e la durata delle misure per la determinazione del livello sonoro continuo equivalente ponderato A*

Per le modalità di effettuazione delle misurazioni la norma UNI 9432:2011 rimanda alla norma UNI EN ISO 9612:2011 che propone tre strategie di misurazione.

La scelta della strategia è influenzata da diversi fattori quali, ad esempio, lo scopo delle misurazioni, la complessità della situazione lavorativa, il numero di lavoratori coinvolti, l'effettiva durata della giornata lavorativa nonché il tempo a disposizione per le misurazioni e l'analisi.

Le strategie di misurazione proposte sono le seguenti:

- misurazioni basate sui compiti: il lavoro svolto durante la giornata è analizzato e suddiviso in un numero di compiti rappresentativi, per ogni determinato compito si eseguono separatamente le misure di livello di pressione sonora;
- misurazioni basate sulle mansioni: mediante campionatura casuale si ottengono delle misure di livello di pressione sonora durante l'esecuzione di determinate mansioni;
- misurazioni a giornata intera: il livello di pressione sonora è misurato continuativamente nell'arco completo di una o più giornate lavorative.

⁵ Il GAO (Gruppo Acusticamente Omogeneo) costituisce un gruppo di lavoratori che svolge lo stesso lavoro; gli stessi, verosimilmente, sono sottoposti a simili esposizioni sonore nell'arco della giornata lavorativa.
Un GAO deve essere chiaramente identificato indicando i nominativi dei lavoratori che lo compongono.

Per ogni strategia la norma UNI EN ISO 9612:2011 fornisce un orientamento per una corretta scelta in base al modello di lavoro analizzato:

- la strategia 1 è consigliata per postazioni di lavoro fisse con compito unico o semplice, postazioni di lavoro fisse con molteplici o complicati compiti, oppure per lavoratore in movimento con un ridotto numero di compiti prevedibili;
- la strategia 2 è consigliata per lavoratore stazionario o in movimento con vari compiti con durate non specificate, o per lavoratore stazionario o in movimento con nessun compito assegnato;
- la strategia 3 è consigliata per lavoratore in movimento con un elevato numero di compiti o modalità di lavoro complesso prevedibili, o per lavoratore in movimento con modalità di lavoro imprevedibile.

2. l'analisi del lavoro oggetto della valutazione

Come nella precedente versione, le misurazioni fonometriche debbono essere precedute dalla raccolta delle informazioni atte a fornire un quadro completo ed obiettivo delle attività lavorative da analizzare.

La norma UNI 9432:2011, rimandando alla norma UNI EN ISO 9612:2011, richiede una dettagliata analisi del lavoro per poter decidere l'adeguata strategia di misurazione e per pianificare le varie misure.

In particolare, l'analisi deve fornire le informazioni relative ai compiti dei lavoratori e deve identificare eventuali eventi rumorosi significativi (come ad esempio la presenza di rumori derivanti da getti d'aria compressa, martellamento, passaggio di veicoli rumorosi), oppure la presenza di operazioni molto rumorose durante alcune fasi dell'attività lavorativa (inizio/fine turno, fasi di pulizia, ecc.).

La norma a tal proposito fornisce un esempio di lista di controllo.

2.8.1 Livello di esposizione al rumore giornaliero e settimanale ($L_{EX,8h}$ e $L_{EX,w}$)

Con riferimento al punto 5.5 della norma UNI 9432:2011, in funzione dell'articolazione della settimana lavorativa, per ogni lavoratore, si determina l'esposizione significativa tra quella *giornaliera* e quella *settimanale*, ai fini del confronto con i valori limite di legge e dell'assegnazione della Classe di rischio.

Il livello di esposizione *giornaliero* al rumore di un lavoratore $L_{EX,8h}$ deve essere calcolato mediante l'equazione (punto 3.2 della norma UNI EN ISO 9612:2011):

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \log T_e / T_0 \quad \text{dB(A)}$$

dove:

- L_{p,A,eqT_e} è il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A per l'intervallo di tempo T_e ;
- T_e è la durata effettiva, espressa in ore, della giornata lavorativa;
- T_0 è la durata di riferimento pari 8 ore.

Se nell'ambito della stessa campagna di misurazione, il livello di esposizione giornaliera $L_{EX,8h}$ dello stesso lavoratore mostra una variabilità significativa all'interno della settimana, è possibile procedere:

- assumendo come livello di esposizione del lavoratore il valore massimo del livello di esposizione giornaliera;
- assumendo come livello di esposizione del lavoratore quello calcolato su base *settimanale* mediante l'equazione:

$$L_{EX,w} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{0,1(L_{EX,8h})_k} \right] \quad \text{dB(A)}$$

dove:

- k è l'indice rappresentativo della giornata lavorativa;
- m è il numero delle giornate lavorative della settimana;
- $(L_{EX,8h})_k$ è il valore di $L_{EX,8h}$ relativo alla k -esima giornata lavorativa.

Se la settimana lavorativa ha durata diversa dalle cinque giornate, si assume come livello di esposizione del lavoratore quello calcolato su base settimanale, mediante la precedente equazione.

Se l'esposizione manifesta caratteristiche di significativa variabilità su scale di tempo superiori ad una settimana si ammette, per la determinazione del livello di esposizione, il ricorso al livello settimanale ricorrente a massimo rischio.

Se, invece, i tempi di esposizione sono gli stessi per tutta la settimana, *giornata tipo*, si prendono, come riferimento per il calcolo dell'esposizione, i tempi per un unico giorno; in tal caso, il livello di esposizione *giornaliero* e *settimanale* coincidono.

2.9 Le tipologie di rumore

Esistono varie tipologie di rumore, così come indicato anche nelle definizioni della norma UNI 9432:2011:

-  Rumore costante
-  Rumore ciclico
-  Rumore fluttuante
-  Rumore impulsivo

Rumore costante:

rumore avente durata maggiore di 1 s, caratterizzato da una differenza fra il massimo e il minimo di L_{PAS} ⁶ minore di 3 dB(A) (es.: macchine ad asportazione di truciolo).

Rumore ciclico:

rumore che si ripete sempre con le stesse caratteristiche, ad intervalli di tempo uguali e maggiori del secondo (es.: macchine a moto alternativo, lavorazioni di laminazione, ecc.).

Rumore fluttuante:

rumore avente durata maggiore di 1 s e con variabilità di L_{PAS} maggiore di 3 dB(A) allo strumento di misurazione con filtro di ponderazione A e costante di tempo "slow" (es.: motoseghe, passaggio di automobili, ecc.).

Rumore impulsivo:

rumore caratterizzato da una ripida crescita e da un rapido decadimento del livello sonoro, avente durata minore o uguale a 1 s, e generalmente ripetuto ad intervalli (es.: lavorazioni di martello, esplosioni, ecc.) e $L_{Aeq,I} - L_{Aeq} \geq 3$ dB(A) (vedi punto 3.9 della norma UNI 9432:2011).

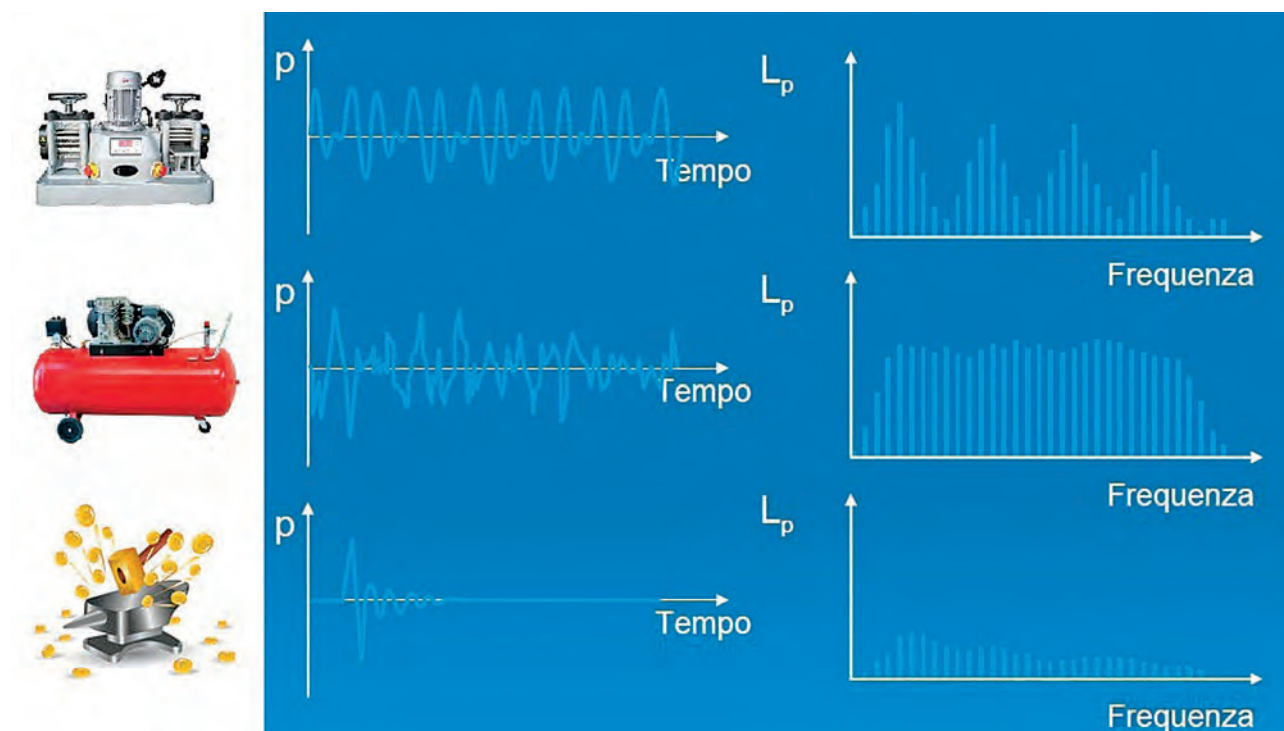


FIGURA 11 _ GRAFICI ANDAMENTO DIAGRAMMI RUMORE (CICLICO, FLUTTUANTE E IMPULSIVO)

⁶ Livello di pressione sonora ponderato A, con costante di tempo "slow", ovvero costante di tempo pari a 1 secondo.

2.10 Le strategie di misura

Una corretta valutazione del rischio viene eseguita in conformità alle indicazioni della norma UNI EN ISO 9612:2011 che propone un metodo tecnico progettuale per la misurazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori nell'ambiente di lavoro ed il calcolo del livello di esposizione sonora.

Occorre tener conto, inoltre, della norma UNI 9432:2011, da considerarsi complementare alla norma UNI EN ISO 9612:2011.

La valutazione del rischio viene effettuata seguendo tre possibili strategie:

1. **misurazioni basate su attività (compiti):** il lavoro svolto durante la giornata è analizzato e suddiviso in un numero di *compiti* rappresentativi; per ogni determinato compito si eseguono separatamente le misure di livello di pressione sonora;
2. **misurazioni basate sulle mansioni:** mediante *campionatura casuale* si ottengono delle misure di livello di pressione sonora durante l'esecuzione di determinate mansioni;
3. **misurazioni a giornata intera:** il livello di pressione sonora è misurato *continuativamente* sull'arco completo di una o più giornate lavorative.

Tipologia o modalità di lavoro	Strategia di misurazione		
	Strategia 1 misurazioni basate sui compiti	Strategia 2 misurazioni basate sulle mansioni	Strategia 3 misurazioni a giornata intera
Postazione di lavoro fissa - Compito unico o semplice	(*) (**)	--	--
Postazione di lavoro fissa - Compiti complessi	(*) (**)	(*)	(*)
Lavoratore in movimento - Modalità prevedibile - Ridotto numero di compiti	(*) (**)	(*)	(*)
Lavoratore in movimento - Modalità prevedibile - Elevato numero di compiti o modalità di lavoro complessa	(*)	(*)	(*) (**)
Lavoratore in movimento - Modalità imprevedibile	--	(*)	(*) (**)
Lavoratore stazionario o in movimento - Compiti multipli con durate dei compiti non specificate	--	(*) (**)	(*)
Lavoratore stazionario o in movimento - Nessun compito assegnato	--	(*) (**)	(*)
(*) La strategia può essere utilizzata			
(**) Strategia consigliata			

STRATEGIE DI MISURAZIONE DEL RUMORE (PROSPETTO B. 1 DELLA NORMA UNI 9612:2011)



2.10.1 misurazioni basate sulle attività (compiti)

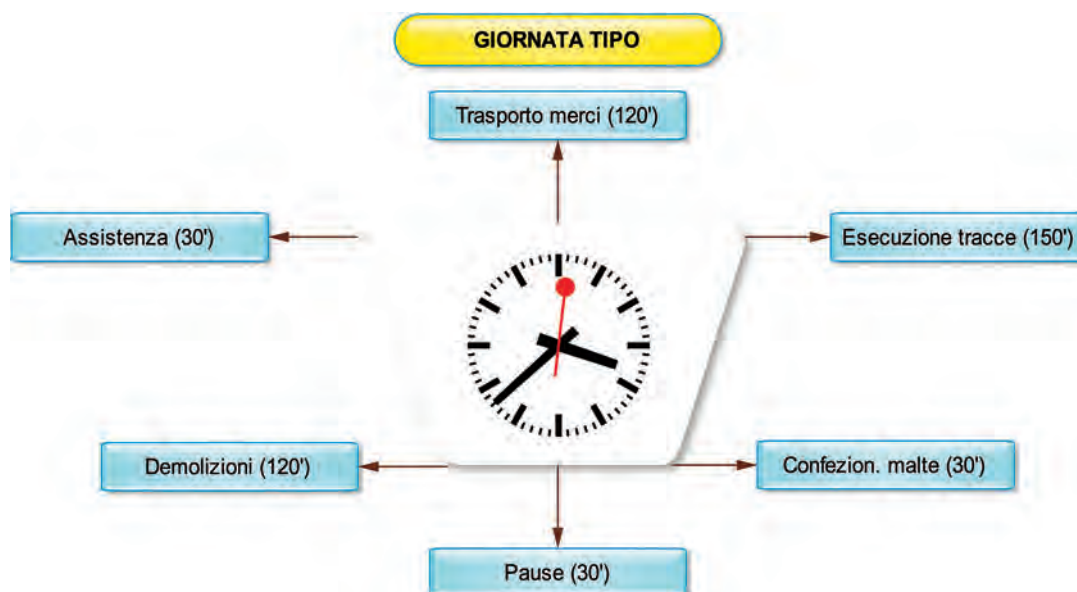
La misurazione basata sui compiti è utilizzata per lavori costituiti da compiti ben definiti, con condizioni di rumore chiaramente individuabili, assicurandosi che tutti i contributi al rumore siano inclusi (vedi norma UNI EN ISO 9612:2011).

Per il lavoratore, o per i gruppi acusticamente omogenei (GAO) da esaminare, la giornata lavorativa nominale (tipo) viene suddivisa in compiti "m".

Per ogni compito "m" si rilevano, quindi, il livello sonoro equivalente ponderato A, $L_{Aeq, m}$, ed il livello sonoro di picco ponderato C, $L_{picco, m}$.

La misurazione del livello sonoro equivalente ponderato C, $L_{Ceq, m}$, pur non essendo obbligatoria ai fini del calcolo dei descrittori di rischio, è utile per l'eventuale verifica dei DPI uditivi.

La *mansione* è l'insieme delle attività, e cioè dei *compiti*, svolti dal lavoratore, i quali altro non sono che le specifiche componenti della mansione (es.: *mansione* falegname; *compiti*: taglio, fresatura, ecc.).



Le misurazioni debbono considerare le variazioni del livello di rumore all'interno di ogni compito nel tempo, nello spazio, e nelle condizioni di lavoro.

Il tecnico addetto alle misurazioni deve assicurarsi che la situazione lavorativa sia rappresentativa.

La durata di ogni misurazione deve essere sufficientemente ampia per rappresentare il livello medio di pressione sonora continuo equivalente per l'effettivo compito svolto (vedi paragrafo precedente) e comunque deve essere di almeno 5 min.

Per ogni compito si debbono eseguire almeno *tre* misurazioni.

Per tener conto delle reali variazioni nel livello di rumore, si raccomanda di eseguire delle misurazioni in tempi diversi durante l'esecuzione del compito e/o su diversi lavoratori di un GAO; se le tre misurazioni risultanti di un compito dovessero portare a risultati che differiscono di 3 dB o oltre, la norma prevede di eseguire tre o più misure aggiuntive del compito, di suddividere il compito in più compiti (sottofasi elementari), o di aumentare la durata di ogni misurazione, aumentando così la quantità di informazioni rilevate.

Per rilievi fonometrici effettuati tramite singola misura, la strumentazione fornisce direttamente i livelli sonori risultanti del compito considerato:

- $L_{Aeq, m}$
- $L_{Ceq, m}$
- $L_{picco, m}$

Per rilievi eseguiti tramite campionamento, il livello sonoro equivalente ponderato A risultante del compito "m" considerato è ricavato tramite la seguente relazione:

$$L_{Aeq, m} = 10 \log \left[\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 L_{Aeq, mi}} \right]$$

dove:

- $L_{Aeq, mi}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A del campione di indice i ;
- i è l'indice del campione considerato;
- I è il numero totale di campioni per il compito "m";
- m è il compito considerato.

Il calcolo di $L_{Ceq, m}$ risultante del compito è analogo a quanto riportato per $L_{Aeq, m}$.

Qualora la misurazione avvenisse tramite campionamento, il valore del livello sonoro di picco, L_{picco} , sarebbe rappresentato del più alto valore misurato per i campioni in esame.

La durata dei compiti

La durata dei compiti, T_m , è determinata mediante:

- interviste ai lavoratori e/o al loro supervisore;
- osservazioni e misure di durate temporali durante le misurazioni del rumore;
- raccolta di informazioni in merito alle tipiche fonti di rumore (ad es.: processi lavorativi, macchine, attività sul luogo di lavoro e nei dintorni).

Ove ritenuto opportuno, la durata di un compito può anche essere considerata una *variabile*.

Per determinare le possibili variazioni della durata, si procede ad osservare il compito ed a registrarne la durata, ad esempio, per un numero preciso di ripetizioni.

In alternativa, possono essere interpellati alcuni lavoratori, e i loro supervisori, al fine di determinare una ragionevole valutazione delle variazioni delle durate.

Ottenuto un valore J di osservazioni del compito, avente diverse durate $T_{m,j}$, la media aritmetica della durata del compito, $\overline{T}_m$, è data dall'espressione:

$$\overline{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j}$$

La sommatoria delle durate individuali dei vari compiti, che costituiscono la giornata nominale, corrisponde all'effettiva durata della giornata lavorativa.

La durata effettiva della giornata lavorativa, T_e , è data da:

$$T_e = \sum_{m=1}^M \overline{T}_m$$

dove:

- $\overline{T}_m$ è la media aritmetica delle durate del compito "m", ossia la durata esatta di questo, qualora essa fosse determinabile con precisione;
- m è l'indice del compito;
- M è il numero totale di compiti che compongono la mansione.

Il calcolo del livello di esposizione giornaliera al rumore

Per ogni giornata lavorativa si calcola, quindi, il livello di esposizione giornaliera al rumore del singolo lavoratore, o del GAO, dovuto alla totalità dei compiti, secondo la seguente relazione:

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\sum_{m=1}^M \frac{\overline{T}_m}{T_0} 10^{0,1 L_{Aeq, m}} \right]$$

dove:

- $L_{Aeq, m}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A del compito "m";
- $\overline{T}_m$ è la media aritmetica delle durate del compito "m";
- T_0 è la durata di riferimento della giornata lavorativa nominale pari 8 ore.

La seguente relazione permette di calcolare l'esposizione al rumore ponderato A a partire dal contributo al rumore di ogni compito.

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\sum_{m=1}^M 10^{0,1L_{EX,8h, m}} \right]$$

dove:

- $L_{EX,8h, m}$ è l'esposizione al rumore ponderato A del compito m che contribuisce al livello di esposizione giornaliera al rumore;
- m è il numero dei compiti;
- M è il numero totale di compiti che contribuiscono all'esposizione giornaliera al rumore.

Se il contributo al rumore relativo ad ogni compito "m" è calcolato in conformità al punto 9.4 (facoltativo) della norma UNI EN ISO 9612:2011, può essere utilizzata la seguente relazione:

$$L_{EX,8h,m} = L_{Aeq, m} + 10 \log \overline{T}_m / T_0$$

Tale parametro è utile per evidenziare quale compito lavorativo contribuisce maggiormente all'esposizione giornaliera del lavoratore e individuare, quindi, le macchine/lavorazioni più pericolose dal punto di vista acustico, ai fini degli eventuali interventi di bonifica.

2.10.2 misurazioni basate sulle mansioni

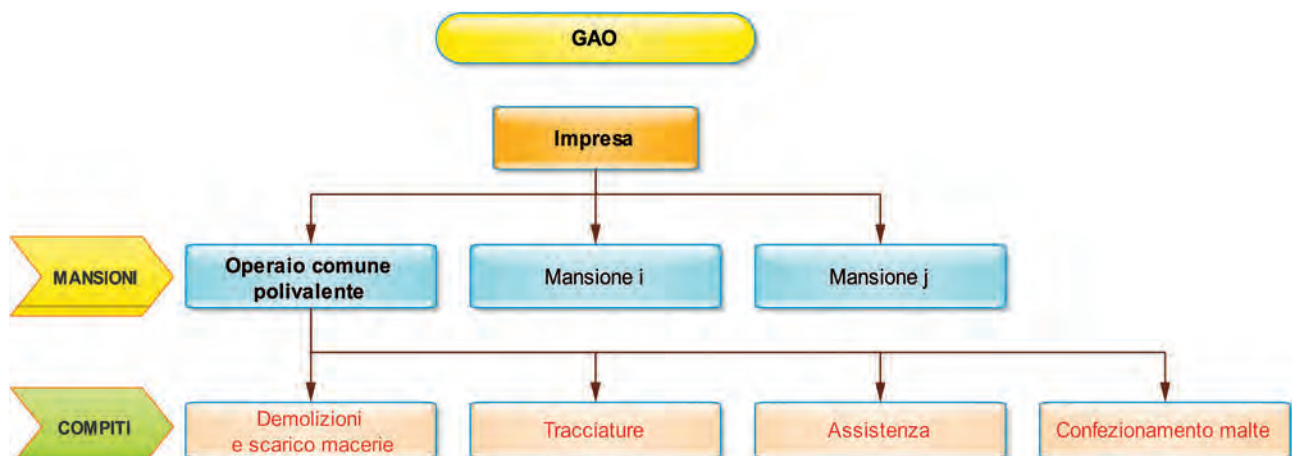
La misurazione basata sulle mansioni viene utilizzata quando non sia utilmente possibile descrivere modelli di lavoro e/o compiti.

Tale strategia è basata su un approccio di tipo statistico e consiste nel prelievo di *campioni casuali* dell'esposizione al rumore, misurando il $L_{Aeq, T}$ durante l'esecuzione della mansione in esame.

L'individuazione della mansione e del piano delle misurazioni

Individuata la mansione sono stati stabiliti i gruppi acusticamente omogenei (GAO).

Identificato il gruppo, occorre determinare la *minima durata cumulativa delle misurazioni* in base al numero di lavoratori, n_G , che costituisce il GAO.



Il prospetto 1 della norma UNI EN ISO 9612:2011 fornisce le indicazioni per il calcolo della durata minima cumulativa delle misurazioni:

Numero di lavoratori appartenenti al GAO (n_G)	Durata minima cumulativa della misurazione (da distribuirsi sull'intero GAO)
$n_G \leq 5$	5 h
$5 < n_G \leq 15$	$5 \text{ h} + (n_G - 5) \times 0,5 \text{ h}$
$15 < n_G \leq 40$	$10 \text{ h} + (n_G - 15) \times 0,25 \text{ h}$
$n_G > 40$	17 h o dividere il gruppo

Il calcolo della durata cumulativa delle misurazioni consente di determinare il piano di misurazione, ossia il numero di campioni e la relativa durata.

In aderenza a quanto indicato dalla norma UNI EN ISO 9612:2011, il numero di campioni rappresentativo della mansione deve essere almeno pari a *cinque* e la durata complessiva delle misurazioni deve essere uguale o superiore alla durata minima cumulativa calcolata utilizzando il prospetto 1 della norma.

Per ogni campione "n", distribuito casualmente fra i membri del gruppo omogeneo, si rilevano le seguenti grandezze:

- $L_{Aeq, n}$
- $L_{picco, n}$
- $L_{Ceq, n}$

La misurazione del livello sonoro equivalente ponderato C, L_{Ceq} , pur non essendo obbligatoria ai fini del calcolo dei descrittori di rischio, è utile per l'eventuale verifica dei DPI uditivi.

Per ogni giornata lavorativa si calcola, quindi, il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A per l'effettiva durata della giornata lavorativa (T_e) secondo la seguente relazione:

$$L_{Aeq, Te} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 L_{Aeq, n}} \right]$$

dove:

- $L_{Aeq, Te}$ è il livello della pressione sonora continua equivalente ponderato A del campione "n";
- n è l'indice numerico del campione della mansione;
- N è il numero totale di campioni della mansione.

Il calcolo di L_{Ceq} risultante del compito è analogo a quanto riportato per L_{Aeq} .

Per quanto concerne il livello sonoro di picco, L_{picco} , esso è identificato come il più alto valore misurato rispetto ai campioni in esame.

Il calcolo del livello di esposizione giornaliera al rumore

Il livello di esposizione giornaliera al rumore ponderato A sarà quindi determinato dalla seguente relazione:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq, Te} + 10 \log T_e / T_0$$

dove:

- $L_{Aeq, Te}$ è il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A per l'effettiva durata della giornata lavorativa;
- T_e è l'effettiva durata della giornata lavorativa;
- T_0 è la durata di riferimento pari 8 ore.

2.10.3 misurazioni a giornata intera

La misurazione a giornata intera viene utilizzata quando il modello di esposizione al rumore dei lavoratori è imprevedibile o complesso.

Il vantaggio di questa strategia è quello di poter essere impiegata nel caso in cui l'attività lavorativa sia altamente variabile o senza tempi di ciclo prefissati.

Tale misurazione comprende tutti i contributi al rumore associati al lavoro ed i periodi silenziosi durante la giornata lavorativa; è prassi comune eseguire queste misurazioni a lungo termine, mediante misuratori personale dell'esposizione sonora.

Delle tre le strategie di misurazione questa è indubbiamente la più semplice a livello concettuale e anche in termini di complessità di calcolo: si tratta di rilevare, mediante misuratore personale, l'esposizione del lavoratore durante la sua intera giornata lavorativa.

Il numero dei campioni da rilevare non può comunque essere inferiore a tre, di durata pari alla giornata effettiva del lavoratore.

Gli svantaggi di questa strategia sono essenzialmente due: il primo è l'elevato numero di ore richiesto per effettuare i campionamenti, il secondo è determinato dal fatto che la norma UNI EN ISO 9612:2011 prevede che, qualora i risultati delle tre misurazioni differiscano di oltre 3 dB(A), si debba procedere al rilievo di almeno altre due misure giornaliere.

Lo schema di relazione per il calcolo dell'esposizione è lo stesso utilizzato per la strategia per mansioni.

Il piano delle misurazioni

In aderenza a quanto indicato dalla norma UNI EN ISO 9612:2011, come detto, occorre eseguire *tre* o più misurazioni (se $\Delta L > 3$ dB, occorre eseguire almeno altre *due* misure) e, per ognuna di esse, rilevare le seguenti grandezze:

- $L_{Aeq, n}$
- $L_{picco, n}$
- $L_{Ceq, n}$

La misurazione del livello sonoro equivalente ponderato C, L_{Ceq} , pur non essendo obbligatoria ai fini del calcolo dei descrittori di rischio, è utile per l'eventuale verifica dei DPI uditivi.

Il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A per l'effettiva durata della giornata lavorativa (T_e) si calcola secondo la seguente relazione:

$$L_{Aeq, Te} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 L_{Aeq, n}} \right]$$

dove:

- $L_{Aeq, Te}$ è il livello della pressione sonora continua equivalente ponderato A del campione "n";
- n è l'indice numerico del campione della mansione;
- N è il numero totale di campioni della mansione.

Il calcolo di L_{Ceq} risultante del compito è analogo a quanto riportato per L_{Aeq} .

Per quanto concerne il livello sonoro di picco, L_{picco} , esso è identificato come il più alto valore misurato rispetto alle misurazioni eseguite.

Il calcolo del livello di esposizione giornaliera al rumore

Il livello di esposizione giornaliera al rumore ponderato A sarà quindi determinato dalla seguente relazione:

$$L_{EX, 8h} = L_{Aeq, Te} + 10 \log T_e / T_0$$

dove:

- $L_{Aeq, Te}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A per l'effettiva durata;
- T_e è l'effettiva durata della giornata lavorativa;
- T_0 è la durata di riferimento pari 8 ore.

2.11 Le strumentazioni di misura

I misuratori personali dell'esposizione sonora ("dosimetri")

I misuratori dell'esposizione sonora fissati sulla persona sono da utilizzare nei casi in cui non sia possibile misurare l'esposizione di un lavoratore con il fonometro, ad esempio, quando il rumore da valutare presenta caratteristiche di variabilità ed imprevedibilità, oppure quando non è possibile effettuare una fonometria con un fonometro portato a mano (ad esempio all'interno di cabine di conducenti macchine industriali); essi debbono essere conformi alla norma CEI EN 61252/A1:2001 e rispettare i requisiti della classe 1 o 2 in conformità alla norma CEI EN 61672-1:2014⁷ previsti per i fonometri integratori.

Il microfono è montato sulla spalla, dal lato dell'orecchio più esposto, ad una distanza di almeno 10 cm dall'apertura del canale uditivo e ad una distanza di circa 4 cm sopra la spalla stessa.

Il microfono ed il suo cavo sono fissati in maniera tale da non subire intralci meccanici o ostruzioni che potrebbero indurre falsi risultati.

Inoltre, la misura deve essere presenziata dal tecnico per evitare eventuali errori sistematici dovuti a segnali non attinenti la lavorazione specifica, o segnali dovuti a malfunzionamento delle macchine o a un comportamento non corretto del lavoratore.

In alternativa, si può ricorrere a strumenti che consentano la registrazione della time-history del segnale e/o della registrazione audio, per effettuare la correzione dei dati in post elaborazione.



FIGURA 12 - MISURATORI PERSONALI DELL'ESPOSIZIONE SONORA

Calibratore

I calibratori sono apparecchi che emettono, ad una frequenza stabilita, un suono calibrato con un livello noto in dB; essi debbono possedere requisiti compatibili con la classe 1 della norma CEI EN 60942:2003.



FIGURA 13 - CALIBRATORE ACUSTICO

⁷ La Norma CEI EN 61672-1:2003, rimane applicabile fino al 4 novembre 2016

Calibrazione della strumentazione

La calibrazione acustica dell'intera catena di misura mediante il calibratore viene effettuata prima e dopo ogni serie di misurazioni, con la stessa configurazione strumentale, nelle stesse condizioni microclimatiche e comunque all'inizio ed alla fine della giornata dei rilevamenti.

Se, a seguito della calibrazione, lo strumento mostra uno scostamento dal valore di taratura del calibratore di oltre 0,5 dB, i risultati ottenuti dopo la precedente calibrazione sono considerati non validi.

Filtri di ottava o terzi di ottava

Qualora nella catena di misurazione siano presenti filtri di ottava o di terzo di ottava, essi debbono risultare conformi almeno alla classe 1 della norma CEI EN 61260:1997.

Il fonometro integratore

Lo strumento adoperato per le misure di livello sonoro è il *fonometro*, composto da un microfono, da una unità di trattamento e da una unità di lettura dati. I fonometri integratori debbono rispettare i requisiti della classe 1 o 2 in conformità alla norma CEI EN 61672-1:2014

L'unità di trattamento applica al segnale una delle curve di ponderazione oppure nessuna, il che permette al segnale di passare inalterato (curva lineare "Lin o Z").

Dopo che il segnale è stato ponderato, viene amplificato e ne viene calcolato il valore efficace (RMS). Questo valore viene inviato all'unità di lettura che rappresenta il SEL (Sound Exposure Level) in dB o in dB(A).

La maggior parte dei suoni richiede la misura di un livello fluttuante; ai fini di misurare il suono correttamente, le variazioni debbono essere misurate con un tempo di risposta del rivelatore adeguato.

Per questa ragione sono state standardizzate due risposte caratteristiche del rilevatore e che sono conosciute come:

- F (fast: veloce) che ha una costante di tempo di 125 ms e permette di ottenere una risposta rapida per seguire e misurare i livelli sonori che non variano troppo rapidamente;
- S (slow: lenta) che ha una costante di tempo di 1 secondo e quindi fornisce una risposta più lenta per smorzare le fluttuazioni del suono.

Se, invece, il suono che deve essere misurato consiste di impulsi isolati o contiene un'alta percentuale di rumori di tipo impulsivo, il fonometro ha a disposizione una costante di tempo ancora più rapida, normalizzata come:

- I (impulse) che ha una costante di tempo di 35 ms e con la quale si misurano anche i rumori transitori

Poiché un picco elevato può essere dannoso per l'udito anche se il valore RMS si mantiene basso, c'è infine un circuito per le misure del valore di picco dei livelli sonori:

- Peak con una costante non superiore a 70 μ s

La normativa internazionale prevede tre classi di strumenti:

- classe 0: fonometro da laboratorio di riferimento;
- classe 1: fonometro per misure da laboratorio o sul campo in condizioni acustiche definite;
- classe 2: fonometro per uso generale per misure sul campo.

I fonometri più semplici danno la misura del livello istantaneo del rumore; esistono strumenti più complessi che elaborano questa misura per fornire:

- il livello equivalente L_{Aeq} (fonometri integratori);
- l'analisi del rumore alle varie frequenze (analizzatori in bande di ottava e 1/3 ottava);
- l'analisi statistica;
- l'analisi di evento;
- le analisi architettoniche: tempo di riverbero RT_{60} e perdita di trasmissione attraverso parete.

Gli strumenti più moderni, in special modo quelli di classe 1, comprendono tutte le varie funzioni.

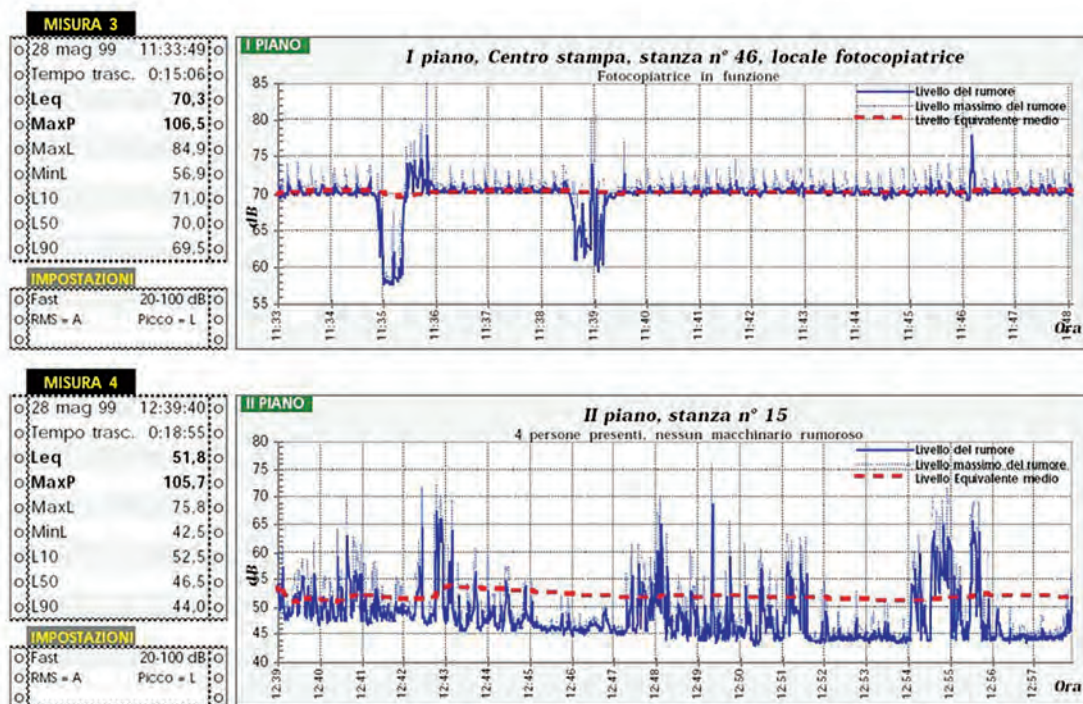
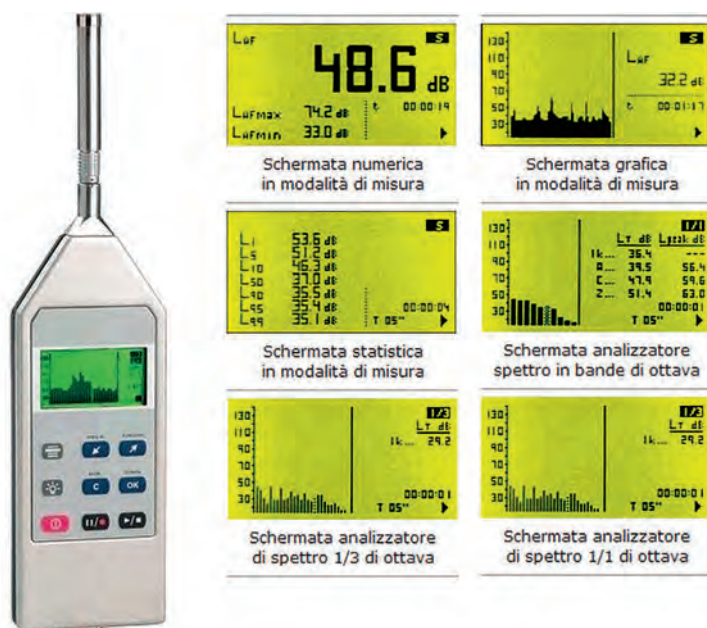


FIGURA 14 - FONOMETRO INTEGRATORE IN CLASSE 1 - ESTRATTI DELLE MISURAZIONI

I rilievi fonometrici

Preliminarmente all'esecuzione delle indagini fonometriche occorre acquisire tutte le informazioni atte a fornire un quadro completo delle attività pertinenti ai lavoratori o alle postazioni cui le misurazioni stesse si riferiscono.

Occorre, pertanto, considerare:

- i cicli tecnologici, le modalità di esecuzione delle fasi lavorative, i mezzi e ed i materiali utilizzati;
- la variabilità delle lavorazioni;
- le caratteristiche del rumore: costante, fluttuante, impulsivo, ciclico;
- le condizioni acustiche in prossimità dei punti di misura, compresa la presenza di segnali di avvertimento e/o allarmi;
- le postazioni di lavoro occupate e i tempi di permanenza nella stesse;
- le eventuali pause o periodi di riposo e le relative postazioni o ambienti dove sono fruite;
- l'eventuale presenza di gruppi di lavoratori acusticamente omogenei.

Condizioni di misura

I rilievi fonometrici vanno effettuati nelle seguenti condizioni operative:

- ambienti a normale regime di funzionamento;
- attrezzature in condizioni operative di massima emissione sonora.

Posizionamento del microfono

Per le fasi di lavoro che non richiedono necessariamente la presenza del lavoratore, il microfono viene posizionato in corrispondenza della posizione occupata dalla testa del lavoratore;

Per le fasi di lavoro che richiedono necessariamente la presenza del lavoratore, il microfono viene posizionato a circa 0,1-0,4 m di fronte all'orecchio esposto al livello più alto di rumore.

Tempi di misura

Per ogni singolo rilievo occorre scegliere un tempo di misura congruo al fine di valutare l'esposizione al rumore dei lavoratori.

Tale tempo deve comunque essere compatibile con le indicazioni fornite dalle norme UNI EN ISO 9612:2011 e UNI 9432:2011.

La taratura delle strumentazioni

La taratura degli strumenti di misura viene eseguita con periodo non maggiore di *due anni* della rispondenza alle caratteristiche descritte nelle norme CEI EN 60942:2003 e CEI EN 61672-3:2014⁸, a partire dall'immissione sul mercato.

La verifica della taratura avviene, comunque, dopo un evento traumatico per gli strumenti o dopo una riparazione.

Le verifiche periodiche sono eseguite presso laboratori facenti parte del LAT (Laboratorio di Taratura, accreditato da ACCREDIA, ex SIT, Servizio di Taratura) in Italia o dell'European Cooperation for the Accreditation (EA).

A margine si raccomanda, in fase di effettuazione delle misure di rumorosità negli ambienti di lavoro, di far rilevare oltre al valore di L_{Aeq} anche il L_{Ceq} , atteso che i moderni fonometri integratori di classe 1 o 2 dispongono di entrambe le curve di ponderazione; peraltro, ciò non comporta neanche maggiori oneri, in termini economici e temporali, in quanto i due livelli, L_{Aeq} e L_{Ceq} , vengono memorizzati in contemporanea dallo strumento e possono essere visualizzati in rapida successione da chi effettua le misure.

La misurazione del rumore impulsivo

La misurazione dell'esposizione a rumore impulsivo avviene sulla base di due percorsi:

- nella determinazione del L_{picco} , per la quale si utilizza l'impulso di massima ampiezza fra tutti quelli prevedibili.
Il livello L_{picco} così misurato deve essere confrontato con i valori di azione (135, 137 dB(C)), e con il valore limite (140 dB(C)) previsti dall'art.189 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.;
- nella determinazione del carattere impulsivo dei segnali ai quali viene esposto il soggetto. A questo proposito, qualora il *personale qualificato* ipotizzi una possibile presenza di rumore impulsivo, una verifica oggettiva può essere effettuata attraverso il criterio inserito nella norma UNI 9432:2011 al punto 3.9, per cui un segnale può essere considerato impulsivo quando esso soddisfa il criterio:

$$\Delta K_I = L_{Aeq,I,T} - L_{Aeq,T} \geq 3 \text{ dB(A)}$$

dove:

- $L_{Aeq,I,T}$ rappresenta il livello equivalente ponderato A rilevato con la costante di tempo Impulse;
- $L_{Aeq,T}$ rappresenta il normale livello equivalente ponderato A.

⁸ La Norma CEI EN 61672-2:2004, rimane applicabile fino al 4 novembre 2016

2.12 Le incertezze

Si definisce *incertezza* quel parametro associato al risultato di una misurazione, o di una stima, di una grandezza che ne caratterizza la dispersione dei valori ad essa attribuibili con ragionevole probabilità.

Come noto, l'art. 190, comma 4, del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. prevede espressamente che *nell'applicare quanto previsto nel presente articolo, il datore di lavoro tiene conto dell'incertezza delle misure determinate secondo la prassi metrologica.*

La corretta valutazione delle incertezze di misura è pertanto parte integrante della documentazione a supporto della valutazione del rischio e, in tal senso, poiché la norma di legge richiama espressamente la prassi metrologica e la norma UNI EN ISO 9612:2011 assicura l'assenza di errori sistematici solo in caso di rispetto rigoroso dei requisiti della norma stessa, appare necessario attenersi scrupolosamente alle indicazioni ivi previste.

Il punto 14 della norma UNI EN ISO 9612:2011, in particolare, afferma che *l'incertezza estesa di misurazione, assieme al fattore di copertura corrispondente, deve essere dichiarata per un intervallo unilaterale di confidenza del 95%.*

In funzione della strategia di misurazione selezionata, la norma UNI EN ISO 9612:2011 fornisce differenti modalità di determinazione dell'incertezza.

Va altresì evidenziato come in allegato alla norma venga presentato un foglio di calcolo che consente l'esecuzione dei computi necessari.

Per il calcolo dell'incertezza sul livello di picco l'unico riferimento normativo è l'appendice B.3 della UNI 9432:2011.

Di tali incertezze si dovrà tener conto al fine di stabilire l'eventuale superamento dei valori limite e dei valori di azione cui è legata l'adozione delle misure di tutela e sicurezza stabilite dal Capo II del Titolo VIII del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008.

2.12.1 Calcolo dell'incertezza estesa $U(L_{EX,8h})$ secondo la norma UNI EN ISO 9612:2011

Si fa riferimento all'appendice C della norma UNI EN ISO 9612:2011; tale appendice descrive la procedura per determinare l'incertezza estesa del livello di esposizione al rumore ponderato A e normalizzato ad una giornata lavorativa di 8 ore, $L_{EX,8h}$.

L'incertezza estesa è data da:

$$U(L_{EX,8h}) = k u(L_{EX,8h})$$

Pertanto, nella pratica, al fine di dimostrare la conformità ai valori di azione e al valore limite di esposizione stabiliti dalla normativa vigente, il confronto con detti valori avviene utilizzando per il livello di esposizione giornaliera $L_{EX,8h}$, l'estremo superiore dell'intervallo monolaterale corrispondente ad un livello di confidenza del 95%:

$$L'_{EX,8h} = L_{EX,8h} + U(L_{EX,8h})$$

dove:

- $U(L_{EX,8h}) = [k u(L_{EX,8h})]$ è l'incertezza estesa sul livello di esposizione giornaliera;
- $u(L_{EX,8h})$ è l'incertezza combinata standard sul livello di esposizione giornaliera;
- $k = 1,65$ è un fattore di copertura, funzione dell'intervallo unilaterale di confidenza del 95%.

Per le condizioni in cui si necessita del confronto con il livello di esposizione settimanale, l'equazione è applicata sostituendo il livello $L_{EX,w}$ al livello $L_{EX,8h}$.

L'incertezza per i livelli di pressione sonora di picco ponderati C è determinata in conformità all'appendice B della norma UNI 9432:2011.

Il confronto del livello di picco con i relativi valori di azione e con il valore limite di esposizione di legge avviene utilizzando lo stesso metodo illustrato per il livello di esposizione giornaliera, a partire dall'incertezza $u(L_{picco})$:

$$L'_{picco} = L_{picco} + U(L_{picco})$$

dove:

- $U(L_{picco}) = [k u(L_{picco})]$ è l'incertezza estesa sul livello di picco;
- $u(L_{picco})$ è l'incertezza sul livello di picco.

2.12.2 Calcolo dell'incertezza combinata standard - strategia basata sui compiti

I contributi all'incertezza combinata standard, u , associata al livello di esposizione al rumore dipendono dall'incertezza u_i di ogni grandezza in ingresso e dai relativi coefficienti di sensibilità c_i .

I coefficienti di sensibilità rappresentano la misura di come il livello di esposizione al rumore è modificato dai cambiamenti nei valori delle relative grandezze d'ingresso.

I contributi delle relative grandezze d'ingresso sono dati dal prodotto delle incertezze standard e dei coefficienti di sensibilità associati.

L'incertezza combinata standard, u , si ottiene dai contributi individuali di incertezza, $c_i u_i$, mediante la seguente equazione:

$$u^2 = \sum c_i^2 u_i^2$$

Per la strategia di misura basata sui compiti, l'incertezza combinata standard è:

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

dove:

- $c_{1a,m}$ è il coefficiente di sensibilità:

$$c_{1a,m} = \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1 (L_{Aeq, m} - L_{EX,8h})}$$

in cui:

- T_m è la durata del compito "m";
- T_0 è il tempo di riferimento pari a 8 ore;
- $L_{Aeq, m}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A del compito "m";
- $L_{EX,8h}$ è il livello di esposizione giornaliera a rumore.
- $u_{1a,m}$ è l'incertezza standard dovuta al campionamento del livello di rumore del compito "m";

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{l(l-1)} \left[\sum_{i=1}^l (L_{Aeq, mi} - \bar{L}_{Aeq, m})^2 \right]}$$

in cui:

- i è l'indice numerico del campione dei compiti;
- l è il numero totale di campioni;
- $L_{Aeq, mi}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A del campione i ;
- $\bar{L}_{Aeq, m}$ è la media aritmetica di un numero l di livelli sonori continui equivalenti ponderati A misurati per il compito "m".

ovvero:

$$\bar{L}_{Aeq, m} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l L_{Aeq, mi}$$

- $u_{2,m}$ è l'incertezza standard dovuta alla strumentazione usata per la misura dei compiti: tale valore è funzione della conformità normativa della strumentazione utilizzata e si ricava tramite la seguente tabella:

Tipo di strumentazione	Incertezza standard $u_{2,m}$ (dB) (*)
Fonometro in conformità alla CEI EN 61672-1:2014, classe 1	0,7
Misuratore personale dell'esposizione sonora in conformità alla CEI EN 61252/A1:2001	1,5
Fonometro in conformità alla CEI EN 61672-1:2014, classe 2	1,5

(*) L'incertezza standard indicata nel prospetto è valida solo per L_{Aeq} .

- u_3 è l'incertezza standard dovuta alla posizione della strumentazione: si basa su dati empirici ed è posta pari ad 1;
- $c_{1b,m}$ è il coefficiente di sensibilità:

$$c_{1b,m} = 4,34 \frac{c_{1a,m}}{T_m}$$

in cui:

- $c_{1a,m}$ è il coefficiente di sensibilità (calcolato così come riportato nei passaggi precedenti);
- T_m è la durata del compito "m" considerato.
- $u_{1b,m}$ è l'incertezza standard dovuta alla durata dei compiti "m" ed è calcolata in base alle durate misurate mediante misurazioni indipendenti:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[\sum_{j=1}^J (T_{m,j} - \bar{T}_m)^2 \right]}$$

in cui:

- J è il numero totale di osservazioni di durata dei compiti;
- $T_{m,j}$ è la durata del compito "m" considerato relativa all'osservazione j ;
- $\bar{T}_m$ è la media delle durate del compito "m" considerato relativa alle osservazioni totali.

Il contributo $c_{1b,m}u_{1b,m}$, dovuto all'incertezza rispetto alla durata dei compiti, è preso in considerazione per quei compiti la cui durata è variabile ed è stata ottenuta come media di un numero J di osservazioni.

2.12.3 Calcolo dell'incertezza sul livello sonoro di picco, L_{picco}

L'incertezza totale sul livello sonoro di picco vale:

$$u^2(L_{picco}) = [u_{s,picco}^2 + u_L^2]$$

L'incertezza strumentale sul risultato della misura del livello sonoro di picco è stimabile dimezzando il valore dell'incertezza estesa $U_{s,picco}$ riportato sul certificato di taratura dello strumento di misura.

$$u_{s,picco} = 0,5 U_{s,picco}$$

Nel caso tale valore non sia indicato, per strumenti di classe 1, $u_{s,picco}$ è assunto pari a 1,2 dB.

L'incertezza u_L dovuta al posizionamento dello strumento è:

$$u_L = 1$$

2.12.4 Calcolo dell'incertezza per l'esposizione settimanale

Il livello di esposizione settimanale al rumore è calcolato utilizzando la seguente espressione:

$$L_{EX,w} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{0,1(L_{EX,8h})_k} \right]$$

La norma UNI EN ISO 9612:2011 non contiene indicazioni riguardo al calcolo dell'incertezza in relazione al livello di esposizione settimanale; il calcolo di quest'ultima può effettuarsi utilizzando l'equazione (B.1) della norma UNI 9432:2011, originariamente sviluppata per l'esposizione a lungo termine:

$$u_a(L_{EX,w}) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n 10^{0,2 L_i} u_i^2}}{\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i}}$$

dove:

- n è il numero delle giornate lavorative per quali si dispone di una stima del livello di esposizione;
- u_i è pari all'incertezza $u_a(L_{EX,8h})$ relativa all'i-esima giornata lavorativa.

A questa grandezza deve quindi essere aggiunta la componente legata alla strumentazione u_s .

L'incertezza sul livello di esposizione settimanale è data da:

$$u(L_{EX,w}) = \sqrt{[u_a^2(L_{EX,w}) + u_s^2]}$$

2.12.5 Calcolo dell'incertezza combinata standard - strategia basata sulle mansioni

Per la strategia di misura basata sulle mansioni, l'incertezza combinata standard è:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

dove:

- u_1 è l'incertezza standard dovuta al campionamento:

$$u_1^2 = \frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq, n} - \bar{L}_{Aeq})^2 \right]$$

in cui:

- N è il numero totale di campioni;
- n è l'indice dell'i-esimo campione;
- $L_{Aeq, n}$ è il livello sonoro continuo equivalente corrispondente all'n-esimo campione;
- $\bar{L}_{Aeq}$ è la media degli N campioni misurati per il gruppo omogeneo, ossia:

$$\bar{L}_{Aeq} = \frac{1}{N} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq, n}) \right]$$

- c_1 è il coefficiente di sensibilità associato al campionamento del livello di rumore per la mansione: il contributo $c_1^2 u_1^2$ va calcolato in funzione di u_1 e del numero di campioni N, attraverso l'utilizzo del prospetto C.4 della norma UNI EN ISO 9612:2011.

Conoscendo il numero dei campioni N ed il valore di u_1 in dB, associata ai valori misurati di $L_{Aeq, n}$, il prospetto seguente fornisce il valore di $c_1 u_1$ in dB.

N	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,5	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

CONTRIBUTO ALL'INCERTEZZA $c_1 u_1$ DEL CAMPIONAMENTO DEL $L_{Aeq, n}$

Se il contributo all'incertezza $c_1 u_1$ dovuto al campionamento risultasse maggiore di 3,5 dB (valori indicati in grassetto), si dovrebbe modificare il GAO o incrementare il numero di misurazioni, al fine di ridurre l'incertezza.

- c_2 è il coefficiente di sensibilità dovuto alla strumentazione è posto pari ad 1;
- u_2 è l'incertezza standard *dovuta alla strumentazione* usata per la misura dei compiti: tale valore è funzione della conformità normativa della strumentazione utilizzata e si ricava tramite la seguente tabella:

Tipo di strumentazione	Incetezza standard u_2 (dB) (*)
Fonometro in conformità alla CEI EN 61672-1:2014, classe 1	0,7
Misuratore personale dell'esposizione sonora in conformità alla CEI EN 61252/A1:2001	1,5
Fonometro in conformità alla CEI EN 61672-1:2014, classe 2	1,5

(*) L'incertezza standard indicata nel prospetto è valida solo per L_{Aeq} .

- u_3 è l'incertezza standard *dovuta alla posizione della strumentazione*: si basa su dati empirici ed è posta pari ad 1,0 dB.

2.12.6 Calcolo dell'incertezza combinata standard - strategia a giornata intera

Per le strategia di misura a giornata intera, la procedura per calcolare l'incertezza combinata standard è uguale al metodo per mansione:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

dove:

- u_1 è l'incertezza standard *dovuta al campionamento*:

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq, n} - \bar{L}_{Aeq})^2 \right]}$$

in cui:

- N è il numero totale delle misure;
- n è l'indice dell' i -esima misura;
- $L_{Aeq, n}$ è il livello sonoro continuo equivalente corrispondente all' n -esima misura;
- $\bar{L}_{Aeq}$ è la media delle N misure, ossia:

$$\bar{L}_{Aeq} = \frac{1}{N} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq, n}) \right]$$

- c_1 è il coefficiente di sensibilità associato al campionamento del livello di rumore c_1 è il coefficiente di sensibilità associato al campionamento del livello di rumore per la mansione: il contributo $c_1^2 u_1^2$ va calcolato in funzione di u_1 e del numero di campioni N , attraverso l'utilizzo del prospetto C.4 della norma UNI EN ISO 9612:2011.

Conoscendo il numero dei campioni N ed il valore di u_1 in dB, associata ai valori misurati di $L_{Aeq, n}$, il prospetto seguente fornisce il valore di $c_1 u_1$ in dB.

N	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,5	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

CONTRIBUTO ALL'INCERTEZZA $c_1 u_1$ DEL CAMPIONAMENTO DEL $L_{Aeq, n}$

Ove $c_1 u_1$ risultasse maggiore di 3,5 dB, si raccomanda di rivedere o di modificare il piano di misurazione per ridurre u_1 .

- c_2 è il coefficiente di sensibilità dovuto alla strumentazione è posto pari ad 1;
- u_2 è l'incertezza standard *dovuta alla strumentazione* usata per la misura dei compiti: tale valore è funzione della conformità normativa della strumentazione utilizzata e si ricava tramite la seguente tabella:

Tipo di strumentazione	Incetezza standard u_2 (dB) (*)
Fonometro in conformità alla CEI EN 61672-1:2014, classe 1	0,7
Misuratore personale dell'esposizione sonora in conformità alla CEI EN 61252/A1:2001	1,5
Fonometro in conformità alla CEI EN 61672-1:2014, classe 2	1,5

(*) L'incertezza standard indicata nel prospetto è valida solo per L_{Aeq} .

- u_3 è l'incertezza standard *dovuta alla posizione della strumentazione*: si basa su dati empirici ed è posta pari ad 1,0 dB.

2.12.7 Gestione dell'incertezza estesa $U(L_{EX,8h})$ secondo la norma UNI 9432:2011

Ad integrazione delle disposizioni contenute nella norma UNI EN ISO 9612:2011, la norma UNI 9432:2011 consiglia, in relazione al numero e alla durata delle misurazioni per la determinazione del livello sonoro continuo equivalente ponderato A ($L_{Aeq,Te}$), le seguenti strategie:

Rumore costante

Quando sulla base della ricognizione è accertata l'esistenza, per tutto il periodo di esposizione, di rumore costante (stazionario), è sufficiente l'esecuzione di una sola misurazione.

Il tempo di misurazione T_m può essere limitato al tempo necessario ad ottenere la stabilizzazione entro $\pm 0,3$ dB(A) della lettura del livello $L_{Aeq,Tm}$, e comunque non deve essere minore di 60 s.

In questo caso l'incertezza dovuta al campionamento è posta pari a zero.

Rumore ciclico

La norma UNI 9432:2011 prevede che, quando sulla base della ricognizione è accertata l'esistenza, per tutto il periodo di esposizione, di rumore ciclico, è sufficiente l'esecuzione di una sola misurazione.

La durata della misurazione deve, in ogni caso, essere pari ad un numero intero di cicli e, secondo la norma UNI 9432:2011, comunque non minore di 60 s.

In questo caso l'incertezza dovuta al campionamento è posta pari a zero.

Rumore fluttuante

Quando sulla base della ricognizione ed alle informazioni ricevute dai referenti aziendali si è accertata l'esistenza, per tutto il periodo di esposizione, di rumore fluttuante (non stazionario), l'adeguatezza del valore misurato a rappresentare il livello sonoro continuo equivalente dell'intero periodo può essere garantita:

- mediante l'esecuzione di una singola misurazione di durata pari all'intero periodo di esposizione; in questo caso si ottiene una misurazione diretta di $L_{Aeq,Te}$ e l'incertezza dovuta al campionamento è posta pari a zero;
- mediante l'esecuzione di una singola misurazione relativa alla condizione operativa più rumorosa. È compito del responsabile delle misurazioni individuare tale condizione, che deve essere valutata sulla base dell'esperienza e scelta in funzione delle varietà di lavorazioni realmente effettuate, utilizzando le fonti informative ritenute più affidabili. La durata della misurazione non può essere inferiore alla durata dell'operazione considerata. Anche in questo caso l'incertezza da campionamento è posta pari a zero;
- nel caso di rumore fluttuante determinato come media di più misure, l'incertezza dovuta al campionamento va invece calcolata.

L'appendice E della norma UNI 9432:2011 consiglia di effettuare il confronto con i valori di legge VIA, VSA, VL utilizzando l'estremo superiore dell'intervallo di incertezza sul livello di esposizione, determinato tramite l'appendice C della norma UNI EN ISO 9612:2011:

$$L_{EX}^* = L_{EX} + U(L_{EX}) \leq \{VIA; VSA; VL\}$$

dove:

VIA è il Valore Inferiore di Azione $L_{EX} = 80$ dB(A) e $p_{peak} = 135$ dB(C)

VSA è il Valore Superiore di Azione $L_{EX} = 85$ dB(A) e $p_{peak} = 137$ dB(C)

VL è il Valore Limite di esposizione $L_{EX} = 87$ dB(A) e $p_{peak} = 140$ dB(C)

2.13 I DPI uditivi

Premessa

Il rischio rumore NON si può controllare solo con i dispositivi di protezione uditivi (DPI-u) (e con la sorveglianza sanitaria).

D'altro canto, purtroppo, occorre segnalare che troppo spesso l'enfasi riservata alla valutazione dei DPI-u, di cui ci si occuperà più avanti, rischia, nel concreto, di far dimenticare che l'obiettivo principale del Datore di lavoro DEVE essere quello di pervenire all'organizzazione del proprio luogo di lavoro, osservando il fondamentale principio della riduzione del rischio "a monte".

Nel caso del rischio rumore, la riduzione del rischio non può che passare per la messa a disposizione dei lavoratori di attrezzature che emettano il *minimo possibile*, la realizzazione di insonorizzazioni e quant'altro concorra al controllo del rischio mediante procedimenti di riorganizzazione del lavoro.

Solamente laddove la predisposizione di misure *concrete* (preventive e protettive) non si riveli sufficiente, in relazione alla gestione del livello di rischio, si potrà (e dovrà) ricorrere alla "risorsa" DPI-u.

Generalità

La scelta dei DPI-u dipende dalle caratteristiche del rumore; essi si distinguono in:

- mezzi ad inserimento (tappi, inserti auricolari);
- cuffie;
- caschi.

I *tappi* e gli *inserti* (spesso monouso) si inseriscono direttamente nel canale acustico esterno e, a loro volta, sono suddivisi in inserti sagomati, in materiale plastico morbido poco deformabile e inserti deformabili, costituiti da materiali con elevate capacità plastiche (schiume, siliconi, ecc.).

Essi permettono di raggiungere tra gli 8 ed i 30 dB di attenuazione a seconda della composizione in frequenza del rumore da attenuare.

Le *cuffie* si applicano esternamente a protezione dell'orecchio; i modelli più efficienti sono quelli dotati di auricolari in PVC pieni di liquido fonoassorbente e raggiungono valori tra i 25 ed i 40 dB di attenuazione.

In condizioni particolari, caratterizzate da livelli elevati di rumore (sale prove motori, collaudo di aerei a terra, ecc.), le cuffie possono essere integrate da caschi che, riducendo la trasmissione del rumore attraverso le ossa del cranio, permettono di portare i livelli di rumore entro i limiti di legge.

Nella seguente tabella sono riportati i valori di attenuazione in dB ottenibile, al variare della frequenza, con l'impiego dei principali DPI-u.

DPI-u		Frequenza (Hz)						
Inserti sagomati		10 - 30	10 - 30	15 - 35	20 - 35	20 - 40	35 - 45	25 - 45
Inserti deformabili		20 - 35	20 - 35	25 - 40	25 - 40	30 - 40	40 - 45	35 - 45
Semi inserti		10 - 25	10 - 25	10 - 30	10 - 30	20 - 35	25 - 40	25 - 40
Cuffie		5 - 20	10 - 25	15 - 30	25 - 40	30 - 40	30 - 40	25 - 40
Cuffie e inserti (insieme)		20 - 40	25 - 45	25 - 50	30 - 50	35 - 45	40 - 50	40 - 50

Si possono definire, *efficienza* la capacità potenziale di un DPI-u di proteggere la funzionalità uditiva di un lavoratore ed *efficacia* la reale protezione della funzione uditiva ottenuta dal DPI-u.

Il parametro relativo all'*efficienza* sarà oggetto dei paragrafi seguenti; il secondo parametro (*efficacia*) attiene, sostanzialmente, alla erogazione di un adeguato programma di formazione e addestramento dei lavoratori e alla presenza di un sistema di controllo dell'uso e della manutenzione dei DPI-u che garantisca, quanto meno, che il personale indossi correttamente i DPI-u, assicuri il loro uso regolare nelle situazioni di rischio, la corretta custodia e la periodica manutenzione.

Si può pertanto affermare che l'*efficienza* rappresenti una pre-condizione dell'*efficacia* di un DPI-u.

2.13.1 La verifica dell'idoneità dei DPI-u

La norma europea UNI EN 458:2005 fornisce le linee guida per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione dei DPI-u; secondo tale norma, ogni protettore auricolare, oltre ad essere marcato CE, deve possedere i *dati di attenuazione* sonora forniti dal fabbricante.

Per verificare l'idoneità di un DPI uditivo esistono vari metodi che si basano sul grado di conoscenza delle caratteristiche del rumore ambientale e sui valori di attenuazione sonora forniti dal costruttore del dispositivo, congiuntamente alla marcatura CE.

Come detto, secondo la norma UNI EN 458:2005, ogni protettore auricolare deve essere accompagnato dai dati di attenuazione sonora *forniti dal fabbricante*, espressi in tre modalità:

- APV_f: esprime con una serie di valori, in dB, l'attenuazione sonora del DPI-u per lo spettro di frequenza in banda d'ottava che va da 63 Hz a 8000 Hz;
- HML: esprime con tre valori, in dB, l'attenuazione sonora del DPI-u per le frequenze alte (H), medie (M) e basse (L);
- SNR: esprime con un solo valore, in dB, l'attenuazione sonora semplificata (Simplified Noise Reduction) del DPI-u.

L'attenuazione deve essere tale da non generare una protezione insufficiente o, viceversa, una iperprotezione; lo spettro di attenuazione dovrebbe essere scelto in funzione sia dello spettro del rumore da cui proteggere, che delle modalità di espletamento del lavoro; nel seguito saranno illustrati i metodi utilizzati per calcolare la protezione fornita dall'otoprotettore.

I metodi da applicare secondo la UNI EN 458:2005⁹ sono, in ordine di preferenza, i seguenti:

-  metodo per bande d'ottava (OBM);
-  metodo HML;
-  metodo SNR.

Il metodo per bande d'ottava è di gran lunga il migliore ma occorre conoscere i livelli di rumore per banda d'ottava misurati sul luogo di lavoro ed i dati di attenuazione per banda d'ottava del protettore auricolare sottoposto a valutazione.

Per ottenere i livelli in frequenza del rumore sul luogo di lavoro va effettuata una analisi in frequenza (o spettro) del rumore con un fonometro integratore dotato di pacco filtri a bande d'ottava o un analizzatore di frequenza in tempo reale; in entrambi i casi detti strumenti debbono soddisfare i requisiti delle norme CEI EN 61672-1:2014 e CEI EN 61260:1997.

Riassumendo:

Metodo	Informazioni necessarie	Giudizio
bande d'ottava	Rumori costanti, fluttuanti o impulsivi: livelli di pressione acustica continui equivalenti per bande d'ottava $L_{oct,eq}$	Raccomandato (più preciso)
HML	Rumori costanti, fluttuanti o impulsivi: dati sui valori continui equivalenti L_{Aeq}	Intermedio
SNR	Rumori costanti, fluttuanti o impulsivi: dati sui valori continui equivalenti L_{Aeq}	Approssimato

In base all'art. 193, comma 2, il Datore di lavoro tiene conto dell'attenuazione prodotta dai dispositivi di protezione individuale dell'udito indossati dal lavoratore **solo** ai fini di valutare l'efficienza dei DPI-u e il rispetto dei valori limite di esposizione ($L_{EX} = 87$ dB(A) e/o $L_{C,picco} = 140$ dB(C)). Nel caso in cui è garantita l'efficienza dei DPI-u, i valori limite di esposizione sono sempre rispettati.

⁹ La norma UNI EN 458:2005 prevede anche un altro metodo (detto "di controllo HML"), tuttavia, poco utilizzato.

2.13.2 Il metodo per banda d'ottava (OBM)

Per applicare tale metodo occorre conoscere i livelli di rumore per banda d'ottava misurati sui luoghi di lavoro ed i dati di attenuazione per banda d'ottava del protettore auricolare sottoposto a valutazione. Per tali misurazioni occorre utilizzare un fonometro integratore dotato di pacco filtri a bande d'ottava. Il valore di L'_{Aeq} all'orecchio, dovuto all'attenuazione del DPI-u, si ottiene dalla formula seguente:

$$L'_{Aeq} = 10 \log \sum_{f=125}^{8000} 10^{0,1(L_f + A_f - APV_f)}$$

dove:

- f è la frequenza centrale di banda d'ottava dello spettro compreso tra 125 e 8000 Hz;
- L_f è il livello di rumore in dB nella banda d'ottava f ;
- A_f è la ponderazione in frequenza della curva A in dB nella banda d'ottava f ;
- APV_f è il *valore di protezione presunto* del protettore auricolare in dB nella banda d'ottava f ed è ricavabile sia direttamente dalla scheda tecnica del DPI che attraverso la seguente formula:

$$APV_f = M_f - f_c * s_f$$

dove:

- M_f è l'attenuazione ottimale media misurata per ciascuna banda di ottava con frequenza centrale da 125 Hz a 8000 Hz (la banda di ottava a 63 Hz è facoltativa);
- f_c è un coefficiente moltiplicativo che garantisce l'attenuazione del livello sonoro della popolazione oggetto della valutazione secondo una determinata percentuale che dipende dal valore assegnato a tale coefficiente:
 - $f_c = 1$ garantisce l'attenuazione per l'84% della popolazione oggetto della prova
 - $f_c = 1,65$ garantisce l'attenuazione per il 95% della popolazione oggetto della prova
 - $f_c = 2$ garantisce l'attenuazione per il 98% della popolazione oggetto della prova
- s_f è lo scarto tipo delle attenuazioni misurate per ciascuna banda di ottava.

Il valore L'_{Aeq} calcolato va poi confrontato con il livello di azione L_{act} per valutare l'idoneità dell'otoprotettore.

2.13.3 Il metodo HML

Per applicare il metodo HML occorre conoscere i valori di livello equivalente di rumore sul luogo di lavoro ponderati secondo le curve A e C, L_{Aeq} e L_{Ceq} , ed i tre valori di attenuazione H, M ed L del protettore auricolare sottoposto a valutazione, riportati nella scheda tecnica fornita dal costruttore.

Fase 1: calcolo della differenza $L_{Ceq} - L_{Aeq}$;

Fase 2: calcolo della riduzione prevista del livello di rumore (PNR, Predicted Noise Reduction) secondo una delle due equazioni:

$$PNR = M - \frac{H-M}{4} (L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2) \quad \text{per } L_{Ceq} - L_{Aeq} \leq 2 \text{ dB}$$

$$PNR = M - \frac{M-L}{8} (L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2) \quad \text{per } L_{Ceq} - L_{Aeq} > 2 \text{ dB}$$

Il valore ottenuto va arrotondato al numero intero più prossimo.

Fase 3: calcolo del livello effettivo all'orecchio L'_{Aeq} secondo l'equazione:

$$L'_{Aeq} = L_{Aeq} - PNR$$

Fase 4: confronto del valore L'_{Aeq} con il livello di azione L_{act} per valutare l'idoneità dell'otoprotettore.

Tale metodo non richiede la rilevazione dello spettro di frequenza del rumore e, poiché normalmente un fonometro di classe 1 o 2 dispone di entrambe le ponderazioni in frequenza A e C, è possibile misurare direttamente i livelli L_{Aeq} ed L_{Ceq} richiesti dal metodo.

2.13.4 Il metodo SNR

È il metodo più semplice; per ottenere il valore L'_{Aeq} occorre sottrarre al valore L_{Ceq} il valore SNR del dispositivo di protezione.

Fase 1: calcolo del L'_{Aeq}

$$L'_{Aeq} = L_{Ceq} - SNR$$

Esistono diversi fattori che possono ridurre l'attenuazione, misurata in laboratorio, dei dispositivi di protezione auricolare.

Tra questi ricordiamo:

- la taglia dei dispositivi, talvolta inadeguata alle caratteristiche fisiche dei lavoratori (tipicamente per i dispositivi di protezione auricolare preformati);
- il deterioramento dei materiali che costituiscono il dispositivo di protezione auricolare, legato all'invecchiamento o alla inadeguata conservazione del dispositivo stesso;
- il posizionamento o l'inserimento approssimativo del dispositivo di protezione auricolare, non conforme ai criteri stabiliti dal fabbricante;
- le modifiche realizzate dal lavoratore sul dispositivo di protezione auricolare, allo scopo di renderlo più confortevole (per esempio una deformazione delle cuffie per limitare la pressione sulla testa ritenuta fastidiosa);
- la presenza di capelli lunghi, barba, occhiali che rendono problematica una buona tenuta acustica delle cuffie;
- lo spostamento del dispositivo di protezione auricolare dalla sede originaria (per esempio inserti che si spostano verso l'esterno del condotto uditivo a causa dei movimenti mandibolari o cuffie che si spostano per i movimenti della testa);
- l'uso congiunto di altri DPI non uditivi (per esempio elmetti, occhiali).

Se si intende valutare l'attenuazione reale, tenendo conto del rendimento reale del DPI si avrà:

$$L'_{Aeq \text{ reale}} = L_{Ceq} - SNR' = L_{Ceq} - SNR \beta$$

dove SNR' è il prodotto del valore SNR per i coefficienti β^{10} di cui al prospetto D.1 della norma UNI 9432:2011:

- 0,75 per le cuffie
- 0,5 per gli inserti espandibili
- 0,3 per gli inserti preformati

Fase 2: confronto del valore $L'_{Aeq \text{ reale}}$ con il livello di azione L_{act} per valutare l'idoneità dell'otoprotettore.



LEGENDA: 1. INSERTI PREFORMATI; 2. CUFFIE ANTIRUMORE PER ELMETTO; 3. CUFFIE ANTIRUMORE; 4. INSERTI AURICOLARI AD ARCHETTO; 5. INSERTI ESPANDIBILI MONOUSO

¹⁰ Il coefficiente correttivo β può essere applicato anche ai singoli valori di attenuazione per banda di ottava, nel caso si applichi il metodo OBM, e ai valori H, M, L nel caso si applichi il metodo HML.

2.13.5 La valutazione dell'attenuazione sonora di un DPI-u per rumori impulsivi

L'attenuazione sonora di un protettore dell'udito può essere considerata sufficiente se il livello effettivo di pressione sonora di picco, L'_{picco} , all'orecchio quando si indossa il protettore dell'udito è uguale o minore del livello di azione di picco definito su scala nazionale, $L_{\text{act, picco}}$ (135 dB(C)).

I rumori impulsivi sono classificati come Tipo 1, 2 o 3 rispetto al contenuto di frequenza del rumore, secondo il prospetto B.1 indicato dalla norma UNI EN 458:

Tipo di rumore	Intervallo di frequenze	Sorgenti di rumore
Tipo 1	Quando la maggior parte dell'energia acustica è distribuita negli intervalli delle frequenze più basse	Pressione della punzonatrice Scossa per compressione Esplosivo (1 Kg) Esplosivo (8 Kg)
Tipo 2	Quando la maggior parte dell'energia acustica è distribuita tra le frequenze medie e più elevate	Pistola chiodatrice Maglio per fucinatura pesante Pistola punzonatrice Martello (acciaio) Martello (alluminio) Fucile Fuoco di prova
Tipo 3	Dove la maggior parte dell'energia acustica è distribuita nelle frequenze più elevate	Pistola Pistola (leggera) Pistola (pesante)

Il livello effettivo di pressione sonora di picco, L'_{picco} , all'orecchio ed il livello equivalente di pressione sonora ponderato A, L'_{Aeq} , all'orecchio sono determinati utilizzando il valore di attenuazione sonora modificato, d_m , del protettore dell'udito, secondo il prospetto B.2 riportato dalla norma UNI EN 458:

Tipo di rumore impulsivo	d_m (dB)*
1	L - 5
2	M - 5
3	H
(*) dove H, M e L sono ottenuti dai dati di attenuazione passiva dei fabbricanti o in conformità alla EN 4869-2	

Identificato il tipo di rumore, ed avendo a disposizione i dati di attenuazione del DPI-u, è possibile ricavare, quindi, il valore d_m espresso in dB.

Fase 1: definizione del tipo di rumore (1, 2 o 3)

Fase 2: determinazione del valore d_m (dB)

Fase 3: calcolo del livello sonoro di picco effettivo all'orecchio mediante la seguente formula:

$$L'_{\text{picco}} = L_{\text{picco}} - d_m$$

Valutazione: confronto del L'_{picco} con il livello di azione di picco definito su scala nazionale, $L_{\text{act, picco}}$.

Se $L'_{\text{picco}} < L_{\text{act, picco}}$ allora il protettore dell'udito è considerato adeguato.

2.13.6 La verifica dell'adeguatezza a DPI-u indossato

I metodi di verifica sopraindicati consentono di prevedere il livello effettivo di pressione sonora ponderato A totale, L'_{Aeq} , quando si indossa il protettore dell'udito.

Tale valore dovrebbe essere uguale o minore del livello di azione definito su scala nazionale che, secondo le indicazioni della UNI EN 458:2005, corrisponde al valore d'azione oltre il quale debbono essere indossati i DPI-u.

Secondo le "Indicazioni operative" del Coordinamento Tecnico delle Regioni e delle Province autonome, si ritiene che il livello effettivo all'orecchio, L'_{Aeq} , non debba superare gli 80 dB(A), nella considerazione che, in base dell'art. 193, comma 1 lett. a), del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., una volta che sul Datore di lavoro ricada l'obbligo di mettere i DPI a disposizione dei lavoratori questi, pur potendoli indossare a loro discrezione, essi debbano, in ogni caso, riceverli adeguati.

Si ritiene acusticamente adeguato, e quindi efficace, un DPI-u che permette di ottenere una protezione *buona*.

L'adeguatezza del dispositivo di protezione auricolare è, inoltre, subordinata alla condizione che si abbia $L'_{picco} \leq 135$ dB(C) per tutte le attività lavorative.

Di seguito è riportato il prospetto di riferimento di cui al punto C.2.3 della norma UNI 9432:2011:

Livello effettivo all'orecchio, a DPI-u indossato, L'_{Aeq} (dB)	Stima della protezione
> 80	<i>insufficiente</i>
da 75 a 80	<i>accettabile</i>
da 70 a 75	<i>buona</i>
da 65 a 70	<i>accettabile</i>
< 65	<i>troppo alta (iperprotezione)</i>

Nel caso in cui L'_{Aeq} sia maggiore di 80 dB(A) l'attenuazione fornita dal DPI auricolare è insufficiente e il dispositivo stesso deve essere sostituito.

Per quanto riguarda i valori di L'_{Aeq} inferiori a 65 dB(A) questi possono comunque essere ritenuti accettabili, caso per caso, previa verifica dell'assenza di controindicazioni legate all'ascolto di segnali acustici, allarmi, pericoli o particolari sensazioni di isolamento manifestate dal lavoratore.

2.13.7 L'efficacia dei DPI-u

L'efficacia dei DPI-u è legata:

- ad una corretta formazione e all'addestramento (obbligatorio) all'utilizzo (art. 77, comma 5, d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.) ed alla manutenzione, effettuata da personale qualificato e supportata da test di valutazione pratici in aula;
- alla vigilanza del preposto sul luogo di lavoro;
- alla valutazione dei dati sanitari del Medico Competente circa lo stato di salute dei lavoratori (relazione sanitaria annuale sui risultati anonimi collettivi della sorveglianza sanitaria, di cui all'art. 25).

Il tempo di utilizzo dei DPI-u è uno dei parametri più importanti!

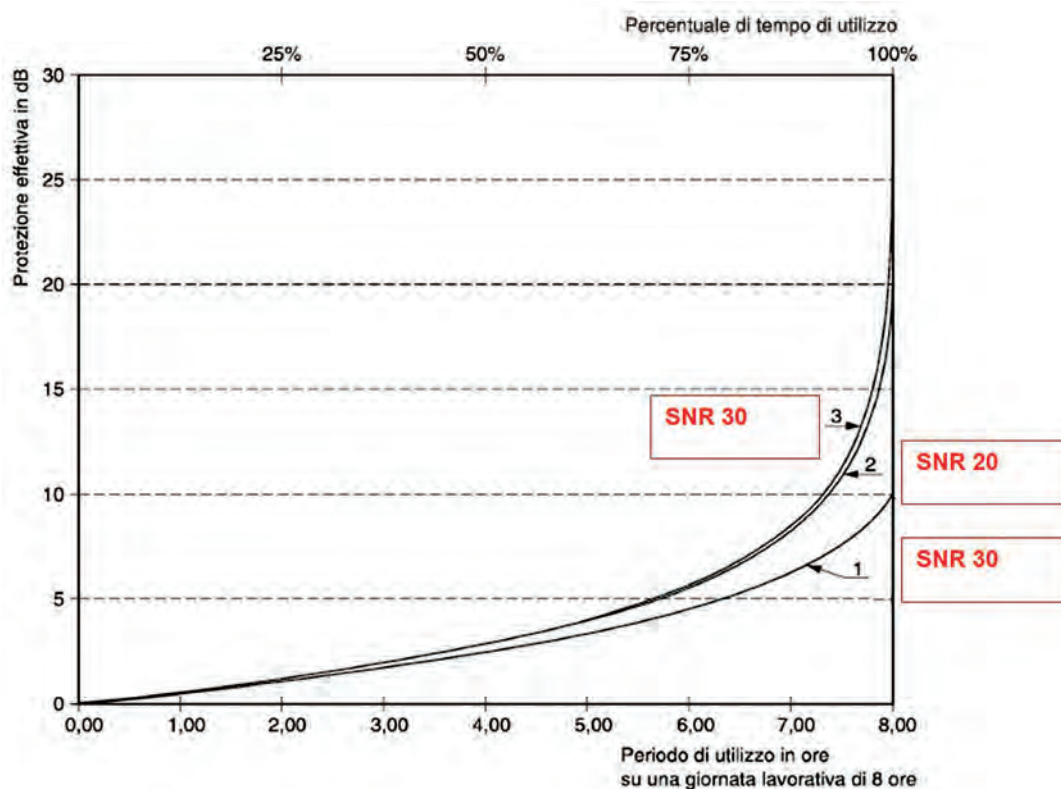


FIGURA 6.2 DEL PUNTO 6.2 DELLA NORMA UNI EN 458:2005:
PROTEZIONE EFFETTIVA DI UN DPI-u IN FUNZIONE DEL TEMPO DI UTILIZZO

Usare correttamente i DPI-u richiede una formazione specifica ed efficace!



NO



NO



NO



NO



SI

2.13.8 Esempio applicativo

Si consideri una postazione di lavoro, in un ambiente rumoroso, la cui analisi in frequenza, eseguita con un fonometro integratore dotato di pacco filtri a bande d'ottava, ha dato i seguenti risultati:

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L _f (dB)	84	86	88	97	99	97	96

Dalla tabella di comparazione dei valori di ponderazione A, B, C, D (vedi paragrafo 2.2), si riportano i valori dei coefficienti di pesatura, da aggiungere al rumore misurato L_f al fine di ottenere i valori pesati secondo la curva A (L_A) e la curva C (L_C):

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A _f (dB)	- 16,1	- 8,6	- 3,2	0	1,2	1,0	- 1,1
C _f (dB)	- 0,2	0	0	0	- 0,2	- 0,8	- 3,0

Dai valori riportati si evince, peraltro, come la curva A attenui fortemente il rumore alle basse frequenze, mentre la curva C si discosti molto poco dalla misura lineare, e solo per le alte frequenze.

Quindi, applicando i coefficienti di pesatura della curva A e della curva C e sommando logaritmicamente i contributi delle singole frequenze, si ottiene:

$$L'_{Aeq} = 10 \log \sum_{f=125}^{8000} 10^{0,1(L_f + A_f)}$$

$$\rightarrow L_{Aeq} = 104 \text{ dB(A)}$$

$$\rightarrow \text{e, analogamente, } L_{Ceq} = 103 \text{ dB(C)}$$

Scelto un DPI-u (inserti auricolari con archetto), che si ritiene possa essere adeguato per il lavoratore, i dati riportati nella scheda tecnica fornita dal produttore sono i seguenti:

					Valori di attenuazione alle Frequenze di banda (Hz)							
SNR	H	M	L	F (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
25,00	30,00	21,00	18,00	M _f (dB)	19,6	20,1	20,4	22,7	24,7	36,2	40,1	42,9
				S _f (dB)	3,9	4,1	4,7	5,5	2,9	4,3	3,0	4,1
				M _f - S _f	14,7	16,0	15,8	17,2	21,8	31,9	37,1	38,8

Utilizziamo i tre metodi sopra esaminati per verificare l'idoneità del DPI:

Applicazione del metodo per banda d'ottava (OBM)

Fase 1: calcolo del L'_{Aeq}

$$L'_{Aeq} = 10 \log \sum_{f=125}^{8000} 10^{0,1(L_f + A_f - APV_f)}$$

$$L'_{Aeq} = 10 \log [10^{0,1 \times (84 - 16,1 - 16)} + 10^{0,1 \times (86 - 8,6 - 15,8)} + 10^{0,1 \times (88 - 3,2 - 17,2)} + 10^{0,1 \times (97 + 0 - 21,8)} + 10^{0,1 \times (99 + 1,2 - 31,9)} + 10^{0,1 \times (97 + 1,0 - 37,1)} + 10^{0,1 \times (96 - 1,1 - 38,8)}] = 76,9 \text{ dB(A)}$$

Fase 2: valutazione

Assumendo come livello di azione L_{act} = 80 dB(A) il valore di L'_{Aeq} calcolato è da considerare, secondo la norma EN 458, *accettabile* (80 dB(A) < L'_{Aeq} ≤ 75 dB(A)) e si può, pertanto, ritenere adeguato il DPI-u scelto. In caso di iperprotezione (L'_{Aeq} < 65 dB(A)) o di protezione insufficiente, L'_{Aeq} > 80 dB(A), si sarebbe dovuto prendere in considerazione un altro protettore auricolare e ripetere la procedura di verifica.

È importante notare che la valutazione dell'attenuazione acustica del protettore non dipende tanto dalla sua attenuazione complessiva ma dall'andamento in frequenza dell'attenuazione rispetto a quello del rumore ambientale.

Nell'esempio, il rumore ambientale ha un andamento in frequenza crescente, con un massimo intorno a 2000 Hz; l'andamento dell'attenuazione del protettore acustico esaminato è analogo, pertanto, l'efficacia del DPI-u, per questo tipo di sorgente, è senz'altro buona.

Applicazione del metodo HML

Fase 1: calcolo della differenza $L_{Ceq} - L_{Aeq}$

$$L_{Ceq} - L_{Aeq} = 103 - 104 = -1 \text{ dB}$$

Fase 2: calcolo del PNR

risultando $L_{Ceq} - L_{Aeq} \leq 2 \text{ dB}$ si applicherà la relazione:

$$PNR = M - \frac{H - M}{4} (L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2)$$

$$PNR = 21 - \frac{30 - 21}{4} (-1 - 2)$$

$PNR = 27,75$ da arrotondare a 28 dB

Fase 3: calcolo del L'_{Aeq}

$$L'_{Aeq} = L_{Aeq} - PNR$$

$$L'_{Aeq} = 104 - 28 = 76 \text{ dB}$$

Fase 4: valutazione

Assumendo come livello di azione $L_{act} = 80 \text{ dB(A)}$ il valore di L'_{Aeq} calcolato è da considerare, secondo la norma EN 458, *accettabile* ($80 \text{ dB(A)} < L'_{Aeq} \leq 75 \text{ dB(A)}$) e si può, pertanto, ritenere adeguato il DPI-u scelto.

Applicazione del metodo SNR

Fase 1a: calcolo del L'_{Aeq} (SNR)

$$L'_{Aeq} = L_{Ceq} - SNR$$

$$L'_{Aeq} = 103 - 25 = 78 \text{ dB}$$

Fase 1b: calcolo del L'_{Aeq} (SNR')

Intendendo, invece, valutare l'attenuazione reale, tenendo conto del rendimento reale del DPI-u si avrà:

$$L'_{Aeq \text{ reale}} = L_{Ceq} - SNR' = L_{Ceq} - SNR \beta$$

in questo caso $\beta = 0,3$

$$L'_{Aeq \text{ reale}} = 103 - 25 \times 0,3 = 95,5 \text{ dB}$$

Fase 2a: valutazione

Assumendo come livello di azione $L_{act} = 80 \text{ dB(A)}$ il valore di L'_{Aeq} calcolato è da considerare, secondo la norma EN 458, *accettabile* ($80 \text{ dB(A)} < L'_{Aeq} \leq 75 \text{ dB(A)}$) e si può, pertanto, ritenere adeguato il DPI-u scelto.

Fase 2b: valutazione

Assumendo come livello di azione $L_{act} = 80 \text{ dB(A)}$ il valore di $L'_{Aeq \text{ reale}}$ calcolato è da considerare, secondo la norma EN 458, *insufficiente* ($L'_{Aeq \text{ reale}} > 80 \text{ dB(A)}$) e non si può, pertanto, ritenere adeguato il DPI-u scelto.



La valutazione del rischio

Capitolo 3 - La valutazione del rischio

3.1 I livelli di esposizione al rumore e le relative classi di rischio

Il d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., in materia di protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione al rumore, determina tre *classi di esposizione al rumore*, come riportato nella seguente tabella; relativamente alla condizione che prevede $L'_{EX,8h} > 87$ dB(A), o $L'_{picco} > 140$ dB(C) la situazione non è ritenuta accettabile (art. 182, comma 2).

Classe di rischio	Livello di esposizione $L'_{EX,8h}$ dB(A)	Pressione di picco L'_{picco} dB(C)
“BASSA”	$L'_{EX,8h} \leq 80$	$L'_{picco} \leq 135$
“MEDIA”	$80 < L'_{EX,8h} \leq 85$	$135 < L'_{picco} \leq 137$
“ALTA”	$85 < L'_{EX,8h} \leq 87$	$137 < L'_{picco} \leq 140$

Il livello di esposizione $L'_{EX,8h}$ ed il livello di picco L'_{picco} (livelli comprensivi, si badi bene, del contributo delle incertezze vedi paragrafo 2.12) sono osservati *congiuntamente* ai fini della verifica del superamento dei valori di azione e di quelli limite.

Si segnala peraltro che, a norma dell'art. 189, comma 2, laddove a causa delle caratteristiche intrinseche dell'attività lavorativa, l'esposizione giornaliera al rumore varia significativamente, da una giornata di lavoro all'altra, è possibile sostituire, ai fini dell'applicazione dei valori limite di esposizione e dei valori di azione, il livello di esposizione giornaliera al rumore $L'_{EX,8h}$ con il livello di esposizione settimanale $L'_{EX,w}$.
Ciò, è specificato, a condizione che:

- il livello di esposizione settimanale al rumore, come dimostrato da un controllo idoneo, non ecceda il valore limite di esposizione di 87 dB(A);
- siano adottate le adeguate misure per ridurre al minimo i rischi associati a tali attività.

Per la valutazione dell'esposizione giornaliera, la norma prevede che, quando i livelli di esposizione misurati sul campo eccedono i valori limite di esposizione, $L'_{EX,8h} = 87$ dB(A), o di $L'_{picco} > 140$ dB(C), si proceda a verificare che l'adozione dei DPI-u garantisca il non superamento dei valori limite di esposizione.

Prima di ricorrere ai DPI-u, occorre sempre privilegiare gli interventi alla fonte e, più in generale, quelli tecnici e organizzativi finalizzati all'eliminazione o alla riduzione dei rischi.

Nel caso in cui $L'_{EX,8h}$ sia > 87 dB(A), o $L'_{picco} > 140$ dB(C), e l'attenuazione fornita dal DPI-u non sia sufficiente a rispettare il valore limite stabilito dalla legislazione vigente, occorrerà prevedere una serie di iniziative immediate volte alla rimozione delle cause che determinano tale situazione.

Da tale analisi si può quindi concludere che, per la definizione del corretto DPI-u è necessario effettuare l'analisi dell'adeguatezza verificando l'applicazione del prospetto della norma UNI EN 458:2005 (riportato al punto C.2.3 della norma UNI 9432:2011) e verificare che il livello equivalente sulla giornata lavorativa reale (correlato al tempo di utilizzo dei DPI-u) sia inferiore ai valori limite di esposizione.

In sostanza, la norma ha fissato un tetto massimo, invalicabile, per cui se al termine della valutazione, si rilevi un valore di $L'_{EX,8h} > 87$ dB(A), o un $L'_{picco} > 140$ dB(C), la situazione risultante non è accettabile. Il legislatore, tuttavia, offre al Datore di lavoro, con l'art. 193, comma 2, del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., la *possibilità* di verificare se, facendo utilizzare al lavoratore i DPI-u, questo continua, nonostante il DPI-u indossato, a rimanere esposto a valori superiori al valore limite (eventualità, peraltro, alquanto remota).

È importante sottolineare che tale *possibilità* serve *unicamente* a questo scopo e, in nessun caso, questa verifica può essere utilizzata per *abbassare* la classe di rischio del lavoratore!

Ciò in quanto la valutazione dell'esposizione al rumore, necessaria per la determinazione della classe di rischio, non deve tener conto dell'utilizzo dei DPI-u.

Il Datore di lavoro elimina i rischi alla fonte, o li riduce al minimo, e, in ogni caso, a livelli non superiori ai valori limite di esposizione, mediante le seguenti misure:

- adozione di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione al rumore;
- scelta di attrezzature di lavoro adeguate, che emettano il minor rumore possibile e il cui effetto è di limitare l'esposizione al rumore;
- progettazione della struttura dei luoghi e dei posti di lavoro;
- adeguata informazione e formazione sull'uso corretto delle attrezzature di lavoro;
- adozione di misure tecniche per il contenimento del rumore trasmesso per via aerea (schermature, involucri o rivestimenti realizzati con materiali fonoassorbenti) e del rumore strutturale (sistemi di smorzamento o di isolamento);
- programmi di manutenzione delle attrezzature, del luogo e dei sistemi sul posto di lavoro;
- migliore organizzazione del lavoro (limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione e adozione di orari di lavoro appropriati, con sufficienti periodi di riposo).

Obblighi	Classe di rischio		
	Livelli di esposizione quotidiana $L'_{EX,8h}$ dB(A) e/o pressione acustica di picco L'_{picco} dB(C) - <i>comprensivi del contributo delle incertezze</i>	"MEDIA"	"ALTA"
	"BASSA" $L'_{EX,8h} \leq 80$ dB(A) $L'_{picco} \leq 135$ dB(C)	80 dB(A) < $L'_{EX,8h} \leq 85$ dB(A) 135 dB(C) < $L'_{picco} \leq 137$ dB(C)	85 dB(A) < $L'_{EX,8h} \leq 87$ dB(A) 137 dB(C) < $L'_{picco} \leq 140$ dB(C)
Valutazione del rischio	L'obbligo della valutazione del rischio scatta sempre, indipendentemente dalla classe di rischio! Tale valutazione del rischio può essere eseguita con o senza misurazioni, a seconda dello specifico contesto		
Informazione e formazione dei lavoratori	Nessun obbligo	Obbligo di Informare e formare i lavoratori su: - o natura di tali rischi; - o misure adottate per ridurre il rumore e loro applicazione; - o valori limite di esposizione valori di azione; - o risultati e significati della misurazione e valutazione del rumore e rischi potenziali; - o uso corretto del DPI-u; - o utilità e mezzi per segnalare sintomi di danni all'udito; - o significato e ruolo della sorveglianza sanitaria e suoi obiettivi; - o procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo l'esposizione al rumore.	
Sorveglianza sanitaria	Nessun obbligo	Può essere richiesta dal lavoratore o indicata dal Medico Competente	E' obbligatoria, con periodicità stabilita dal Medico Competente
Uso dei dispositivi di protezione individuale (DPI-u)	Nessun obbligo	Il Datore di Lavoro deve metterli a disposizione dei lavoratori	E' obbligatorio. Il Datore di Lavoro deve esigere che i lavoratori li indossino I luoghi di lavoro sono indicati da appositi segnali.
Esposizione apposita segnaletica di sicurezza	Nessun obbligo	Nessun obbligo	Dette aree sono inoltre delimitate e l'accesso alle stesse è limitato, ove ciò sia tecnicamente possibile e giustificato dal rischio di esposizione
Misure tecniche e organizzative	Nessun obbligo	Nessun obbligo	Il Datore di lavoro elabora e attua un programma di misure tecniche e organizzative volte a eliminare o ridurre i rischi

3.1.1 L_{EX} e L_{Aeq} : concetti diversi

Occorre aver ben chiaro che i valori di L_{EX} e L_{Aeq} esprimono concetti diversi tra loro e da non confondere.

Ad esempio, nell'ipotesi in cui si abbia un $L_{EX,8h}$ che non superi gli 85 dB(A), ma si rilevino alcuni L_{Aeq} che superano tale valore, il d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. non impone l'uso dei DPI (che, tuttavia, debbono comunque essere messi a disposizione dei lavoratori).

Può essere il caso di un vano tecnico ospitante, ad esempio, un compressore.

Un generico addetto al controllo, potrebbe dover effettuare degli interventi nel vano tecnico, anche con il compressore funzionante; ipotizzando un accesso per dieci minuti al giorno, in tale situazione, e misurando un valore di L_{Aeq} pari a 86,8 dB(A) si potrebbe osservare, in assenza di altre esposizioni significative, che il valore di $L_{EX,8h}$ risulta inferiore anche agli 80 dB(A) e che, pertanto, non siano neanche necessari DPI-u per l'accesso al vano tecnico.

La ragione di tale previsione normativa, risiede nella considerazione che non sono gli 86,8 dB(A) di L_{Aeq} , della specifica sorgente *compressore*, a causare una potenziale insorgenza di ipoacusia, bensì l'intero complesso espositivo, ponderatamente mediato, che determina, in funzione del $L_{EX,8h}$ calcolato, l'assegnazione del/i lavoratore/i nella fascia rischiosa di competenza.

La valutazione del rischio rumore rappresenta lo studio complessivo del fenomeno e le azioni previste dalla norma, basandosi sull'esposizione personale, *scattano* sui L_{EX} e non sui L_{Aeq} .

Pertanto, pur considerando che il d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. contiene obblighi minimi, non derogabili, nella prassi prevenzionistica è sempre bene attenersi a protocolli più cautelativi.

Nelle fattispecie, è comunque consigliabile utilizzare le cuffie per le fasi a $L_{Aeq} > 85$, anche se brevi e anche per $L_{EX} < 80$ dBA, in quanto non si possono escludere, a priori, rischi per la salute, specialmente in soggetti particolarmente sensibili.



FIGURA 15 - SEGNALETICA OBBLIGATORIA AREE CON RUMORE SUPERIORE A 85 dB(A)

3.2 L'esposizione concomitante a sostanze ototossiche e/o a vibrazioni (HAV o WBV)

Nell'ambito della valutazione del rischio, occorre esaminare accuratamente le fasi lavorative in cui sia possibile riscontrare una qualche corrispondenza tra la presenza di rumore, sostanze ototossiche, vibrazioni e componenti impulsive.

Necessiterà, quindi, analizzare i risultati ottenuti con il Medico Competente, nell'ambito di un necessario e virtuoso dialogo; la valutazione e la riduzione dei rischi dovrebbero, infatti, interagire continuamente con la sorveglianza sanitaria, confrontando i risultati, al fine di ottimizzarne le modalità di pianificazione ed esecuzione delle rispettive attività.

3.2.1 Interazione rumore e sostanze ototossiche

Un agente ototossico viene definito come una sostanza che può danneggiare le strutture e/o la funzione dell'orecchio interno (apparato uditivo e vestibolare) e le vie neurali collegate.

L'effetto combinato delle sostanze chimiche ototossiche, per inalazione o per contatto cutaneo, e dell'esposizione al rumore è particolarmente dannoso per l'udito.

La presenza di sostanze chimiche causa, infatti, uno stato anormale dell'orecchio interno, rendendolo particolarmente vulnerabile ai danni meccanici dovuti al rumore.

Le sostanze ototossiche vengono, generalmente, classificate in *non occupazionali* e *occupazionali*.

Le sostanze ototossiche *non occupazionali* sono costituite essenzialmente da farmaci: tra le classi farmacologiche maggiormente interessate, la principale è quella degli antibiotici e, in particolare, degli amino-glicosidi, oltre ai diuretici dell'ansa, l'acido etacrinico, i salicilati, gli antineoplastici e gli antimalarici.

Altri fenomeni di ototossicità, in ambito non professionale, appaiono legati al fumo di sigaretta ed al consumo di alcool, anche se su questi ultimi si rileva ancora discordanza in letteratura.

Le sostanze ototossiche *occupazionali*, in letteratura, sono individuate sostanzialmente:

- nei solventi (es.: toluene, xileni, etilbenzene, stirene, esano, alcool n-butilico);
- nei metalli (es.: piombo, mercurio, manganese);
- negli asfissianti (es.: monossido di carbonio ed acido cianidrico).

Molti prodotti chimici utilizzati in agricoltura sono potenzialmente ototossici.

Nella normativa sul rumore, non esistono dei valori limiti di concentrazione che facciano riferimento all'azione ototossica, anche perché non esistono al momento sufficienti studi scientifici che possano offrire dei riferimenti certi.

Il danno uditivo si presenta se l'esposizione a queste sostanze avviene a concentrazioni sufficientemente alte che, peraltro, possono anche essere inferiori a quelle per cui la sostanza è considerata tossica sotto altri aspetti (nel caso di sostanze aerodisperse, come i solventi, i TLV, Threshold Limit Value, dell'ACGIH).

È stato anche dimostrato che l'azione ototossica delle sostanze chimiche viene amplificata dalla presenza di rumore (anche a livelli relativamente bassi, ad esempio inferiori agli 85 dB(A), fissati dalla normativa come soglia di sicurezza) e dalla presenza contemporanea di più sostanze ototossiche.

Il vero problema è che in assenza di dati precisi le sostanze imputate continuano ad essere impiegate in concentrazioni nelle quali possono svolgere un'azione ototossica, pur essendo permesse dalla normativa sulle sostanze pericolose.

Anche perché l'ototossicità di una sostanza (in definitiva, la sua concentrazione dannosa per l'udito) è influenzata dal livello di rumore coesistente e dalla presenza di altre sostanze ototossiche.

Per cui, si tratta di elaborare delle tabelle incrociate (lavoro oltremodo complesso) che prevedano, eventualmente, l'abbassamento della soglia nociva di rumore (fissata ad 85 dB(A)) in funzione della concentrazione di sostanze ototossiche presenti.

In situazioni nelle quali è possibile la contemporanea esposizione a rumore e a talune sostanze ototossiche, quali toluene, piombo, manganese e alcool n-butilico, l'ACGIH consiglia di disporre periodici esami audiometrici.

Si rimanda, per ulteriori approfondimenti, al documento dell'OSHA reperibile al sito:

https://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/combined-exposure-to-noise-and-ototoxic-substances

3.2.2 Interazione tra rumore e vibrazioni

Come noto, le vibrazioni possono essere trasmesse al sistema mano-braccio (HAV, Hand Arm Vibrations) o al corpo intero (WBV, Whole Body Vibrations).

Già le Linee Guida SIMLII del 2003 riferivano di studi sull'uomo in cui veniva dimostrata l'insorgenza di ipoacusia neurosensoriale permanente da interazione tra rumore e vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio HAV, mentre per l'esposizione contemporanea a rumore e vibrazioni trasmesse al corpo intero WBV risultava un effetto sinergico nella patogenesi del danno uditivo (più evidente alle alte temperature ed in presenza di esercizio fisico).

3.2.3 Interazione tra rumore e componenti impulsive

La presenza di rumore impulsivo all'interno dell'esposizione, pur non potendosi tradurre in una penalizzazione in termini quantitativi, rappresenta per l'esposto una possibile causa di amplificazione della perdita uditiva a lungo termine e, come tale, va sollecitamente segnalata al Medico Competente.

Si segnala, in proposito, che nel caso del rumore impulsivo si può avere il superamento della soglia di danno immediato a livelli pari a 140 dB(C).

In questo caso, infatti, non ha più importanza valutare i tempi di esposizione, in quanto il valore della pressione sonora è tale da poter pregiudicare l'integrità fisica dell'apparato uditivo in modo immediato e traumatico (rottura del timpano).

Pertanto, per quanto concerne l'accertamento della presenza di componenti impulsive nel rumore, occorre precisare che, allo stato attuale, tale questione non è ancora stata risolta in modo unanimemente condiviso.

Mentre, infatti, il riconoscimento di impulsi sonori ben individuabili e relativamente isolati, ad esempio colpi di maglio, o di pressa o di martello, è un'operazione nel complesso agevole, nel caso di impulsi multipli rapidi, associati ad esempio a lavorazioni eseguite da presse veloci, o nel caso di situazioni ambientali con una molteplicità di sorgenti sonore impulsive, tale riconoscimento può risultare più complesso e controverso.

3.2.4 Proposta per valutare l'interazione tra rumore, sostanze ototossiche e vibrazioni

Nell'ambito delle Linee Guida dell'ASL di Piacenza - Dipartimento di Sanità Pubblica - U.O. Prevenzione e Sicurezza Ambienti di Lavoro "Misurazione dell'esposizione e valutazione del rischio rumore titolo VIII capo II - d.lgs. 81/08" - giugno 2011, è stata pubblicata una proposta per la valutazione dell'interazione tra rumore e sostanze ototossiche e rumore e vibrazioni.

Si tratta di una guida, non vincolante, di buone prassi per la valutazione dell'interazione tra rumore e sostanze ototossiche e rumore e vibrazioni, al fine di garantire l'adozione di misure preventive, anche in assenza di conoscenze scientifiche sulle relazioni fra dosi e reazioni.

Valutando il rapporto tra la concentrazione dell'agente chimico (C_{esp}) a cui è esposto il lavoratore e il TLV di riferimento, sarà possibile graduare il rischio secondo la scala seguente:

Rumore e sostanze ototossiche		
C_{esp}/TLV	Graduazione del Rischio	Azione di Sorveglianza Sanitaria
Tra 1 e 0,5	+++	VIA(*) > 75 dB(A) - VSA(**) > 80 dB(A)
Tra 0,5 e 0,1	++	VIA(*) > 78 dB(A) - VSA(**) > 83 dB(A)
< 0,1	+	—

Analogamente, in presenza di un rischio di esposizione a vibrazioni, soggetto ad uno specifico percorso di valutazione (Capo III del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i.), sarà possibile graduare il rischio secondo la scala seguente:

Rumore e vibrazioni				
HAV		WBV		Azione di Sorveglianza Sanitaria
Tra 5 e 2,5 m/sec ²	+++	Tra 1 e 0,5 m/sec ²	+++	VIA(*) > 75 dB(A) - VSA(**) > 80 dB(A)
Tra 2,5 e 1 m/sec ²	++	Tra 0,5 e 0,25 m/sec ²	++	VIA(*) > 78 dB(A) - VSA(**) > 83 dB(A)
< 1 m/sec ²	+	< 0,25 m/sec ²	+	—

Si tratta, in sostanza di proporre un abbassamento, in funzione della graduazione del rischio rilevata, dei valori di azione, in relazione ai quali attivare, in ogni caso secondo il giudizio del Medico Competente, le procedure di sorveglianza sanitaria:

VIA(*) → Visita a richiesta

VSA(*) → Visita obbligatoria

3.2.5 Interazione tra rumore e segnali di avvertimento acustico

Nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'art. 190, il Datore di lavoro deve considerare, fra l'altro, tutti gli effetti sulla salute e sicurezza risultanti da interazione fra rumore e *segnali di avvertimento*.

Questi debbono essere udibili, discriminabili e inequivocabili.

Riferimento: d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. - Titolo V e Allegati da XXIV a XXXII

Indicazioni tecniche: norme UNI EN 981:2009 e UNI EN ISO 7731:2009

Udibilità

L'udibilità dei segnali acustici può definirsi buona per valori del livello di pressione sonora ponderata A superiori a 65 dB(A) e maggiori di almeno 15 dB rispetto al livello del rumore ambientale in dB(A). Se questo è superiore a 110 dB è necessario associare un segnale luminoso a quello acustico.

Discriminabilità

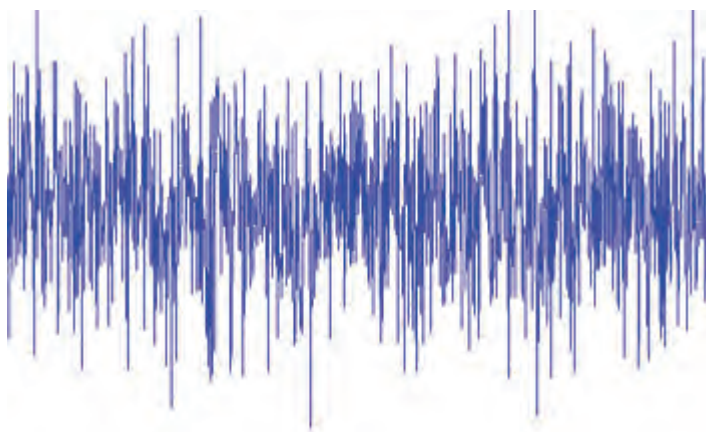
Tre sono i parametri che determinano la discriminabilità dei segnali acustici: il livello sonoro, la distribuzione temporale e la composizione spettrale.

Almeno due di questi debbono differire nettamente dal rumore ambientale; l'intervallo di frequenze deve essere compreso tra 300 - 3000 Hz e la frequenza di ripetizione compresa tra 0,5 e 5 s.

Inequivocabilità

I segnali acustici pulsanti sono preferibili a quelli costanti nel tempo.

I profili temporali e in frequenza di diversi segnali acustici debbono essere sensibilmente diversi tra loro.



3.2.6 L'emissione acustica delle macchine

L'art. 190 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. afferma che nell'ambito della valutazione del rischio il Datore di lavoro prende in considerazione anche le informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori delle attrezzature di lavoro in conformità alle vigenti disposizioni in materia.

Il riferimento attuale è la Direttiva macchine 2006/42/CE, "Nuova Direttiva macchine", recepita con d.lgs. 17 del 27 gennaio 2010 che, nell'Allegato I, considera fra i *requisiti essenziali di sicurezza* il rumore (punto 1.5.8) e, in modo innovativo rispetto alle Direttive precedenti, le vibrazioni (punto 1.5.9).

È pertanto previsto che:

La macchina deve essere progettata e costruita in modo tale che i rischi dovuti all'emissione di rumore aereo siano ridotti al livello minimo, tenuto conto del progresso tecnico e della possibilità di disporre di mezzi atti a limitare il rumore, in particolare alla fonte.

Il livello dell'emissione di rumore può essere valutato con riferimento ai dati comparativi di emissione di macchine simili; (interessanti spunti su questo argomento possono essere desunti dalle norme UNI EN ISO 11688 "Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore"),

e che:

La macchina deve essere progettata e costruita in modo tale che i rischi dovuti alle vibrazioni trasmesse dalla macchina siano ridotti al livello minimo, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di mezzi atti a ridurre le vibrazioni, in particolare alla fonte.

Il livello dell'emissione di vibrazioni può essere valutato in riferimento ai dati comparativi di emissione di macchine simili.

Il fabbricante è quindi responsabile dei rischi provocati dalla propria macchina in ragione del rumore prodotto; la Direttiva macchine, peraltro, non fissa limiti riguardo alle emissioni acustiche, ma impone ai fabbricanti di ridurre il rischio dovuto all'emissione di rumore al livello minimo, tenuto conto del progresso tecnico e della possibilità di disporre di mezzi atti a contenere il rumore.

Come esamineremo più avanti, oltre alla Direttiva macchine, talune categorie di macchine sono soggette anche ai limiti di emissione acustica previsti dalla Direttiva 2000/14/CE, concernente le macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto.

La limitazione del rumore alla fonte è il modo più efficace per ridurre i rischi dovuti al rumore per l'operatore addetto alla macchina e per le altre persone che possono essere esposte al rumore generato dalla stessa.

Per limitare l'emissione di rumore alla fonte in modo efficace, è necessario individuare le fonti principali del rumore generato dalla macchina.

Il costruttore già in fase di progettazione deve adottare tutte le misure volte a limitare la fonte, o le fonti, dominanti di rumore.

Le misure di protezione integrate contro l'emissione acustica comprendono la dotazione di barriere di protezione acustica attorno alla macchina o attorno alle fonti principali di rumore nella macchina.

Se del caso, si dovranno progettare i ripari antirumore necessari, oltre a fornire la protezione contro altri pericoli.

È anche possibile progettare barriere di isolamento acustico antirumore attorno ai posti di lavoro o di guida (cabine o cabine chiuse), che forniscono protezione anche contro altri pericoli.

Si segnala che tali misure non proteggono né gli operatori che si trovino al di fuori della zona protetta, né altre persone esposte.

Come già anticipato, le specifiche generali sulla limitazione del rumore generato dalla macchina sono fornite dalle norme UNI EN ISO 11688 - 1:2000 e UNI EN ISO 11688-2:2002.

Il Datore di lavoro, nell'ambito di una corretta valutazione del rischio, dovrà quindi acquistare macchine silenziose scelte sulla base dei dati di certificazione acustica forniti dai costruttori (vedi più avanti) ovvero, nel caso di macchine già presenti, dovrà utilizzarle riducendo al massimo l'esposizione dei lavoratori, anche modificando il lay-out sulla base della mappatura acustica illustrata nel paragrafo 3.3.



In definitiva, i rischi connessi al rumore (ed alle vibrazioni meccaniche) debbono essere, pertanto, presi in considerazione sia da chi progetta e costruisce le macchine e le attrezzature, sia da chi, generalmente il Datore di lavoro, ha la responsabilità di scegliere macchine e attrezzature silenziose da mettere a disposizione dei propri lavoratori.

Il fatto che gli effetti di tali rischi non siano, in alcuni casi, percepibili immediatamente, inoltre, richiede un'attenzione maggiore anche nella fase di formazione e informazione degli operatori in modo che si possa instaurare un circolo virtuoso per il miglioramento delle condizioni di lavoro dal punto di vista del rumore e delle vibrazioni meccaniche: gli operatori, infatti, operando a stretto contatto con le macchine e le attrezzature possono fornire preziosi suggerimenti sia al Datore di lavoro, orientando le scelte in merito agli acquisti, sia, eventualmente, ai fabbricanti, implementando soluzioni migliorative delle macchine e delle attrezzature utilizzate.



FIGURA 16 - CABINATO INSONORIZZANTE

Le istruzioni per l'installazione e il montaggio delle macchine

Al punto 1.7.4.2 - "Contenuto delle istruzioni" dell'Allegato I della Direttiva macchine, è stabilito che, qualunque sia la tipologia di macchina, ciascun manuale di istruzioni debba contenere, se del caso, almeno le istruzioni per l'installazione e il montaggio volte a ridurre il rumore e le vibrazioni prodotti.

Inoltre, al medesimo punto, lettera u) il manuale deve contenere informazioni relative all'emissione di rumore aereo; i costruttori sono obbligati alla rilevazione di alcune grandezze relative all'emissione acustica del macchinario, da indicare poi nel libretto d'uso e manutenzione.

In tale libretto debbono figurare indicazioni relative al:

- livello di pressione acustica continuo equivalente ponderato A (L_{Aeq}) nei posti di lavoro se questo supera i 70 dB(A).
In caso contrario deve essere dichiarato il non superamento;
- in aggiunta al precedente, anche il livello di potenza acustica (L_{WA}) emesso dalla macchina, quando il livello di pressione acustica continuo equivalente ponderato A nei posti di lavoro supera gli 80 dB(A).
Nel caso di macchine di grandissime dimensioni è possibile sostituire l'indicazione del L_{WA} con l'indicazione dei livelli di pressione acustica continui equivalenti in appositi punti attorno alla macchina;
- valore massimo di pressione acustica istantanea ponderata C (livello di picco L_{picco}) nelle postazioni di lavoro, se questo supera i 130 dB(C).

I suddetti valori debbono essere o quelli misurati effettivamente sulla macchina in questione, oppure quelli stabiliti sulla base di misurazioni effettuate su una macchina tecnicamente comparabile e rappresentativa della macchina da produrre.

Si segnala, inoltre, che tra i componenti di sicurezza di cui all'art. 2, comma 2, lettera c) della Direttiva, elencati all'allegato V, sono richiamati anche i sistemi e dispositivi destinati a ridurre l'emissione di rumore e di vibrazioni.

Si osservi che se il costruttore indica correttamente i valori di emissione sonora (dopo aver fatto tutto il possibile per contenerli), consente al Datore di lavoro "utilizzatore" di effettuare un confronto delle prestazioni acustiche offerte dai diversi macchinari in commercio e quindi lo mette in grado, nel concreto, di assolvere all'obbligo previsto dall'art. 192 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. di scegliere le attrezzature a più bassa rumorosità.

Inoltre, direttamente sulla base dei valori di L_{Aeq} o mediante alcuni calcoli sulla base dei valori di L_{WA} , il Datore di lavoro è in grado di fare previsioni sui livelli di esposizione degli operatori addetti o che operano in prossimità della macchina in questione.

La Direttiva macchine raccomanda al produttore di determinare i valori delle grandezze acustiche da riportare sulla documentazione utilizzando i metodi descritti dalle norme armonizzate; in caso contrario, i dati acustici dovranno essere misurati utilizzando il codice (metodo) di misurazione più appropriato adeguato alla macchina.

Naturalmente, è fatto obbligo al fabbricante di indicare le condizioni di funzionamento della macchina durante la misurazione ed i metodi di misurazione seguiti.

In ogni caso sono da considerarsi incomplete ed inadeguate le informazioni di rumorosità che non facciano riferimento ad un metodo di prova standardizzato.

Inoltre, se necessario, nelle istruzioni per l'uso debbono essere indicate le prescrizioni di montaggio volte a ridurre il rumore e le vibrazioni prodotte (ad esempio impiego di ammortizzatori, natura e massa del basamento, ecc.).

Il d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. prevede l'obbligo specifico per il Datore di lavoro di accertare la conformità del macchinario, verificando la presenza della marcatura CE e la dichiarazione di conformità che l'accompagna, andando a scegliere quella macchina che, a parità di prestazioni, tenendo conto dell'insieme dei rischi presenti, proponga valori inferiori di rumore emesso.

Si segnala che tanto la manifesta assenza di dispositivi di riduzione del rumore (cabine acustiche, silenziatori, ecc.), quanto l'assenza totale di informazioni sull'emissione acustica, rendono la macchina *non conforme* ed espongono anche l'utilizzatore alle sanzioni previste dal d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i..

La certificazione ai fini della Direttiva rumore 2000/14/CE

La Direttiva 2000/14/CE, recepita dal d.lgs. 262 del 4 settembre 2002¹¹, disciplina le emissioni acustiche ambientali di macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto ed è applicabile ad una vasta gamma di macchine per usi agricoli e da cantiere, ma riguarda anche macchine utilizzabili sotto tendoni, tettoie o strutture aperte di edifici.

Tra le attrezzature che rientrano nel campo di applicazione sono citati, ad esempio: decespugliatori, motoseghe, idropulitrici, gruppi elettrogeni, carrelli elevatori, betoniere, impianti frigoriferi montati su veicoli, veicoli per la raccolta dei rifiuti e contenitori mobili di rifiuti, ecc..

La Direttiva 2000/14/CE suddivide le macchine e le attrezzature in due categorie:

- macchine soggette a limiti di emissione acustica (art.12), macchine che debbono obbligatoriamente essere controllate da un Organismo Notificato che operi delle verifiche sia in fase di progettazione che di produzione. L'intervento dell'Organismo Notificato non è limitato all'esecuzione di sole prove di tipo, ma anche ad un'attività di controllo nel corso della produzione, mediante ripetizione di prove o sorvegliando il Sistema di Gestione per la Qualità (allegati VI, VII e VIII);
- macchine soggette solo alla marcatura di rumorosità (art.13), macchine che non hanno l'obbligo di rispettare limiti di rumore ma sulle quali è comunque necessario eseguire le prove, dichiarare il valore di potenza sonora garantita e apporre la marcatura di conformità (allegato V).

Il d.lgs. 262 del 4 settembre 2002 prevede, all'allegato IV, una specifica targhetta apposta alla macchina (label acustica) sulla quale deve essere riportata l'indicazione del livello di potenza sonora (L_{WA}) prodotta; a tal proposito si segnalano le modifiche alla Direttiva 2000/14/CE apportate dalla Direttiva 2005/88/CE, recepita dal d.m. 24 luglio 2006.

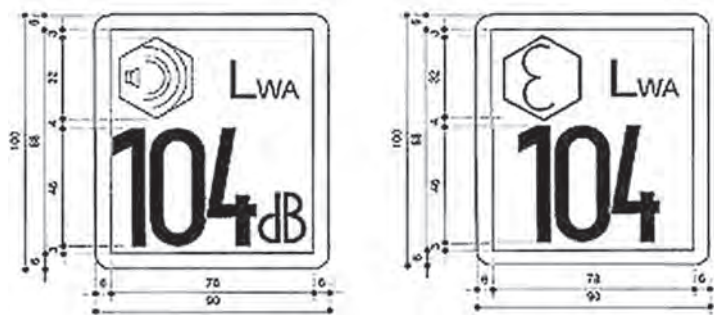


FIGURA 17 - TARGHETTE RIPORTANTI IL LIVELLO DI POTENZA SONORA PER UNA MACCHINA O ATTREZZATURA RISPONDENTE ALLA 2000/14/CE (SN) E A QUELLA PRECEDENTE NORMATIVA (DX)



¹¹ Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, recependo il d.lgs 262 del 4 settembre 2002, ha affidato ad ISPRA il compito della Sorveglianza del Mercato.

3.3 La mappatura acustica

Al fine di studiare i possibili interventi alla fonte per la riduzione del livello di rumore nell'ambiente, è necessario analizzare a fondo il clima acustico presente, mediante accurate indagini.

Un'analisi approfondita consente, infatti, di comprendere quali sono le sorgenti principali di rumore, come quest'ultimo si propaga all'interno dell'ambiente e come intervenire, se possibile, sulle sorgenti, anche modificando il lay-out, e sulle vie di propagazione.

Il primo passo seguito per approcciare un problema di bonifica acustica, è quello relativo all'individuazione delle zone critiche dal punto di vista della rumorosità.

Al fine di caratterizzare la rumorosità nell'ambiente viene quindi realizzata una *mappatura acustica* che fornisce una valutazione della rumorosità nei vari punti costituenti la superficie dell'ambiente oggetto di valutazione.

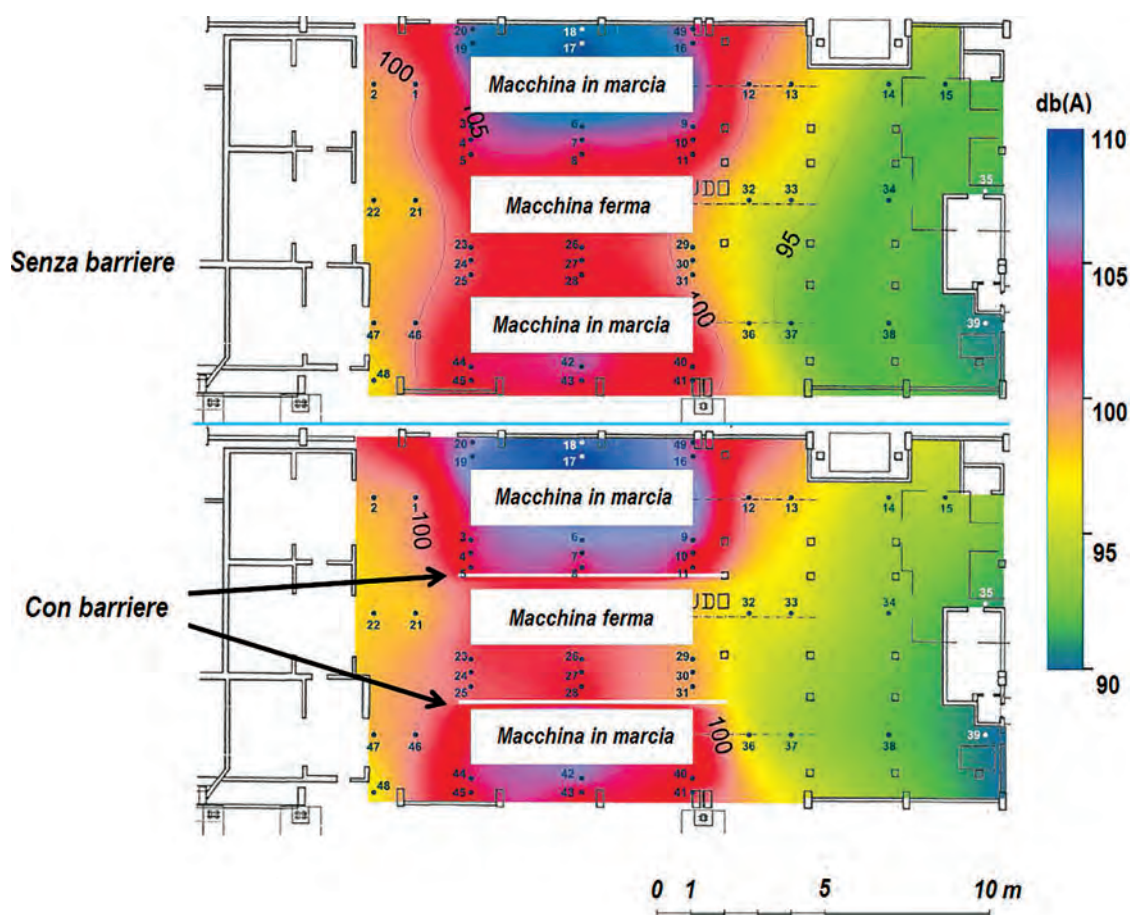


FIGURA 18 - ESEMPIO DI MAPPATURA ACUSTICA

Per realizzare questo tipo di mappatura, occorre eseguire diverse misure di livello equivalente nell'ambiente in altrettante posizioni; successivamente i dati ottenuti vengono trasferiti in specifici software, capaci di eseguire l'interpolazione e la successiva rappresentazione grafica riportata in figura 18.

Si segnala che tali software sono in grado di eseguire solamente una mera interpolazione dei dati inseriti e, di conseguenza, non sono in grado di prevedere la rumorosità realmente presente tra due punti misurati; per tale motivo detti programmi possono essere utilizzati solo a patto che i dati di partenza (ossia le misure di rumore), siano stati rilevati in posizioni opportunamente scelte ed in numero adeguato in funzione della geometria e della complessità dell'ambiente, e delle sorgenti sonore presenti.

Le mappature acustiche possono essere eseguite sia nel piano orizzontale, ad un'altezza significativa (tipicamente all'altezza dell'orecchio delle persone presenti), sia nel piano verticale, in una determinata posizione, per valutare in che modo il rumore si distribuisce secondo la sezione considerata.

Oltre che per mezzo di una mappa a colori, la distribuzione del rumore nell'ambiente può essere visualizzata tramite curve di isolivello, ossia tramite curve che raccordano tutti i punti con lo stesso livello di pressione sonora.

Più in generale, laddove siano potenzialmente superati gli 80 dB(A) di esposizione, l'ausilio che può fornire la mappatura acustica, nell'ambito del processo di valutazione del rischio dovuto all'esposizione al rumore, consiste nella possibilità di evidenziare, immediatamente, le aree dove l'esposizione è superiore agli 85 dB(A) e le reciproche interferenze dovute alle sorgenti ed alla loro posizione nell'ambiente oggetto di valutazione.

Come si esaminerà più avanti, la mappatura acustica risulta di fondamentale supporto nella predisposizione del P.A.R.E. (Programma Aziendale per la Riduzione dell'Esposizione), nell'ambito della predisposizione misure tecniche e organizzative di contenimento del rischio (vedi norma UNI 11347:2015), fornendo un attendibile quadro acustico d'insieme dei luoghi di lavoro.

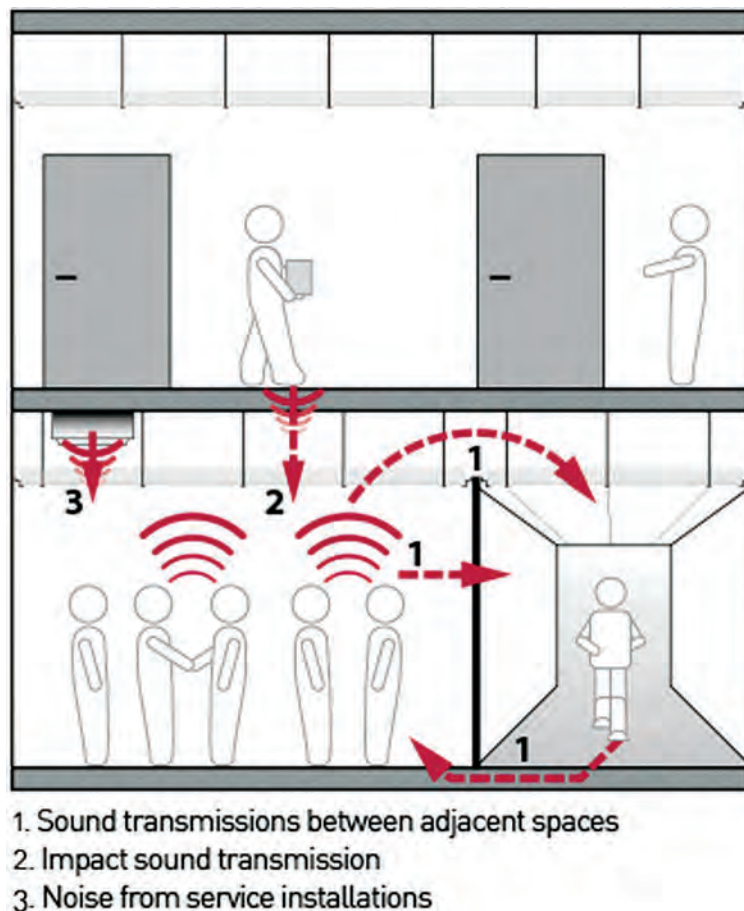


FIGURA 19 - ISOLAMENTO ACUSTICO DI AMBIENTI DI LAVORO

Il *layout dati* delle indagini fonometriche eseguite (punti di misura, esposti, sorgenti e ambienti) consente di descrivere la situazione di rumorosità in determinate zone di un ambiente di lavoro, all'interno o all'esterno; si eseguono generalmente le seguenti fasi:

- definizione dei posti di lavoro e delle relative grandezze di rumore ambientale;
- definizione, per ogni persona, dei posti di lavoro interessati e delle relative esposizioni sonore;
- definizione delle sorgenti sonore e delle relative grandezze di emissione del rumore.

Questi dati possono essere elencati in una scheda informativa del rumore ed, eventualmente, riportati in mappe del rumore per singole lavorazioni.

3.4 II P.A.R.E.

La valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro è una attività che, in definitiva, si prefigge le seguenti finalità:

- ✚ calcolare il valore di esposizione personale al rumore, da cui far discendere le misure di prevenzione per la salute dei lavoratori esposti, e stabilire se i DPI-u in uso siano efficaci per una corretta attenuazione;
- ✚ indicare gli interventi tecnici e organizzativi che possono essere adottati, dal Datore di lavoro, al fine di ridurre l'esposizione al rischio laddove la rumorosità sia risultata superiore ai valori previsti dalla normativa vigente, nonché individuare le aree di lavoro a maggior rumorosità, al fine della loro delimitazione, segnalazione e limitazione di accesso.

Il d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., come noto, prescrive, all'art. 192, che al superamento del limite di azione superiore 85 dB(A) e/o L_{picco} superiore a 137 dB(C), il Datore di lavoro preveda e adotti misure tecniche e organizzative per ridurre l'esposizione al rumore dei suoi lavoratori.

La norma UNI 11347:2015¹² prevede il P.A.R.E. (Programma Aziendale per la Riduzione dell'Esposizione) che contempla un programma di misure tecniche e organizzative per l'esecuzione di interventi atti a ridurre il rischio rumore preferibilmente alla fonte.

Esso definisce, quindi, un modello di programma di riduzione dell'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro evidenziandone, contestualmente, il livello di dettaglio, allo scopo di fornire uno strumento di orientamento in una realtà che al momento propone le soluzioni più differenziate.

Per ciascuna situazione che presenti livelli di esposizione elevati, il Datore di lavoro dovrà indicare nel P.A.R.E. gli interventi tecnici e organizzativi che, tra quelli concretamente attuabili, intende realizzare fissando l'obiettivo acustico, dove tecnicamente possibile, in accordo con le indicazioni tecniche contenute nelle norme della serie UNI EN ISO 11690.

Il P.A.R.E. dovrà quindi prevedere (punto 4.3.2.1 UNI 11347:2015):

- l'elenco dei macchinari, delle attività e dei lavoratori in relazione ai quali si è riscontrato, in sede di valutazione del rischio, il superamento dei valori superiori di azione;
- le misure tecniche e organizzative che si intendono adottare a mezzo di soluzioni tecniche, progetti, costi di ciascun intervento, ecc.;
- i risultati che si attendono dopo gli interventi, in termini di diminuzione dei livelli di esposizione L_{EX} e/o L_{picco} (beneficio atteso);
- i tempi di esecuzione di ogni singolo intervento;
- la misura dei risultati ottenuti;
- l'identificazione dalla persona che nell'ambito dell'azienda (responsabile aziendale) si occuperà dell'attuazione dei singoli interventi;
- le modalità di verifica dei risultati acustici ottenuti a seguito dell'intervento, di controllo dell'efficienza acustica nel tempo, di manutenzione e di smaltimento, a fine vita, dell'intervento.

A completamento dell'intervento di riduzione del rischio, il P.A.R.E. deve anche prevedere un intervento informativo e formativo, destinato ai lavoratori, per illustrare le novità introdotte nelle attrezzature e sui macchinari, negli ambienti di lavoro, nelle procedure e nelle operazioni manutenzione.

Il P.A.R.E. deve contenere almeno (punto 4.4.2 UNI 11347:2015):

- un'intestazione (che si può omettere se il P.A.R.E. è contenuto nel DVR);
- delle schede di sintesi delle situazioni di rischio;
- un prospetto riassuntivo degli interventi programmati;
- delle schede illustrative dei singoli interventi riportati nel prospetto riassuntivo.

Nell'identificazione delle modalità di riduzione del rischio debbono essere considerati innanzitutto gli interventi che riducono il rumore alla sorgente, quindi quelli che lo riducono lungo il percorso di propagazione ed, infine, quelli che agiscono direttamente sulla postazione di lavoro.

Fermo restando l'obiettivo di ridurre a rumore ai livelli minimi possibili, in conformità con la UNI EN ISO 11690-1 gli obiettivi in termini di L_{Aeq} consigliati dalla norma UNI 11347:2015 sono da 75 dB(A) a 80 dB(A) per gli ambienti industriali e da 45 dB(A) a 55 dB(A) per gli uffici.

¹² Vedi nota 4 al paragrafo 2.7.

La norma UNI 11347:2015 rammenta che la progettazione dell'intervento deve essere tale da evitare ulteriori rischi per la sicurezza (ad esempio il rischio incendio) e per la salute (ad esempio minor ricambio d'aria) verso i lavoratori e/o problemi igienico-sanitari verso il prodotto (ad esempio nel settore alimentare), ovvero maggiori rischi verso i recettori esterni; da ultimo esso fornisce indicazioni sulle caratteristiche professionali e formative, nonché delle disponibilità strumentali, del *personale qualificato* designato alla progettazione degli interventi riportati nel P.A.R.E..

Le modalità di riduzione dell'esposizione sono suddivise in due categorie: interventi tecnici (interventi per la riduzione del rumore emesso, trasmesso o ricevuto dal lavoratore) ed interventi organizzativi (interventi per la riduzione dell'esposizione o per la promozione degli interventi che riducono il rischio).

Esempi di interventi tecnici:

- *la separazione delle attività rumorose da quelle non rumorose;*
- *la riduzione del rumore alla sorgente, mediante sostituzione delle attrezzature di lavoro con altre meno rumorose;*
- *l'identificazione di soluzioni tecnologiche alternative o migliorative della corrente modalità produttiva che risultino accreditate da rilievi acustici sperimentali nelle condizioni effettive di utilizzo, da norme tecniche o da bibliografia tecnica autorevole; la riduzione del rumore alla sorgente mediante regolazione dei parametri o delle modalità di funzionamento delle apparecchiature al fine di minimizzarne il rumore emesso (per esempio, adozione di sistemi per la riduzione al minimo delle altezze di caduta dei pezzi in lavorazione o degli scarti);*
- *l'adozione di sistemi antivibranti per la riduzione del rumore trasmesso per via solida;*
- *la riduzione del rumore alla sorgente mediante insonorizzazione (silenziatori, cappottature) delle macchine/apparecchiature rumorose;*
- *la riduzione del rumore diffuso lontano dalla sorgente tramite schermi acustici, pannelli insonorizzanti, materiali con maggior coefficiente d'assorbimento, modifica del ciclo produttivo aziendale o altri accorgimenti mirati a diminuire il riverbero dell'ambiente; la creazione di zone di permanenza dei lavoratori isolate dal rumore (cabine di riposo acustico).*

Esempi di interventi organizzativi:

- *la modifica della distribuzione delle postazioni di lavoro o la ristrutturazione del ciclo produttivo, al fine di evitare la presenza concomitante di più attività rumorose in spazi ristretti;*
- *la corretta manutenzione per il mantenimento del rumore emesso dalla macchina ai livelli originariamente previsti dal fabbricante;*
- *l'adozione di procedure per la turnazione del personale addetto alle lavorazioni rumorose, al fine di minimizzare a tempo di esposizione pro-capite;*
- *l'adozione di apposita segnaletica di sicurezza, perimetrazione e limitazione all'accesso per i non addetti ai lavori nelle aree con livelli superiori a quelli indicati dalla legislazione;*
- *l'informazione e la formazione dei lavoratori al fine di utilizzare le apparecchiature, i metodi e le procedure di lavoro in modo da rendere minima l'esposizione al rumore.*

Nella norma UNI 11347:2015 si afferma che, mentre per gli interventi tecnici è generalmente necessario affidarsi ad una competenza specifica in acustica e/o sicurezza sul lavoro, per gli interventi organizzativi ciò non è generalmente richiesto.

Si rimanda, per ulteriori informazioni, alla consultazione del manuale edito dall'INAIL *"Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro"*, consultabile al seguente link:

http://www.inail.it/internet_web/wcm/idc/groups/internet/documents/document/ucm_085834.pdf

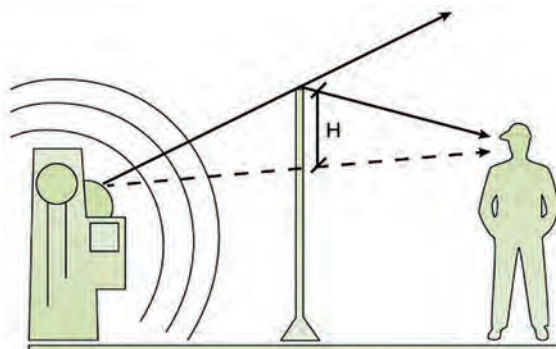
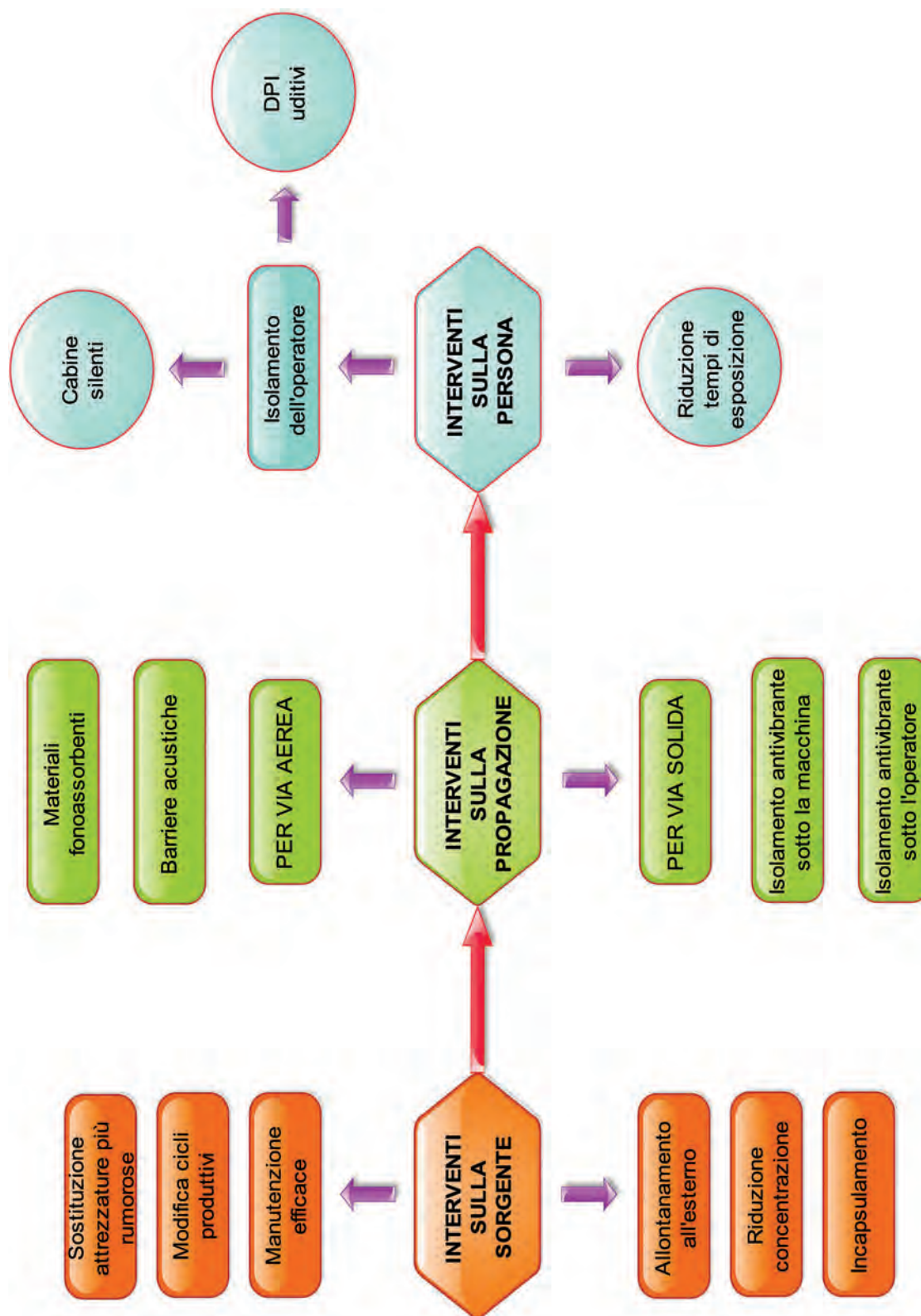


FIGURA 20 - ESEMPIO DI SCHERMATURA DI ATTIVITÀ RUMOROSA



SCHEMATIZZAZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI TECNICI ATTUABILI

3.4.1 La struttura della norma UNI 11347:2015

1. Scopo e campo di applicazione
2. Riferimenti normativi
3. Termini e definizioni
4. Requisiti del P.A.R.E. (Programma Aziendale di Riduzione dell'Esposizione a rumore)
5. Appendici informative
 - *Appendice A: Indicazioni orientative sulla scelta degli interventi tecnici di controllo del rischio rumore*
 - *Appendice B: Valutazioni orientative sull'efficacia degli interventi tecnici di controllo del rischio rumore e dei costi delle soluzioni*
 - *Appendice C: Requisiti professionali del personale qualificato*

Bibliografia

I criteri generali che debbono guidare nella scelta di un intervento sono:

- 1) definizione di un ordine di priorità;
- 2) considerazione di tutte le conseguenze dell'intervento;
- 3) considerazione dell'interazione tra l'intervento progettuale proposto ed il processo produttivo dell'azienda.

In sostanza, ragionando in termini di *rapporto costi-benefici* (punto 4.3.2.3 UNI 11347:2015), potremmo considerare il rapporto η :

$$\eta = \frac{c}{\sum_{i=1}^N \Delta \text{dB}_i \cdot n_i} \quad \text{€/dB}$$

dove:

- c è il costo dell'opera (comprensivo di tutte le voci di spesa: messa in opera, collaudo, manutenzione, ecc.);
- ΔdB_i è l'attenuazione, in dB, assicurata dall'intervento ad un i -esimo gruppo di lavoratori;
- n_i è il numero di lavoratori dell' i -esimo gruppo;
- N è il numero di gruppi di lavoratori che ottengono un beneficio acustico.

La soluzione ottimale è quella alla quale corrisponde il valore minimo di η .

Ad esempio, si supponga di dover operare in riferimento ad un ambiente di lavoro nel quale operino $n = 7$ lavoratori, che presentino tutti ($N = 1$) un livello di esposizione superiore al valore limite di azione superiore 85 dB(A), e si scelga di installare una serie di barriere fonoisolanti aventi superficie complessiva pari a 65 mq.

Nell'ipotesi di dover scegliere tra due possibili opzioni:

- Ipotesi A) pannelli isolanti acustici, efficacia $\Delta \text{dB} = 25 \text{ dB}$ (costo dell'opera 56 €/mq);
- Ipotesi B) pannelli isolanti acustici, efficacia $\Delta \text{dB} = 35 \text{ dB}$ (costo dell'opera 71 €/mq)

$$\eta_A = \frac{65 \times 56}{25 \times 7} = 20,8 \text{ €/dB}$$

$$\eta_B = \frac{65 \times 71}{35 \times 7} = 18,8 \text{ €/dB} \quad (\text{soluzione migliore})$$



FIGURA 21 - BARRIERE FONOISOLANTI

La norma 11347:2015, riguardante i P.A.R.E. nei luoghi di lavoro, specifica:

- a) come indicare gli interventi tecnici e organizzativi che vengono adottati dall'azienda per ridurre l'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro;
- b) come identificare le aree di lavoro a maggior rischio al fine della loro delimitazione/segnalazione/restrizione all'accesso, così come richiesto dalla legislazione vigente, attraverso la redazione di un P.A.R.E. al rumore.

Nel P.A.R.E. debbono essere fornite una serie di informazioni a cominciare dall'elenco dei lavoratori e delle attività per i quali si è riscontrato in fase di valutazione del rischio il superamento dei valori previsti.

Ma anche le misure tecniche e organizzative che si intendono adottare allo scopo, tenuto conto delle esigenze:

- 1) della sicurezza (sia del personale, che delle macchine, che dei prodotti);
- 2) della produzione;
- 3) dell'ambiente.

Vanno indicati i risultati attesi dagli interventi di riduzione dei livelli di esposizione, i tempi di attuazione delle singole misure di bonifica acustica, il settore aziendale di riferimento, il soggetto/i incaricato/i dell'attuazione delle misure di bonifica, le modalità di verifica dei risultati acustici, di controllo dell'efficienza acustica nel tempo.

3.4.2 Esempio di una scheda di sintesi di una situazione di rischio contenuta nel P.A.R.E.

Scheda di sintesi - falegnameria	
Rischio evidenziato	Origine del rischio
Dalla valutazione del rischio da esposizione a rumore emerge che: $L'_{EX,8h} = 85,6 \text{ dB(A)}$	Presenza di attività particolarmente rumorosa presenti nell'area segheria (sega a nastro)

Prospetto degli interventi programmati	
Note generali	
L'ambiente di lavoro (segheria) risente in maniera significativa delle emissioni sonore provenienti da attività limitrofe (sezionatrice e levigatrice, in primis), le quali, tuttavia, necessitano del collegamento con le altre aree produttive del reparto. Si ritiene improrogabile procedere ad un primo intervento, urgente, di riduzione del rischio e, quindi, programmare interventi di maggiore impatto sull'organizzazione dell'intero ciclo lavorativo	
Cronoprogramma degli interventi	
1. Modifica postazioni di lavoro - area segheria	20 giorni
2. Modifica della distribuzione delle postazioni di lavoro	3 mesi
3. Allontanamento, in altra area, della levigatrice	6 mesi

Scheda dell'intervento n. 1	
Specifiche dell'intervento	
Fornitura e posa in opera di pannelli isolanti acustici compositi ed ignifughi, realizzati con una lastra di cartongesso ad alta densità combinata con un solido foglio di gomma espansa in fiocchi compressi, ad alto potere fonoisolante e fonoassorbente, che funge da molla nelle applicazioni in controplaccaggio di pareti già esistenti, consentendo l'ottenimento di standard di risanamento acustico di assoluto rilievo.	
Beneficio atteso	
All'esito collaudo si attende una riduzione del $L'_{EX,8h}$ di 10 dB(A)	
Stima dei costi	
Pareti da 12 cm, con placcaggio sui due lati con pannelli isolanti spessi 28 mm Miglioramento= 10 dB $\eta = \frac{7300}{10 \times 6} = 122 \text{ €/dB}$ $\eta = 122 \text{ €/dB}$ ($c = 7300 \text{ €}$; $n = 6$; $N = 1$; $\Delta\text{dB} = 10$)	
Tempi di attuazione	
dal 3/11/2015 al 28/11/2015	
Cronoprogramma	
1a. Installazione di pannelli fonoisolanti per isolare la sega a nastro dal resto della falegnameria	15 giorni
1b. Trattamento acustico del soffitto dell'area sovrastante la zona protetta	5 giorni
Responsabile aziendale	
Sig. Filippo Mastronardi (preposto aziendale)	

3.5 Le misure di prevenzione

Ai sensi dell'art. 190 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., nel processo di valutazione del rischio di esposizione al rumore durante le attività lavorative, occorre prendere in considerazione, in particolare:

- il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo;
- i valori limite di esposizione ed i valori di azione di cui all'art. 189;
- tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rumore;
- gli effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori derivanti dalle interazioni tra rumore e sostanze ototossiche connesse all'attività svolta e fra rumore e vibrazioni, seguendo attentamente l'orientamento della letteratura scientifica e sanitaria ed i suggerimenti del Medico Competente;
- le informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori delle attrezzature impiegate, in conformità alle vigenti disposizioni in materia;
- l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre l'emissione di rumore;
- il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro normale, in locali di cui il Datore di lavoro è responsabile;
- le informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica;
- la disponibilità di DPI-u con adeguate caratteristiche di attenuazione.

In base alle risultanze emerse, in sede di valutazione dei rischi, il Datore di lavoro individua, ai sensi degli artt. 182 e 192, le necessarie misure generali di prevenzione e protezione:

- riduce le emissioni di rumore alla sorgente;
- adotta orari che tengano sotto controllo l'esposizione al rumore;
- elabora, e applica, un programma di misure tecniche e organizzative volto a ridurre l'esposizione al rumore, considerando in particolare le misure di cui all'art. 192, comma 1;
- prescrive che i lavoratori evitino di sostare, in maniera prolungata, in ambienti di lavoro ad elevata rumorosità.

Fermo restando l'obbligo del non superamento dei valori limite di esposizione, laddove, nonostante l'adozione delle misure applicate, il Datore di lavoro individui esposizioni superiori a detti valori:

- adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione;
- individua le cause dell'esposizione eccessiva;
- modifica le misure di protezione e di prevenzione, per evitare che la situazione si ripeta.

Il Datore di lavoro provvede ad indicare i luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti ad un rumore al di sopra dei valori superiori di azione.

Dette aree sono indicate da appositi segnali e l'accesso alle stesse è limitato, ove ciò sia tecnicamente possibile e giustificato dal rischio di esposizione.

In ottemperanza a quanto disposto dall'articolo 18, comma 1, lettera c), nei casi in cui non sia stato possibile evitare i rischi derivanti dal rumore con le misure di prevenzione e protezione di cui all'art. 192, il Datore di lavoro fornisce i DPI-u conformi alle disposizioni contenute nel Titolo III, Capo II del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., ed alle seguenti condizioni:

- nel caso in cui l'esposizione al rumore superi i valori inferiori di azione, *mette a disposizione* dei lavoratori i DPI-u;
- nel caso in cui l'esposizione al rumore sia pari o al di sopra dei valori superiori di azione, *esige* che i lavoratori utilizzino i DPI-u;
- sceglie DPI-u che consentono di eliminare il rischio per l'udito o di ridurlo al minimo, previa consultazione dei lavoratori o dei loro rappresentanti;
- verifica l'efficacia dei DPI-u.

Il Datore di lavoro tiene conto dell'attenuazione prodotta dai DPI-u indossati dal lavoratore *solo* ai fini di valutarne l'efficienza ed il rispetto dei valori limite di esposizione.

I DPI-u sono considerati adeguati ai fini delle presenti norme se, correttamente usati, e comunque rispettano le prestazioni richieste dalle normative tecniche.

3.5.1 Classe di rischio BASSA

Livello di esposizione: $L'_{EX,8h} \leq 80$ dB(A) Pressione di picco: $L'_{picco} \leq 135$ dB(C)

Sintesi delle misure di sicurezza da prevedere da parte del Datore di lavoro

- valuta il rischio anche senza misurazioni, adottando tutte le misure per eliminare o ridurre il rischio

3.5.2 Classe di rischio MEDIA

Livello di esposizione: $80 < L'_{EX,8h} \leq 85$ dB(A) Pressione di picco: $135 < L'_{picco} \leq 137$ dB(C)

Sintesi delle misure di sicurezza da prevedere da parte del Datore di lavoro

- valuta il rischio con misurazioni;
- prevede un'adeguata formazione ed informazione in relazione ai rischi provenienti dall'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro;
- mette a disposizione dei lavoratori idonei DPI-u;
- estende il controllo sanitario a chi ne faccia richiesta o qualora il Medico Competente ne confermi l'opportunità;
- offre ai lavoratori un margine di scelta tra DPI-u con caratteristiche analoghe, in maniera tale che i singoli interessati possano scegliere quello che è per loro il più comodo;
- si assicura che i lavoratori siano formati ed informati sulle modalità di uso, conservazione e manutenzione dei DPI-u.

3.5.3 Classe di rischio ALTA

Livello di esposizione: $85 < L'_{EX,8h} \leq 87$ dB(A) Pressione di picco: $137 < L'_{picco} \leq 140$ dB(C)

Sintesi delle misure di sicurezza da prevedere da parte del Datore di lavoro

- valuta il rischio con misurazioni;
- elabora, ed applica, un programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore, privilegiando gli interventi sulle sorgenti, considerando in particolare le misure di cui all'art. 192, comma 1;
- prevede un'adeguata formazione ed informazione in relazione ai rischi provenienti dall'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro;
- sottopone i lavoratori esposti a controllo sanitario;
- si assicura che, durante le fasi di lavoro che eccedono gli 85 dB(A), non siano svolte altre lavorazioni nelle immediate vicinanze;
- si assicura che i lavoratori non superino il tempo medio giornaliero dedicato all'attività di maggior esposizione, per evitare il passaggio alla fascia superiore di rischio;
- fornisce ai lavoratori DPI-u che consentono di eliminare il rischio per l'udito o di ridurlo al minimo, previa consultazione dei lavoratori o dei loro rappresentanti, ed esige che li indossino;
- verifica l'efficacia dei DPI-u;
- adotta misure di carattere collettivo, fra cui una diversa organizzazione del lavoro;
- delimita l'accesso alle aree con maggiore rumorosità con apposita segnaletica;
- si assicura che il lavoro sia organizzato in modo tale da limitare al massimo i tempi da trascorrere in aree rumorose;
- si assicura che i lavoratori siano formati, addestrati ed informati sulle modalità di uso, conservazione e manutenzione dei DPI-u;
- durante le fasi di lavoro che eccedono gli 85 dB(A), la zona di lavoro è perimetrata ed è indicato il divieto di accesso mediante opportuna segnaletica. *Protezione obbligatoria dell'udito. Pericolo rumore.*

3.5.4 Esposizione **INACCETTABILE**

Livello di esposizione: $L'_{EX,8h} > 87$ dB(A) Pressione di picco: $L'_{picco} > 140$ dB(C)

Il Datore di lavoro deve far cessare immediatamente l'esposizione!

Sintesi delle misure di sicurezza da prevedere da parte del Datore di lavoro

- adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione;
- individua le cause dell'esposizione eccessiva;
- modifica le misure di prevenzione e protezione per evitare che la situazione si ripeta.





Appendice



A.1 I criteri acustici di acquisto di macchine, attrezzature e impianti

Nell'attuale situazione legislativa, l'obbligo del produttore consiste nell'immissione in commercio del prodotto subordinata al rispetto dei livelli massimi di rumorosità, se previsti per quella tipologia di macchina o attrezzatura, e all'apposizione sul macchinario della targhetta attestante il livello di potenza sonora garantito del macchinario determinato secondo una procedura di prova e di misura standard.

Gli obblighi specifici per il Datore di lavoro restano quelli di accertare la presenza della targhetta riportante il livello di potenza sonora garantito (L_{WA}), nonché ovviamente quello di acquistare tra le diverse offerte, quella che produce meno rumore.

Le informazioni minime da richiedere ai potenziali fornitori in fase di acquisto del macchinario comprendono i dati sull'emissione del rumore cui si fa riferimento al punto 1.7.4.2.

In base ad un accordo privato tra acquirente e potenziale fornitore, quest'ultimo può fornire anche dati complementari di emissione di rumore per cicli di lavorazione, montaggio e condizioni di funzionamento diversi da quelli precisati nella relativa procedura di certificazione, in relazione alle condizioni di funzionamento di particolare interesse per l'acquirente.

Il formalizzare le richieste acustiche sul capitolato d'acquisto (compresi i limiti che si vuole che il costruttore rispetti) è quasi sempre condizione necessaria per avere il controllo della rumorosità che si determinerà nel luogo di lavoro una volta installato il macchinario.

Ai fini di cosa indicare (richiedere) sul capitolato, si consideri che i livelli dichiarati dal produttore risulteranno incrementati sia dal rumore di fondo che dal riverbero acustico dell'ambiente di installazione e che le effettive condizioni di utilizzo del macchinario quasi mai coincidono con quelle di certificazione.

Infatti, i valori di emissione sonora sono caratteristiche intrinseche della sorgente sonora, ma i livelli di pressione sonora che essa determina in un certo ambiente dipendono anche dalle caratteristiche acustiche dell'ambiente di lavoro (riverberazione), dal contributo di altre sorgenti sonore e dalle reali condizioni di funzionamento della sorgente sonora.

I valori di emissione sonora dichiarati dal fabbricante sono importanti perché consentono di scegliere le macchine e le attrezzature sulla base di definiti requisiti acustici, stabilire un dialogo tecnico fra acquirente e fornitore, valutare la conformità del prodotto ai requisiti stabiliti nelle specifiche.

Essi inoltre consentono di determinare, attraverso calcoli e stime:

- i livelli di rumorosità conseguenti alla immissione di una determinata sorgente sonora in uno specifico ambiente di lavoro;
- l'ulteriore esigenza di provvedere a bonifiche acustiche nell'ambiente di lavoro.

Come si diceva, però, occorre ricordarsi che i livelli dichiarati dal produttore sono al netto del riverbero acustico dell'ambiente di installazione e risulteranno incrementati anche dal rumore di fondo in esso già esistente.

È interesse dell'acquirente richiedere anche i dati sull'emissione sonora nelle effettive condizioni d'utilizzo della macchina o dell'attrezzatura, poiché le effettive condizioni di utilizzo del macchinario non sempre coincidono con quelle di certificazione acustica.

L'utilizzatore può poi anche richiedere garanzie sui livelli sonori che si determineranno in determinate postazioni di uno specifico ambiente.

Come ovvio, entrambe queste ultime condizioni richiedono una stretta collaborazione tra acquirente e fornitore, in modo che il fornitore possa conoscere le reali condizioni d'uso della macchina e/o le caratteristiche acustiche dell'ambiente cui tale sorgente è destinata.

La verifica dei valori di rumore così richiesti andrà effettuata secondo una procedura di prova concordata fra acquirente e fornitore.

La scelta della macchina meno rumorosa va effettuata per confronto, nelle stesse condizioni operative, in primo luogo (normalmente) sulla base del L_{WA} e, se la potenza acustica non è indicata, sulla base dei L_{pA} .

È comunque sempre importante confrontare gli L_{pA} in posizione operatore, in quanto si può verificare che macchine a maggior potenza acustica adottino soluzioni migliori a tutela del posto di lavoro che vanno premiate.

Prima di concludere questo paragrafo si ritiene importante evidenziare la necessità di acquistare attrezzature fornite di dati di emissione sonora nelle condizioni ragionevolmente rappresentative di reale funzionamento e non "a vuoto".

Inoltre si raccomanda di acquistare macchine che, nelle stesse condizioni d'uso e per le stesse applicazioni, sono disponibili in versione silenziata rispetto alla versione "non silenziata".

Una volta fissate le richieste acustiche sul capitolato d'acquisto occorre verificarne il rispetto in sede di accettazione della macchina.

Nel capitolato d'acquisto andrà sempre precisata la possibilità della restituzione della macchina che non rispettasse i valori previsti e le relative penali.

A.1.1 Un possibile capitolato di acquisto di una macchina

Il Datore di lavoro, in qualità di utilizzatore, ha l'obbligo, al momento dell'acquisto, di appurare la conformità del macchinario, verificando la marcatura CE e la dichiarazione di conformità che l'accompagna, andando a scegliere quella macchina che, a parità di prestazioni, tenendo conto dell'insieme dei rischi presenti, proponga valori inferiori di rumore emesso.

Prima di acquistare un nuovo macchinario o impianto è opportuno che l'utilizzatore segua una procedura ben precisa, idonea al conseguimento degli obiettivi di riduzione dell'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro.

La procedura comprende i passi indicati nel seguito, in accordo con quanto raccomandato dalla norma UNI EN ISO 11690 - 1:1998.

- a) Analisi delle informazioni disponibili sul rumore ambientale nel luogo di lavoro in cui la macchina andrà in funzione, oppure, se non esistono, in altri luoghi di lavoro di simile tipologia.
- b) Analisi delle informazioni disponibili presso l'azienda sull'emissione di rumore per macchinari simili a quello che verrà installato.
- c) Individuazione dei livelli di rumorosità ambientale da rispettare presso l'area di lavoro ove verrà installato il macchinario e presso gli altri ambienti di lavoro potenzialmente interessati dalla emissione acustica del macchinario stesso, anche alla luce di azioni programmate di riduzione del rumore e bonifica acustica che l'azienda intende mettere in atto.
- d) A seguito delle analisi cui ai punti a) - c), individuazione delle informazioni da richiedere ai fornitori in relazione alla rumorosità emessa dal macchinario da acquistare.
- e) Individuazione di particolari requisiti acustici da richiedere ai fini della riduzione della rumorosità emessa dal macchinario da acquistare, in relazione alla fattibilità pratica degli stessi.

Le informazioni fondamentali da verificare, ed eventualmente richiedere se mancanti, in fase di acquisto del macchinario comprendono, come previsto dalla Direttiva macchine, sono i seguenti dati sull'emissione del rumore.

- ❖ Livello dichiarato di potenza sonora ponderato A, L_{WA} ;
- ❖ Livelli dichiarati di pressione sonora nei posti di lavoro, L_{pA} , e il livello massimo di picco ponderato C, $L_{pC,picco}$ se la macchina produce apprezzabili rumori impulsivi;
- ❖ Riferimento alla norma tecnica della procedura per prove di rumorosità utilizzata nella dichiarazione dei valori cui ai punti a), b), oppure, se non esiste tale norma, descrizione completa del metodo di misurazione adottato per la determinazione dell'emissione di rumore del macchinario.

L'allegata scheda tecnica (ripresa dal manuale INAIL - "Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro" - aprile 2013) riporta un esempio di lista di riscontro relativa all'emissione di rumore che può essere utilizzata per richiedere al produttore/distributore del macchinario i dati relativi alla rumorosità da questo prodotta.

Se esiste una procedura per prove di rumorosità per la famiglia di macchine in questione, le suddette grandezze di emissione di rumore debbono rispettare quanto prescritto da tale procedura di prova.

Se la procedura per prove di rumorosità offre diverse alternative, riguardo alle condizioni di funzionamento, di montaggio, alle posizioni di misura, ecc., la dichiarazione di emissione di rumorosità deve fornire tutte le informazioni necessarie alla definizione di una chiara dichiarazione di rumorosità.

In base ad un accordo privato tra acquirente e potenziale fornitore, quest'ultimo potrà fornire anche dati complementari di emissione di rumore per cicli di lavorazione, montaggio e condizioni di funzionamento diversi da quelli precisati nella relativa procedura per prove di rumorosità, se esistente, in relazione alle condizioni di funzionamento di particolare interesse per l'acquirente.

Prima di concludere questa scheda si ritiene importante evidenziare la necessità di acquistare attrezzature fornite di dati di emissione sonora nelle condizioni ragionevolmente rappresentative di reale funzionamento e non "a vuoto".

A.1.2 Scheda tecnica per l'acquisto di apparecchiature (UNI EN ISO 11690 - 1:1998)

1	Macchina								
1.1	Tipo:	1.6	Parametri riferiti al rumore della macchina:						
1.2	Modello:		Potenza elettrica nominale:						
1.3	Fabbricante:		Potenza meccanica nominale:						
1.4	Macchina n°:		Velocità nominale: (esempi)						
1.5	Anno di costruzione:	Velocità massima:							
2	Valori rilevati di emissione di rumore								
	Misura di emissione di rumore secondo ISO.... e ISO.....	Condizioni di funzionamento secondo ISO...				Altre condizioni di funzionamento concordate			
		Senza carico		Con carico		Utilizzo previsto			
2.1	Livello di potenza sonora L_{WA} (dB, rif. 1 pW)	dB		dB		dB			
2.2	Incertezza delle misurazioni	dB		dB		dB			
2.3	Livello di pressione sonora ponderato A nel posto di lavoro L_{PA}	dB		dB		dB			
2.3.1	In alternativa, livello di pressione sonora della superficie a 1 m, $L_{PA, 1 m}$, oppure	dB		dB		dB			
2.3.2	Livello di pressione sonora di picco a 1 m dalla superficie della macchina e a 1,60 m sopra il pavimento, $L_{PA, 1 m, max}$	dB		dB		dB			
2.4	Livello di pressione sonora di picco ponderato C nel posto di lavoro, $L_{pC, picco}$	dB		dB		dB			
2.5	In opzione, livello sonoro L_W oppure L_P in bande di ottave per le condizioni di funzionamento secondo ISO....								
	f in Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	L_W □								
	L_P nel posto di lavoro □ in dB								
2.6	Informazioni sulle condizioni di funzionamento								
2.6.1									
2.6.2									
2.6.3									
3	Riduzione del rumore								
3.1	Il progetto della macchina comprende provvedimenti di riduzione del rumore?					SI □		NO □	
	In caso affermativo quali provvedimenti di riduzione del rumore sono stati adottati? _____								
3.2	Esiste una versione a basso rumore dello stesso modello di macchina?					SI □		NO □	
	In caso affermativo in che misura si riduce il livello sonoro? _____ dB								
		Senza carico		Con carico		Utilizzo previsto			
	Riduzioni di L_{WA}	dB		dB		dB			
	Riduzioni di L_{PA}	dB		dB		dB			
4	Valori dichiarati								
	In alternativa: valore dichiarato con numero unico □ con doppio numero □								
		Senza carico		Con carico		Utilizzo previsto			
4.1	Valore di emissione di rumore dichiarato con singolo numero								
4.1.1	Livello di potenza sonora, L_{WA}	dB		dB		dB			
4.1.2	Livello di pressione sonora nel posto di lavoro, L_{pA}	dB		dB		dB			
4.2	Valore di emissione di rumore dichiarato con doppio numero								
4.2.1	Livello di potenza sonora, L_{WA} Incertezza, K_{WA}	dB dB		dB dB		dB dB			
4.2.2	Livello di pressione sonora nel posto di lavoro, L_{pA} Incertezza, K_{pA}	dB dB		dB dB		dB dB			
4.3	Livello di pressione sonora di picco ponderato C nel posto di lavoro $L_{pC, picco}$	dB		dB		dB			

A.2 Un calcolo dell'esposizione giornaliera (strategie per compiti e per mansioni)

Supponiamo¹³ di dover determinare l'esposizione al rumore nell'ambito di un'officina meccanica nella quale operino sei addetti, di cui tre siano operai specializzati (denominati lavoratori n. 1, 2 e 3), uno sia un apprendista (denominato lavoratore n. 4) e due siano degli installatori, addetti prevalentemente ad attività di montaggio presso cantieri esterni (denominati lavoratori n. 5 e n. 6).

Per la misurazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori, considerate le caratteristiche del ciclo lavorativo dell'officina, si è ritenuto opportuno utilizzare per i tre operai specializzati e per l'apprendista la *strategia per compiti* mentre per gli installatori sarà adottata, invece, la *strategia per mansioni*.

Per gli scopi dell'esempio si determinerà solamente l'esposizione al rumore riguardante i lavoratori denominati n. 1 e n. 4 e n. 5.

Compito	Descrizione del compito
1	Attività manuali di assemblaggio
2	Uso della fresatrice
3	Uso del trapano a colonna
4	Uso del pantografo elettropneumatico
5	Uso dell'intestatrice per alluminio
6	Uso della troncatrice per alluminio
7	Uso della smerigliatrice/levigatrice
8	Uso della segatrice a nastro
9	Attività all'interno dell'ufficio amministrativo
10	Pause tecniche e fisiologiche

DESCRIZIONE DEI COMPITI CUI È ADDETTO IL LAVORATORE DENOMINATO N. 1

Anche se alcune macchine sono utilizzate assai raramente nel ciclo produttivo (es.: la segatrice a nastro), si è comunque considerato, cautelativamente, il loro contributo esaminando la condizione più svantaggiata di massimo uso di tutte le attrezzature presenti, in particolare in termini di tempi di utilizzo.

I rilievi fonometrici sono stati effettuati nelle seguenti condizioni operative:

- impianti in normale regime di funzionamento;
- macchine in esame in condizioni operative di funzionamento tipico;
- parametri microclimatici standard e ricompresi tra i valori di corretto funzionamento dello strumento;
- strumentazione impiegata: fonometro di classe 1, conforme alla norma CEI EN 61672:2014, banco di filtri di ottava, conforme alla classe 1 della norma CEI EN 61260:1997, calibratore conforme alla classe 1 della norma CEI EN 60942:2003, misuratore personale di esposizione conforme alla norma CEI EN 61252/A1:2001;
- le misure con il fonometro sono state eseguite con il lavoratore presente, ubicato in corrispondenza della usuale postazione di lavoro e il microfono del fonometro posizionato a circa 20 cm dall'orecchio più esposto, orientato nella stessa direzione dello sguardo del lavoratore durante l'esecuzione dell'attività;
- le misure con misuratore personale dell'esposizione sono state eseguite posizionando il microfono a circa 10 cm dall'orecchio del lavoratore ad un'altezza di circa 4 cm sopra la sua spalla;
- le misure sono state protratte per un tempo sufficiente a descrivere la variabilità dei livelli sonori (trattasi nello specifico di rumore fluttuante con alcune caratteristiche di impulsività) e congruo al fine di valutare l'esposizione al rumore del lavoratore;
- prima e dopo ogni serie di misure è stata controllata la calibrazione della strumentazione mediante calibratore in dotazione (verificando che lo scostamento dal livello di taratura acustica non fosse superiore a 0,5 dB) (norma UNI 9432:2011).

¹³ Gli esempi prendono spunto dalla pubblicazione di Andrea Rotella: "Valutazione del rumore in una carpenteria metallica"; Igiene & Sicurezza del Lavoro - giugno 2013

In linea generale, le misurazioni effettuate sono state eseguite con la presenza contemporanea di altre lavorazioni nell'ambiente, comprendendo il ciclo completo della lavorazione, nella condizione operativa più rumorosa, prolungando la misura per l'intera durata del compito.

In linea di massima, i lavoratori non sono assegnati ciascuno ad una specifica macchina, ma si alternano fra di loro, a seconda delle esigenze produttive dell'officina.

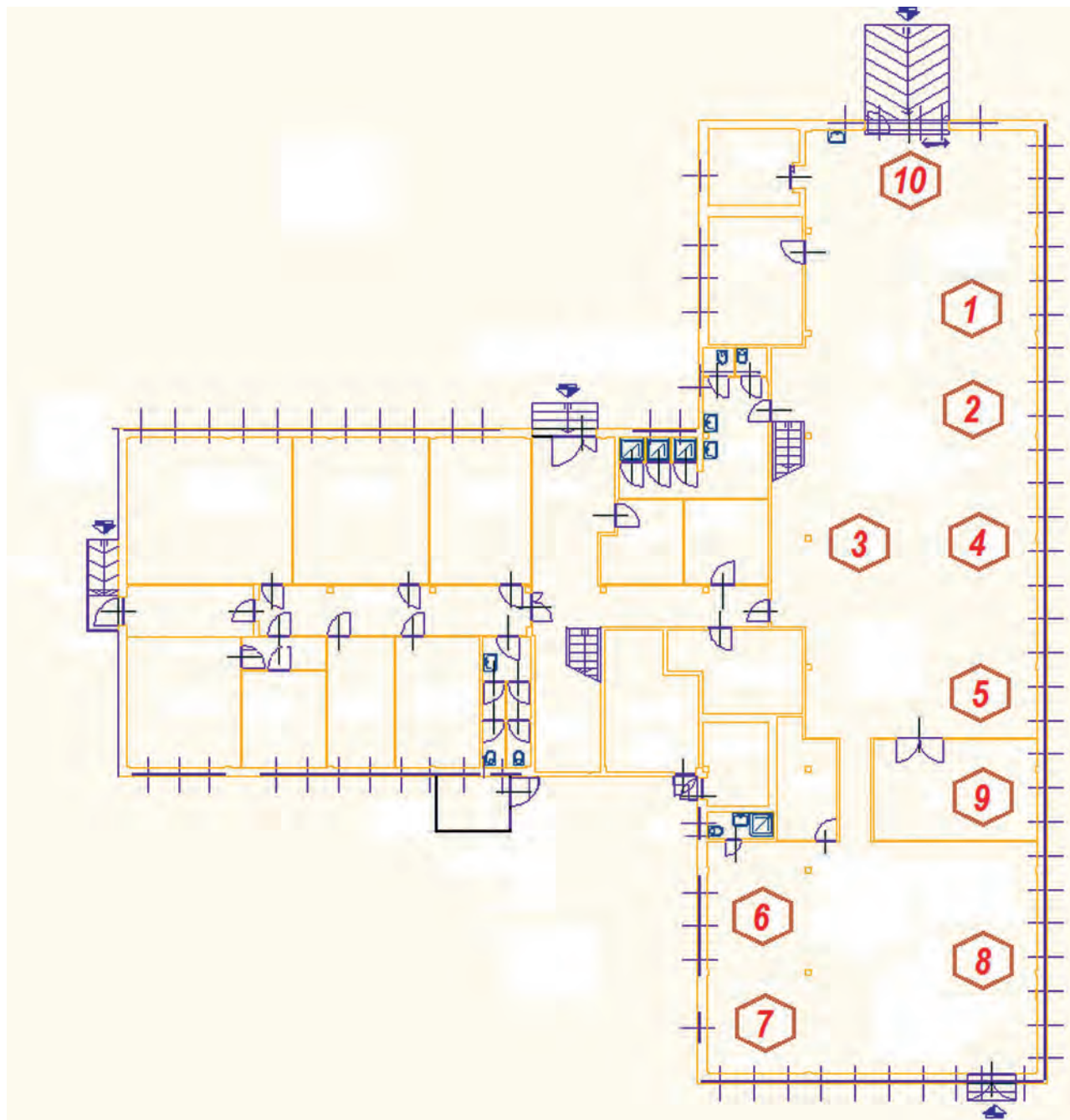


FIGURA 22 - PLANIMETRIA DELL'OFFICINA MECCANICA - INDICAZIONE AREE SVOLGIMENTO DEI COMPITI

Le risultanze delle misurazioni, in relazione al lavoratore denominato n. 1, forniscono i seguenti valori:

Compito 1					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	30	70,2	210	96,8	Misuratore personale
2	30	71,5	300	99,1	Misuratore personale
3	30	72,3	300	102,6	Misuratore personale
Compito 2					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	5	93,9	30	112,7	Fon. Cl. 1
2	5	92,3	30	108,4	Fon. Cl. 1
3	5	91,4	30	105,2	Fon. Cl. 1
Compito 3					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	5	77,3	15	100,7	Fonometro Cl. 1
2	5	81,4	15	101,0	Fonometro Cl. 1
3	5	80,1	15	101,7	Fonometro Cl. 1
Compito 4					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	7	75,9	20	112	Fonometro Cl. 1
2	7	77,0	40	104,9	Fonometro Cl. 1
3	7	81,3	30	106,2	Fonometro Cl. 1
Compito 5					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	5	98,2	15	117,7	Fonometro Cl. 1
2	5	98,1	15	111,0	Fonometro Cl. 1
3	5	97,3	15	104,2	Fonometro Cl. 1
Compito 6					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	10	93,7	10	118,2	Fonometro Cl. 1
Compito 7					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	5	96,7	10	113,6	Fonometro Cl. 1
2	5	99,4	15	112,5	Fonometro Cl. 1
3	5	98,1	5	103,7	Fonometro Cl. 1
Compito 8					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	10	92,8	10	113,8	Fonometro Cl. 1
2	10	89,1	10	105,9	Fonometro Cl. 1
3	10	89,2	10	115,2	Fonometro Cl. 1
Compito 9					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	5	62,8	60	101,2	Fonometro Cl. 1
Compito 10					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, mi}$ (dBA)	Durata compito (min) $T_{m,i}$	L_{picco} (dBC)	Strumento
1	5	74,6	30	103,3	Fonometro Cl. 1

Si segnala che, nei calcoli, le durate debbono essere indicate in ore e decimali di ora (es.: 6 ore e 34 minuti = 6,57 ore)..

Le risultanze dell'esposizione relativa al lavoratore denominato n. 1 (a meno delle incertezze) forniscono i seguenti valori:

Compito	$\overline{T}_m$ (formato decimale)	$L_{Aeq, m}$ (dBA)	$L_{picco, m}$ (dBC)
1	4,5	71,4	< 135
2	0,5	92,7	< 135
3	0,25	79,9	< 135
4	0,50	78,7	< 135
5	0,25	97,9	< 135
6	0,17	93,7	< 135
7	0,17	98,2	< 135
8	0,17	90,7	< 135
9	1	62,8	< 135
10	0,5	74,6	< 135
$L_{EX,8h}$ 87,3 (dBA)			
	8		

Sono stati evidenziati in grassetto i compiti per cui risulta $L_{Aeq, m} > 80$ (dBA).

$$L_{Aeq, m} = 10 \log \left[\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 L_{Aeq, mi}} \right]$$

ad esempio:

$$L_{Aeq, 1} = 10 \log \left[\frac{1}{3} (10^{0,1 \times 70,2} + 10^{0,1 \times 71,5} + 10^{0,1 \times 72,3}) \right] = 71,4 \text{ dB(A)}$$

dove:

- $L_{Aeq, mi}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A del campione di indice i;
- i è l'indice del campione considerato;
- I è il numero totale di campioni per il compito "m";
- m è il compito considerato.

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\sum_{m=1}^M \frac{\overline{T}_m}{T_0} 10^{0,1 L_{Aeq, m}} \right]$$

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\left(\frac{4,5}{8} \times 10^{0,1 \times 71,4} + \frac{0,5}{8} \times 10^{0,1 \times 92,7} + \frac{0,25}{8} \times 10^{0,1 \times 79,9} + \frac{0,5}{8} \times 10^{0,1 \times 78,7} + \frac{0,25}{8} \times 10^{0,1 \times 97,9} + \frac{0,17}{8} \times 10^{0,1 \times 93,7} + \frac{0,17}{8} \times 10^{0,1 \times 98,2} + \frac{0,17}{8} \times 10^{0,1 \times 90,7} + \frac{1}{8} \times 10^{0,1 \times 62,8} + \frac{0,5}{8} \times 10^{0,1 \times 74,6} \right) \right] = 87,3 \text{ dB(A)}$$

dove:

- $L_{Aeq, m}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A del compito "m";
- $\overline{T}_m$ è la media aritmetica delle durate del compito "m";
- T_0 è la durata di riferimento della giornata lavorativa nominale pari 8 ore.

Considerando quindi il contributo delle incertezze, si avrà:

Compito	$\overline{T}_m$	$L_{Aeq, m}$ (dBA)	$L_{picco, m}$ (dBC)	$c_{1a, m}$	$c_{1b, m}$	$u_{1a, m}$ (dBA)	$u_{1b, m}$ (dBA)	$u_{2, m}$ (dBA)	u_3 (dBA)
1	4,5	71,4	< 135	0,01	0,01	0,61	0,50	1,5	1
2	0,5	92,7	< 135	0,21	1,85	0,73	0,00	0,7	1
3	0,25	79,9	< 135	0,01	0,10	1,21	0,00	0,7	1
4	0,50	78,7	< 135	0,01	0,07	1,65	0,10	0,7	1
5	0,25	97,9	< 135	0,36	6,17	0,28	0,00	0,7	1
6	0,17	93,7	< 135	0,09	2,35	0,00	0,00	0,7	1
7	0,17	98,2	< 135	0,26	6,64	0,78	0,05	0,7	1
8	0,17	90,7	< 135	0,05	1,19	1,22	0,00	0,7	1
9	1	62,8	< 135	0,00	0,00	0,00	0,00	0,7	1
10	0,5	74,6	< 135	0,00	0,03	0,00	0,00	0,7	1
	8								$L_{EX, 8h}$ 87,3 (dBA)
									$U(L_{EX, 8h}) = \pm 1,2$

Iniziative immediate per la rimozione delle cause determinanti **$L'_{EX, 8h} > 87$ (dBA)**

$L'_{EX, 8h} > 87$ (dBA)

$$U(L_{EX, 8h}) = k u(L_{EX, 8h})$$

dove:

- $U(L_{EX, 8h}) = [k u(L_{EX, 8h})]$ è l'incertezza estesa sul livello di esposizione giornaliera;
- $u(L_{EX, 8h})$ è l'incertezza combinata standard sul livello di esposizione giornaliera;
- $k = 1,65$ è un fattore di copertura, funzione dell'intervallo unilaterale di confidenza del 95%.

dove:

- $c_{1a, m}$ è il coefficiente di sensibilità:

$$c_{1a, m} = \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1 (L_{Aeq, m} - L_{EX, 8h})}$$

ad esempio:

$$c_{1a, 1} = \frac{4,5}{8} 10^{0,1 (71,4 - 87,3)} = 0,01$$

n cui:

- T_m è la durata del compito "m";
- T_0 è il tempo di riferimento pari a 8 ore;
- $L_{Aeq, m}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A del compito "m";
- $L_{EX, 8h}$ è il livello di esposizione giornaliera a rumore.
- $u_{1a, m}$ è l'incertezza standard dovuta al campionamento del livello di rumore del compito "m";

$$u_{1a, m} = \sqrt{\frac{1}{l(l-1)} \left[\sum_{i=1}^l (L_{Aeq, mi} - \bar{L}_{Aeq, m})^2 \right]}$$

ad esempio:

$$u_{1a, 1} = \sqrt{\frac{1}{3(2)} \times [(70,2 - 71,3)^2 + (71,5 - 71,3)^2 + (72,3 - 71,3)^2]} = 0,61 \text{ dB(A)}$$

in cui:

- i è l'indice numerico del campione dei compiti;
- I è il numero totale di campioni;
- $L_{Aeq, mi}$ è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A del campione i ;
- $\bar{L}_{Aeq, m}$ è la media aritmetica di un numero I di livelli sonori continui equivalenti ponderati A misurati per il compito "m".

ovvero:

$$\bar{L}_{Aeq, m} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{Aeq, mi}$$

ad esempio:

$$\bar{L}_{Aeq, 1} = \frac{1}{3} (70,2 + 71,5 + 72,3) = 71,3 \text{ dB(A)}$$

- $u_{2,m}$ è l'incertezza standard *dovuta alla strumentazione* usata per la misura dei compiti: tale valore è funzione della conformità normativa della strumentazione utilizzata:

1,5 per il Compito 1 e 0,7 per gli altri Compiti

- u_3 è l'incertezza standard *dovuta alla posizione della strumentazione*: si basa su dati empirici ed è posta pari ad 1;
- $c_{1b,m}$ è il coefficiente di sensibilità:

$$c_{1b,m} = 4,34 \frac{c_{1a,m}}{T_m}$$

ad esempio:

$$c_{1b,1} = 4,34 \frac{0,01}{4,5} = 0,01$$

in cui:

- $c_{1a,m}$ è il coefficiente di sensibilità (calcolato così come riportato nei passaggi precedenti);
- T_m è la durata del compito "m" considerato.
- $u_{1b,m}$ è l'incertezza standard *dovuta alla durata dei compiti "m"* ed è calcolata in base alle durate misurate mediante misurazioni indipendenti:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[\sum_{j=1}^J (T_{m,j} - \bar{T}_m)^2 \right]}$$

ad esempio:

$$u_{1b,1} = \sqrt{\frac{1}{3(2)} \times [(3,5 - 4,5)^2 + (5 - 4,5)^2 + (5 - 4,5)^2]} = 0,5 \text{ dB(A)}$$

in cui:

- J è il numero totale di osservazioni di durata dei compiti;
- $T_{m,j}$ è la durata del compito "m" considerato relativa all'osservazione j ;
- $\bar{T}_m$ è la media delle durate del compito "m" considerato relativa alle osservazioni totali.

e, quindi:

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

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,56 \text{ dB(A)} \rightarrow u(L_{EX,8h}) = 0,75 \text{ dB(A)} \rightarrow \text{e l'incertezza estesa risulta:}$$

$$U(L_{EX,8h}) = 1,65 u = 1,2 \text{ dB(A)}$$

Dai risultati ottenuti si evince che, per quanto concerne le mansioni svolte dal lavoratore denominato n. 1, queste comportano un'esposizione a livelli di rumore superiori ai valori limite di esposizione (87 dB(A)) e pertanto, come previsto dall'art. 194 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., il Datore di lavoro deve adottare misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto di tali livelli.

Nelle more, e come misura urgente di protezione, può far utilizzare adeguati dispositivi di protezione individuale uditivi (DPI-u), procedendo alla determinazione dell'attenuazione prodotta al fine di verificare il sostanziale rispetto dei valori limite di esposizione, ai sensi dall'art. 193, comma 2.

Per il lavoratore denominato n. 1, la messa a disposizione dei DPI-u è limitata all'esecuzione delle fasi di lavoro più rumorose (compiti 2, 5, 6, 7 e 8), individuate tra quelle che comportano un'esposizione del lavoratore a valori di $L_{Aeq} > 80$ dB(A).

Supponiamo essere stati individuati i due seguenti DPI-u da assoggettare alla verifica di idoneità; per ciascuna delle predette fasi, si procede al calcolo dell'attenuazione mediante il metodo SNR:

- Cuffia antirumore: SNR = 25 dB(A)
- Inserti auricolari espandibili: SNR = 34 dB(A)

Per tener conto del cosiddetto "reale", ossia della riduzione di attenuazione dei DPI u causata da tutti quei fenomeni che determinano delle difformità tra i dati dichiarati dal produttore (determinati in laboratorio) rispetto alle reali condizioni di lavoro, si applicano i fattori demoltiplicativi β indicati nella norma UNI 9432:2011, al fine di perfezionare i *valori attenuati*, determinati secondo la procedura indicata al punto A.5 della norma UNI EN 458, determinando i *valori attenuati reali* per le diverse lavorazioni.

- Cuffia antirumore: $\beta = 0,75$
- Inserti auricolari espandibili: $\beta = 0,5$

$$L'_{Aeq\ reale} = L_{Ceq} - SNR' = L_{Ceq} - SNR \beta$$

Ipotesi cuffia antirumore indossata:

Compito	L_{Ceq} (dBA)	SNR	β	SNR'	L'_{Aeq} (dBA)	$L'_{Aeq\ reale}$ (dBA)
2	91,8	25	0,75	18,75	66,8	73,1
5	97,8	25	0,75	18,75	72,8	79,1
6	93,3	25	0,75	18,75	68,3	74,6
7	96,5	25	0,75	18,75	71,5	77,8
8	90,3	25	0,75	18,75	65,3	71,6

Ipotesi inserti auricolari espandibili indossati:

Compito	L_{Ceq} (dBA)	SNR	β	SNR'	L'_{Aeq} (dBA)	$L'_{Aeq\ reale}$ (dBA)
2	91,8	34	0,50	17,00	57,8	74,8
5	97,8	34	0,50	17,00	63,8	80,8
6	93,3	34	0,50	17,00	59,3	76,3
7	96,5	34	0,50	17,00	62,5	79,5
8	90,3	34	0,50	17,00	56,3	73,3

Si ricava che gli inserti auricolari espandibili non potranno essere considerati nell'esecuzione della fase di lavoro connessa al Compito 5 ($L'_{Aeq\ reale} > 80$ dB (A)).

Pertanto, gli inserti auricolari non saranno più considerati da qui in avanti, a beneficio delle cuffie.

La classe di rischio di assegnazione è risultata maggiore del Valore Limite di esposizione; al fine di valutare l'efficienza dei DPI-u e il rispetto del valore limite di esposizione (art. 193, comma 2) si effettua il calcolo seguente.

In pratica, in riferimento al lavoratore denominato n. 1, nella scheda di calcolo (sotto riportata), ai valori corrispondenti all'impiego delle singole macchine rumorose (compiti 2, 5, 6, 7 e 8), per le quali è stato calcolato l'effetto dell'attenuazione, dovranno essere sostituiti i valori attenuati sopra determinati ($L'_{Aeq, reale}$), calcolando il nuovo valore dell'esposizione giornaliera del lavoratore al rumore, che dovrà essere confrontato con il valore limite di esposizione (87 dB (A)).

Analoga verifica va eseguita in relazione ad un'eventuale iperprotezione il cui valore di soglia, secondo la norma UNI EN 458, è pari a ($L_{act} - 15$) dove L_{act} corrisponde ai valori inferiori di azione stabiliti dalla normativa. A meno delle incertezze, considerate a parte, si avrà:

Ipotesi cuffia antirumore indossata:

Compito	$\overline{T}_m$	$L_{Aeq, m}$ (dBA)	$L_{picco, m}$ (dBC)	
1	4,5	71,8	< 135	
2	0,5	73,1	< 135	
3	0,25	79,9	< 135	
4	0,50	78,7	< 135	
5	0,25	79,1	< 135	
6	0,17	74,6	< 135	
7	0,17	77,8	< 135	
8	0,17	71,6	< 135	
9	1	62,8	< 135	
10	0,5	74,6	< 135	$L_{EX,8h}$ SNR' 73,9 (dBA)
	8			$U(L_{EX,8h}) = \pm 1,2$

Concludendo, si può verificare che, utilizzando la cuffia, i valori attenuati ($L_{EX,8h}$ SNR'), comprensivi del contributo dell'incertezza estesa, risultano minori del valore inferiore di azione (80 dB(A)), senza tuttavia provocare fenomeni di iperprotezione ($L'_{Aeq, reale} > 65$ dB(A)).

Analoga procedura, adottando la *strategia per compiti*, si applicherà per determinare, e verificare, l'esposizione al rumore degli altri due lavoratori denominati n. 2 e n. 3 e per l'apprendista denominato n. 4.

Relativamente, invece, ai due addetti al montaggio (denominati n. 5 e n. 6) che operano, prevalentemente, presso siti esterni, come anticipato, sarà adottata la *strategia per mansioni*.

Si può considerare, a tale scopo, un GAO (composto dai due installatori e, sporadicamente, anche dall'apprendista).

Sulla base delle indicazioni contenute nel prospetto 1 della norma UNI EN ISO 9612:2011 ($GAO < 5$), saranno necessarie 5 ore complessive di misurazione.

Dovendo il numero di campioni da rilevare essere necessariamente superiore a 5, e della medesima durata, al fine di ridurre l'incertezza complessiva, si stabilisce di eseguire 10 misurazioni della durata di mezz'ora ciascuna.

I campionamenti saranno effettuati in due giornate differenti negli orari di cui alla tabella seguente, al fine di registrare il maggior numero di situazioni che possono derivare dallo svolgimento delle attività.

Prima giornata	Seconda giornata
Orari dei campionamenti	
1 dalle ore 8:00 alle ore 8:30	6 dalle ore 13:00 alle ore 13:30
2 dalle ore 8:15 alle ore 8:45	7 dalle ore 14:00 alle ore 14:30
3 dalle ore 10:00 alle ore 10:30	8 dalle ore 14:15 alle ore 14:45
4 dalle ore 10:15 alle ore 10:45	9 dalle ore 16:15 alle ore 16:45
5 dalle ore 11:30 alle ore 12:00	10 dalle ore 16:30 alle ore 17:00

Si determina l'esposizione al rumore riguardante i lavoratori denominati n. 5 e n. 6

Compito	Descrizione del compito
11	Attività presso cantieri esterni consistente nello smontaggio e montaggio di infissi, tramite l'impiego di attrezzi manuali, avvitatori e trapani a batteria, ecc. L'attività svolta comprende anche il trasporto, comprensivo dei tempi di trasferimento al cantiere, il carico e lo scarico dei materiali di risulta.

DESCRIZIONE DEL COMPITO CUI SONO ADDETTI I LAVORATORI DENOMINATI N. 5 E N. 6

Le risultanze delle misurazioni effettuate in relazione ai lavoratori denominati n. 5 e n. 6 forniscono i seguenti valori:

Compito 11					
N. misura	Durata misura (min)	$L_{Aeq, n}$ (dBA)	L_{picco} (dBC)	Strumento	Giornata
1	30	81,8	111,7	Misuratore personale	Prima
2	30	83,4	112,4		
3	30	78,5	107,6		
4	30	83,9	105,1		
5	30	83,6	116,2		
6	30	81,3	111,6		Seconda
7	30	79,6	102,4		
8	30	85,2	109,1		
9	30	83,6	111,1		
10	30	79,2	107,2		

Le risultanze dell'esposizione, considerando anche i contributi delle incertezze, forniscono i seguenti valori:

Compito	$T_e = T_0$	L_{Aeq, T_e} (dBA)	L_{picco} (dBC)	u_1^2 (dBA)	$c_1 u_1$	c_2	u_2 (dBA)	u_3 (dBA)	$L_{EX,8h}$ 82,3 (dBA)
11	8	82,3	< 135	2,3	0,6	1	1,5	1	$U(L_{EX,8h}) = \pm 3,1$

Assegnazione dei lavoratori alla Classe di rischio ALTA

$L'_{EX,8h} > 85$ (dBA)

$$L_{Aeq, T_e} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 L_{Aeq, n}} \right]$$

dove:

- L_{Aeq, T_e} è il livello della pressione sonora continua equivalente ponderato A del campione "n";
- n è l'indice numerico del campione della mansione;
- N è il numero totale di campioni della mansione.

$$L_{Aeq, T_e} = 10 \log \left[\frac{1}{10} (10^{0,1 \times 81,8} + 10^{0,1 \times 83,4} + 10^{0,1 \times 78,5} + 10^{0,1 \times 83,9} + 10^{0,1 \times 83,6} + 10^{0,1 \times 81,3} + 10^{0,1 \times 79,6} + 10^{0,1 \times 85,2} + 10^{0,1 \times 83,6} + 10^{0,1 \times 79,2}) \right] = 82,3 \text{ dB(A)}$$

Considerato che l'effettiva durata della giornata lavorativa, T_e coincide con la durata di riferimento ($T_0 = 8$ ore), il $L_{EX,8h}$ coincide con il L_{Aeq, T_e} .

Relativamente ai contributi delle incertezze si avrà:

- u_1 è l'incertezza standard *dovuta al campionamento*:

$$u_1^2 = \frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq, n} - \bar{L}_{Aeq})^2 \right]$$

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{9} \times [(-0,21)^2 + 1,39^2 + (-3,51)^2 + 1,89^2 + 1,59^2 + (-0,71)^2 + (-2,41)^2 + 3,19^2 + 1,59^2 + (-2,81)^2]} = 2,3 \text{ dB(A)}$$

in cui:

- N è il numero totali di campioni;
- n è l'indice dell'i-esimo campione;
- $L_{Aeq, n}$ è il livello sonoro continuo equivalente corrispondente all'i-esimo campione;
- $\bar{L}_{Aeq}$ è la media degli N campioni misurati per il gruppo omogeneo, ossia:

$$\bar{L}_{Aeq} = \frac{1}{N} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq, n}) \right]$$

$$\bar{L}_{Aeq} = \frac{1}{10} \times [81,8 + 83,4 + 78,5 + 83,9 + 83,6 + 81,3 + 79,6 + 85,2 + 83,6 + 79,2] = 82,0 \text{ dB(A)}$$

- c_1 è il coefficiente di sensibilità: attraverso l'utilizzo del prospetto C.4 della norma UNI EN ISO 9612:2011, nel caso in esame nell'esempio risulta $c_1 u_1 = 0,6 \text{ dB}$.
- il coefficiente di sensibilità c_2 dovuto alla strumentazione è posto pari ad 1;
- u_2 è l'incertezza standard *dovuta alla strumentazione* usata per la misura dei compiti; nell'esempio risulta = 1,5.
- u_3 è l'incertezza standard *dovuta alla posizione della strumentazione*: si basa su dati empirici ed è posta pari ad 1,0 dB.

e, quindi:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

$$u^2(L_{EX,8h}) = (0,6^2 + 1,5^2 + 1,0^2) = 3,6 \text{ dB(A)} \rightarrow u(L_{EX,8h}) = 1,9 \text{ dB(A)} \rightarrow \text{e l'incertezza estesa risulta:}$$

$$U(L_{EX,8h}) = 1,65 u = 3,1 \text{ dB(A)}$$

Il valore di $L'_{EX,8h}$, comprensivo del contributo dell'incertezza estesa, per i lavoratori denominati n. 5 e n. 6, determina un risultato complessivo pari a 85,4 dB(A); pertanto i due lavoratori dovranno essere considerati appartenenti alla Classe di rischio ALTA.

Pertanto, come previsto dall'art. 192 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., il Datore di lavoro deve elaborare e attuare un programma di misure tecniche e organizzative per ridurre l'esposizione.

Nelle more, come misura di protezione, può far utilizzare adeguati dispositivi di protezione individuale uditivi (DPI-u), valutandone efficienza ed efficacia, ai sensi dall'art. 193.

Occorre, da ultimo, verificare l'esistenza di una possibile corrispondenza tra la presenza di rumore, sostanze ototossiche (indicando il nome della sostanza), vibrazioni (precisando se HAV o WBV) e rumori impulsivi. Per quanto concerne l'ultimo fattore, in tutti i casi, il rumore rilevato è stato di tipo fluttuante e non è stata determinata, per alcuna lavorazione, la presenza di componenti impulsive.

Ad esempio, per il lavoratore denominato n. 1, risulta:

Compito	$\overline{T_m}$	$L_{Aeq, m}$ (dBA)	Esposizione a vibrazioni (HAV/WBV)	Esposizione a ototossici (si/no)	Rumori impulsivi (si/no)
1	4,5	71,4	HAV	no	no
2	0,5	92,7	HAV	no	no
3	0,25	79,9	HAV	no	no
4	0,50	78,7	HAV	no	no
5	0,25	97,9	HAV	no	no
6	0,17	93,7	HAV	no	no
7	0,17	98,2	HAV	no	no
8	0,17	90,7	HAV	no	no

Mentre per i lavoratori denominati n. 5 e n. 6:

Compito	$\overline{T_m}$	$L_{Aeq, m}$ (dBA)	Esposizione a vibrazioni (HAV/WBV)	Esposizione a ototossici (si/no)	Componenti impulsive (si/no)
11	8	82,3	HAV e WBV causati dall'impiego degli avvitatori manuali, del trapano e dalla conduzione dell'automezzo di lavoro	no	no

Premesso che i risultati ottenuti necessitano di un'analisi congiunta con il Medico Competente, essendo i lavoratori in questione assegnati alla Classe di rischio ALTA e, quindi, già sottoposti a sorveglianza sanitaria obbligatoria, si rimanda alle considerazioni esposte al paragrafo 3.2.

A.3 Un calcolo dell'esposizione giornaliera (strategia a giornata intera)

Supponiamo di dover determinare l'esposizione al rumore nell'ambito di una fabbrica dedita alla produzione e immagazzinaggio di elettrodomestici, nella quale operano dei carrelli industriali.

Sono presenti tre operatori (considerati come GAO) addetti alla manovra dei carrelli.

Essi svolgono un turno di 10 ore che comprende tre pause, rispettivamente, di 20, 45 e 20 minuti.

Le pause più brevi sono fatte in qualsiasi posto all'interno del luogo di lavoro, in momenti graditi al lavoratore, la pausa lunga è ad orario fisso, nella mensa aziendale.

La durata effettiva della giornata lavorativa, pausa mensa esclusa, è quindi di 9 ore e 15 minuti (9,25 ore).

La descrizione dell'attività lavorativa è stata desunta mediante osservazione e confermata in base al confronto con i manovratori ed i loro supervisori.

Descrizione dell'attività lavorativa dei carrellisti
La mansione dei carrellisti consiste nel trasporto delle materie prime, e dei prodotti finiti, fra le zone di produzione, magazzino ed deposito merci della fabbrica. Il lavoro degli operatori può variare a seconda delle istruzioni dell'addetto supervisore. Gli operatori trascorrono gran parte della giornata all'interno della cabina di guida.

Considerata la varietà e l'imprevedibilità dei cicli lavorativi, la strategia di misurazione *a giornata intera* è stata giudicata la più idonea; inizialmente, è stata effettuata una misurazione a giornata intera su ciascuno dei lavoratori.

Considerata la necessità di concedere del tempo per allestire e per smontare la strumentazione all'inizio e alla fine dei turni, e per fornire istruzioni ai lavoratori (sul funzionamento dello strumento di misura e sulle corrette modalità di svolgimento della propria mansione durante la campagna di misurazione), la durata delle misurazioni è stata leggermente inferiore alla durata completa del turno di lavoro, seppur di durata sufficiente per coprire tutti i periodi significativi di esposizione al rumore.

A seguito delle prime tre misurazioni a giornata intera, è stato riscontrato che i tre risultati differivano di oltre 3 dB. Pertanto, sono state eseguite ulteriori tre misurazioni a giornata intera, utilizzando le medesime tecniche impiegate nelle prime misurazioni.

Le sei misurazioni, a giornata intera, hanno fornito le risultanze di cui alla seguente tabella:

Lavoratore	Durata misura	$L_{Aeq, n}$ (dBA)	Giornata
1	8,25	87,8	Prima
2	8,17	90,3	
3	8,25	89,2	
1	8,00	91,8	Seconda
2	8,08	90,3	
3	8,17	88,8	

Le risultanze dell'esposizione, considerando anche i contributi delle incertezze, forniscono i seguenti valori:

Attività del GAO	$T_e > T_0$	L_{Aeq, T_e} (dBA)	u_1^2 (dBA)	$c_1 u_1$	c_2	u_2 (dBA)	u_3 (dBA)	$L'_{EX, 8h}$ 90,5 (dBA)
	9,25	89,9	1,40	0,8	1	1,5	1	$U(L_{EX, 8h}) = \pm 3,3$

$$L_{Aeq, T_e} = 10 \log \left[\frac{1}{6} (10^{0,1 \times 87,8} + 10^{0,1 \times 90,3} + 10^{0,1 \times 89,2} + 10^{0,1 \times 91,8} + 10^{0,1 \times 90,3} + 10^{0,1 \times 88,8}) \right] = 89,9 \text{ dB(A)}$$

Considerato poi che l'effettiva durata della giornata lavorativa, $T_e = 9,25$ ore non coincide con la durata di riferimento ($T_0 = 8$ ore), il $L_{EX, 8h}$ sarà determinato dalla relazione:

$$L_{EX, 8h} = 89,9 + 10 \log (9,25/8) = 90,5 \text{ dB(A)}$$

Relativamente ai contributi delle incertezze si avrà:

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \times [(-1,90)^2 + 0,60^2 + (-0,50)^2 + 2,10^2 + 0,60^2 + (-0,90)^2]} = 1,40 \text{ dB(A)}$$

con:

$c_1 u_1 = 0,8$ dB, essendo, dal prospetto C.4, $N = 6$ e $u_1 = 1,18$ dB(A)

$u_2 = 1,5$ dB(A)

$u_3 = 1,0$ dB(A)

$c_2 = 1$

e, quindi:

$$u^2(L_{EX, 8h}) = (0,8^2 + 1,5^2 + 1,0^2) = 3,9 \text{ dB(A)} \rightarrow u(L_{EX, 8h}) = 2,0 \text{ dB(A)} \rightarrow \text{e l'incertezza estesa risulta:}$$

$$U(L_{EX, 8h}) = 1,65 u = 3,3 \text{ dB(A)}$$

Pertanto, i lavoratori sono soggetti ad un'esposizione giornaliera al rumore di 90,5 dB(A), con un'incertezza estesa associata di 3,3 dB(A), per una copertura di probabilità unilaterale del 95% ($k = 1,65$).

Pertanto, come previsto dall'art. 194 del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i., il Datore di lavoro deve adottare misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto di tali livelli.

Nelle more, e come misura urgente di protezione, può far utilizzare adeguati dispositivi di protezione individuale uditivi (DPI-u), procedendo alla determinazione dell'attenuazione prodotta al fine di verificare il sostanziale rispetto dei valori limite di esposizione, ai sensi dall'art. 193, comma 2.

A.4 Un esempio di valutazione del rischio

Generalità dell'impresa

Si ipotizza un'impresa che effettui prove e indagini fisico-meccaniche, chimiche e geotecniche, in laboratorio e in sito, su materiali, componenti e strutture per l'industria delle costruzioni; in particolare:

- prove meccaniche e fisiche su calcestruzzo, acciaio per C.A. e C.A.P., acciaio da carpenteria (laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - I. 1086/71);
- prove sul calcestruzzo fresco;
- prove meccaniche e fisiche su bulloneria;
- prove meccaniche e fisiche su componenti edili e stradali, come tubi, barriere di sicurezza, profilati metallici, pannelli, chiusini, lastre di copertura, delimitatori di corsia, ecc.;
- prove su legno ed elementi lignei;
- prove di piastra su piani di fondazione, rilevati e pavimentazioni;
- prove penetrometriche statiche e dinamiche, sondaggi superficiali;
- carotaggi su strutture in c.a., pavimentazioni e murature;
- indagini ultrasoniche su strutture in calcestruzzo;
- rilievo di armature in strutture in c.a. con tecnica magnetica;
- controllo di fessurazioni;
- prove di carico su solai, ponti, travi, pali di fondazione.

Le attività dell'impresa si suddividono, sinteticamente, in due tipologie; attività eseguite in laboratorio (e annesse attività di amministrazione e di magazzino) e attività sul campo.

Dall'analisi del ciclo lavorativo, è emerso che, in linea di massima, i lavoratori operanti nel laboratorio non sono assegnati ciascuno ad una specifica attrezzatura, bensì attuano delle turnazioni fra queste, a seconda delle esigenze determinate dalla tipologia di prove da effettuare.

Si è quindi proceduto alla valutazione dell'esposizione al rumore per i lavoratori dell'impresa, adottando la *strategia di misurazione per compiti*, in riferimento alle seguenti schede/mansioni¹⁴:

❖ Scheda 1 - Ufficio segreteria/amministrazione

Lavoratori per i quali è stata effettuata la valutazione:
Marcella Galimberti

❖ Scheda 2 - GAO magazzinieri/autisti

Lavoratori per i quali è stata effettuata la valutazione:
Marco Seppi, Nicola Dandini, Nunzio Perotti

❖ Scheda 3 - GAO addetti laboratorio prove

Settimana composta da 2 giornate per l'esecuzione di prove su calcestruzzo, acciaio per C.A. e C.A.P.; 1 giornata per l'esecuzione di prove meccaniche e fisiche su bulloneria; 1 giornata per l'esecuzione di prove meccaniche su profilati metallici e componenti metallici in genere, e 1 giornata per l'esecuzione delle prove su elementi lignei.

Lavoratori per i quali è stata effettuata la valutazione:
Giovanni Capodacqua, Mario La Neve, Roberto Capizzi, Giacomo Barletta, Nando La Casa

Si è invece proceduto alla valutazione dell'esposizione al rumore per i lavoratori addetti prevalentemente presso cantieri, applicando l'art. 191:

❖ Scheda 4 - GAO addetti prove in campo (prevalentemente presso cantieri)

Lavoratori per i quali è stata effettuata la valutazione:
Gianni Biscardi, Manfredo La Rocca, Antonio Seppi, Marco Vitale

¹⁴ Nomi, situazioni e ipotesi puramente casuali

Strumentazione utilizzata nelle indagini fonometriche

Per le misurazioni sono state utilizzate le seguenti attrezzature, i cui errori strumentali, sul livello sonoro equivalente ponderato A e sul livello sonoro di picco, sono riportati in tabella:

Tipo strumento	Marca	Modello	N. di serie	$u_s (L_{Aeq})$	$u_s (L_{picco})$
Fonometro	XXYY	LC 567	1234	0,7	1,2
Calibratore	ZZWW	ERS 44	1233210	0,7	1,2

In riferimento alle tarature della strumentazione si rileva:

Tipo strumento	Marca	Modello	Data rilascio	Rilasciata da	N. certificato
Fonometro	XXYY	LC 567	26/05/2013	SIT SIT S.r.l.	LAT 231/09216
Calibratore	ZZWW	ERS 44	26/05/2013	SIT SIT S.r.l.	LAT 231/09217

Rilievi fonometrici

Preliminarmente all'esecuzione delle indagini fonometriche sono state acquisite tutte le informazioni atte a fornire un quadro completo delle attività pertinenti ai lavoratori o alle postazioni cui le misurazioni stesse si riferiscono.

Sono stati, pertanto, presi in considerazione:

- i cicli tecnologici, le modalità di esecuzione delle fasi lavorative, i mezzi e ed i materiali utilizzati;
- la variabilità delle lavorazioni;
- le caratteristiche del rumore: costante, fluttuante, impulsivo, ciclico;
- le condizioni acustiche in prossimità dei punti di misura, compresa la presenza di segnali di avvertimento e/o allarmi;
- le postazioni di lavoro occupate e i tempi di permanenza nella stesse;
- le eventuali pause o periodi di riposo e le relative postazioni o ambienti dove sono fruite;
- l'eventuale presenza di gruppi di lavoratori acusticamente omogenei (GAO).

Condizioni di misura

I rilievi fonometrici sono stati effettuati nelle seguenti condizioni operative:

- ambienti a normale regime di funzionamento;
- attrezzature in condizioni operative di massima emissione sonora.

Posizionamento del microfono

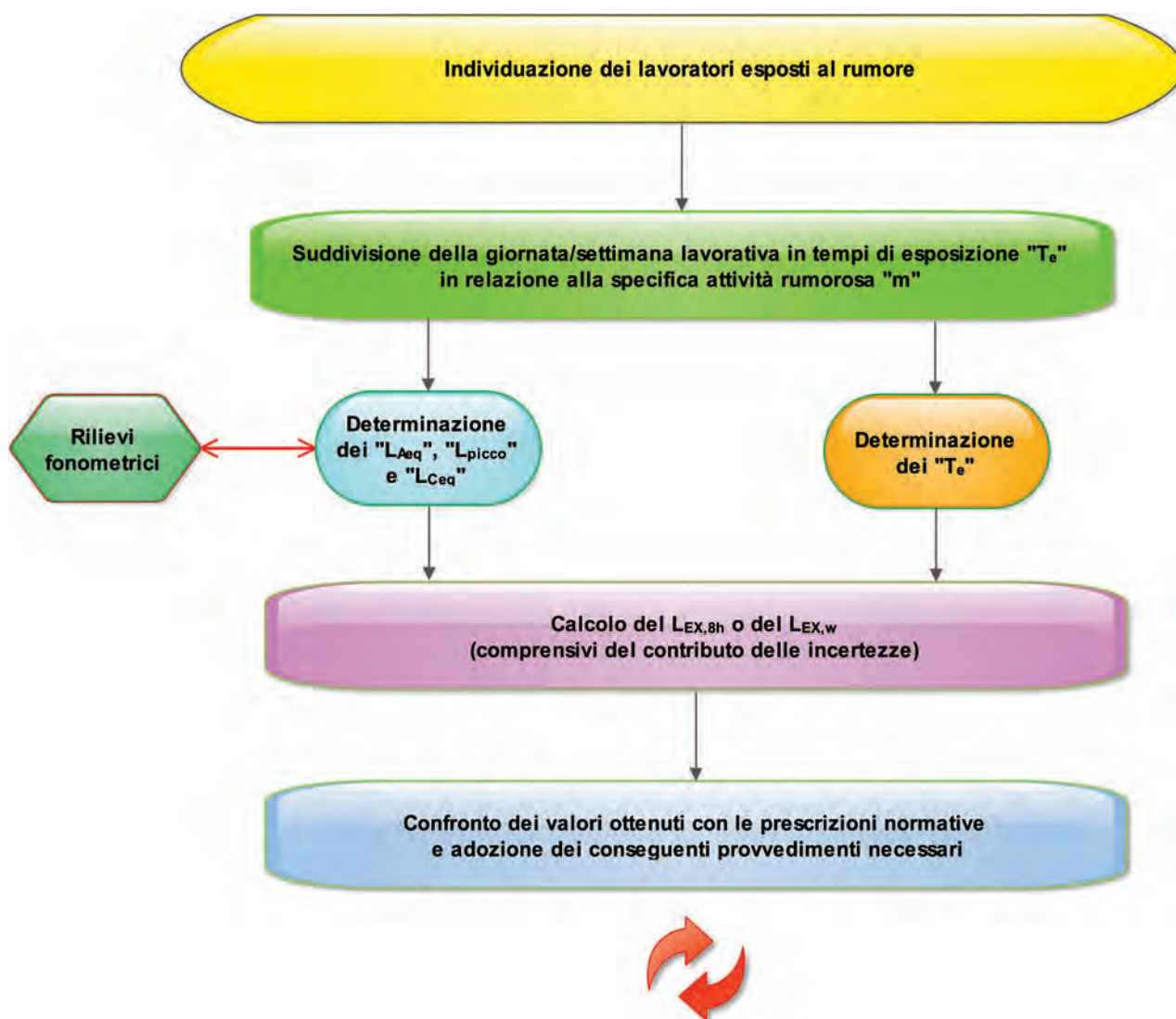
- per le fasi di lavoro che non richiedono necessariamente la presenza del lavoratore: il microfono è stato posizionato in corrispondenza della posizione occupata dalla testa del lavoratore;
- per le fasi di lavoro che richiedono necessariamente la presenza del lavoratore: il microfono è stato posizionato a circa 0,1 m di fronte all'orecchio esposto al livello più alto di rumore.

Tempi di misura

Per ogni singolo rilievo è stato scelto un tempo di misura congruo al fine di valutare l'esposizione al rumore dei lavoratori. In particolare, si considera soddisfatta la condizione suddetta quando il livello equivalente di pressione sonora si stabilizza entro 0,3 dB(A).

Per gli scopi dell'esempio, si suppone che le indagini fonometriche siano state effettuate secondo la prassi metrologica fornita dalla UNI EN ISO 9612:2011, con specifico riferimento al punto 9, in relazione alla determinazione delle durate (medie o effettive) delle misurazioni e dei livelli equivalenti medi per ciascun compito esaminato. I livelli sonori di picco, L_{picco} , sono stati rilevati, in fase di misurazione, per valutare l'esposizione al rumore impulsivo; laddove necessario, si è inoltre determinato il carattere impulsivo del rumore, attraverso la misura del parametro $L_{Aeq,I}$ (livello equivalente ponderato A, rilevato con la costante di tempo Impulse).

Infine, la misurazione effettuata del livello sonoro equivalente ponderato C, L_{Ceq} , occorre per l'eventuale verifica dei DPI-u.



PROCEDURA DI VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AL RUMORE

Tanto premesso, si riportano le risultanze delle indagini fonometriche eseguite, a partire dai valori del $L_{Aeq, m}$: livello sonoro equivalente ponderato A risultante, relativo al compito "m", di durata " T_m ".
Il calcolo dei $L_{Ceq, m}$ risultante del compito è stato analogo a quello eseguito per determinare i $L_{Aeq, m}$.

❖ Scheda 1 - Ufficio segreteria/amministrazione (giornata tipo)

Rilievo	Compito	Durata misura (min)	Tipologia rumore	T_m tempi di esposizione (formato decimale)	L_{Aeq} (dBA)	L_{picco} (dBC)	L_{Ceq} (dBC)	
1	Attività d'ufficio	60	fluttuante	8	60,0	75,0	64,0	$L_{EX,8h}$ 60,0 (dBA)
				8				L_{picco} 75,0 (dBC)

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \sum T_m 10^{0,1 L_i} \right] \quad \text{dB(A)}$$

$$L_{EX,8h} = 10 \log [8/8 \times 10^{0,1 \times 60}] = 60,0 \text{ dB(A)}$$

Considerando, quindi, il contributo delle incertezze che, come noto, consente di affinare il criterio di classificazione dei livelli di esposizione dei lavoratori, assegnando alla fascia di rischio superiore tutti i lavoratori caratterizzati da valori del livello di esposizione personale al limite dell'attribuzione alla fasce di esposizione (80+85, 85+87 e oltre 87 dB(A)), per i quali il contributo dell'incertezza possa determinare il superamento dei limiti minimi per ciascuna banda, si otterranno i valori massimi per i valori di L_{EX} e di L_{picco} :

$$U(L_{EX,8h}) = 1,65 u(L_{EX,8h})$$

$$U(L_{EX,8h}) = 2,0 \text{ dB(A)} \quad \rightarrow \quad \mathbf{L'_{EX,8h} = L'_{EX,w} = 62,0 \text{ dB(A)}}$$

$$U(L_{picco}) = [1,65 u(L_{picco})]$$

$$U(L_{picco}) = 2,6 \text{ dB(C)} \quad \rightarrow \quad \mathbf{L'_{picco} = 77,6 \text{ dB(C)}}$$

e, di conseguenza, l'assegnazione alla relativa classe di rischio:

$$L_{EX} < 80 \text{ dB(A)} \text{ e } L_{picco} < 135 \text{ dB(C)} \quad \rightarrow \quad \mathbf{\text{Rischio Basso}}$$

Per la valutazione dell'esposizione al rumore, considerato il compito esaminato, si è anche tenuto conto dell'assenza di sostanze ototossiche, dell'assenza di esposizione al rischio vibrazioni (mano-braccio HAV o corpo intero WBV) e dell'assenza di rumori impulsivi.

❖ Scheda 2 - GAO magazzinieri/autisti (giornata tipo)

Rilevo	Compito	Durata Misura (min)	Tipologia rumore	T _m tempi di esposizione (formato decimale)	L _{Aeq} (dBA)	L _{picco} (dBC)	L _{Ceq} (dBC)	c _{1a,m}	u _{1a,m} (dBA)	u _{1b,m} (dBA)	u _{2,m} (dBA)	u ₃ (dBA)	u _{s,picco} (dBC)	u _L (dBC)
1	Attività di magazzino	60	fluttuante	6	60,0	75,0	64,0	0,32	0	0	0,7	1	1,2	1
2	Guida	30	fluttuante	2	68,0	88,0	70,0	0,68	0	0	0,7	1	1,2	1
					L _{EX,8h} = 63,7 dBA									
					L _{picco} = 88,0 dBC									

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \sum T_m 10^{0,1 L_i} \right] \quad \text{dB(A)}$$

$$L_{EX,8h} = 63,7 \text{ dB(A)}$$

Considerando, quindi, il contributo delle incertezze che, come noto, consente di affinare il criterio di classificazione dei livelli di esposizione dei lavoratori, assegnando alla fascia di rischio superiore tutti i lavoratori caratterizzati da valori del livello di esposizione personale al limite dell'attribuzione alla fase di esposizione (80÷85, 85÷87 e oltre 87 dB(A)), per i quali il contributo dell'incertezza possa determinare il superamento dei limiti minimi per ciascuna banda, si otterranno i valori massimi per i valori di L_{EX} e di L_{picco}:

$$U(L_{EX,8h}) = 1,65 \text{ u}(L_{EX,8h})$$

$$U(L_{EX,8h}) = 1,5 \text{ dB(A)} \qquad \rightarrow \qquad L'_{EX,8h} = L'_{EX,w} = 65,2 \text{ dB(A)}$$

$$U(L_{picco}) = [1,65 \text{ u}(L_{picco})]$$

$$U(L_{picco}) = 2,6 \text{ dB(C)} \qquad \rightarrow \qquad L'_{picco} = 90,6 \text{ dB(C)}$$

e, di conseguenza, l'assegnazione alla relativa classe di rischio:

$$L_{EX} < 80 \text{ dB(A)} \text{ e } L_{picco} < 135 \text{ dB(C)} \rightarrow \text{Rischio Basso}$$

Per la valutazione dell'esposizione al rumore, considerati i compiti esaminati, si è anche tenuto conto dell'assenza di sostanze ototossiche e dell'assenza di rumori impulsivi; in relazione al rischio vibrazioni (corpo intero WBV) questo è presente in relazione al compito legato alla mansione di autista. Pur risultando il $L_{EX} < 80 \text{ dB(A)}$, in assenza di una stima dell' $A(8)$, la simultanea esposizione a WBV fa sì che il rischio non possa essere considerato "giustificabile", necessitandosi di ulteriori indagini.

❖ Scheda 3 - GAO addetti laboratorio prove (calcolo del livello settimanale massimo ricorrente)

Nel rispetto di quanto previsto al punto 5.5 della norma UNI 9432:2011, se nell'ambito della stessa campagna di misurazione, il livello di esposizione giornaliera $L_{EX,8h}$ dello stesso lavoratore mostra una variabilità significativa all'interno della settimana, è possibile procedere:

- assumendo come livello di esposizione del lavoratore il valore massimo del livello di esposizione giornaliera;
- assumendo come livello di esposizione del lavoratore quello calcolato su base settimanale mediante l'equazione:

$$L_{EX,w} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{0,1(L_{EX,8h})_k} \right] \text{ dB(A)}$$

Resta inteso che la stima sul livello settimanale, in sostituzione del livello giornaliero, può essere effettuata avendo sempre cura di verificare il rispetto del valore limite di esposizione e, se del caso, adottando le misure necessarie per ridurre al minimo i relativi rischi, nel rispetto dell'articolo 189, comma 2.

La norma UNI EN ISO 9612:2011 non contiene indicazioni riguardo al calcolo del livello di esposizione settimanale e della relativa incertezza; il calcolo di quest'ultima avviene utilizzando l'equazione (B.1) della stessa norma, originariamente sviluppata per l'esposizione a lungo termine:

$$u_a(L_{EX,w}) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n 10^{0,2 L_i} u_i^2}}{\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i}}$$

$$u(L_{EX,w}) = \sqrt{[u_a^2(L_{EX,w}) + u_s^2]}$$

Si è stabilito, nell'esecuzione della valutazione di questo GAO, di optare per la seconda possibilità.

PROSPETTO RIEPILOGATIVO MISURAZIONI PER I COMPITI RILEVATI																			
Rilevo	Compito	Durata misura (min)	Tipologia rumore	T _e tempi di esposizione (formato decimale)							L _{Aeq} (dBA)	L _{picco} (dBC)	L _{Ceq} (dBC)	U _{1a,m} (dBA)	U _{1b,m} (dBA)	U _{2,m} (dBA)	U ₃ (dBA)	U _{s, piccolo} (dBC)	U _L (dBC)
				LU	MA	ME	GIO	VEN	SA	DO									
1	Trapano elettrico	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	87,8	112,0	88,4	0	0	0,7	1	1,2	1
2	Tornio	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	82,3	88,7	85,3	0	0	0,7	1	1,2	1
3	Punzonatrice	10	impulsivo	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	79,4	118,0	82,0	0	0	0,7	1	1,2	1
4	Mola	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	90,9	113,0	91,4	0	0	0,7	1	1,2	1
5	Laminatoio	10	ciclico	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	83,0	94,0	83,9	0	0	0,7	1	1,2	1
6	Trapano a colonna	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	77,0	85,0	83,5	0	0	0,7	1	1,2	1
7	Fresa	30	fluttuante	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,0	77,0	73,0	0	0	0,7	1	1,2	1
8	Trapano - fresa	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	87,7	107,0	90,2	0	0	0,7	1	1,2	1
9	Troncatrice	30	fluttuante	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,7	113,0	82,1	0	0	0,7	1	1,2	1
10	Levigatrice	30	fluttuante	1,20	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,2	112,0	94,2	0	0	0,7	1	1,2	1
11	Maglio	10	impulsivo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	88,9	117,0	91,2	0	0	0,7	1	1,2	1
12	Flex taglio	10	fluttuante	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	93,0	121,0	99,0	0	0	0,7	1	1,2	1
13	Seghetto alternativo	30	fluttuante	0,00	1,50	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	88,0	101,0	92,2	0	0	0,7	1	1,2	1
14	Avvitatore	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	73,0	81,0	80,0	0	0	0,7	1	1,2	1
15	Spazzola elettrica fissa	30	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	80,3	87,0	81,0	0	0	0,7	1	1,2	1
16	Prova al banco n. 1	15	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	81,1	97,8	89,0	0	0	0,7	1	1,2	1
17	Prova al banco n. 2	15	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,75	0,50	0,00	0,00	82,3	98,3	91,0	0	0	0,7	1	1,2	1
18	Prova al banco n. 3	15	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	85,0	91,5	86,0	0	0	0,7	1	1,2	1
19	Prova al banco n. 4	15	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	73,0	100,0	76,0	0	0	0,7	1	1,2	1
20	Prova al banco n. 5	15	fluttuante	1,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	73,0	100,0	76,0	0	0	0,7	1	1,2	1
21	Saldatura ad elettrodo	10	flutt./imp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	81,5	84,0	82,2	0	0	0,7	1	1,2	1
22	Saldatura ossiacetilenica	10	costante	0,00	1,75	0,00	1,66	0,00	0,00	0,00	77,0	80,0	77,5	0	0	0,7	1	1,2	1
23	Attrezzature manuali	60	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,70	0,50	0,00	0,00	65,0	95,0	67,0	0	0	0,7	1	1,2	1
24	Attrezzature manuali	60	fluttuante	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,0	95,0	67,0	0	0	0,7	1	1,2	1
25	Attrezzature manuali	60	fluttuante	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,0	95,0	67,0	0	0	0,7	1	1,2	1
26	Attrezzature manuali	60	fluttuante	1,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	65,0	95,0	67,0	0	0	0,7	1	1,2	1
27	Cappa aspirante n. 1	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	71,0	92,0	72,0	0	0	0,7	1	1,2	1
28	Cappa aspirante n. 2	10	fluttuante	0,50	0,50	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	71,0	92,0	72,0	0	0	0,7	1	1,2	1
29	Lavoro al banco	10	flutt./imp.	0,50	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	92,0	120,1	95,2	0	0	0,7	1	1,2	1
30	Bidone aspiratutto	60	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	99,3	94,0	100,0	0	0	0,7	1	1,2	1

31	Impianti - rumore fondo	10	costante	0,30	0,50	0,30	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	70,0	87,0	72,0	0	0	0,7	1	1,2	1
32	Compressore n. 1	10	ciclico	0,30	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	78,0	99,4	81,0	0	0	0,7	1	1,2	1
33	Compressore n. 2	10	ciclico	0,30	0,00	0,50	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	74,5	98,0	82,3	0	0	0,7	1	1,2	1
34	Trapano demolitore	10	fluttuante	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,3	112,0	99,7	0	0	0,7	1	1,2	1
35	Pressa	30	fluttuante	0,50	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,3	91,0	87,0	0	0	0,7	1	1,2	1
36	Lapidello	10	fluttuante	0,40	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	76,5	98,0	80,3	0	0	0,7	1	1,2	1
37	Generatore - fondo	10	costante	0,00	0,00	0,00	1,50	0,50	0,00	0,00	0,00	79,8	105,0	87,3	0	0	0,7	1	1,2	1
38	Ventilatore	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	74,3	98,0	77,0	0	0	0,7	1	1,2	1
39	Sega circolare	10	fluttuante	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	92,7	114,0	92,9	0	0	0,7	1	1,2	1
40	Cesoia	10	fluttuante	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,0	112,0	95,6	0	0	0,7	1	1,2	1
41	Martello	10	impulsivo	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00	87,3	112,0	93,7	0	0	0,7	1	1,2	1
42	Pause tecniche e fisiol.	30	fluttuante	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	69,5	101,0	75,5	0	0	0,7	1	1,2	1
43	Pulizia dell'ambiente	30	fluttuante	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	79,7	110,2	78,9	0	0	0,7	1	1,2	1
				8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00	0,00									

Sono stati evidenziati in grassetto i compiti per cui risulta $L_{Aeq} > 80$ (dBA)

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \sum T_e 10^{0,1 L_i} \right] \quad \text{dB(A)}$$

$L_{EX,8h}$ dB (A)	
LU	81,6
MA	82,6
ME	86,2
GIO	82,0
VEN	86,2

$$L_{EX,w} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{0,1 (L_{EX,8h})_k} \right] \quad \text{dB(A)}$$

$$L_{EX,w} = 10 \log \left[\frac{1}{5} (10^{0,1 \times 81,6} + 10^{0,1 \times 82,6} + 10^{0,1 \times 86,2} + 10^{0,1 \times 82,0} + 10^{0,1 \times 86,2}) \right] = 84,2 \text{ dB(A)}$$

Considerando, quindi, il contributo delle incertezze, si otterranno i valori massimi per i valori di $L_{EX,w}$ e di L_{picco} :

$$U(L_{EX,8h}) = 1,65 \text{ u}(L_{EX,8h})$$

$$u_a(L_{EX,w}) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n 10^{0,2 L_i} u_i^2}}{\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i}}$$

dove:

$u_i^2(L_{EX,8h})_i$	
LU	0,76
MA	0,69
ME	0,88
GIO	0,15
VEN	0,88

$$u_a^2(L_{EX,w}) = 0,2 \text{ dB(A)} \quad u_s^2 = 0,5 \text{ dB(A)}$$

$$u(L_{EX,w}) = \sqrt{[u_a^2(L_{EX,w}) + u_s^2]}$$

ottenendo:

$$u(L_{EX,w}) = 0,8 \text{ dB(A)} \rightarrow U(L_{EX,8h}) = 1,4 \text{ dB(A)} \rightarrow L'_{EX,w} = 85,6 \text{ dB(A)}$$

e, ancora: **L_{picco} 121,0 (dBC)**

$$U(L_{picco}) = [1,65 u(L_{picco})]$$

$$U(L_{picco}) = 2,6 \text{ dB(C)} \rightarrow L'_{picco} = 123,6 \text{ dB(C)}$$

e, di conseguenza, l'assegnazione alla relativa classe di rischio:

$$85 < L_{EX} \leq 87 \text{ dB(A)} \text{ e } L_{picco} < 135 \text{ dB(C)} \rightarrow \text{Rischio Alto}$$

$$L'_{EX,8h} > 85 \text{ (dBA)} \rightarrow \text{P.A.R.E.! (vedi paragrafo A.4.1)}$$

Per i lavoratori appartenenti al GAO 3, emerge che l'obbligo di utilizzo dei DPI-u è limitato all'esecuzione delle fasi di lavoro più rumorose (14 compiti segnati in rosso nella tabella), individuate tra quelle che comportano un'esposizione del lavoratore a valori del livello equivalente superiore a 80 dB(A). Supponiamo essere stati individuati i seguenti DPI-u da assoggettare alla verifica di idoneità; per ciascuna delle predette fasi, si procede al calcolo dell'attenuazione mediante il metodo SNR:

$$\rightarrow \text{Cuffia antirumore - modello XXVI V MMXIII: SNR} = 32 \text{ dB(A)}$$

Per tener conto del cosiddetto "reale", ossia della riduzione di attenuazione dei DPI-u causata da tutti quei fenomeni che determinano delle difformità tra i dati dichiarati dal produttore (determinati in laboratorio) rispetto alle reali condizioni di lavoro, si applica il fattore demoltiplicativo β al fine di perfezionare i *valori attenuati*, determinando i *valori attenuati reali* per le diverse lavorazioni.

$$\rightarrow \text{Cuffia antirumore: } \beta = 0,75$$

$$L'_{Aeq \text{ reale}} = L_{Ceq} - SNR' = L_{Ceq} - SNR \beta$$

Con l'ipotesi di cuffia antirumore indossata, risulta in ogni caso $L'_{Aeq\ reale} < 80\text{ dB (A)}$:

Compito	$L_{Ceq}\text{ (dBA)}$	SNR	β	SNR'	$L'_{Aeq}\text{ (dBA)}$	$L'_{Aeq\ reale}\text{ (dBA)}$
1	88,4	32	0,75	24,00	56,4	64,4
2	88,7	32	0,75	24,00	56,7	64,7
4	91,4	32	0,75	24,00	59,4	67,4
5	94,0	32	0,75	24,00	62,0	70,0
8	90,2	32	0,75	24,00	58,2	66,2
10	94,2	32	0,75	24,00	62,2	70,2
11	91,2	32	0,75	24,00	59,2	67,2
12	99,0	32	0,75	24,00	67,0	75,0
13	101,0	32	0,75	24,00	69,0	77,0
15	87,0	32	0,75	24,00	55,0	63,0
16	97,8	32	0,75	24,00	65,8	73,8
17	98,3	32	0,75	24,00	66,3	74,3
18	91,5	32	0,75	24,00	59,5	67,5
21	84,0	32	0,75	24,00	52,0	60,0
29	95,2	32	0,75	24,00	63,2	71,2
30	100,0	32	0,75	24,00	68,0	76,0
34	99,7	32	0,75	24,00	67,7	75,7
35	87,0	32	0,75	24,00	55,0	63,0
39	92,9	32	0,75	24,00	60,9	68,9
40	95,6	32	0,75	24,00	63,6	71,6
41	93,7	32	0,75	24,00	61,7	69,7

Si esegue, quindi, la verifica dei DPI-u in relazione ad un'eventuale iperprotezione il cui valore di soglia, secondo la norma UNI EN 458, è pari a ($L_{act} - 15$) dove L_{act} corrisponde ai valori inferiori di azione stabiliti dalla normativa.

Al riguardo si evince che i Compiti 1, 2, 15, 21 e 35 ($L'_{Aeq\ reale} < 65\text{ dB (A)}$) possono essere eseguiti indossando le cuffie antirumore, a patto di verificare, con i lavoratori interessati, l'assenza di fenomeni di "isolamento" e di mancata percezione di segnali acustici di pericolo, a fronte dei quali egli deve poter reagire, come ad esempio quelli legati all'impianto antincendio, ecc.

Interazione rumore, sostanze ototossiche, vibrazioni e componenti impulsive

Proseguendo nella valutazione, considerati i compiti esaminati, occorre anche tener conto della presenza di sostanze ototossiche, di vibrazioni (mano-braccio HAV o corpo intero WBV) e di rumori impulsivi, nell'ambito del ciclo lavorativo.

Risultando per i lavoratori in esame l'assegnazione *Classe di rischio Alta* la sorveglianza sanitaria è obbligatoria, con periodicità stabilita dal Medico Competente, al cui parere si rimanda.

Si è rilevata la presenza di monossido di carbonio nell'ambito dello svolgimento dei Compiti 21 e 22.

In proposito si può prevedere, a discrezione del Medico Competente, una più attenta e frequente sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti.

L'eventuale interazione tra vibrazioni ed esposizione al rumore dovrà essere monitorata nel tempo, attraverso le risultanze della sorveglianza sanitaria.

Quale misura di prevenzione nei confronti del rischio vibrazioni, il Datore di lavoro deve, intanto, verificare che le macchine siano ben stabili, in maniera da evitare vibrazioni inutili.

Nessun rumore impulsivo rilevato supera, o si avvicina, alla soglia di danno immediato, pari a 140 dB(A).

Peraltro, essendo indispensabile il rilevamento di allarmi sonori nello svolgimento dell'attività lavorativa, in caso di utilizzo di DPI-u, il Datore di lavoro si deve accertare che i segnali vengano correttamente rilevati; in caso contrario, deve integrare detti segnali sonori con segnali ottici o con altri sistemi idonei.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva, dettagliata per i vari Compiti, con la specifica delle potenziali interazioni rilevate:

Rilievo	Compito	Tipologia rumore	Presenza rilevante di sostanze ototossiche	Presenza rilevante di vibrazioni mano-braccio HAV	Presenza rilevante di vibrazioni corpo intero WBV
1	Trapano elettrico	fluttuante	NO	SI	NO
2	Tornio	fluttuante	NO	NO	NO
3	Punzonatrice	impulsivo	NO	NO	NO
4	Mola	fluttuante	NO	NO	NO
5	Laminatoio	ciclico	NO	NO	NO
6	Trapano a colonna	fluttuante	NO	SI	NO
7	Fresa	fluttuante	NO	SI	NO
8	Trapano - fresa	fluttuante	NO	SI	NO
9	Troncatrice	fluttuante	NO	NO	NO
10	Levigatrice	fluttuante	NO	SI	NO
11	Maglio	impulsivo	NO	NO	NO
12	Flex taglio	fluttuante	NO	NO	NO
13	Seghetto alternativo	fluttuante	NO	SI	NO
14	Avvitatore	fluttuante	NO	SI	NO
15	Spazzola elettrica fissa	fluttuante	NO	NO	NO
16	Prova al banco n. 1	fluttuante	NO	NO	NO
17	Prova al banco n. 2	fluttuante	NO	NO	NO
18	Prova al banco n. 3	fluttuante	NO	NO	NO
19	Prova al banco n. 4	fluttuante	NO	NO	NO
20	Prova al banco n. 5	fluttuante	NO	NO	NO
21	Saldatura ad elettrodo	flutt./imp.	SI	SI	NO
22	Saldatura ossiacetilenica	costante	SI	SI	NO
23	Attrezzature manuali	fluttuante	NO	NO	NO
24	Attrezzature manuali	fluttuante	NO	NO	NO
25	Attrezzature manuali	fluttuante	NO	NO	NO
26	Attrezzature manuali	fluttuante	NO	NO	NO
27	Cappa aspirante n. 1	fluttuante	NO	NO	NO
28	Cappa aspirante n. 2	fluttuante	NO	NO	NO
29	Lavoro al banco	flutt./imp.	NO	NO	NO
30	Bidone aspiratutto	fluttuante	NO	NO	NO
31	Impianti - rumore fondo	costante	NO	NO	NO
32	Compressore n. 1	ciclico	NO	NO	NO
33	Compressore n. 2	ciclico	NO	NO	NO
34	Trapano demolitore	fluttuante	NO	SI	NO
35	Pressa	fluttuante	NO	SI	NO
36	Lapidello	fluttuante	NO	SI	NO
37	Generatore - fondo	costante	NO	NO	NO
38	Ventilatore	fluttuante	NO	NO	NO
39	Sega circolare	fluttuante	NO	SI	NO
40	Cesoia	fluttuante	NO	SI	NO
41	Martello	impulsivo	NO	NO	NO
42	Pause tecniche e fisiol.	fluttuante	NO	NO	NO
43	Pulizia dell'ambiente	fluttuante	NO	NO	NO

Verifica DPI-u su L_{picco}

Si esamina, ad esempio, il Compito 11 - Maglio ($L_{\text{Aeq}} = 88,9 \text{ dB(A)}$ e $L_{\text{picco}} = 117,0 \text{ dB(C)}$); tipo di rumore impulsivo: Tipo 2

Verifichiamo la cuffia antirumore - modello XXV IV MMXIII

Le specifiche del DPI, con i valori di attenuazione, sono riportate nella tabella seguente:

SNR	H	M	L	Valori di attenuazione alle Frequenze di banda (Hz)							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
32,00	31,00	20,00	13,00	11,40	8,70	10,70	15,50	26,20	31,80	39,50	30,80

Tipo di rumore impulsivo	d_m (dB)*
1	L - 5
2	M - 5
3	H
(*) dove H, M ed L sono ottenuti dai dati di attenuazione passiva dei fabbricanti o in conformità alla EN 4869-2	

dalla tabella si ottiene $d = M - 5 = 15,00$ dB

Il livello di pressione sonora di picco effettivo all'orecchio si calcola mediante la seguente formula:

$$L'_{\text{picco}} = L_{\text{picco}} - d_m$$

ottenendo, $L'_{\text{picco}} = 102,0$ dB(C)

❖ Scheda 4 - GAO addetti prove in campo (prevalentemente presso cantieri)

Per i lavoratori in questione, valutato che in ambito cantiere esiste una componente di aleatorietà inerente i tempi di esposizione, indubbiamente maggiore che in altri contesti produttivi, considerato che l'obiettivo finale della valutazione del rischio rumore rimane quello di assegnare una classe di esposizione (su tre disponibili) e tenuto conto che il rischio di ipoacusia nel settore edile è certamente potenziale, si ritiene che, nella fattispecie, possa essere applicato l'art.191.

In tal caso le misurazioni, effettuate in relazione alle singole attrezzature all'opera, nei loro usi tipici, occorreranno non per il calcolo del $L_{EX,8h}$ che non sarà effettuato, ma al fine di recepire le informazioni necessarie ai fini della determinazione delle misure preventive e protettive, della verifica dell'efficacia dei DPI durante l'utilizzo delle attrezzature oltre gli 80 dB(A) e per il programma delle misure tecniche ed organizzative di cui all'art. 192, comma 2.

Si può, pertanto, riassumere la filosofia dell'art. 191 in questo modo: *esenzione* per quanto riguarda le fonometrie personali *ma restano gli obblighi* in relazione alle macchine, ai fini della bonifica.

In definitiva, si valuta di *preassegnare* la classe di esposizione (pari alla *Classe di rischio Alta*), con le conseguenti misure previste, senza quindi calcolare il valore di $L_{EX,8h}$.

Del resto, assunta l'estrema aleatorietà dei tempi di esposizione, non si avrebbe materialmente la possibilità di poter calcolare un $L_{EX,8h}$ rappresentativo come, del resto, nemmeno sarebbe possibile calcolare un $L_{EX,w}$ rappresentativo, o un $L_{EX,w}$ massimo ricorrente (mancando elementi certi per poter affermare a quale week sia possibile riferire il *massimo ricorrente*).

Da ultimo, in relazione alla questione del valore limite di esposizione (art. 191 comma 1), si segnala che a norma dell'art.193, comma 2, tale limite può essere verificato tenendo conto dell'attenuazione dei DPI-u forniti (che nelle fattispecie considerate dall'art.191 saranno da indossare obbligatoriamente, essendo l'esposizione, per definizione oltre gli 85 dB(A) di L_{EX}).

Pertanto, valutando le singole emissioni sulle varie attrezzature, e quindi l'efficienza dei DPI-u, nel contempo si verifica anche il non superamento del valore limite di 87 dB(A).

A.4.1 Gli interventi tecnici e organizzativi - il piano di miglioramento e il P.A.R.E.

Come è stato esaminato, al paragrafo 3.4, la norma UNI 11347:2015 specifica come indicare gli *interventi tecnici e organizzativi* che vengono adottati dall'azienda per ridurre l'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro, nonché come identificare le aree di lavoro a maggior rischio al fine della loro delimitazione/segnalazione/restrizione all'accesso, così come richiesto dalla normativa vigente, attraverso la redazione di un programma aziendale di riduzione dell'esposizione (P.A.R.E.) al rumore.

Nel P.A.R.E. debbono, pertanto, essere fornite una serie di informazioni, ad iniziare dall'elenco dei lavoratori e delle attività per i quali si è riscontrato in fase di valutazione del rischio il superamento dei valori previsti, fino ad illustrare i predetti interventi che si intendono adottare, contemperando le esigenze della sicurezza (del personale, delle macchine e dei prodotti) con quelle della produzione e dell'ambiente.

In relazione alle risultanze della valutazione del rischio per il GAO di cui alla Scheda 3 (addetti laboratorio prove), è emerso che occorre intervenire per contenere i livelli di esposizione dei lavoratori del predetto GAO¹⁵.

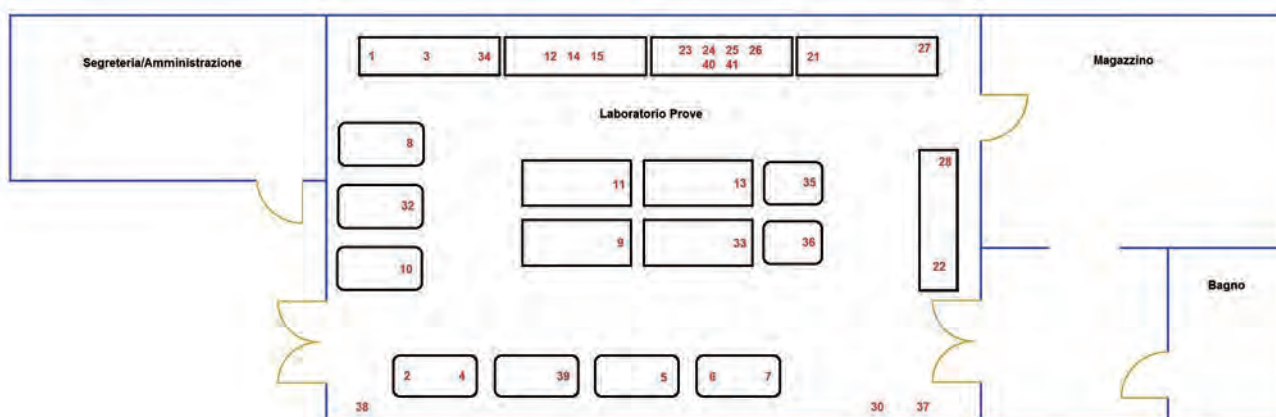


FIGURA 23 - PLANIMETRIA ATTUALE DEL LABORATORIO PROVE
CON RIFERIMENTO AL PROSPETTO RIEPILOGATIVO DELLE MISURAZIONI PER I COMPITI RILEVATI

A. Interventi tecnici da attuare: modifica del lay-out per ridurre l'esposizione dei lavoratori al rumore:

1. separazione delle attività più rumorose da quelle meno rumorose. Si prevede la divisione del laboratorio in due aree, quella nella quale sono contenute la maggioranza delle macchine, da quella in cui sono presenti i banchi di lavoro, dove si registra l'utilizzo prevalente di attrezzature manuali e la maggiore permanenza dei lavoratori nel corso del ciclo lavorativo;
2. riduzione del rumore diffuso dalle sorgenti più rumorose tramite la realizzazione di un divisorio fonoassorbente con struttura in acciaio. Si prevede, inoltre, di installare dei pannelli fonoassorbenti e fonoisolanti, in corrispondenza delle pareti della zona "più rumorosa", considerato che l'impiego di cabine silenziose risulta impraticabile, a causa della angustia degli spazi a disposizione.

Considerato che le macchine presenti sono tutte di recente costruzione (e quindi marchiate "CE"), una loro ipotetica sostituzione, con macchine meno rumorose, non contribuirebbe all'abbattimento del rumore.

Pertanto, la reale inferiore rumorosità di nuove ipotetiche attrezzature sarebbe comunque da dimostrare, in quanto continuerebbero a rimanere rumorose le lavorazioni con esse eseguite, ad esempio quelle di taglio.

B. Interventi organizzativi da attuare:

1. la corretta manutenzione per il mantenimento del rumore emesso dalle macchine ai livelli originariamente previsti dal fabbricante;
2. l'adozione di procedure per la turnazione del personale addetto alle lavorazioni rumorose, al fine di minimizzare il tempo di esposizione pro-capite;
3. l'adozione di apposita segnaletica di sicurezza, perimetrazione e limitazione all'accesso per i non addetti ai lavori nelle aree con livelli superiori a quelli indicati dalla legislazione;
4. l'informazione e la formazione dei lavoratori al fine di utilizzare le apparecchiature, i metodi e le procedure di lavoro in modo da rendere minima l'esposizione al rumore.

¹⁵ La norma UNI 11347:2015 prevede una rivalutazione del rischio rumore al termine del processo operativo del P.A.R.E..

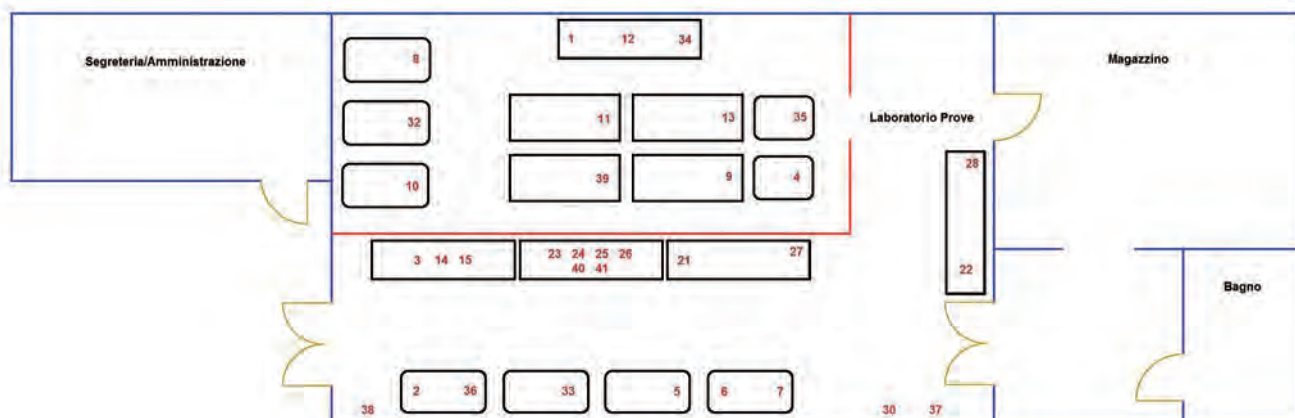


FIGURA 24 - PLANIMETRIA DEL LABORATORIO PROVE A SEGUITO DELLA MODIFICA DEL LAYOUT CON RIFERIMENTO AL PROSPETTO RIEPILOGATIVO DELLE MISURAZIONI PER I COMPITI RILEVATI

A. Riepilogo degli interventi tecnici

Le attività *non rumorose* vanno separate da quelle *più rumorose*; a tal proposito si ricorda il principio di tutela dalle esposizioni indebite, sancito al punto 2.1.4 dell'allegato IV del d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i..

Nel laboratorio, in effetti, esistono lavoratori indebitamente esposti a rumore (che svolgono attività ausiliarie di verifica o collaudo o comunque caratterizzate da un basso livello di rumore, come le prove al banco) pur non essendo associati operativamente a macchine o attività rumorose.

Al fine di limitare tale esposizione indebita si prevede di ricollocare le macchine *più rumorose*, operando degli spostamenti mirati delle stesse, in previsione della realizzazione del divisorio fonoassorbente, salvaguardando, nei limiti del possibile, anche le esigenze della produzione.

Si prevede quindi l'isolamento delle sorgenti *più rumorose* (vedi figura 24) dal resto del laboratorio, mediante la realizzazione di un divisorio fisso costituente uno schermo acustico fonoassorbente e fonoisolante. L'interno delle pareti della zona "più rumorosa", dovendo avere un idoneo potere fonoassorbente, sarà oggetto di un mirato trattamento acustico.



FIGURA 25 - PARTICOLARE DEL DIVISORIO

Analogo trattamento acustico sarà riservato anche al soffitto sovrastante la zona "più rumorosa".

Scheda di sintesi - laboratorio prove	
Rischio evidenziato	Origine del rischio
Dalla valutazione del rischio da esposizione a rumore emerge, per il GAO 3, che: $L'_{EX,8h} = 85,6 \text{ dB(A)}$	Presenza di attività particolarmente rumorosa dovuta alla presenza indiscriminata di molti macchinari

Prospetto degli interventi programmati	
Note generali	
Si ritiene necessario procedere ad un primo intervento di ricollocazione delle macchine "più rumorose", operando degli opportuni spostamenti delle stesse e, quindi, la realizzazione di un divisorio fonoassorbente che possa separare le attività <i>non rumorose</i> da quelle che lo sono maggiormente. Il divisorio (vetrato al 30%) costituirà, pertanto, uno schermo insonorizzante. Gli obiettivi di tipo ambientale che debbono essere rispettati sono il contenimento dei livelli di emissione nella zona "più rumorosa" e il rispetto del livello ammissibile verso l'ambiente esterno. Il divisorio sarà realizzato con struttura in acciaio, con all'interno dell'involucro dei pannelli di materiale fonoassorbente e fonoisolante. Si prevede, inoltre, di installare dei pannelli fonoassorbenti in corrispondenza delle pareti della zona "più rumorosa" e del soffitto sovrastante.	
Cronoprogramma degli interventi	
1. Modifica della distribuzione delle postazioni di lavoro	20 giorni
2. Realizzazione del divisorio	10 giorni
3. Installazione dei pannelli fonoassorbenti	10 giorni

..... omissis

Scheda dell'intervento n. 2	
Specifiche dell'intervento	
Fornitura e posa in opera di divisorio fonoassorbente realizzato con struttura in acciaio e pannelli modulari in acciaio zincato, spessore 5/10 (0,5 mm), verniciatura di finitura con smalto poliestere, colore avorio RAL 1015, con all'interno dell'involucro in acciaio due pannelli di lana di roccia con proprietà fonoassorbenti e fonoisolanti, fra i quali è interposta una lamina flottante fonoimpedente. Reazione al fuoco Classe A1.	
Beneficio atteso	
All'esito collaudo si attende una riduzione del $L'_{EX,8h}$ di 10 dB(A)	
Stima dei costi	
Miglioramento = 10 dB $\eta = \frac{32000}{10 \times 5} = 640 \text{ €/dB}$ $\eta = 640 \text{ €/dB}$ ($c = 32000 \text{ €}$; $n = 5$; $N = 1$; $\Delta \text{dB} = 10$)	
Tempi di attuazione	
dal 3/05/2015 al 2/06/2015	
Cronoprogramma	
2a. Realizzazione della struttura del divisorio	4 giorni
2b. Realizzazione delle vetrate e degli infissi	6 giorni
Responsabile aziendale	
Sig. Antonio Serra (Datore di lavoro)	

B. Riepilogo degli interventi organizzativi

Utilizzo delle macchine

Quale procedura finalizzata a minimizzare il tempo di esposizione personale, in riferimento all'utilizzo delle macchine più rumorose, si fa divieto di utilizzare contemporaneamente, anche nella zona "più rumorosa", più di due macchine.

In ogni caso, si rammenta di osservare rigorosamente la turnazione settimanale degli addetti alle lavorazioni più rumorose, come da specifica comunicazione fornita ai medesimi dal Datore di lavoro.

Manutenzione delle macchine

Il Datore di lavoro, mediante apposito contratto di manutenzione con ditta specializzata, esegue un costante programma manutentivo finalizzato al mantenimento del rumore emesso dalle macchine ai livelli originariamente previsti dal fabbricante.

Delimitazione/segnalazione/restrizione all'accesso

Costituisce obbligo la delimitazione, segnalazione e limitazione dell'accesso al laboratorio a causa del superamento dei valori superiori di azione; è pertanto vietato accedere nelle aree indicate, e delimitate, a *rischio uditivo* che presentano livelli superiori a 85 dB(A), senza aver prima indossato i DPI-u;

Oltre alle disposizioni prescritte dalla normativa vigente in materia, i lavoratori dovranno attenersi ad alcune elementari regole comportamentali di sicurezza, quali:

- evitare di sostare in vicinanza delle macchine più rumorose, se non sia necessario ai fini della lavorazione;
- evitare il più possibile la produzione di rumori inutili soprattutto dei rumori di impatto, dovuti alla caduta dall'alto dei pezzi lavorati, o semilavorati, come elementi metallici;
- segnalare qualsiasi malfunzionamento che possa produrre un aumento della rumorosità, durante le lavorazioni, che possa esporre, indebitamente, i lavoratori a livelli di rumore elevati.



FIGURA 26 - PLANIMETRIA DEL LABORATORIO PROVE - SEGNALETICA RUMORE

Informazione e formazione dei lavoratori

Il Datore di lavoro svolge un costante programma formativo per i lavoratori addetti al laboratorio, finalizzato all'utilizzo corretto delle macchine, all'adozione di corretti metodi e procedure di lavoro in grado di minimizzare l'esposizione al rumore.

In relazione alle risultanze della valutazione per il GAO di cui alla Scheda 4 (addetti prove in campo (prevalentemente presso cantieri), per il quale si è applicato l'art.191, ugualmente si dovrà attuare il P.A.R.E. una volta individuate, per lo specifico cantiere, le macchine e le attrezzature rumorose.

Bibliografia

- Decreto Legislativo 81 del 9 aprile 2008 e successive modifiche e integrazioni;
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione - <http://www.uni.com/>;
- ISPRA - Tematiche in Primo Piano - Annuario dei dati ambientali - 2012
- A. Cerniglia - Un caso di bonifica acustica in ambiente industriale - Antinquinamento, anno V, n. 3 1998
- Coordinamento Tecnico delle Regioni e delle Province autonome - d.lgs. 81/08 e s.m.i., Titolo VIII, Capi I, II, III, IV e V sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro - Indicazioni operative - Rev. 03 approvata il 13/02/2014 - con aggiornamenti legislativi e normativi al 2013
- Linee Guida dell'ASL di Piacenza - Dipartimento di Sanità Pubblica - U.O. Prevenzione e Sicurezza Ambienti di Lavoro "Misurazione dell'esposizione e valutazione del rischio rumore titolo VIII capo II - d.lgs. 81/08" - giugno 2011
- INAIL - "Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro" - aprile 2013
- A. Rotella; "Valutazione del rumore in una carpenteria metallica"; Igiene & Sicurezza del Lavoro - giugno 2013
- G. Cellai - Il rischio rumore; marzo 2014
- AA.VV. - Manuale Sicurezza 2014 - IPSOA - maggio 2014
- G. Campurra - Manuale Medicina del lavoro - IPSOA - ottobre 2014
- Cortonesi Prati - Manuale di acustica applicata - 2015
- O. Nicolini e altri - dBA Trent'anni di Prevenzione e Protezione dagli Agenti Fisici - Reg. E. Romagna, AUSL Modena e INAIL - maggio 2015
- http://www.rischiochimico.it/drupal/sostanze_chimiche_ototossiche
- <http://www.portaleagentifisici.it>
- <http://www.agentifisici.it>

Si ringrazia l'azienda Blumatica per aver messo a disposizione del proprio materiale inerente i flussi tipo per la valutazione dei rischi, oggetto della presente pubblicazione.

Fonti delle illustrazioni

- Copertina: www.gesund-und-schlank.net/2014/06/die-gesundheit-der-ohren-schuetzen/
- Figura 5: www.grupposea.net
- Figura 6: www.bottegaenergia.com
- Figure 7 e 9: www.slideshare.net/studiosicurezza/148-rumore
- Figura 10: www.aesseq.it
- Figura 11: estratto dalla presentazione della dott.ssa Delucis, LSP USL2 Lucca - *Rumore*
- Figura 12: www.vibro-acoustic.eu
- Figura 13: www.directindustry.it
- Figura 14: www.cesva.com ed estratto dalla presentazione di Trenitalia - *Rumore; gli effetti uditivi del rumore*
- Figura 16: INAIL - "Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro" - aprile 2013
- Figura 18: estratto dalla presentazione del dott. Cocheo, IRCCS Fondazione Maugeri - *La determinazione del livello di esposizione professionale a rumore mediante misurazioni*
- Figura 19: www.exp.rockfon.com
- Figura 20: www.paroc.it
- Figure 21 e 25: www.boscoitalia.it

