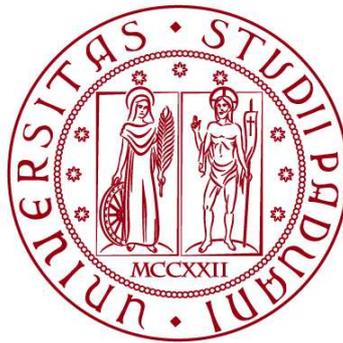


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Tecnologie Digitali per l'Edilizia e il Territorio



TESI DI LAUREA

**LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE:
UN CASO STUDIO IN CANTIERE**

Relatore: Ing. FRANCESCA MARTELLETTO
Correlatori: Ing. GIULIA DE CET

Laureando: ENRICO CONTADIN

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Ringraziamenti

Durante questo triennio tengo a ringraziare la mia famiglia che mi è stata accanto e mi ha sostenuto durante tutto il mio periodo di studi, un ringraziamento particolare lo devo ai nonni, grazie alle loro preghiere sono riuscito a superare gli esami.

Devo ringraziare i miei amici, per avermi sostenuto e supportato nei momenti più critici. Anche i compagni di corso hanno avuto un ruolo fondamentale in cui c'è stata gran condivisione e sinergia.

Un sentito ringraziamento va alla Prof.ssa Ing. Daniela Boso, Presidente del corso di laurea, in quanto è sempre stata presente e disponibile per noi studenti.

Un gran ringraziamento lo devo all' Ing. Giulia De Cet, correlatrice di tesi, in quanto mi ha accompagnato e supportato nella stesura di questo documento, assieme alla Ing. Francesca Martelletto.

Infine sentiti ringraziamenti alle aziende ospitanti del tirocinio in cui, attraverso i colleghi di lavoro, ho potuto interfacciarmi con l'ambiente lavorativo, per la disponibilità e gli spunti che mi hanno fornito.

Sommario

| | |
|--|----|
| Introduzione | 7 |
| Il rumore e il suono | 8 |
| Fenomeno sonoro | 8 |
| Grandezze fondamentali | 9 |
| Definizione di Decibel | 11 |
| Campo di udibilità dell'orecchio umano..... | 12 |
| La scala dei Decibel | 14 |
| Strumentazione per la misurazione del rumore | 15 |
| Curve di ponderazione | 17 |
| L'apparato uditivo e i principali effetti del rumore | 18 |
| Cenni di anatomia dell'orecchio | 18 |
| Breve descrizione del processo di ricezione del suono..... | 21 |
| Effetti uditivi del rumore sull'uomo | 21 |
| Misura della capacità uditiva | 23 |
| Effetti extrauditivi..... | 24 |
| Il danno da rumore | 25 |
| Quadro normativo | 26 |
| Legislazione internazionale UNI 9432:2002 | 26 |
| Decreto Legislativo 81/08: Titolo VIII Capo II..... | 27 |
| <i>Legge Quadro 447/95</i> | 32 |
| Legge ISO 1999:1990 (II edizione) | 37 |
| Il comfort acustico degli ambienti di lavoro e l'intelligibilità del parlato | 38 |
| Fattori che pregiudicano la comprensione del messaggio verbale..... | 38 |
| Il rumore e l'intelligibilità del parlato..... | 39 |
| Inquinamento acustico, sforzo vocale e malattie professionali | 40 |
| Inail e malattie professionale degli operatori..... | 40 |
| Il disturbo vocale e la prevenzione primaria delle disfonie | 41 |
| Eziopatogenesi dello sforzo vocale e il suo "circolo vizioso"..... | 42 |
| Caso studio..... | 44 |
| Definizione di cantiere | 44 |
| Situazione durante un cantiere | 44 |
| Come è composto il documento di valutazione del rischio | 45 |
| Descrizione ambiente di lavoro | 45 |
| Valutazione preliminare..... | 47 |
| Modalità di misura | 47 |
| <i>MISURAZIONI</i> | 47 |
| <i>TEMPO DI MISURA</i> | 47 |
| <i>CRITERI DI VALUTAZIONE</i> | 48 |
| <i>ERRORI ED INCERTEZZE</i> | 48 |
| <i>__Incertezza strumentale</i> | 48 |
| <i>__Incertezza ambientale</i> | 48 |
| <i>__Incertezza totale sul livello equivalente</i> | 49 |
| <i>__Incertezza sui tempi di esposizione</i> | 49 |
| <i>__Incertezza sul livello di esposizione personale quotidiano</i> | 49 |
| ESPOSIZIONE AL RUMORE..... | 51 |
| MISURAZIONI EFFETTUATE | 51 |
| VALUTAZIONE ESEGUITA..... | 52 |
| Obblighi del Datore di lavoro | 55 |
| Obblighi del lavoratore | 56 |

| | |
|---|----|
| Soluzioni per migliorare l'ambiente lavorativo per i lavoratori e i cittadini | 57 |
| Miglioramento per i lavoratori..... | 57 |
| <i>Misure di prevenzione e protezione da adottare</i> | 58 |
| Miglioramento per i cittadini | 59 |
| Conclusioni | 60 |
| Bibliografia e Sitografia..... | 61 |
| Tabelle..... | 62 |
| Figure | 62 |

Introduzione

In questo lavoro l'attenzione sarà focalizzata su un particolare fattore di rischio fisico: il Rumore. L'esposizione al rumore, in funzione delle sue caratteristiche fisiche e temporali, può causare effetti diretti sull'apparato uditivo ed effetti extrauditivi, includendo l'interferenza con la comunicazione verbale. L'obiettivo della tesi è definire nel suo insieme cosa si intenda per rischio rumore, le parti del corpo umano interessate e come tale rischio possa essere gestito tramite sensibilizzazione e l'implementazione di adeguati metodi di prevenzione e protezione. Verrà esaminato l'ambiente di lavoro e l'impatto delle diverse attrezzature sui lavoratori, considerando anche il loro tempo di utilizzo. Sarà inoltre presentato un caso studio ipotetico. Tutto sarà impostato seguendo le normative vigenti, e in caso di superamento della soglia limite, verranno proposte soluzioni migliorative relative all'attrezzatura, ai tempi di esposizione e/o alla strutturazione dell'ambiente di lavoro.

Il rumore e il suono

Fenomeno sonoro

Il rumore è generalmente considerato un "suono indesiderato" o "una sensazione uditiva spiacevole, fastidiosa o intollerabile", viene così definito dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT). Da un punto di vista fisico, il rumore ha alcune delle caratteristiche del suono. Fattori soggettivi aiutano a distinguere i due fenomeni acustici. Il suono e il rumore sono entrambi caratterizzati da contributi di energia meccanica, che fa vibrare un mezzo (solitamente aria). Il suono è un disturbo oscillatorio che si propaga in un mezzo elastico (gas, liquido o solido) che stimola l'udito. Più nel dettaglio, ciò che accade è che la sorgente sonora trasmette vibrazioni al fluido circostante, che si propagano nel mezzo come una serie di compressioni e rarefazioni di particelle d'aria che oscillano attorno ad una posizione di equilibrio stabile. Queste compressioni e rarefazioni si traducono in variazioni di pressione rispetto alla pressione atmosferica media e raggiungono le orecchie creando la percezione del suono. La velocità con cui il suono si propaga è influenzata dal mezzo elastico in cui avviene la propagazione stessa, che nel caso più comune in un ambiente di lavoro è l'aria (a 20 °C la velocità di propagazione è di circa 340 m/s). Rispetto ad altre forme di energia, come la luce o la corrente elettrica, questa velocità è sufficientemente bassa da rendere il fattore tempo un parametro indicativo che descrive accuratamente i fenomeni acustici. Nel vuoto, poiché non esiste un mezzo elastico, il suono non può esistere.

Grandezze fondamentali

Il fenomeno ondulatorio può essere rappresentato da un'onda sinusoidale ed è descritto dalle seguenti quantità fisiche: lunghezza d'onda, che rappresenta lo spazio attraverso il quale l'onda viaggia in un periodo di tempo (T), ovvero l'intervallo di tempo necessario per completare una intera oscillazione; (è pari al reciproco della frequenza: $T = 1/f$); la frequenza viene rappresentata dall'ampiezza del livello uditivo (f), rappresenta il numero di cicli completi per unità di tempo, in Hertz ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/secondo}$). Quest'ultima quantità caratterizza l'altezza percepita del suono, infatti le frequenze basse sono tipiche delle tonalità gravi e le frequenze alte sono tipiche delle tonalità acute.

Il fenomeno del suono sinusoidale è chiamato suono puro, ma non esiste in natura. I suoni che esistono nella realtà sono complessi, cioè oscillazioni che non possono essere rappresentate da semplici sinusoidi, ma da combinazioni di suoni sinusoidali. Se i componenti di un suono complesso hanno frequenze che sono multipli interi di una frequenza più bassa (definita come frequenza fondamentale), il suono è chiamato suono armonico o periodico, dove il numero, la posizione e l'intensità degli armonici determinano il timbro del suono.

La capacità di una sorgente di emettere energia sonora è legata anche ad altre tre grandezze fondamentali (descrittori di eventi sonori): potenza sonora (W), intensità sonora (W/m^2) e pressione sonora (Pa) riferite alla sorgente sotto esame. La potenza sonora è l'energia emessa dalla sorgente nell'unità di tempo ed è una quantità scalare, l'intensità del suono è un vettore che rappresenta l'entità e la direzione del flusso netto di potenza sonora in una determinata posizione nello spazio, e infine la pressione sonora, una grandezza scalare, è definita come la presenza e la pressione $p(t)$ nello spazio. È dato un istante ed esiste $p(0)$ prima che si verifichi il fenomeno sonoro.

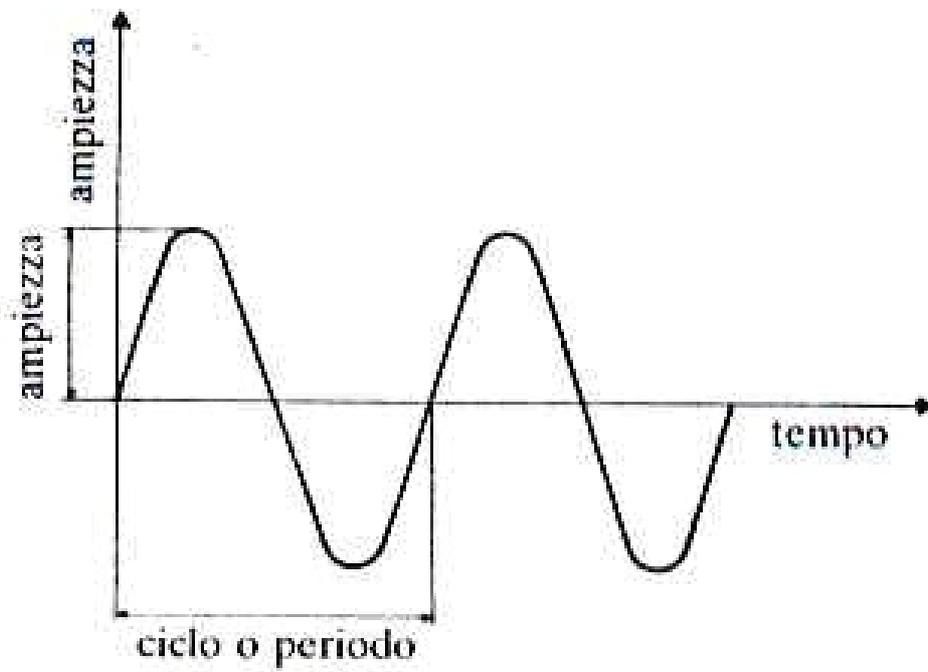


Figura 1: Rappresentazione grafica di un suono puro¹.

¹ L.Barone,G.Fanelli, A.M. Franco, A.Magrini, D.Marcotullio, G.Prato, 1996, p.53

Definizione di Decibel

Il decibel (con simbologia dB) è un decimo di un bel (simbolo B): $10 \text{ dB} = 1 \text{ B}$. È un'unità di misura logaritmica utilizzata per esprimere il rapporto fra due grandezze omogenee, tipicamente di potenze. Il valore ottenuto da un logaritmo è un numero puro (adimensionale), ma vi può essere associata un'unità di misura per indicare la base del logaritmo utilizzato. Il bel (B) non viene più utilizzato come parametro fondamentale.

Questa unità di misura si riferisce al rapporto tra due valori di una potenza o di una grandezza che viene posta su scala logaritmica. Il decibel può esprimere un cambiamento di valore o un valore assoluto. In generale, per il decibel possono essere utilizzati due principali tipi di scala:

1. Quando si esprime un rapporto di potenza, il decibel è definito come dieci volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra le due potenze. Questo implica che una variazione di potenza di un fattore 10 corrisponde a una variazione di 10 dB.
2. Quando si esprime una quantità di potenza della radice, una variazione corrispondente a un fattore 10 coincide con una variazione di 20 dB.

Le scale dei decibel si differenziano tra loro per un fattore due. Lo studio del decibel è iniziato con la misurazione della perdita di trasmissione e della potenza nel campo telefonico negli Stati Uniti nei primi anni del XX secolo. Il nome dell'unità di misura deriva da Alexander Graham Bell, l'ingegnere britannico riconosciuto per l'invenzione del telefono. Il bel è poco utilizzato, mentre il decibel è impiegato in vari campi scientifici e ingegneristici, in particolare in acustica ed elettronica. In elettronica, gli amplificatori e la riduzione dei segnali vengono spesso espressi in decibel. Il decibel è utile per rappresentare grandi rapporti e per rendere più semplice la rappresentazione di effetti moltiplicativi, come la riduzione lungo una catena di segnale. Inoltre, può essere applicato in sistemi specifici, come nella misurazione della pressione sonora di due macchine che lavorano insieme.

Nell'acustica, il decibel viene utilizzato come unità di misura del livello della pressione sonora. La pressione di riferimento per il suono nell'aria è stabilita dalla soglia di percezione umana.

Campo di udibilità dell'orecchio umano

La capacità dell'udito umano varia da individuo a individuo e decade nelle prestazioni con l'aumentare dell'età. Appositi studi hanno stabilito che mediamente l'uomo è in grado di udire suoni la cui frequenza è compresa dai 20 ai 20.000 Hz e intensità da 0 a 120 dB. Tale gamma di suoni è chiamata campo di udibilità dello spettro delle frequenze sonore. I suoni la cui frequenza è al di sotto dei 20 Hz sono chiamati infrasuoni, i suoni la cui frequenza eccede i 20000 Hz sono chiamati ultrasuoni. Il campo uditivo normale è costituito da un tracciato composto da due curve paraboliche che delimitano un'area ovoidale. Tutti i toni percepibili dall'orecchio umano sono compresi in questa zona. Queste due curve costituiscono rispettivamente la soglia di minima e di massima udibilità, la quale, rappresenta la zona oltre la quale la vibrazione acustica non è più percepita come suono, ma come "sensazione dolorosa".

La sensibilità del nostro orecchio non è costante per tutte le frequenze: percepisce molto meglio nell'area che va da circa 300 a circa 3000 Hz, corrispondente l'area del linguaggio parlato, ma soprattutto sente molto meno sulle frequenze basse. Questo accade perché il condotto uditivo ha una lunghezza tale da provocare un'area di risonanza a circa 3000 Hz. Di conseguenza il livello del suono percepito non corrisponde all'ampiezza fisica. La Figura 2 mostra le cosiddette curve isofoniche che mappano la sensazione di livello sonoro effettivamente percepito rispetto ai decibel per le varie frequenze. La linea tratteggiata rappresenta la soglia di udibilità quindi possiamo osservare per esempio, che un suono avente una frequenza di 31,5 Hz ed un'intensità di 30 dB, non viene percepito dall'orecchio umano.

Le curve del disegno intersecano i punti in cui le varie frequenze si ha la medesima percezione dell'intensità del suono; facendo un esempio, se un suono a 850 Hz di intensità 20 dB mi produce una certa sensazione, per avere esattamente la stessa sensazione a 64 Hz avrò bisogno di circa 52 dB. Per esprimere l'intensità sonora, non secondo i parametri fisici, ma secondo quelli dalla sensibilità umana, è introdotta una nuova unità di misura: il phon che rappresenta linearmente la sensazione dell'intensità sonora.

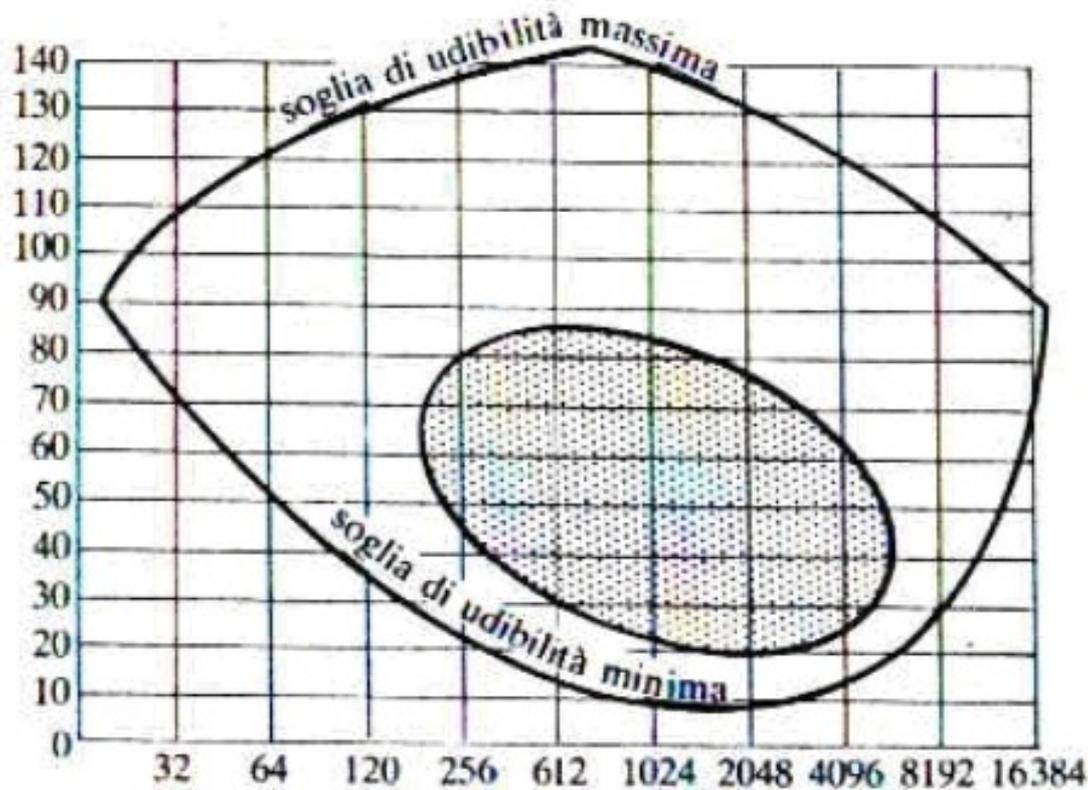


Figura 2 Grafici di Wegel²

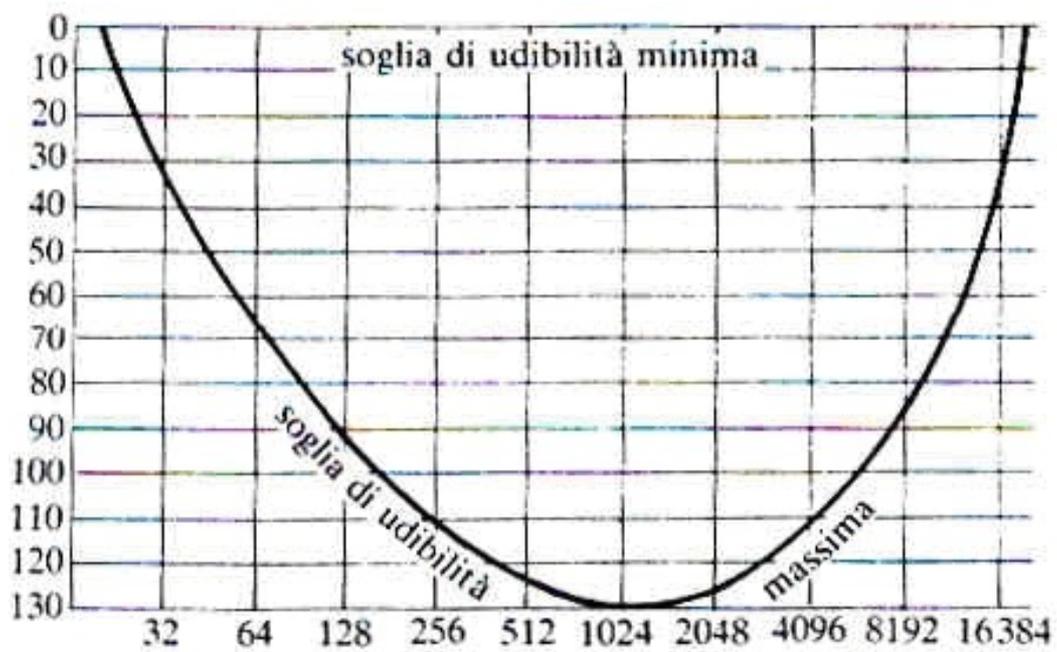


Figura 3 Grafico clinico³

² L. Barone, G. Fanelli, A. M. Franco, A. Magrini, D. Marcotullio, G. Prato, 1996, p.55

³ L.Barone,G.Fanelli, A.M.Franco, A.Magrini, D.Marcotullio, G.Prato, 1996, p.56

La scala dei Decibel

I valori di pressione, potenza e intensità acustica dei suoni si distribuiscono all'interno di un intervallo molto esteso di valori. Per rappresentare in termini numerici o grafici fenomeni compresi fra valori estremamente variabili, e per evitare di impiegare numeri molto grandi, si è convenuto far ricorso a quantità logaritmiche, tenendo conto del fatto che dal punto di vista fisiologico, la percezione del livello di pressione sonora all'orecchio è sensibilmente proporzionale al logaritmo dell'intensità dello stimolo acustico impattante. Pertanto, è stata introdotta una scala di misura acustica che adotta come unità di riferimento il decibel. Il livello L , espresso in dB, è definito come dieci volte il logaritmo decimale del rapporto tra una data grandezza misurata, p , e una grandezza di riferimento, p_0 . Tradotto in formula:

$$L_p = 10 * \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 * \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{dB}$$

Il livello di pressione sonora costituisce la grandezza più impiegata nell'ambito delle misurazioni di rumorosità negli ambienti di lavoro, poiché è strettamente correlata al potenziale danno all'apparato uditivo e alla percezione stessa del rumore. La particolarità dei livelli sonori di esprimersi su scala logaritmica determina l'impossibilità di sommarli tra loro in modo aritmetico. Si può dedurre che il livello complessivo sonoro prodotto da due sorgenti diverse ma di ugual intensità risulta differente solamente di 3 da uno dei livelli sonori in scala di decibel (dB). Per rendere meglio l'idea è possibile affermare che ad un aumento di 3 dB corrisponde al passaggio di categoria del rumore e quindi del raddoppio del valore.

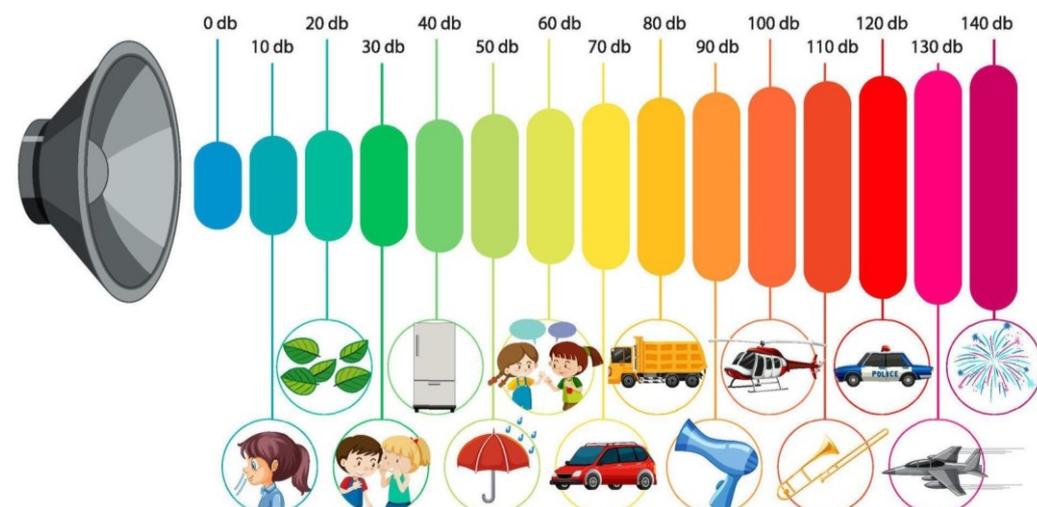


Figura 4: Scala dei Decibel (Adattato da ⁴)

⁴ <https://www.vecteezy.com/>

Strumentazione per la misurazione del rumore

Al fine di valutare le sensazioni sonore, occorre impiegare strumenti di misura in grado di imitare i processi fisiologici. Lo strumento idoneo a misurare il livello sonoro è il fonometro, che trasforma la pressione sonora in segnale elettrico, da elaborare successivamente in maniera opportuna, in modo da ottenere degli indici di descrittori del livello di rumore. Il fonometro consente di misurare i seguenti parametri:

- 1) livello di pressione sonora efficace;
- 2) livello sonoro continuo equivalente valutato secondo la curva di ponderazione A. Tale grandezza rappresenta il livello, espresso in dB, di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale per lo stesso intervallo T, comporterebbe la stessa quantità totale di energia sonora.
- 3) livello di esposizione sonora SEL (Sound Exposure Level).
- 4) livello di picco: valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza "C".

Il fonometro può essere di due tipologie, fonometro “classico” o dosimetro. Il primo di questi, spesso chiamato anche “misuratore di decibel”, permette di misurare il livello di pressione sonora ed è studiato per trasmettere sullo schermo direttamente il valore rilevato ed esse può essere letto facilmente dal tecnico che lo sta utilizzando. Si tratta di un dispositivo elettronico che attraverso diversi meccanismi e membrane simula il funzionamento dell’orecchio umano e viene così impiegato per misurare l’eventuale inquinamento acustico in un determinato ambiente.

I dosimetri sono invece degli apparecchi anch’essi elettronici di ridotte dimensioni che vengono utilizzati per misurare il grado di esposizione di una persona delle fonti di rumore potenzialmente dannose. La sua funzione è quella di misurare il valore di esposizione dell’operatore, ad un livello prestabilito di rumorosità che viene considerato pericoloso per le persone. Questo tipo di macchinario è chiamato “dosimetro acustico, è particolarmente utile quando vengono impiegati macchinari pesanti che possono risultare molto rumorosi ed è possibile valutare l’intera giornata di un operatore senza creare problematiche durante il lavoro.



Figura 5: Fonometro⁵



Figura 6: Fonometro su cavalletto⁶



Figura 7: Dosimetro indossato⁷



Figura 8: Dosimetro⁸

⁵ <https://www.arwmisure.it/>

⁶ <https://www.sinergica-soluzioni.it/>

⁷ <https://www.zetalab.it/>

⁸ <https://www.zetalab.it/>

Curve di ponderazione

Al fine di correlare il rilievo oggettivo delle pressioni sonore alle sensazioni soggettive medie, gli strumenti di analisi acustica impiegano dei filtri di ponderazione, che attenuano le componenti del suono aventi frequenze alle quali l'orecchio umano ha sensibilità ridotta. Per la normalizzazione di questi filtri sono state definite 4 curve di ponderazione:

- Curva A la quale fornisce risultati indicati come dB molto vicini alla risposta dell'orecchio umano;
- Curva B attualmente in disuso, la quale dà valori intermedi tra la curva A e la C;
- Curva C che fornisce approssimativamente la misura del rumore reale ed utilizzata nel nostro caso per misurare il livello di picco;
- Curva D che è stata introdotta per valutare livelli molto forti, con particolare riferimento al rumore prodotto dagli aerei. A seconda della curva di ponderazione utilizzata, i valori saranno definiti in dB, dB ecc.

L'apparato uditivo e i principali effetti del rumore

Cenni di anatomia dell'orecchio

Dal punto di vista anatomico, l'orecchio è un organo pari e simmetrico che può essere suddiviso in tre regioni:

- 1) orecchio esterno, le cui strutture servono a raccogliere e convogliare le onde sonore verso le strutture più interne,
- 2) orecchio medio che funziona da tramite tra l'esterno e l'interno e serve a trasformare le onde di pressione sonora in vibrazioni meccaniche, ed infine
- 3) l'orecchio interno, elemento organizzatore e recettore dei suoni, che trasforma l'energia cinetica delle vibrazioni meccaniche in energia elettrochimica, per poi inviarla all'area acustica della corteccia cerebrale.

L'orecchio esterno è formato dal padiglione auricolare, una struttura fibrocartilaginea, che presenta vari rilievi e depressioni e la cui parte centrale detta "conca" che si protrae internamente a formare il terzo laterale del condotto uditivo. Quest'ultimo è costituito da un condotto osseo che termina a livello della membrana timpanica, o timpano, sottile lamina che lo separa dall'orecchio medio.

L'orecchio medio, anche definito cavità timpanica, consiste in una cavità ossea contenete aria, in comunicazione con le cellule mastoidee del processo mastoideo dell'osso temporale e con il rinofaringe attraverso la tuba uditiva, anche detta tuba di Eustachio, che permette di mantenere in equilibrio la pressione dell'orecchio medio con la pressione atmosferica media.

L'orecchio medio contiene la catena ossiculare costituita da tre ossicini: martello, connesso a tre punti della superficie interna del timpano; l'incudine che connette il martello alla staffa, la cui base occupa quasi completamente la finestra ovale, piccola apertura dell'orecchio interno. La vibrazione del timpano converte le onde sonore in arrivo in movimenti meccanici degli ossicini che, agendo come leve, trasferiscono le vibrazioni all'orecchio interno. L'orecchio medio è inoltre caratterizzato dalla presenza di due piccoli muscoli che proteggono la cavità e gli ossicini uditivi da movimenti violenti, a seguito di rumori molto forti. Il muscolo tensore del timpano, tirando il martello, aumenta la tensione del timpano riducendo l'escursione del movimento. Di conseguenza il muscolo stapedio, agendo sulla staffa con un effetto di trazione, comporta una riduzione del movimento all'altezza della finestra ovale.

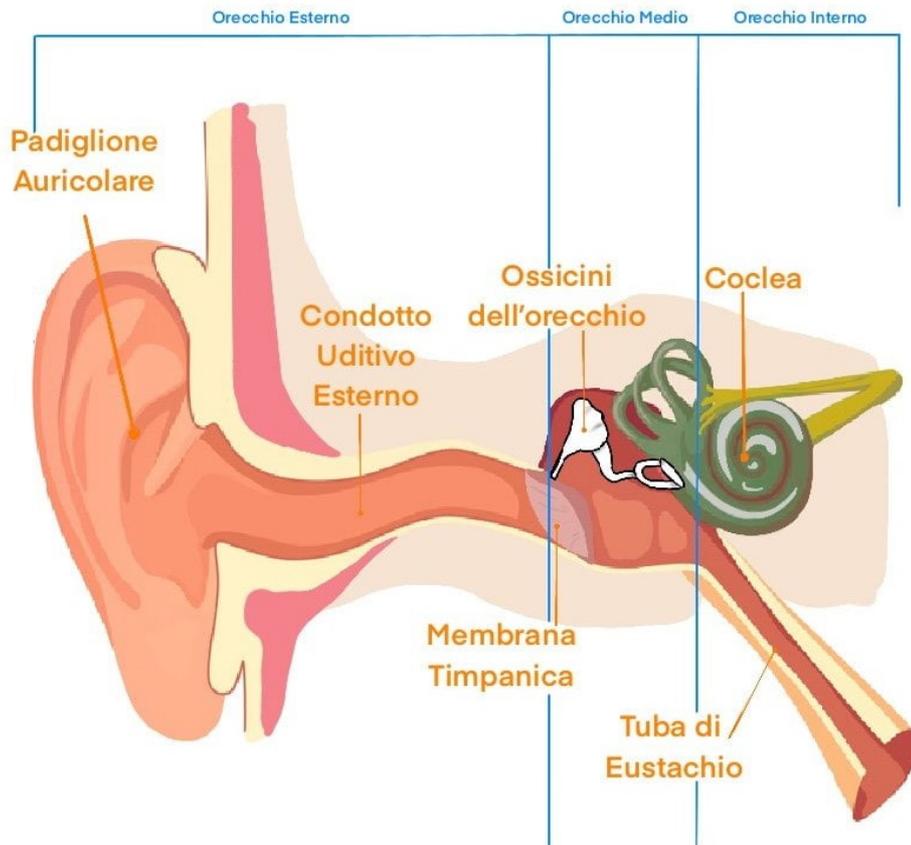


Figura 9: Struttura dell'apparato uditivo⁹

La sensibilità relativa all'equilibrio e all'udito è recepita da recettori situati nell'orecchio interno, protetti dal labirinto osseo, la cui parete esterna risulta fusa con l'osso temporale circostante. Il labirinto osseo avvolge il labirinto membranoso pieno di endolinfa. Nello spazio compreso tra il labirinto osseo e quello membranoso scorre la perilinf. Il labirinto osseo può essere suddiviso nelle seguenti parti:

- il vestibolo contenente due sacche membranose, il sacculo e l'utricolo, a cui i recettori forniscono informazioni riguardanti la gravità e l'accelerazione lineare;
- i canali semicircolari che accolgono i sottili condotti semicircolari, i cui recettori sono stimolati dalla rotazione della testa.

Si parla generalmente di complesso vestibolare, costituito da vestibolo e canali semicircolari, perché la cavità del vestibolo, ripiena di endolinfa, è in continuità con quella dei canali semicircolari. La coclea, porzione ossea, ha una forma che richiama quella di una chiocciola e contiene il condotto cocleare, o scala media, il quale si trova compreso tra e camere ripiene di perilinf (il condotto vestibolare e il condotto timpanico). Le cellule capellute del condotto cocleare si trovano nell'organo del Corti, struttura sensoriale situata sopra la membrana basilare che separa il condotto cocleare da quello timpanico. Le cellule capellute sono disposte in file longitudinali a contatto con

⁹ <https://www.invisiben.it/>

la sovrastante membrana tectoria, strettamente unita alla parete interna del dotto cocleare. Quando le onde pressorie della perilinfa spingono una parte della membrana basilare, le stereociglia vengono distorte e compresse contro la membrana tectoria. È importante sottolineare che, a fronte di un suono puro di una data frequenza, il massimo della ampiezza di oscillazione della membrana basilare è localizzato in una regione ben delimitata della membrana. La posizione della regione individua la frequenza. C'è dunque per ogni frequenza una zona detta regione di risonanza dove la sensibilità della membrana è massima. Più bassa è la frequenza e più la regione di risonanza è prossima all'Apex (elicotrema). L'estensione delle frequenze udibili va da 16 Hz a 20 kHz. e l'estensione di frequenze che va approssimativamente da 20 Hz fino a 4000 Hz copre circa i due terzi della membrana basilare (dai 12 ai 35 mm dalla base). La rimanente porzione della scala di frequenze (4000 – 16000 Hz) è compressa nel rimanente terzo. La sollecitazione delle cellule capillate fa attivare dei neuroni sensitivi, dei quali i pirenofori sono localizzati in prossimità del ganglio spirale. Le fibre afferenti (assoni) formano il ramo cocleare del nervo vestibolococleare (VIII NC) che entra nel bulbo per fare sinapsi nel nucleo cocleare. Da qui partono le fibre che, incrociandosi con la linea mediana, ascendono sul lato opposto fino al collicolo inferiore del mesencefalo. Questo è un centro di elaborazione che coordina numerose risposte a stimoli acustici, compresi i riflessi uditivi che coinvolgono i muscoli scheletrici della testa, della faccia e del tronco (ad esempio questi riflessi cambiano automaticamente la posizione della testa in risposta ad un rumore improvviso, acuto). Le fibre, prima di raggiungere la corteccia cerebrale e divenire coscienti, fanno sinapsi nel talamo e da qui sono proiettate alla corteccia acustica del lobo temporale. La corteccia acustica contiene una mappa precisa dell'organo del Corti, per cui i suoni ad alta frequenza attivano una determinata porzione della corteccia, e suoni a bassa frequenza ne attivano un'altra.

Breve descrizione del processo di ricezione del suono

Il meccanismo che è alla base della ricezione del suono può essere riassunto come segue. Le onde sonore, provenienti dall'esterno, vengono convogliate dal padiglione auricolare, attraverso il condotto uditivo esterno, alla membrana del timpano la quale vibrando, determina lo spostamento della catena ossiculare. Il movimento della staffa comprime la finestra ovale, generando un'onda pressoria sulla perilinfa del condotto vestibolare. Le onde pressorie, a loro volta, provocano movimenti della membrana basilare sul lato rivolto verso la finestra rotonda del condotto timpanico (suoni ad alta frequenza) provocano la distorsione della porzione di membrana basilare più vicina alla finestra ovale, mentre suoni a bassa frequenza provocano la distorsione della porzione più lontana dalla finestra ovale. L'entità del movimento in un punto dipende dalla forza applicata sulla staffa. Più basso è il suono, maggiore sarà il movimento della membrana basilare. Successivamente accade che la vibrazione della membrana basilare fa vibrare le cellule capellute contro la membrana tectoria. Lo spostamento delle cellule determina il rilascio di neurotrasmettitore e quindi la stimolazione dei neuroni sensitivi. Le informazioni riguardanti la porzione di condotto cocleare stimolata e l'intensità della stimolazione sono trasportate al Sistema Nervoso Centrale (SNC) attraverso il ramo cocleare dell'VIII nervo cranico.

Effetti uditivi del rumore sull'uomo

Il rumore può lasciare nell'uomo una traccia indelebile, negativa sia per la salute che per la sicurezza. La salute si riferisce a uno stato di benessere fisico, mentale e sociale. Questo concetto è più ampio e comprende vari fattori che influenzano il benessere generale di una persona. I danni alla salute possono essere: malesseri generali; disturbi psichici; malattie croniche e malattie professionali.

La sicurezza si riferisce alla protezione delle persone da infortuni o incidenti, che possono verificarsi in vari ambienti, tra cui il luogo di lavoro. La sicurezza implica l'implementazione di misure preventive per evitare danni fisici immediati.

Il danno da rumore meglio conosciuto è quello a carico dell'organo dell'udito. Tuttavia, il rumore agisce con meccanismi complessi su vari organi e apparati. Determina, inoltre, un effetto di mascheramento che disturba le comunicazioni verbali e la percezione dei segnali acustici di sicurezza, favorisce l'insorgenza della fatica mentale, e può provocare turbe nell'apprendimento. Le variabili che contribuiscono alla potenziale dannosità del rumore sono classificabili in "primarie" quali la pressione sonora, la frequenza di esposizione, il tempo di esposizione; "secondarie" quali le modalità di emissione, la presenza di componenti impulsive, effetto di mascheramento, livelli di esposizione, tempo di recupero, caratteristiche spettrali, presenza di componenti tonali (infrarossi, ultrasuoni); "accessorie" legate ad una sensibilità individuale, al contenuto, ecc.

L'esposizione prolungata a rumori di elevata intensità provoca una serie di alterazioni a carico delle strutture neurosensoriali dell'orecchio interno. La sede principale in cui si realizzano i danni è l'organo del Corti e a subirne le conseguenze sono generalmente le cellule ciliate esterne. La possibile rottura della membrana cellulare, seguita dalla morte della cellula e distacco dalla membrana basilare, impedisce un eventuale processo ripartivo. Tali lesioni irreversibili si manifestano con innalzamento permanente della soglia uditiva. La perdita delle cellule uditive è irreversibile e può essere causata da fattori fisici, tossici nonché da un fisiologico processo d'invecchiamento.

Il danno da rumore può manifestarsi in varie forme a seconda che esso sia dovuto a una prolungata esposizione, a livelli d'intensità sonora variabile oppure a uno stimolo acustico intenso e di breve durata. Secondo la teoria dell'uguale quantità di energia, il danno resta invariato se ad ogni aumento di 3 dB (raddoppio dell'energia), segue un dimezzamento del tempo di esposizione giornaliera al rumore. Nel caso di un'esposizione prolungata al rumore, la sintomatologia può essere classificata come segue:

I Fase o della fatica uditiva. Nei primi 10-20 giorni di esposizione si avvertono acufeni a fine lavoro, sensazione di "orecchio pieno", lieve cefalea, senso di stordimento, ronzio auricolare intenso.

II Fase o di latenza. Dura da pochi mesi a diversi anni in funzione dell'intensità del rumore, del tempo di esposizione quotidiano e della predisposizione individuale. In questa fase non sono presenti sintomi soggettivi.

III Fase. Dopo 2-3 anni dall'inizio della fase precedente si ha consapevolezza della perdita dell'udito (si sente male la voce sussurrata, si deve alzare il volume del televisore, non si sente il ticchettio dell'orologio).

IV Fase. Il deficit uditivo è manifesto, con grave compromissione degli scambi verbali. Anche l'andamento audiometrico può essere diviso in quattro fasi a seconda del tipo e del grado di perdita:

1. Innalzamento temporaneo della soglia uditiva (ipoacusia temporanea o Temporary Threshold Shift) a fine lavoro. Per esposizioni maggiori di 25 dB a 4000 Hz è reversibile con recupero a 8000 Hz. Lo spostamento temporaneo della soglia uditiva è proporzionale al livello di rumore e alla durata di esposizione. L'allontanamento del soggetto dall'esposizione consente un recupero della normale soglia di udito per TTS minore di 40 dB; se il TTS supera i 60 dB possono essere necessari per il recupero anche diversi giorni (si parla rispettivamente di fatica uditiva fisiologica e patologica).
2. Innalzamento permanente della soglia uditiva (Noise Induced Permanent Threshold Shift). Per esposizioni maggiori di 25 dB a 4000 Hz è irreversibile con recupero a 8000 Hz. Alcuni autori indicano come trauma acustico iniziale un deficit massimo a 4000 Hz fino a 50 dB e come trauma acustico avanzato il deficit a 4000 Hz oltre i 60 dB.

3. Deficit uditivo permanente anche a 2000 Hz e, se non già compromessa, a 6000 Hz, e spesso anche a 8000.

4. Incremento del danno uditivo con interessamento permanente anche di altre frequenze (1000 Hz e, se non già compromessa, 8000 Hz).

Misura della capacità uditiva

La capacità uditiva si valuta mediante l'audiometria tonale liminare e serve a misurare, in decibel, l'intensità dei suoni percepiti e quindi la perdita uditiva. Per ipoacusia s'intende un deficit più o meno marcato della funzione uditiva e può essere di tre tipi:

- **TRASMISSIVA:** quando il tracciato per via ossea si mantiene su valori normali, mentre quello per via aerea indica l'esistenza di una perdita dell'udito. È caratterizzata da alterazioni a carico delle strutture (orecchio esterno, orecchio medio, liquidi endolabirintici) deputate a trasportare l'energia meccanica vibratoria dall'ambiente esterno alle cellule ciliate dell'Organo del Corti. L'esame audiometrico evidenzia un deficit della via aerea di varia entità, mentre la via ossea si presenta normale. La perdita uditiva resta uguale per tutte le frequenze a causa dell'ostacolo alla trasmissione dall'orecchio esterno alla membrana cocleare.
- **PERCETTIVA O NEUROSENSORIALE:** L'ipoacusia si definisce di tipo percettivo in quanto è caratterizzata da lesioni a carico della coclea e/o del nervo acustico, per cui vi è una compromissione sia della via aerea che della via ossea e quindi i due tracciati risultano sovrapposti. La perdita dell'udito si manifesta, inizialmente, per i toni acuti (solitamente massima a 4000 Hz) e poco per la voce parlata.
- **MISTA:** è causata da alterazioni sia dell'apparato di trasmissione dell'energia sonora sia di quello di trasduzione in stimolo elettrico (Organo del Corti) e trasferimento al SNC (VIII nervo cranico). Nell'ipoacusia mista la soglia per via aerea è peggiore di quella per via ossea, ma anche questa si mantiene su valori patologici.

In genere dopo i 40 anni si verifica una progressiva diminuzione dell'udito (presbiacusia) con una perdita di circa 0.5 dB all'anno. La caduta dell'udito è maggiore per gli 8000 Hz, inoltre, si configura un'alterazione di entrambe le vie, aerea ed ossea.

Effetti extrauditivi

L'esposizione al rumore oltre a favorire l'insorgenza di patologie a carico dell'organo dell'udito può determinare numerosi effetti su altri apparati e sistemi. Nonostante la difficoltà a quantificare gli effetti e data la scarsa certezza dei dati esistenti, diversi studi condotti su soggetti sperimentali dimostrano l'attivazione di aree encefaliche extrauditiv deputate al controllo di funzioni endocrine ed autonome (ipotalamo e sostanza grigia), alla regolazione delle emozioni e dei livelli di attenzione (amigdala, locus coeruleus) e all'elaborazione degli aspetti emozionali del dolore (talamo). Si può ipotizzare che gli effetti extrauditivi si manifestino attraverso una serie percorsi chiusi nervosi che vanno ad agire sul sistema cardiovascolare, sul sistema nervoso, sul sistema gastroenterico ed endocrino, sulla psiche e infine anche sul sistema nervoso centrale. Il sistema uditivo può essere inteso come un sistema di "avvertimento" che segnalando ai centri superiori e utilizzando il sistema nervoso autonomo, predispone l'individuo alla risposta (a carico della frequenza cardiaca, dei vasi, dei muscoli, del surrene), con fenomeno di adattamento. La risposta può variare in base al tipo di stimolo che può essere breve, intenso, improvviso, atteso o cronico. I principali effetti extrauditivi del rumore sono: alterazioni della frequenza cardiaca e circolatoria, modificazioni della pressione arteriosa, aumento della frequenza respiratoria, aumento delle resistenze vascolari e periferiche, aumento della secrezione e della mobilità gastrica, aumento della secrezione di ormoni surrenalici. Non devono essere sottovalutati gli effetti neuropsichici come ad esempio l'allungamento dei tempi di reazione, l'aumento degli errori durante lo svolgimento del lavoro e l'interferenza del rumore con il riconoscimento degli eventuali sistemi di allarme o degli eventuali avvisi di pericolo, tutti quanti fattori che incidono negativamente e andare e incrementano la possibilità che avvenga un infortunio.

Il danno da rumore

La perdita dell'udito causata dal rumore è una tra le malattie professionali più diffuse in Europa dopo le malattie osteo-articolari e muscolo-tendine. Attualmente, si presta molta più attenzione, rispetto a qualche decennio fa, ai rischi dovuti all'esposizione combinata a livelli elevati di rumore e delle sostanze ototossiche. La normativa comunitaria (Direttiva 2003/10/CE) e nazionale prevedono (D Lgs. 81/08) che il datore di lavoro, in occasione della valutazione dei rischi, prenda in considerazione *“per quanto possibile a livello tecnico, tutti gli effetti sulla salute e la sicurezza dei lavoratori derivanti dall'esposizione fra rumore e sostanze ototossiche connesse con l'attività lavorativa svolta”*. Di norma un *agente ototossico* è definito come una sostanza che può dare alterazione funzionale o danno cellulare dell'orecchio interno, soprattutto a livello della coclea, dei neuroni acustici, dell'ottavo nervo cranico, del sistema vestibolare. La persona può essere soggetta a sostanze ototossiche suddivise in: occupazionali e non occupazionali. In relazione alle prime, molti studi condotti su animali dimostrano che solventi (stirene, toluene, xilene, etilbenzene, tricloroetilene etc.), metalli (piombo, mercurio e manganese) e asfissianti (monossido di carbonio e acido) siano ototossici. Quando si parla di sostanze ototossiche non professionali si fa solitamente riferimento a farmaci; in letteratura sono riportati oltre 130 farmaci correntemente utilizzati e caratterizzati da un potenziale otolesivo. I farmaci sono ototossici per via sistemica dando luogo sia alla distruzione diretta delle cellule ciliate esterne sia ad un'alterazione elettrolitica dell'endolinfa. Tra le classi farmacologicamente maggiormente rappresentate, quella degli antibiotici è la più importante, con un posto di rilievo per gli amino glicosidi (streptomina, gentamicina, amikacina, neomicina, kanamicina), i diuretici dell'ansia e l'acido etacrinico, i silicati (per i quali è dimostrata un'azione sinergica con il toluene), alcuni antineoplastici quali il cisplatino e il carboplatino, gli antimalarici (chinino, cloro china, chinidina). Tra le sostanze ototossiche a scopo voluttuario si ricordano: il fumo di sigaretta (secondo alcuni autori favorisce la vasocostrizione e il restringimento dei vasi con occlusioni trombotiche, causando una ipoacusia soprattutto per le basse frequenze), le droghe (cocaina), l'alcool (in letteratura vi sono non solo pochi dati, ma anche discordanti ed inoltre non è accertata una sinergia tra alcool e rumore).

Quadro normativo

Legislazione internazionale UNI 9432:2002

**Livello sonoro
equivalente ponderato A
(L_{Aeq,Ti})**

Livello di esposizione a rumore normalizzato ad 8 ore nominali della giornata lavorativa, LEX, 8h: Il livello in decibel, ottenuto mediante la seguente equazione:

$$L_{Aeq,T_i} = 10 \log \left(\frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right) dB(A)$$

dove:

T_i è il tempo nel quale viene effettuata la valutazione, in secondi (s), T_i può assumere i seguenti significati:

T_i = T_e è l'effettiva durata quotidiana dell'esposizione personale di un lavoratore a rumore;

T_i = T_m è il tempo di misurazione;

T_i = T_o è il tempo di osservazione;

P_A è il valore della pressione sonora istantanea ponderata A, in Pascal (Pa);

P₀ è il valore della pressione di riferimento (20 μPa).

**Livello di pressione
sonora ponderato A, con
costante di tempo "Slow"
(LPAS)**

Livello di pressione sonora istantanea A rilevato con costante di tempo "Slow", ovvero costante di tempo pari a 1 secondo:

$$L_{PAS} = 10 \log \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2 dB(A)$$

dove:

P_A è il valore della pressione sonora istantanea ponderata A, in Pascal (Pa).

P₀ è il valore della pressione di riferimento (20 μPa).

**Pressione sonora
istantanea (ponderata A
o lineare con costanti di
tempo diverse)**

Differenza fra la pressione effettivamente esistente all'istante considerato e la pressione statica. Tale pressione si determina basandosi su misurazioni eseguite a 0.1 m di distanza dall'orecchio della persona interessata, o nella posizione occupata dalla stessa persona durante il lavoro.

Rumore costante

Rumore che un'indicazione di LPAS con variabilità massima di 3 dB(A) allo strumento di misurazione con filtro di ponderazione A e costante di tempo "slow".

Rumore fluttuante

Rumore avente durata maggiore di 1 secondo e con variabilità di LPAS maggiore di 3 dB(A) allo strumento di misurazione con

filtro di ponderazione A e costante di tempo “slow”.

| | |
|--------------------------------------|---|
| Rumore impulsivo | Rumore avente una durata minore di 1 secondo ed eventualmente ripetuto ad intervalli maggiori del secondo. |
| Rumore ciclico | Rumore che si ripete avente sempre le stesse caratteristiche di emissione ad intervalli di tempo uguali. |
| Attività acusticamente uguali | Attività lavorativa che comporta: <ul style="list-style-type: none">- uso delle medesime attrezzature;- uguali tempi di esposizione/utilizzo delle stesse attrezzature, nelle medesime condizioni di funzionamento, con lo stesso materiale in lavorazione;- identiche modalità di svolgimento delle attività lavorative;- stesse condizioni ambientali di contorno. |

Decreto Legislativo 81/08: Titolo VIII Capo II

Il decreto Legislativo 81 del 2008, comunemente chiamato Testo Unico, riserva il Titolo VIII alla trattazione degli agenti fisici, in particolare al Capo II sono dettate le prescrizioni minime per la protezione dei lavoratori contro i rischi di danni all'udito. Si applica alle attività in cui i lavoratori sono o possono essere esposti a rischi derivanti dal rumore. Di seguito gli articoli relativi al Capo II. L'art.188 elenca tre definizioni di parametri fisici utilizzati quali indicatori del rischio:

| | |
|--|---|
| Pressione acustica di picco ($P_{peak(C)}$) | valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza «C». |
| Livello di esposizione giornaliera al rumore ($L_{EX,8h}$) [dB(A) riferito a 20 (micro)μPa] | valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore, definito dalla norma internazionale ISO 1999: 1990 punto 3.6. Si riferisce a tutti i rumori sul lavoro, incluso il rumore impulsivo. |
| 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, definito dalla norma internazionale ISO 1999:1990 punto 3.6, nota 2. |
| Valori limite di esposizione e valori di azione | I valori limite di esposizione e i valori di azione, in relazione al livello di esposizione giornaliera al rumore e alla pressione acustica di picco, sono fissati a: <ul style="list-style-type: none">a) valori limite di esposizione risp. $L_{EX,8h} = 87$ dB(A) e $P_{peak} = 200$Pa (140dB(C)) rif. a 20 μPa);b) valori superiori di azione: risp. $L_{EX,8h} = 85$ dB(A) e $P_{peak} = 140$Pa (137dB(C)) rif. a 20μPa);c) valori inferiori di azione: risp. $L_{EX,8h} = 80$ dB(A) e $P_{peak} = 112$Pa (135dB(C)) rif. a 20 μPa). |

OSSERVAZIONE: 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 con il livello di esposizione settimanale **a condizione che:**

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

Nel caso di variabilità del livello di esposizione settimanale va considerato il livello settimanale massimo ricorrente.

L'articolo 189 definisce i valori limite di esposizione ed i valori di azione, in relazione al livello di esposizione giornaliera al rumore e alla pressione acustica di picco, ovvero:

- a) valori limite di esposizione: LEX = 87 dB(A) e ppeak = 200 Pa (140 dB(C) riferito a 20 µPa);
- b) valori superiori di azione: LEX = 85 dB(A) e ppeak = 140 Pa (137 dB(C) riferito a 20 µPa);
- c) valori inferiori di azione: LEX = 80 dB(A) e ppeak = 112 Pa (135 dB(C) riferito a 20 µPa).

Un'importante modifica è stata l'introduzione dei valori di pressione di picco, che contabilizzano i picchi di rumore raggiunti anche per tempi brevi o brevissimi.

L'art. 190 prende in esame la valutazione del rischio per cui nell'ambito di quanto previsto dall'art 181 (valutazione dei rischi), il datore di lavoro è tenuto a valutare l'esposizione dei lavoratori al rumore durante il lavoro prendendo in considerazione in particolare:

- a) il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo;
- b) i valori limite di esposizione e i valori di azione di cui all'art. 189;
- c) tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rumore, con particolare riferimento alle donne in gravidanza e i minori;
- d) per quanto possibile a livello tecnico, tutti gli effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori derivanti da interazioni fra rumore e sostanze ototossiche connesse con l'attività svolta e fra rumore e vibrazioni;
- e) tutti gli effetti indiretti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori risultanti da interazioni fra rumore e segnali di avvertimento o altri suoni che vanno osservati al fine di ridurre il rischio di infortuni;
- f) le informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori dell'attrezzatura di lavoro in conformità alle vigenti disposizioni in materia;
- g) l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre l'emissione di rumore;

h) il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro normale, in locali di cui è responsabile;

i) le informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica;

l) la disponibilità di dispositivi di protezione dell'udito con adeguate caratteristiche di attenuazione.

2. Se, a seguito della valutazione può fondatamente ritenersi che i valori inferiori di azione possano essere superati, il datore di lavoro misura i livelli di rumore cui i lavoratori sono esposti, i cui risultati sono riportati nel documento di valutazione.

3. I metodi e le strumentazioni utilizzati devono essere adeguati alle caratteristiche del rumore da misurare, alla durata dell'esposizione e ai fattori ambientali secondo le indicazioni delle norme tecniche. I metodi utilizzati 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. Fermo restando quanto previsto dall'articolo 182, il datore di lavoro elimina i rischi alla fonte o li riduce al minimo mediante le seguenti misure:

a) adozione di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione al rumore;

b) scelta di attrezzature di lavoro adeguate, tenuto conto del lavoro da svolgere, che emettano il minor rumore possibile, inclusa l'eventualità di rendere disponibili ai lavoratori attrezzature di

lavoro conformi ai requisiti di cui al Titolo III, il cui obiettivo o effetto è di limitare l'esposizione al rumore;

c) progettazione della struttura dei luoghi e dei posti di lavoro;

d) adeguata informazione e formazione sull'uso corretto delle attrezzature di lavoro in modo da ridurre al minimo la loro esposizione al rumore;

e) adozione di misure tecniche per il contenimento:

1) del rumore trasmesso per via aerea, quali schermature, involucri o rivestimenti realizzati con materiali fonoassorbenti;

2) del rumore strutturale, quali sistemi di smorzamento o di isolamento;

f) opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro e dei sistemi sul posto di lavoro;

g) riduzione del rumore mediante una migliore organizzazione del lavoro attraverso la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione e l'adozione di orari di lavoro appropriati, con sufficienti periodi di riposo.

2. Se a seguito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 190 risulta che i valori *superiori* di azione sono superati, il datore di lavoro elabora ed applica un programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore, considerando in particolare le misure di cui al comma 1.

3. I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti ad un rumore al di sopra dei valori superiori di azione 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.

4. Nel caso in cui, data la natura dell'attività, il lavoratore benefici dell'utilizzo di locali di riposo messi a disposizione dal datore di lavoro, il rumore in questi locali è ridotto a un livello compatibile con il loro scopo e le loro condizioni di utilizzo.

Articolo 193 Uso dei dispositivi di protezione individuali

1. In ottemperanza a quanto disposto dall'articolo 18, comma 1, lettera d)33, 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 disposizioni contenute nel *Titolo III*, capo II, e alle seguenti condizioni:

a) nel caso in cui l'esposizione al rumore superi i valori inferiori di azione il datore di lavoro mette a disposizione dei lavoratori 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 esige che i lavoratori utilizzino i dispositivi di protezione individuale dell'udito;

- c) sceglie dispositivi di protezione individuale dell'udito che consentono di eliminare il rischio per l'udito o di ridurlo al minimo, previa consultazione dei lavoratori o dei loro rappresentanti;
- d) verifica l'efficacia dei dispositivi di protezione individuale dell'udito.

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 uditivi 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.

Articolo 194 Misure per la limitazione dell'esposizione

1. Fermo restando l'obbligo del non superamento dei valori limite di esposizione, se, nonostante l'adozione delle misure prese in applicazione del presente capo, si individuano esposizioni superiori a detti valori, il datore di lavoro:

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

Articolo 195 Informazione e formazione dei lavoratori

1. Fermo restando quanto previsto dall'articolo 184 nell'ambito degli obblighi di cui agli articoli 36 e 37, il datore di lavoro garantisce che i lavoratori esposti a valori uguali o superiori ai valori inferiori di azione vengano informati e formati in relazione ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore.

Articolo 196 Sorveglianza sanitaria

1. Il datore di lavoro sottopone a sorveglianza sanitaria i lavoratori la cui esposizione al rumore eccede i valori superiori di azione. La sorveglianza viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità diversa decisa dal medico competente, con adeguata motivazione riportata nel documento di valutazione dei rischi e resa nota ai rappresentanti per la sicurezza di lavoratori in funzione della valutazione del rischio. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità della sorveglianza diversi rispetto a quelli forniti dal medico competente.

2. La sorveglianza sanitaria di cui al comma 1 è estesa ai lavoratori esposti a livelli superiori ai valori inferiori di azione, su loro richiesta e qualora il medico competente ne confermi l'opportunità.

Legge Quadro 447/95.

Il quadro normativo di riferimento in materia di acustica ambientale appare molto articolato. La Legge Quadro N. 447 del 27/10/1995 sull'inquinamento acustico costituisce l'intelaiatura su cui si basa tutta la legislazione in materia di acustica ambientale e fissa i principi guida in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo, dall'inquinamento acustico. Inizialmente è stata aggiunta, e progressivamente sostituita al D.P.C.M. del 01/03/91 che indicava i *“Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno”*. La complessità della materia ed i diversi campi di applicazione, non poteva prescindere dalla emanazione di una serie di Decreti che regolamentassero in dettaglio la materia acustica. In particolare, si ricordano il D.P.C.M. 14/11/1997 riguardante la *“Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”* e il Decreto 16/03/1998 riguardante le *“Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico”*

La legge definisce e delinea le competenze sia degli enti pubblici che esplicano le azioni di regolamentazione, pianificazione e controllo, sia dei soggetti pubblici e/o privati, che possono essere causa diretta o indiretta di inquinamento acustico. Nella legge è contenuta la definizione di inquinamento acustico, molto più ampia ed articolata rispetto a quella contenuta nel DPCM 1/03/91. Con inquinamento acustico si intende: *“l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento dell'ecosistema, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi”*. Nella legge è definito anche l'ambiente abitativo, limitandolo agli ambienti interni ad un edificio destinati alla permanenza di persone. È una definizione di fatto sovrapponibile con la vecchia definizione del DPCM 01/03/91.

Per ambiente abitativo si intende *“ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D. Lgs. n. 277/91, salvo quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive”*.

Le altre definizioni riportate dalla legge sono: valori limite di emissione, di immissione, valori di attenzione e di qualità:

- Valori limite di emissione: *“valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente, misurato in prossimità della stessa”*;

- Valori limite di immissione: “*il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell’ambiente abitativo e nell’ambiente esterno, misurato i prossimità dei recettori*”;
- Valori di attenzione: “*il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l’ambiente*”;
- Valori di qualità: “*i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge*”.

La legge 447/95 (aggiornamento dicembre 2022) tratta tematiche quali la zonizzazione acustica, l’impatto acustico, il clima acustico, i requisiti di emissione delle sorgenti sonore, i requisiti acustici passivi degli edifici. Si compone di 17 articoli e oltre a stabilire i principi fondamentali in materia di tutela dell’ambiente esterno e dell’ambiente abitativo dall’inquinamento acustico, definisce anche una nuova figura professionale: il Tecnico Competente in Acustica che ha il compito di svolgere le attività tecniche connesse alla misurazione dell’inquinamento acustico, alla verifica del rispetto o del superamento dei limiti e alla predisposizione degli interventi di riduzione dell’inquinamento acustico. La legge fissa le competenze dello Stato, delle Regioni, delle Province e le funzioni e compiti dei Comuni.

- Allo *Stato* competono primariamente le funzioni di indirizzo, coordinamento e regolamentazione.
- Alle *Regioni* spetta il compito di promulgare una legge che definisca i criteri per la suddivisione in zone del territorio comunale ed inoltre la definizione di criteri da seguire per la redazione della documentazione di impatto acustico e delle modalità di controllo da parte dei Comuni e l’organizzazione della rete dei controlli. La parte più importante della legge regionale riguarda infatti l’applicazione dell’art. 8 della 447/95.
- Le competenze affidate alle *Province* riguardano le funzioni amministrative di interesse provinciale o sovra comunale per il controllo delle emissioni sonore. Le Regioni e lo Stato possono delegare loro ulteriori funzioni amministrative.
- Le funzioni e i compiti dei *Comuni* sono espresse in più articoli e, rispetto alla normativa precedente, le competenze sono molto più articolate. I Comuni sono tenuti a suddividere il proprio territorio in zone, in funzione della destinazione d’uso dei luoghi e del contesto sociale secondo i criteri fissati dalle Regioni. Affinché il piano di classificazione acustica sia veramente incisivo, dovrà essere coordinato con gli strumenti urbanistici già esistenti. Ai Comuni spetta poi l’adozione di piani di risanamento che individuino i tempi e le modalità per la bonifica nel caso si superino i valori di attenzione, il controllo del rispetto della normativa in materia di inquinamento acustico all’atto del rilascio delle concessioni edilizie

relative a nuovi impianti ed infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive e ricreative e postazioni di servizi commerciali polifunzionali, dei provvedimenti comunali che ne abilitano l'utilizzo, nonché dei provvedimenti di licenza o di autorizzazione all'esercizio di attività produttive. Tutto ciò è specificato negli artt. 8 e 14 della legge. Infine, i Comuni con popolazione superiore a 50 mila abitanti sono obbligati a redigere una relazione biennale sullo stato acustico.

-L'Art. 8 pone l'obbligo di produrre una valutazione previsionale del clima acustico delle aree interessate alla realizzazione delle seguenti tipologie di insediamenti: **scuole** e asili nido, ospedali, case di cura e riposo, parchi pubblici urbani e extraurbani, nuovi insediamenti residenziali prossimi alle opere di cui al comma 2. La documentazione di previsione di impatto acustico deve essere predisposta a cura di personale tecnico in possesso dei requisiti di tecnico competente in acustica.

Il DPCM 14/11/97, entrato in vigore il 1° gennaio 1998, come il DCPM 1/3/91, fissa i limiti di immissione assoluti per l'ambiente esterno per tutte le tipologie di sorgenti ed i valori limite di emissione da intendersi come i "*livelli di emissione relativi ad una specifica sorgente valutati al ricettore*".

Questi valori, con l'esclusione delle infrastrutture di trasporto, devono essere rispettati da tutte le sorgenti sonore. I valori limite sono fissati suddividendo acusticamente, il territorio in sei classi:

CLASSE I – aree particolarmente protette: rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, **aree scolastiche**, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.

CLASSE II – aree destinate ad uso prevalentemente residenziale: rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali e artigianali.

CLASSE III – aree di tipo misto: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.

CLASSE IV – aree di intensa attività umana: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie.

CLASSE V – aree prevalentemente industriali: rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

CLASSE VI – aree esclusivamente industriali: rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi. Viene poi fissata una suddivisione dei livelli massimi in relazione al periodo di emissione del rumore, definito dal decreto come “tempo di riferimento”: *periodo diurno dalle ore 6.00 alle ore 22.00; periodo notturno dalle ore 22.00 alle ore 6.00.*

I limiti massimi di immissione prescritti nel D.P.C.M. 14/11/97, fissati per le varie aree, sono rappresentati nella tabella seguente:

VALORI LIMITE ASSOLUTI DI IMMISSIONE - Leq in dB(A)

(Valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell’ ambiente abitativo o nell’ ambiente esterno)

| Classi di destinazione d’uso del territorio | Tempi di riferimento | |
|---|----------------------|------------------------|
| | Diurno (06.00-22.00) | Notturmo (22.00-06.00) |
| I aree particolarmente protette | 50 | 40 |
| II aree prevalentemente residenziali | 55 | 45 |
| III aree di tipo misto | 60 | 50 |
| IV aree di intensa attività umana | 65 | 55 |
| V aree prevalentemente industriali | 70 | 60 |
| VI aree esclusivamente industriali | 70 | 70 |

Mentre, per quel che riguarda i limiti di emissione (misurati in prossimità della sorgente sonora) abbiamo i seguenti valori:

VALORI LIMITE DI EMISSIONE - Leq in dB(A)

(Valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora misurato in prossimità della sorgente stessa)

| Classi di destinazione d'uso del territorio | Tempi di riferimento | |
|--|-----------------------------|------------------------|
| | Diurno (06.00-22.00) | Notturmo (22.00-06.00) |
| I aree particolarmente protette | 45 | 35 |
| II aree prevalentemente residenziali | 50 | 40 |
| III aree di tipo misto | 55 | 45 |
| IV aree di intensa attività umana | 60 | 50 |
| V aree prevalentemente industriali | 65 | 55 |
| VI aree esclusivamente industriali | 65 | 65 |

Legge ISO 1999:1990 (II edizione)

$L_{EX,8h}$ – (rif. 3.6 della norma) – Esposizione giornaliera

Livello di esposizione a rumore normalizzato ad 8 ore nominali della giornata lavorativa, $L_{EX,8h}$: Il livello in decibel, ottenuto mediante la seguente equazione:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right)$$

dove:

L_{Aeq,T_e} è il livello equivalente della rumorosità considerata durante il tempo d'esposizione;

T_e è il tempo di esposizione al rumore;

T_0 è il tempo di osservazione (8 ore).

$L_{EX,8h}$ – (rif. 3.6 nota 2 della norma) – Esposizione settimanale

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, ottenuto mediante la seguente equazione:

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{EX,8h})_i} \right)$$

dove:

n è il numero di giorni lavorativi nella settimana;

k equivale ad **n** se si vuole ottenere il valore medio dell'esposizione settimanale, oppure assume un valore pari al numero di giorni su cui si vuole calcolare il livello di esposizione settimanale;

$(L_{EX,8h})_i$ è il livello di esposizione personale l'i-simo degli **n** giorni di lavoro della settimana considerata.

Il comfort acustico degli ambienti di lavoro e l'intelligibilità del parlato

Fattori che pregiudicano la comprensione del messaggio verbale

1. **La posizione parlatore-ascoltatore.** Il crescere della distanza tra i soggetti avente un dialogo anche di brevissima durata, la distanza tra essi, può essere causa di una marcata perdita di intelligibilità. Supponendo un caso che tra i due o più individui ci dovessero essere all'incirca 2 metri di distanza corrispondeva un'intelligibilità intorno al 95%, ad una distanza di 8 metri l'intelligibilità scendeva al 50%. Questi dati fanno riflettere sulla effettiva difficoltà di comprensione del parlato che alcune persone poste a notevole distanza è molto probabile che la persona ricevente del messaggio non riesca a comprendere ciò che l'emissario vuole trasmettere. In termini di orientamento è ben noto che la posizione frontale (faccia a faccia) tra parlatore e ascoltatore sia la configurazione geometrica corrispondente alla migliore intelligibilità del messaggio verbale, anche per l'ausilio derivante dalla visione dell'ascoltatore (movimento delle labbra, espressioni del volto) e dalla sua gestualità. È a questa configurazione che naturalmente tendono gli interlocutori soprattutto in presenza di rumore interferente con la comunicazione verbale. Orientamenti diversi da detta configurazione, fino alla situazione peggiore di ascoltatore con le spalle rivolte al parlatore, comportano una diminuzione dell'ascolto.

2. **Tempo di riverberazione.** In un ambiente chiuso, il suono prodotto in un punto può raggiungere l'ascoltatore per via diretta, ma anche dopo riflessioni delle onde sonore sulle varie superfici rigide che delimitano l'ambiente. Il tempo di riverberazione è il parametro più importante per determinare la qualità acustica di un ambiente chiuso e sta a rappresentare il tempo necessario perché un suono all'interno di una stanza diminuisca di 60 dB quindi, in termini comprensibili, indica il tempo necessario perché un suono molto forte divenga impercettibile. Il valore ottimale del tempo di riverberazione in un ambiente destinato all'ascolto della parola, rappresenta il giusto compromesso tra il raggiungimento di un livello sonoro sufficiente per un'esposizione senza sforzo, e l'assenza di mascheramenti tra le sillabe del messaggio parlato. Numerosi studi hanno evidenziato che il tempo di riverberazione ottimale in ambienti chiusi e non arredati di volumetria compresa tra 100 e 400 m³, in condizioni di aula occupata, è pari a 0,4-0,5 s nella regione delle medie frequenze. Ridurre il tempo di riverberazione a valori più piccoli non sembra essere necessario, infatti l'intelligibilità della parola non è molto sensibile a piccole deviazioni rispetto al valore ottimale stabilito. Questo potrebbe creare dei problemi in caso siano degli

uffici ed è necessario che parla qualcuno non venga sentito fino dall'altra parte è necessario diminuire i valori con dei divisori o anche semplicemente arredando il locale. Nel caso questo spazio sia volto ad una stanza per conferenze o altro si possono tenere buoni i valori sopra indicati per favorire l'ascolto anche alla persona seduta in ultima fila.

3. Rumore di fondo. Rappresenta un fattore di inquinamento acustico grave e diffuso ha origine dal contesto sonoro nel quale si va ad operare; a tal proposito è uno dei principali parametri da controllare per garantire una buona comprensione della parola e un buon comfort acustico all'interno degli ambienti lavorativi. La presenza ed il livello di rumore di fondo può essere determinato da alcune fonti:

- 1) sorgenti di rumore esterne: traffico stradale, aeronautico, ferroviario, impianti industriali e commerciali, cantieri stradali;
- 2) sorgenti di rumore interno all'edificio: attività svolte, corridoi, musica alto volume, impianti interni in funzionamento;

Il rumore e l'intelligibilità del parlato

Per valutare l'intelligibilità del parlato in un ambiente sarebbe sottoporre test soggettivi di intelligibilità a parlatori ed ascoltatori usando frasi o parole preselezionate secondo protocolli sperimentali, come quelli descritti nella norma UNI EN ISO 9921:2004. Di norma si ricorre a descrittori oggettivi, misurabili o calcolabili, quali lo Speech Transmission Index (STI), l'indice di articolazione (AI), lo Speech Intelligibility Index (SII) e lo Speech Interference Level (SIL) codificati anche in specifici documenti normativi ed in letteratura.

L'indice di trasmissione del parlato (STI) quantifica l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sull'intelligibilità del parlato e si basa sull'assunto che la voce umana, la cui intensità varia nel tempo, può essere un segnale modulato in ampiezza ($0.5 \div 16$ Hz). La voce resta comprensibile se percepita in condizioni da mantenere invariate le sue caratteristiche di modulazione. La misura dell'indice STI, avente valori compresi tra 0 e 1, consiste pertanto nel determinare la riduzione dell'indice di modulazione di un segnale di prova lungo il percorso emissione ricezione. A tale scopo si impiega una sorgente collocata nella posizione del parlatore e sono disponibili sistemi automatici di misurazione sia dello STI, sia della sua versione semplificata denominata RAPID Speech Transmission Index RASTI.

L'indice di articolazione (AI) è uno dei primi descrittori dell'intelligibilità del parlato ed è basato sul presupposto che la risposta di un sistema di comunicazione verbale può essere suddivisa in 20 bande, ciascuna recante uno specifico contributo di intelligibilità, e che il totale di quest'ultima è pari alla somma dei contributi parziali delle singole bande. I valori di AI sono compresi tra 0

(intelligibilità nulla) e 1 (intelligibilità perfetta). In linea generale, ad ogni raddoppio della distanza ascoltatore-parlatore si ha una riduzione di 0.5 per AI; stessa riduzione si registra per una rotazione di 90° dell'ascoltatore rispetto al parlatore. Infine, si può affermare che una diminuzione di 5dB(A) per il rumore di fondo comporta un aumento di 0.17 per AI.

Recentemente è stato introdotto l'indice di intelligibilità del parlato SII derivato e sostanzialmente identico all'indice STI. Il livello di interferenza sul parlato (SIL) è un metodo applicabile in ambienti poco riverberanti ($T_{60} < 2s$ a 500 Hz) e in assenza di sistemi di amplificazione trasmissione della voce. Il livello di interferenza sul parlato L_{sil} è definito come la media aritmetica del livello di pressione sonora del rumore di fondo (ossia in assenza del messaggio verbale) nella posizione dell'ascoltatore in corrispondenza delle quattro bande di frequenza di ottave con frequenza centrale a 500-1000-2000-4000 Hz e deve assumere valori superiori a 10 dB affinché sia garantita una intelligibilità accettabile.

Inquinamento acustico, sforzo vocale e malattie professionali

Inail e malattie professionale degli operatori

In Europa e negli Stati Uniti i disturbi della voce non sono riconosciuti come patologie professionali nonostante negli USA il 12% dei soggetti con patologie vocali sia rappresentato dagli insegnanti. Dai dati di letteratura emerge che la prevalenza di patologie a carico della voce tra gli insegnanti oscilla tra il 7% ed il 25%. La Polonia è l'unica nazione in cui questi disturbi sono riconosciuti come malattia professionale. Dagli studi di Hanke et Al. emerge che i disturbi della voce rappresentano il 25% delle patologie professionali.

Per quanto riguarda l'ipoacusia da rumore ci troviamo di fronte ad una situazione diversa, in quanto, tale patologia di norma non può ritenersi associata ai livelli di rumore solitamente presenti negli ambienti di lavoro chiusi, anche se poi ogni valutazione va fatta tenendo conto le varie situazioni.

Nell'aggiornamento delle "Nuove tabelle delle malattie professionali" del 15 febbraio 2024, nell'elenco delle lavorazioni che espongono a rumore in assenza di un efficace isolamento acustico, non è previsto il rumore degli ambienti di lavoro come nota tabellata. Alla voce n. 71) IPOACUSIA DA RUMORE (H83.3) lettera "W" si riporta la seguente dicitura: "Altre lavorazioni, svolte in modo non occasionale, che comportano una esposizione personale, giornaliera o settimanale, a livelli di rumore superiori a 80 dB(A). Tale limitazione non comporta una carenza nella tutela di tali malattie, vigendo in Italia il c.d. "Sistema misto" per cui possono essere denunciate e riconosciute anche malattie e/o lavorazioni al di fuori di quelle tabellate, purché ne venga provata la natura professionale con onere della prova a carico del lavoratore.

Il rischio rumore negli ambienti di lavoro chiusi va valutato tenendo presente della duplice natura del fenomeno fisico infatti, oltre ad una rumorosità interna ad es. di origine antropica, si deve tener

presente anche di una rumorosità proveniente dall'esterno (traffico cittadino, ferroviario, aereo, industriale, macchinari, mezzi, ecc.). Rumorosità ambientale ed eventuale ipoacusia che dovesse svilupparsi a carico degli operatori, potrebbe essere oggetto della tutela dell'Inail solo dopo aver accertato che la durata e l'intensità del rumore superino i livelli ritenuti idonei dalla letteratura tali da sviluppare un danno all'apparato uditivo, escluse le forme cliniche di origine extra lavorativa (traumatiche, infettive...). Dai dati di letteratura emerge che solitamente occorrono dieci anni di esposizione per avere perdite uditive significative. Sembrerebbe da alcuni lavori che, a seguito di un'esposizione continua a 100 dB(A), sia stata valutata la seguente perdita uditiva:

- 5 anni, 5 dB;
- 20 anni, 14 dB;
- 40 anni, 19 dB.

I dati forniti dalla norma ISO 1999-1990, per una esposizione ad un L_{eq} di 75 dB(A), non riportano alcun danno a carico dell'udito, mentre esposizioni di lunga durata, solitamente ultradecennale, superiori a 75 e fino a 80 dB(A), sono causa di deficit, ancorché di lieve entità, solo in una esigua percentuale di esposti.

Il disturbo vocale e la prevenzione primaria delle disfonie

Finora la medicina del lavoro ha considerato l'inquinamento acustico nell'ambiente di lavoro in relazione al rischio di danno uditivo, tralasciando l'importanza dell'impatto del rumore e delle cattive condizioni acustiche ambientali sullo sforzo vocale di coloro che parlano. Per gli insegnanti la propria voce rappresenta lo strumento principale di lavoro e di conseguenza sono soggetti a sviluppare patologie vocali in misura maggiore rispetto alla popolazione generale. I disturbi della voce possono manifestarsi sotto forma di lievi disfonie, fino alla perdita completa della voce (afonia) e possono avere origini diverse. Le cause di disfonia, in coloro che sfruttano la voce, sono legate ad un cattivo uso o abuso della stessa.

Durante lo svolgimento di una lavorazione o giornata lavorativa dove il rumore varia di momento in momento anche dovuto da interferenze con l'ambiente esterno, un lavoratore come reazione spontanea, per poter conversare con un altro, deve superare con la propria voce il livello di rumore per far in modo che il collega possa capire. La condizione migliore è che durante la conversazione non venga sospeso il lavoro, ma questo è possibile solamente in condizioni che i due interlocutori siano in una zona isolata o con possibilità di interrompere l'attività ma questo non è possibile nella maggior parte dei casi. Di conseguenza per poter avere una conversazione è necessario aumentare e a mantenere un'intensità della voce circa 15 dB superiore al rumore. Conseguentemente a quanto detto, parlare anche per brevi periodi, quando il rumore ambientale supera i 65 dB richiede uno sforzo potenzialmente pericoloso per le corde vocali. Succede anche utilizzando gli otoprotettori, che sono dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI), che anche se permettono di percepire le

onde a bassa frequenza, per la comunicazione è necessario effettuare ugualmente uno sforzo nella riuscita dell'intento di essere efficaci durante l'azione.

In determinate situazioni dove l'ambiente non supera gli 80 dB ma il lavoratore è costantemente in condizioni di dover utilizzare la propria voce si arriva ad un'amplificazione e la proiezione vocale in un contesto, non solo di efficacia ma anche di efficienza vocale (massimo rendimento con il minimo sforzo), un tale aumento dell'intensità della voce si accompagna ad un incremento della frequenza fondamentale (F_0) e, più in generale si traduce in un comportamento vocale ipercinetico (sforzo vocale cronico). Con il passare del tempo l'ipercinesia fonatoria diventa responsabile di alterazioni della voce, disfunzionali prima e secondariamente associate a danno organico delle corde vocali (noduli, polipi, edema cronici, cisti vocali da ritenzione...).

Al fine di cercare di limitare i disturbi legati alla voce per tutte quei lavoratori che devono avere una comunicazione in un luogo dove il rumore è elevato, è importante mettere in atto dei programmi di prevenzione primaria atti a focalizzare l'attenzione su alcuni punti critici. In primo luogo, sarebbe opportuno cercare di ridurre il più possibile il frastuono provocato dalle attrezzature e/o dell'area di lavoro delle postazioni di lavoro, se possibile. In secondo luogo, migliorare dove è possibile l'acustica dell'ambiente per minimizzare il riverbero che potrebbe formarsi.

In determinati contesti e situazioni è possibile effettuare una comunicazione non verbale che attraverso dei gesti permette ugualmente di far passare un'informazione, attraverso delle brevi e significative indicazioni, ed è possibile solamente nel momento in cui tra le due parti sia un contatto visivo. A seguire lo svolgimento di corsi sull'uso professionale della voce, al fine di acquisire una corretta tecnica vocale per una gestione non traumatica dell'apparato fonatorio, in relazione soprattutto alle alte intensità della voce.

Eziopatogenesi dello sforzo vocale e il suo "circolo vizioso"

Diversi studi hanno dimostrato un'alta prevalenza dei disordini della voce in quelle figure professionali che utilizzano la voce come mezzo di lavoro, questa particolarità si nota particolarmente negli insegnanti scolastici (che devono cercare di tenere a bada i bambini/ragazzi), ma non solo. Smith nel 1998 ha avuto modo di appurare che il problema dello sforzo vocale ha maggiore incidenza nel sesso femminile, infatti il rapporto tra insegnanti donne e insegnanti uomini è di 2,7 a 1. Questo dato è giustificato anche dal fatto che la frequenza fondamentale della voce femminile è il doppio di quella maschile. Ciò significa che a parità di durata fonatoria, le corde vocali, nella donna realizzano il doppio delle collisioni rispetto a quelle dell'uomo. In una giornata lavorativa di 5 ore di insegnamento della durata di 45 min. ciascuna, per un totale di un'ora e mezza di impegno vocale, una insegnante di scuola elementare realizza ca. 1.000.000 di vibrazioni cordali. Non bisogna trascurare poi che, il contenuto di acido ialuronico nella lamina propria delle corde vocali, è minore nella donna e questo si traduce in una minore resistenza al fono-trauma. Questi due

dati, considerati insieme, sembrano indicare che a parità di lavoro-sforzo vocale, nella donna si realizza il seguente binomio: maggiore quantità di fono-trauma, minore resistenza ad esso.

Il fono-trauma è la conseguenza dell'impatto delle corde vocali durante la fonazione: la forza dell'impatto è direttamente proporzionale all'ampiezza ed alla frequenza di vibrazione delle corde vocali. Il danno cordale si verifica nell'individuo predisposto quando viene superata la dose critica delle vibrazioni, soprattutto quando i cicli vibratorii sono caratterizzati da brusche velocità di decelerazioni del tessuto. La resistenza del sistema fonatorio varia notevolmente da soggetto a soggetto quindi si comprende facilmente come non esista una normativa che stabilisca il numero di vibrazioni che le corde vocali possono effettuare senza rischio di sforzo vocale e quindi di disfonia. L'eccesso di vibrazioni causa cicli di danno e di riparazione del tessuto cordale, che si ripetono fino a che la lesione, e la conseguente disfonia, diventano irreversibili. Si instaura un circolo vizioso che si mantiene ed autoalimenta nel tempo.

Questo è uno studio di esempio riportato, il quale mostra dove sono stati effettuati degli studi e in cui l'utilizzo della voce è prevalente e usato costantemente durante la giornata, non bisogna però sottovalutare altri lavori in cui avviene un dialogo pressoché costante in un ambiente di elevata sonorità di sottofondo. Infatti, anche se per brevi periodi negli ambienti di lavoro

Caso studio

Definizione di cantiere

Il cantiere, in modo particolare quello edile, viene definito (dal D.Lgs 81/08 art. 89) come uno spazio di qualsiasi tipologia adibito allo svolgimento di lavorazioni edili o riguardanti l'ingegneria civile. Al suo interno per sua definizione si svolgono diverse attività, eseguite da molteplici figure professionali e ognuna con un compito ben preciso che concorrono per il raggiungimento di un obiettivo comune, ossia quello di svolgere tutte le lavorazioni nelle tempistiche previste.

Le opere edili o di ingegneria civile che si svolgono in cantiere e descritte all'allegato X de D.Lgs 81/08 sono:

- Costruzione;
- Manutenzione;
- Riparazione;
- Demolizione;
- Conservazione;
- Risanamento;
- Restauro;
- Ristrutturazione o equipaggiamento

E ancora la trasformazione, il rinnovamento o lo smantellamento di opere fisse permanenti o temporanee in: muratura; in cemento armato; in metallo; in legno o in altri materiali. Sono comprese anche le parti strutturali delle linee elettriche e degli impianti elettrici, le opere stradali, ferroviarie, idrauliche, marittime, idroelettriche e, solo per la parte che comporta lavori edili o di ingegneria civile, le opere di bonifica, di sistemazione forestale e di sterro.

Infine, rientrano nelle attività del cantiere anche il montaggio e lo smontaggio di elementi prefabbricati utilizzati per la realizzazione di lavori edili o di ingegneria civile.

Situazione durante un cantiere

La varietà di un cantiere di natura edile, come visto poco fa, ha una varietà e un'enorme gamma di applicazione. Questo comporta non solo a livello di lavorazioni da eseguire ma anche di tempistiche, dimensione e lavorazioni che possono o meno essere sovrapposte.

Per questo motivo la valutazione rischio rumore di un'azienda che lavora nell'ambito dell'edilizia non è possibile applicare nessuna dei sistemi di valutazione visti in precedenza e quindi come viene indicato nell'art. 191, si considera dal principio un valore di rischio alto. La determinazione dei sistemi di protezione invece si determinano attraverso la misurazione della peggior giornata lavorativa di un operaio all'interno di un cantiere.

Come è composto il documento di valutazione del rischio

La valutazione del rischio è composta da una prima parte introduttiva al documento in cui si trova: tutti i riferimenti di chi ha condotto la valutazione in quanto questa valutazione è redatta dal Datore di Lavoro che la firma. Accanto alla firma del datore di lavoro la valutazione è in presa visione, dal Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP), dal Medico Competente, dal Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS) (se nominato/presente) e infine anche dal Tecnico che effettua l'analisi. Viene riportata l'anagrafica aziendale, la descrizione dell'attività aziendale, delle mansioni, delle attrezzature presenti, etc.

Come primo passaggio si dimostra che la valutazione preliminare è stata effettuata. Si dichiara dunque il metodo utilizzato, di seguito la metodologia di misurazione e le misure effettuate. In conclusione, si trovano i risultati dell'indagine e le misure di prevenzione e protezione se necessarie.

Descrizione ambiente di lavoro

L'ambiente preso in considerazione è un cantiere a cielo aperto in cui l'edificio deve essere sottoposto a numerosi interventi. Le lavorazioni che devono essere svolte sono:

- Rifacimento manto di copertura;
- Installazione impianto fotovoltaico;
- Creazione di un foro in una parete;
- Pulizia facciate e installazione cappotto;
- Sostituzione infissi;
- Sostituzione lattonerie;
- Rifacimento vialetto d'entrata.

Di seguito viene illustrata la planimetria di cantiere nella quale sono indicate le posizioni delle sorgenti per la rilevazione del rumore, esse infatti sono posizionate nei punti di più rilevanza per quanto concerne l'esposizione dei lavoratori nei momenti in cui non effettuino una lavorazione che gli espone direttamente al rischio.

Per quanto riguarda le singole attrezzature, invece sono state prese in diversi luoghi e momenti del cantiere non essendo presenti stazioni fisse.

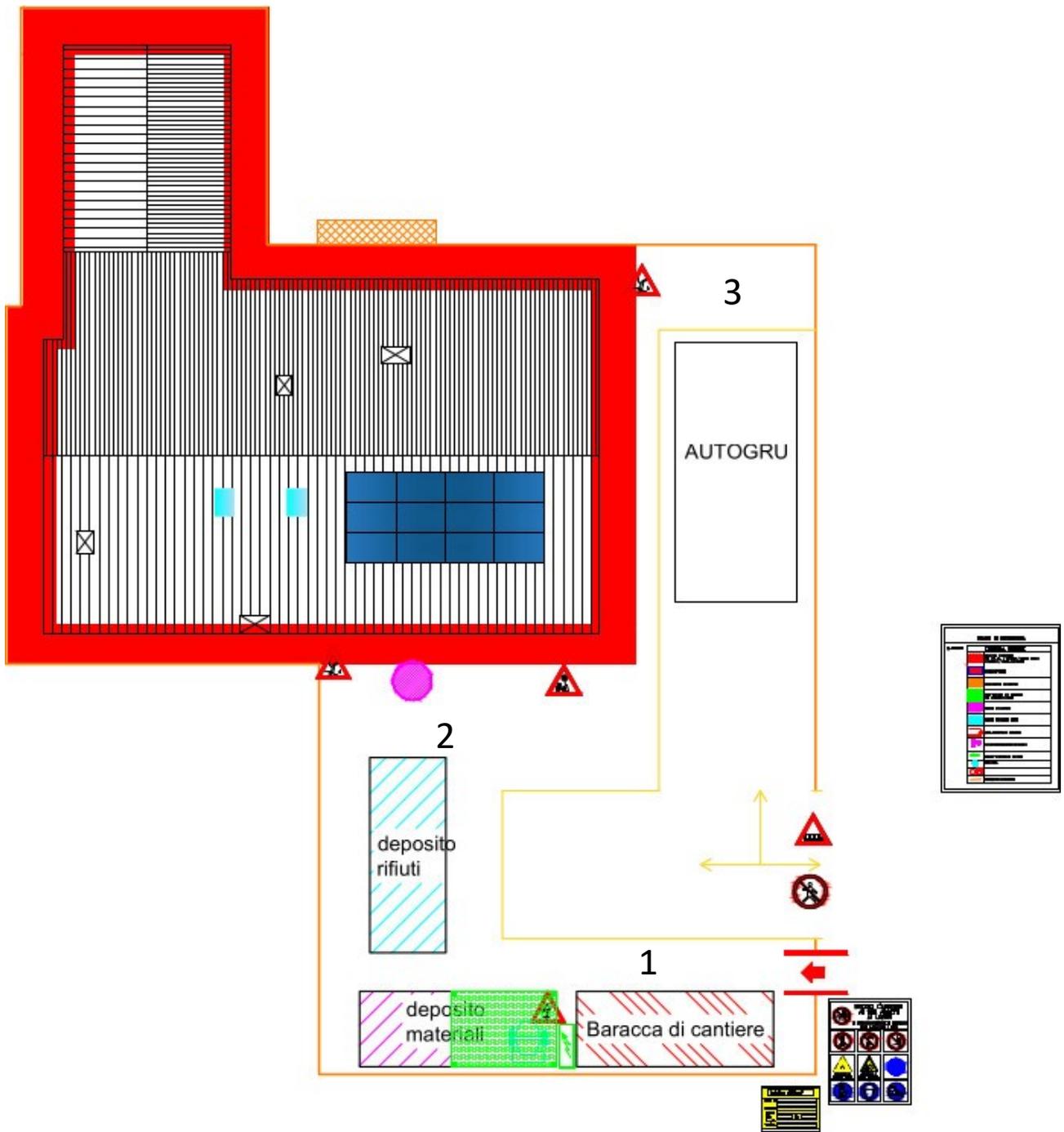


Figura 10: Planimetria di cantiere

Valutazione preliminare

Viene eseguita un'analisi preliminare per valutare se proseguire con la valutazione specifica. Gli obblighi in capo al Datore di Lavoro sono enunciati dal D.Lgs 81/2008 all'art. 190 il cui sunto è di seguito riportato:

| Aspetto da valutare (art. 190, comma 1 lettere c, d, e) | Situazione riscontrata | | Considerazioni |
|---|--|----|--|
| Sono presenti lavoratori particolarmente sensibili al rumore (lavoratrici gestanti e minori) per i quali l'esposizione a rumore può indurre ulteriori effetti negativi sulla salute e sulla sicurezza? | SI | NO | / |
| Sono possibili interazioni fra rumore e sostanze ototossiche* connesse con l'attività svolta e fra rumore e vibrazioni? (* <i>Sostanze ototossiche</i> (“ <i>tossiche per l'orecchio</i> ”) <i>Per quanto sino ad ora conosciuto s'identificano: toluene, stirene, disolfuro di carbonio, solventi organici ed acidi.</i>) | <i>Sono presenti sostanze ototossiche?</i> | | Le interazioni sono considerate di lieve entità considerato l'utilizzo limitato di prodotti per lo sgrassaggio di elementi meccanici. |
| | SI | NO | |
| | <i>Vi è interazione tra vibrazioni e rumore?</i> | | Le attività lavorative prevedono l'utilizzo di attrezzi elettrici portatili. Vi è dunque trasmissione ossea delle vibrazioni e del rumore all'orecchio medio (catena degli ossicini). |
| | SI | NO | |
| Sono possibili effetti indiretti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori risultanti da interazioni fra rumore e segnali di avvertimento o altri suoni che vanno osservati al fine di ridurre il rischio di infortuni? | SI | NO | / |
| È possibile il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro normale, in locali di cui il datore di lavoro è responsabile? | SI | NO | Non si è ricevuta notizia su eventuali prolungamenti dei periodi di esposizione. |

Visto l'esito dell'analisi preliminare si procede con la valutazione.

Modalità di misura

MISURAZIONI

Per la misurazione della pressione acustica in presenza della persona interessata si è tenuto conto delle perturbazioni causate dalla stessa al campo di pressione, per cui il microfono è stato posto a circa cm 10 dalla testa, alla altezza dell'orecchio.

TEMPO DI MISURA

Per i rumori individuati e ritenuti sufficientemente continui o periodici, è stato adottato un tempo di misura come da normativa corrispondentemente a 15 minuti per la determinazione del livello equivalente ($L_{EQ(A)}$), coprendo tutto il tempo necessario al ciclo di operazioni unitarie eseguite dal lavoratore.

CRITERI DI VALUTAZIONE

La presente relazione è stata stilata avendo come riferimenti le raccomandazioni indicate nel seguente materiale di riferimento:

- *Linee guida per la valutazione del rumore negli ambienti di lavoro dell'ISPESL (2003)*
- *Norma UNI 9432*

I livelli di esposizione al rumore sono stati calcolati ponderando i livelli di $L_{EQ(A)}$ preventivamente misurati nelle varie postazioni di lavoro con i tempi di permanenza degli operatori nelle medesime posizioni, applicando le formule di calcolo previste dalla ISO 1999:1990.

Nel corso delle rilevazioni l'attività dell'Azienda è proseguita normalmente per cui il risultato delle misure nelle varie posizioni deriva dalla misura del livello sonoro dell'attrezzatura presso la quale è stata eseguita la misura e dal livello sonoro emanato da posizioni contigue.

ERRORI ED INCERTEZZE

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

Incetzza strumentale

Nel certificato di taratura SIT o WECC del fonometro può essere riportato il valore dell'incertezza strumentale ε_s dell'apparecchio. Questo valore può essere utilizzato tenendo conto che si tratta di un valore riferito a condizioni standard di laboratorio (temperatura, pressione, umidità controllate): quindi deve intendersi come valore minimo dell'incertezza strumentale.

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

Il valore dell'incertezza strumentale è un errore sistematico, andrà perciò aggiunta ai valori che si otterranno per l'incertezza di campionamento, per l'incertezza sul $L_{EX,8h}$.

Incetzza ambientale

Un segmento di attività di durata T_i che si svolge all'interno di un ambiente acusticamente omogeneo (ambiente nel quale i livelli di rumore misurati in prelievi successivi non differiscono di molto), può essere esaminato col metodo del “campionamento”: effettuando cioè N misure indipendenti di livello equivalente di durata individuale T_{ij} i cui risultati vengono indicati con L_{ij} . Si definiscono le seguenti grandezze:

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

media aritmetica dei livelli, e

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

deviazione standard della distribuzione dei livelli stessi.

L'incertezza relativa alla componente ambientale vale:

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

dove l'ultimo termine a destra è un fattore di correzione dovuto alla dimensione finita della popolazione da cui viene estratto il campione analizzato (cioè alla durata finita T_i del periodo); tale termine può, in prima approssimazione, porsi uguale all'unità per tempi di campionamento inferiori al 15% del tempo totale di durata del fenomeno acustico, cosa che accade nella quasi totalità dei casi. Al denominatore compare la media aritmetica dei tempi di campionamento T_{ij} .

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

Incetza totale sul livello equivalente

L'incertezza totale sul livello equivalente vale:

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

La norma ISO 9612 [10], allegato D, indica come classe di precisione 1 (di riferimento) quella con incertezza del livello equivalente compresa tra 0 e 1,5 dB(A).

Incetza sui tempi di esposizione

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

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

con un valore minimo di 2,5 minuti.

Incetza sul livello di esposizione personale quotidiano

L'incertezza sul livello di esposizione personale giornaliero può essere ottenuta applicando il modo opportuno la legge di propagazione degli errori alle incertezze sui livelli equivalenti e sui tempi di esposizione visti nei paragrafi precedenti.

Si calcola dapprima la componente dovuta ai fattori “ambientali” $\varepsilon_A(L_{EX,8h})$:

$$\varepsilon_A(L_{EX,8h}) = \frac{\left[\sum_{i=1}^M 10^{0,2L_i} T_i^2 \varepsilon_i^2 + 18,86 \sum_{i=1}^M 10^{0,2L_i} \varepsilon_{T_i}^2 \right]^{1/2}}{\sum_{i=1}^M 10^{0,1L_i} T_i}$$

Per sinteticità si è posto:

$L_i = L_{Aeq,T_i}$, $\varepsilon_i = \varepsilon_A(L_{Aeq,T_i})$, $\varepsilon_{T_i} = \varepsilon(T_i)$, M è il numero di periodi in cui si effettuano misure di livello equivalente.

$$\varepsilon(L_{EX,8h}) = (\varepsilon_S^2 + \varepsilon_A^2(L_{EX,8h}))^{1/2}$$

ESPOSIZIONE AL RUMORE

All'interno del cantiere in questo caso specifico e per quanto riguarda l'azienda presa in oggetto, l'unica mansione esposta al rischio rumore è quella del muratore. Questo costituisce un unico gruppo omogeneo utilizzato per la valutazione del rischio rumore, in quanto tutti i lavoratori hanno la possibilità di utilizzare gli attrezzi utilizzati.

MISURAZIONI EFFETTUATE

Dalle misurazioni effettuate si ricava la tabella 1, che nelle prime colonne sono indicate le informazioni legate all'attrezzatura misurata, nel caso ci siano degli spazi vuoti è perché non si è potuto risalire a quelle informazioni. Nella quinta colonna viene indicato il valore di picco che va quindi a incidere sulla frequenza sonora prodotta dall'apparecchiatura di lavoro. Successivamente si trovano le tre misurazioni effettuate e il valore equivalente delle postazioni che è il valore che si va considerare per verificare se il lavoratore è esposto a rumore o meno. Le quattro successive colonne invece contengono i valori che corrispondono alle diverse incertezze, ossia la stima dell'intervallo tra il valore reale e quello misurato, e rappresenta l'affidabilità della misura. La penultima colonna va ad identificare nel caso l'operatore, in riferimento al valore di esposizione al rumore, nel caso superasse il valore di 85 dB di perimetrare l'area di lavoro per non coinvolgere altri possibili lavoratori vicini a rumore. Nell'ultima colonna viene indicato il numero minimo del Rapporto Suono/Rumore (*Signal to Noise Ratio* SNR), questo permette di scegliere il giusto grado di protezione che devono avere gli otoprotettori.

Tabella 1: Tabella delle misure

| TABELLA MISURE | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------|--------|--------|---------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------------------------------|-------------|------------|
| N° mis. | CATEGORIA | MARCA | MODELLO | P _{peak} dB(C) | L _{Aeq} dB(A) | | | L _{Aeq,Ti} dB(A) | s(L _{Aeq,Ti}) | INCERTEZZE | | | Perim. area | SNR dB(A) |
| | | | | | mis. 1 | mis. 2 | mis. 3 | | | ε _s | ε _A | ε _(L_{Aeq,Ti}) | | |
| 1 | AVVITATORE ELETTRICO | MAKITA | 6317 D | 86,7 | 80,6 | 80,4 | 80,2 | 80,4 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | 9 a disp. |
| 2 | TRAPANO ELETTRICO | BOSCH | GSB20-2RE | 101,5 | 87,8 | 87,8 | 87,7 | 87,8 | 0,1 | 0,7 | 0,0 | 0,7 | SI | 15 |
| 3 | SMERIGLIATRICE PORTATILE | MAKITA | GA4530 | 100,6 | 88,0 | 87,4 | 87,8 | 87,7 | 0,3 | 0,7 | 0,2 | 0,7 | SI | 15 |
| 15 | AVVITATORE A BATTERIA | MAKITA | DF330DWE | 96,7 | 70,4 | 70,7 | 70,4 | 70,5 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | non nec. |
| 16 | SEGA CIRCOLARE DA BANCO | MAKITA | / | 98,9 | 84,8 | 84,7 | 84,8 | 84,8 | 0,1 | 0,7 | 0,0 | 0,7 | NO | 12 |
| 17 | AVVITATORE PNEUMATICO | OBER | / | 102,8 | 84,3 | 84,6 | 84,5 | 84,5 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | 12 |
| 18 | IDROPULTRICE | CLEAN | / | 94,9 | 79,6 | 79,7 | 79,5 | 79,6 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | 8 a disp. |
| 19 | MOLATRICE FISSA | / | / | 89,7 | 72,6 | 72,3 | 72,3 | 72,4 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | non nec. |
| 21 | TRAPANO A COLONNA | / | / | 92,4 | 74,4 | 74,3 | 74,2 | 74,3 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | non nec. |
| 23 | SEGHEGGIO ALTERNATIVO | BOSCH | GST 85 PBE | 99,5 | 79,0 | 79,7 | 79,6 | 79,4 | 0,4 | 0,7 | 0,2 | 0,7 | NO | 8 a disp. |
| 24 | RUMORE AMBIENTALE 1 | / | / | 90,2 | 70,6 | 70,8 | 70,7 | 70,7 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | non nec. |
| 25 | RUMORE AMBIENTALE 2 | / | / | 102,4 | 74,3 | 74,0 | 74,2 | 74,2 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | non nec. |
| 26 | RUMORE AMBIENTALE 3 | / | / | 90,6 | 70,3 | 70,6 | 70,4 | 70,4 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | non nec. |
| 27 | GRUPPO ELETTROGENO | / | / | 103,2 | 84,0 | 84,3 | 84,1 | 84,1 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | NO | 12 a disp. |
| 28 | MARTELLO DEMOLITORE | HILTI | TE 905 AVR | 109,4 | 91,5 | 92,0 | 91,8 | 91,8 | 0,3 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | SI | 19 |
| 29 | MINI ESCAVATORE | KOMATSU | PC 16R - 3HS | 94,5 | 80,3 | 80,7 | 79,9 | 80,3 | 0,4 | 0,7 | 0,2 | 0,7 | NO | 9 a disp. |
| 30 | AUTOGRU | / | / | 88,3 | 80,2 | 79,6 | 79,8 | 79,9 | 0,3 | 0,7 | 0,2 | 0,7 | NO | 8 a disp. |
| 31 | MOTOSEGA | HUSQVARNA | 42 | 106,5 | 99,3 | 98,9 | 99,1 | 99,1 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | SI | 27 |

VALUTAZIONE ESEGUITA

La seguente valutazione riprende alcune informazioni della tabella delle misure come le informazioni sulle attrezzature. Nella tabella 2 viene inserito il tempo di esposizione del lavoratore (riportato in minuti), questo dato è molto importante per il calcolo e per definire poi l'incidenza che ha l'attrezzatura sull'apparato uditivo. Il dato è stato ricavato da un'analisi eseguita con il datore di lavoro e con un lavoratore; si è cercato di ricostruire la giornata tipo più ricorrente. All'interno della colonna seguente vengono calcolate le incertezze sui tempi di esposizione e sul livello di esposizione personale quotidiano. Grazie ai valori d'incertezza si ottengono i valori di esposizione che incidono sul lavoro per quanto riguarda il picco e il livello equivalente. All'interno della penultima colonna viene riportato, nella riga corrispondente all'attrezzatura che necessita, il valore di abbattimento del rumore che devono possedere gli otoprotettori in riferimento anche al tempo di utilizzo. Infine, vengono riportate la quantità in decibel che si ottiene utilizzando correttamente le protezioni individuali indicate.

Tabella 2: Tabella esposizione giornaliera di un muratore

| MURATORE | | | | | | | | | | |
|----------|--------------------------|-----------|--------------|-----------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|------------------------------------|
| N° mis. | CATEGORIA | MARCA | MODELLO | T di esp. | INCERTEZZE | | P _{peak} dB(C) | L _{Aeq,Ti} dB(A) | SNR | L' _{Aeq,Ti} dB(A) CON DPI |
| | | | | | ε _{Ti} | ε _{A (L_{Aeq,Ti})} | | | | |
| 1 | AVVITATORE ELETTRICO | MAKITA | 6317 D | 20 | 0,8 | 0,7 | 86,7 | 80,4 | | 80,4 |
| 2 | TRAPANO ELETTRICO | BOSCH | GSB20-2RE | 20 | 0,8 | 0,7 | 101,5 | 87,8 | 23 | 71,8 |
| 3 | SMERIGLIATRICE PORTATILE | MAKITA | GA4530 | 10 | 0,4 | 0,7 | 100,6 | 87,7 | 23 | 71,7 |
| 4 | AVVITATORE A BATTERIA | MAKITA | DF330DWE | 15 | 0,6 | 0,7 | 96,7 | 70,5 | | 70,5 |
| 5 | SEGA CIRCOLARE DA BANCO | MAKITA | / | 5 | 0,2 | 0,7 | 98,9 | 84,8 | | 84,8 |
| 6 | AVVITATORE PNEUMATICO | OBER | / | 10 | 0,4 | 0,7 | 102,8 | 84,5 | | 84,5 |
| 7 | IDROPULTRICE | CLEAN | / | 60 | 2,4 | 0,7 | 94,9 | 79,6 | | 79,6 |
| 8 | MOLATRICE FISSA | / | / | 10 | 0,4 | 0,7 | 89,7 | 72,4 | | 72,4 |
| 9 | TRAPANO A COLONNA | / | / | 10 | 0,4 | 0,7 | 92,4 | 74,3 | | 74,3 |
| 10 | SEGHETTO ALTERNATIVO | BOSCH | GST 85 PBE | 10 | 0,4 | 0,7 | 99,5 | 79,4 | | 79,4 |
| 11 | RUMORE AMBIENTALE 1 | / | / | 60 | 2,4 | 0,7 | 90,2 | 70,7 | | 70,7 |
| 12 | RUMORE AMBIENTALE 2 | / | / | 60 | 2,4 | 0,7 | 102,4 | 74,2 | | 74,2 |
| 13 | RUMORE AMBIENTALE 3 | / | / | 60 | 2,4 | 0,7 | 90,6 | 70,4 | | 70,4 |
| 14 | GRUPPO ELETTROGENO | / | / | 30 | 1,2 | 0,7 | 103,2 | 84,1 | | 84,1 |
| 15 | MARTELLO DEMOLITORE | HILTI | TE 905 AVR | 45 | 1,8 | 0,7 | 109,4 | 91,8 | 23 | 75,8 |
| 16 | MINI ESCAVATORE | KOMATSU | PC 16R - 3HS | 30 | 1,2 | 0,7 | 94,5 | 80,3 | | 80,3 |
| 17 | AUTOGRU | / | / | 15 | 0,6 | 0,7 | 88,3 | 79,9 | | 79,9 |
| 18 | MOTOSEGA | HUSQVARNA | 42 | 10 | 0,4 | 0,7 | 106,5 | 99,1 | 23 | 83,1 |

Durata dell'esposizione a rumore (min./giorno) 480

Tempo di riferimento **480** = 8 ore/giorno

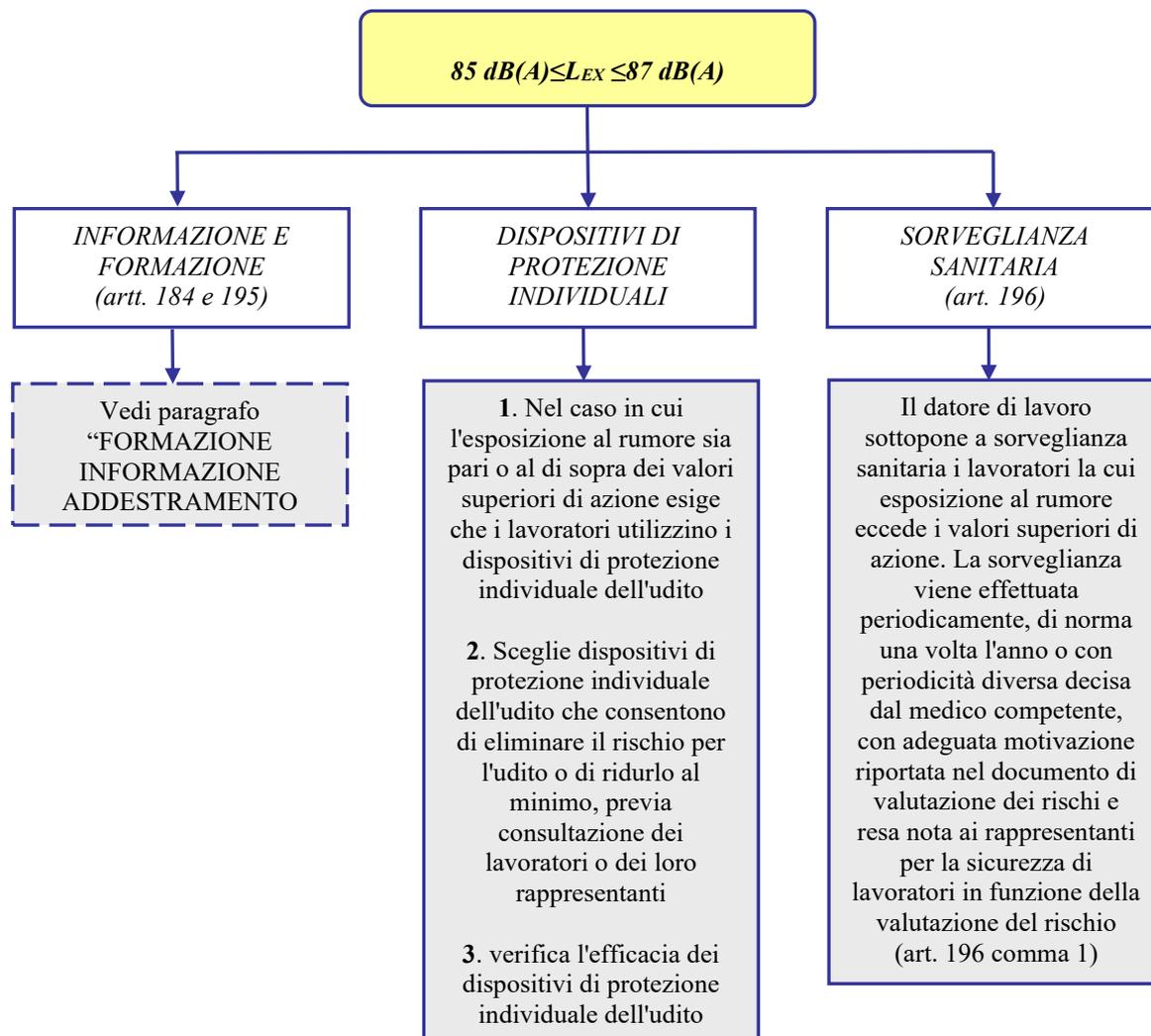
| Risultati della valutazione effettuata | | | | |
|---|---------------------------|--------------|------------------|---|
| Livello di esposizione giornaliera a rumore: | $L_{EX,8h}$ | 86,1 | | dB(A) |
| Incertezza ambientale: | ϵ_A | 0,40 | | dB(A) |
| Incertezza strumentale: | ϵ_S | 0,70 | | dB(A) |
| Incertezza complessiva: | $\epsilon_{LEX,8h}$ | 0,81 | | dB(A) senza DPI |
| Livello di esposizione giornaliera a rumore effettivo: | $L_{EX,8h(\epsilon)}$ | 86,1 | \pm 0,8 | dB(A) |
| Livello di esposizione giornaliera a rumore massimo: | $L_{EX,8h(\epsilon) MAX}$ | 86,9 | | dB(A) |
| Livello di pressione acustica di picco: | ppeak | 109,4 | | dB(C) |
| A favore della sicurezza si ritiene utile riportare nel seguito il livello di esposizione con l'impiego dei D.P.I. per tutte le lavorazioni il cui livello ecceda gli 85 dB(A); tali lavorazioni sono riferite alla colonna "SNR" recante il valore di attenuazione. In ogni caso si tiene sempre conto dell'attenuazione prodotta dagli otoprotettori qualora il $L_{EX,8h(\epsilon) MAX}$ sia > di 87 dB(A) e/o il massimo del ppeak sia > di 140 dB(C). | | | | |
| Livello di esposizione giornaliera a rumore: | $L_{EX,8h}$ | 78,4 | | dB(A) |
| Livello di esposizione giornaliera a rumore effettivo: | $L_{EX,8h(\epsilon)}$ | 78,4 | \pm 0,8 | dB(A) con DPI  |
| Livello di esposizione giornaliera a rumore massimo: | $L_{EX,8h(\epsilon) MAX}$ | 79,2 | | dB(A) |
| Livello di pressione acustica di picco: | ppeak | 109,4 | | dB(C) |
| Valutazione dell'attuazione prodotta dagli otoprotettori MURATORE | | | | |
| Livello di esposizione con impiego dei D.P.I. | | 79,2 | | dB(A) |
| Attenuazione otoprotettori (S.N.R.) | | 23 | | dB(A) ACCETTABILE |

Riportando i valori in sintesi, dalla valutazione emerge che i lavoratori rientrano nella fascia di **RISCHIO ALTO** che corrisponde all'intervallo: **85 dB(A) < L_{EX} < 87 dB(A)** e/o **137 dB(C) < P_{PEAK} < 140 dB(C)**

| Gruppo | Mansione individuata | $L_{EX,8h}$ | P_{PEAK} |
|--------|----------------------|-------------------------------|--------------|
| 01 | MURATORE | 86,9 79,2(*) | 109,4 |

(*) Valore con l'utilizzo dei DPI.

Obblighi del Datore di lavoro



Dallo schema qui indicato, si nota come l'importanza della salute di un lavoratore è al primo posto e, in questo caso, debba essere nominato un medico competente che effettuerà la visita in riferimento ai rischi riscontrati. In questo caso il rischio rumore, generalmente il rischio rumore va pari passo con il rischio vibrazioni.

Obblighi del lavoratore

Dal D.lgs 81/2008 art. 20 derivano i seguenti obblighi per i lavoratori:

1. Ogni lavoratore deve prendersi cura della propria salute e sicurezza e di quella delle altre persone presenti sul luogo di lavoro, su cui ricadono gli effetti delle sue azioni o omissioni, conformemente alla sua formazione, alle istruzioni e ai mezzi forniti dal datore di lavoro.
2. I lavoratori devono in particolare:
 - a) contribuire, insieme al datore di lavoro, ai dirigenti e ai preposti, all'adempimento degli obblighi previsti a tutela della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro;
 - b) osservare le disposizioni e le istruzioni impartite dal datore di lavoro, dai dirigenti e dai preposti, ai fini della protezione collettiva ed individuale;
 - c) utilizzare correttamente le attrezzature di lavoro, le sostanze e i preparati pericolosi, i mezzi di trasporto, nonché i dispositivi di sicurezza;
 - d) utilizzare in modo appropriato i dispositivi di protezione messi a loro disposizione;**
 - e) segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei mezzi e dei dispositivi di cui alle lettere c) e d), nonché qualsiasi eventuale condizione di pericolo di cui vengano a conoscenza, adoperandosi direttamente, in caso di urgenza, nell'ambito delle proprie competenze e possibilità e fatto salvo l'obbligo di cui alla lettera f) per eliminare o ridurre le situazioni di pericolo grave e incombente, dandone notizia al rappresentante dei lavoratori per la sicurezza;
 - f) non rimuovere o modificare senza autorizzazione i dispositivi di sicurezza o di segnalazione o di controllo;
 - g) non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non sono di loro competenza ovvero che possono compromettere la sicurezza propria o di altri lavoratori;
 - h) partecipare ai programmi di formazione e di addestramento organizzati dal datore di lavoro;**
 - i) sottoporsi ai controlli sanitari previsti dal presente decreto legislativo o comunque disposti dal medico competente.**
3. (omissis)

Soluzioni per migliorare l'ambiente lavorativo per i lavoratori e i cittadini

Miglioramento per i lavoratori

Vista l'analisi eseguita che vede gli operatori molto esposti al rischio rumore e comportare futuri problemi per quanto riguarda l'apparato uditivo del singolo ma anche del collettivo. È bene optare a delle misure:

- in primo luogo “non invasive”, questo comporta che il datore di lavoro, o preposto, deve provvedere a tenere in ottime condizioni le attrezzature di lavoro facendo loro la normale manutenzione e nel caso di rotture o problemi di funzionamento la riparazione presso un centro autorizzato o la sostituzione;
- tra le misure che potremmo chiamare “non invasive”, sempre a cura del datore di lavoro principalmente, deve monitorare l'offerta delle diverse aziende produttrici delle attrezzature utilizzate e sostituire i propri attrezzi/mezzi con quelli di ultima generazione. È possibile rimanere aggiornati delle novità, riguardanti l'ambito di applicazione, attraverso il rivenditore di fiducia e/o grandi magazzini, tecnico che effettua la valutazione o alla partecipazione di fiere di settore.

Per verificare l'efficacia di uno strumento di lavoro in fase di acquisto è bene informarsi il più possibile su di esso e leggere con attenzione le sue caratteristiche e questo permette di verificare se ciò che si sta comprando è più o meno efficace, in termine di rumore prodotto ma anche per la lavorazione da eseguire.

In caso si abbiano le ultime novità o i prodotti proposti dal mercato sono equiparabili con l'attrezzatura che già si possiede, in certe lavorazioni dell'edilizia non è possibile agire sull'efficienza dell'attrezzo utilizzato perché il riguarda anche il materiale e l'ambiente di lavoro. Per cui è necessario utilizzare dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) che riescono ad attenuare il rumore prodotto prima che arrivi al timpano. Questo permette di abbassare l'intensità dei decibel e renderli accettabili per un orecchio umano. I dispositivi si dividono in due macro categorie: i così detti tappi, che possono essere classici ossia separati o ad archetto (Figura 5), in alternativa ci sono le cuffie (Figura)



Figura 11: Tappi monouso ¹⁰



Figura 12: Cuffie ¹¹

Misure di prevenzione e protezione da adottare

| Misura di prevenzione e protezione | Azione | | |
|--|---|---|--------------------|
| a) Scelta di attrezzature di lavoro adeguate, tenuto conto del lavoro da svolgere, che emettano il minor rumore possibile, inclusa l'eventualità di rendere disponibili ai lavoratori attrezzature di lavoro conformi ai requisiti di cui al titolo III, il cui obiettivo o effetto è di limitare l'esposizione al rumore. | <i>Dovrà essere valutato il livello di produzione di rumore in sede di acquisto per le nuove macchine ed attrezzature da inserire nel ciclo di lavoro; a tal proposito sarà opportuno raccogliere i dati provenienti dai libretti d'uso delle attrezzature. La scelta dovrà essere orientata verso le attrezzature che producono meno rumore.</i> | | |
| | Priorità | Periodo scadenza | Persona incaricata |
| | MEDIA | Preventivamente a ogni acquisto | Datore di Lavoro |
| b) Adeguata informazione, formazione e addestramento dei lavoratori sull'uso corretto e sicuro delle attrezzature di lavoro, in modo da ridurre al minimo la loro esposizione a rumore. | <i>Dovrà essere previsto uno specifico corso di formazione ed informazione secondo quanto previsto dagli artt. 185 e 194.</i> | | |
| | Priorità | Periodo scadenza | Persona incaricata |
| | ALTA | Secondo quanto previsto dalla normativa vigente | Datore di Lavoro |
| c) Adeguati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro e dei sistemi sul luogo di lavoro. | <i>Dovrà essere istituito un registro delle manutenzioni di macchine ed attrezzature con indicazioni degli interventi manutentivi e del limite di ore di funzionamento oltre le quali è necessario procedere alla sostituzione dell'attrezzatura.</i> | | |
| | Priorità | Periodo scadenza | Persona incaricata |
| | MEDIA | 6 MESI | Datore di Lavoro |

¹⁰ <https://www.kapriol.com/fr/>

¹¹ <https://www.lucanautensili.com>

Miglioramento per i cittadini

Un cantiere come visto in precedenza può essere di molteplici tipologie, varia per la sua durata e per le lavorazioni che devono essere svolte.

L'azione di contenimento del rumore dipende dal contesto. In un cantiere all'interno di un edificio è bene isolare l'ambiente di lavoro in cui verrà prodotto un livello elevato di rumore, cercando di far fare al rumore la maggior strada possibile e inserendo, se possibile, degli ostacoli per esempio chiudendo le porte delle stanze. Questo permette di limitare la propagazione attraverso l'aria, mentre per quanto riguarda la propagazione attraverso un solido, e quindi generare delle vibrazioni che poi si propagano al di fuori di esso generando così un suono, in una fase di lavorazione pesante è pressoché impossibile da contenere. La pratica migliore per non creare problemi ai proprietari/inquilini, vicini o condomini è sicuramente quello di avvisare gli interessati dei giorni e orari in cui i lavori comporteranno un elevato rumore. Si consiglia dunque durante questi momenti di non essere presenti nell'abitazione se è possibile o di rimanere nella stanza più lontana dal punto di lavorazione.

Per quanto riguarda un cantiere a cielo aperto, anche qui è complicato riuscire a diminuire l'esposizione a rumore per le persone non addette alle lavorazioni, ma anche per gli stessi lavoratori in presenza dall'ambiente è molto ampio e all'aperto. Esistono però dei pannelli fonoassorbenti da applicare alle recinzioni di cantiere per limitare ulteriormente alla popolazione, questi pannelli vengono installati in cantieri situati nei centri abitati o quartieri residenziali. Questi pannelli hanno una multipla funzione non solo quella di barriera antirumore ma anche con funzione antipolvere e visiva grazie ai materiali con cui sono costruiti. Sono infatti composti da un materassino in fibra e foderati con un tessuto o con una copertura in pvc.



Figura 13: Pannelli fonoassorbenti da cantiere ¹²

¹² <https://www.cir-ambiente.it/cir-habitat/rapida-pannello-barriere-antirumore-cantiere/>

Conclusioni

Il rumore nei luoghi di lavoro, nel caso in oggetto, all'interno dei cantieri edili è una componente presente continuamente, che può essere causa di molteplici fattori negativi, soprattutto se non presi in considerazione e per tempo.

Dalla valutazione è risultato un valore giornaliero di 86,9 dB che pongono i lavoratori nella fascia di rischio ALTO, in riferimento alla norma. Il valore quindi ricavato dalla valutazione del rischio non è stato focalizzato per definire i sistemi di prevenzione ma per quelli di protezione e quindi cercare di abbassare il più possibile il rischio. Sono stati dunque selezionati i dispositivi di protezione individuali, otoprotettori, con un Rapporto Suono/Rumore (*Signal to Noise Ratio* SNR) di 23, da indossare durante l'utilizzo, sebbene breve, delle seguenti attrezzature: trapano elettrico; smerigliatrice portatile; martello demolitore e motosega. Inoltre, è risultato che all'interno del cantiere è obbligatorio l'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale per la protezione contro il rumore che permettono un abbassamento dei dB e quindi un rischio accettabile.

La valutazione inoltre, come da normativa necessita di un aggiornamento massimo quadriennale o in caso di significativa modifica delle attrezzature utilizzate dai lavoratori.

Bibliografia e Sitografia

TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO - D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81

Legge 26 ottobre del 1995 n. 447 “*Legge Quadro sull’Inquinamento Acustico*”.

DPCM 14/11/97 “*Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*”

G. Discalzi, V. Accomazzo, M. Banchio, *Il rumore e le sostanze ototossiche. Lo stato delle conoscenze, le implicazioni operative* da G Ital Med Lav Erg

Martini, Bartholomew, *Elementi di Anatomia, Istologia e Fisiologia dell’uomo*, EdiSES 2007.

L. Alessio, P. Apostoli, *Manuale di medicina del lavoro e igiene industriale*; per Tecnici della Prevenzione, Piccin 2010.

Manuale di buona pratica “*Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro*” ISPESL 2009

<https://it.scribd.com/document/365487797/Mauro-Graziani-Dispense-Acustica-Dinamica>

<http://www.angelfarina.it/Public/Tesi-Jessica-Ferrari/tesi%20ufficiale%20rev%20Farina.odt>

https://www.mauriziogalluzzo.it/cladis_0607/suoni/html/Introduzione%20al%20suono%20e%20alla%20percezione%20del%20bambino.pdf

<https://books.google.com/books?id=TugCEQAAQBAJ>

<https://www.geoapprumore.it/index.php/rumore/addizione-e-sottrazione-dei-livelli-sonori>

<http://www.angelfarina.it/Public/Tesi-Jessica-Ferrari/tesi%20ufficiale%20rev%20Farina.odt>

<https://www.puntosicuro.it/rischio-rumore-C-37/gli-effetti-extra-uditivi-dell-esposizione-al-rumore-AR-12504>

<http://www.cdila.it/cdila/Index?q=object/detail&p= system cms node/ a ID/ v 24>

https://www.unite.it/UniTE/Engine/RAServeFile.php/f/File_Prof/PIERANNUNZI_2302/rumore.pdf

https://www.gestionecondoministintino.it/?page_id=1311

Tabelle

Tabella 1: Tabella delle misure 52

Tabella 2: Tabella esposizione giornaliera di un muratore 53

Figure

Figura 1: Rappresentazione grafica di un suono puro. 10

Figura 2 Grafici di Wegel 13

Figura 3 Grafico clinico 13

Figura 4: Scala dei Decibel (Adattato da) 14

Figura 5: Fonometro 16

Figura 6: Fonometro su cavalletto 16

Figura 7: Dosimetro indossato 16

Figura 8: Dosimetro 16

Figura 9: Struttura dell'apparato uditivo 19

Figura 10: Planimetria di cantiere 46

Figura 11: Tappi monouso 58

Figura 12: Cuffie 58

Figura 13: Pannelli fonoassorbenti da cantiere 59