



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Neuroscienze – DNS

Corso di Laurea Tecniche Audiometriche

Presidente Prof.ssa Rosamaria Santarelli

**STRUMENTI E APPROCCI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO  
RUMORE IN AMBIENTE LAVORATIVO**

Relatore: Dott.ssa Federica Baldin

Laureando:

Domenico Amorelli

2048373

ANNO ACCADEMICO 2023/24



## **ABSTRACT**

La presente tesi esplora gli strumenti e gli approcci per la valutazione del rischio rumore nell'ambiente lavorativo, focalizzandosi sull'ipoacusia da rumore, una delle principali cause di perdita uditiva negli adulti. Dopo una panoramica sui fondamenti teorici dell'ipoacusia, vengono analizzati i fattori di rischio e i meccanismi di danno uditivo, con particolare attenzione all'importanza della prevenzione e della valutazione del rischio.

In seguito, viene esaminata la normativa italiana, con un focus sul decreto legislativo 81/08, che regola la prevenzione della perdita uditiva nei luoghi di lavoro e stabilisce gli obblighi per datori di lavoro e lavoratori. Vengono descritti i metodi di misurazione del rumore ambientale e il ruolo del tecnico audiometrista, evidenziando l'importanza degli esami audiometrici per la diagnosi precoce.

La tesi sottolinea la necessità di strategie preventive efficaci per proteggere la salute uditiva e migliorare la qualità della vita dei lavoratori. Infine, viene proposta un'interpretazione dei risultati audiometrici attraverso i criteri di Merluzzi Pira Bosio, evidenziando l'importanza di una gestione completa del rischio rumore.



## INDICE

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>pag.3</b>
---------------------------	--------------

### **CAPITOLO 1: FONDAMENTI TEORICI SU L'IPOACUSIA DA RUMORE**

1.1 Importanza della valutazione del rischio rumore .....	pag.5
1.2 Definizione e caratteristiche dell'ipoacusia da rumore .....	pag.13
1.3 Fattori di rischio e meccanismi di danno uditivo .....	pag.19

### **CAPITOLO 2: NORMATIVE E REGOLAMENTI IN MATERIA**

2.1 Contestualizzazione del problema della sordità da rumore nell'ambiente lavorativo .....	pag.24
2.2 Analisi del Decreto Legislativo 81/08 in relazione alla prevenzione della sordità o perdite dell'udito nei luoghi di lavoro .....	pag.32
2.3 Implicazioni sulla salute e sulla qualità della vita dei lavoratori.....	pag.35
2.4 Obblighi del datore di lavoro e diritti dei lavoratori.....	pag.37

### **CAPITOLO 3: METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE**

3.1 Approcci e strumenti per la misurazione del rumore ambientale .....	pag.40
3.1.1 Il fonometro .....	pag.44
3.2 Ruolo del tecnico audiometrista e delle sue competenze nella valutazione del rischio rumore.....	pag.49
3.3 Esami audiometrici e classificazione del danno uditivo.....	pag.52
3.4 Interpretazione dei risultati degli esami attraverso i criteri di Merluzzi Pira Bosio.....	pag.54

<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>pag.62</b>
--------------------------	---------------

### **BIBLIOGRAFIA**

## **TABELLE**

Tabella 1 - Caratteristiche audiometriche del trauma acustico cronico ..... pag.8

## **FIGURE**

Figura 1: Categorizzazione dei livelli di sordità in conformità con le specifiche del international bureau for audiophonology .....pag.9

Figura 2: Normoacusia ..... pag.11

Figura 3: Ipoacusia trasmissiva monolaterale ..... pag.12

Figura 4: Ipoacusia trasmissiva bilaterale ..... pag.13

Figura 5: Rischi derivanti da agenti fisici..... pag.20

Figura 6: Scala del rumore in relazione alla sensibilità uditiva..... pag.21

Figura 7: Tabelle dei deficit uditivi per età e sesso ..... pag.60

## INTRODUZIONE

In tutto il mondo, molte persone affrontano quotidianamente una perdita dell'udito, causata da diverse ragioni come l'esposizione al rumore, difetti genetici, complicazioni alla nascita, malattie infettive, otiti croniche, farmaci dannosi e l'invecchiamento. Si stima che oltre la metà di questi casi potrebbero essere prevenuti, soprattutto riducendo l'esposizione al rumore.

L'effetto del rumore sull'udito dipende dal volume e dalla durata dell'esposizione, con il rischio di danni permanenti se superati certi limiti critici.

Diversi fattori, inclusa la suscettibilità individuale e l'età, influenzano la gravità del danno, mentre eventi improvvisi come esplosioni possono causare danni uditivi irreversibili.

Le trasformazioni sociali stanno aumentando l'esposizione al rumore, sia sul lavoro che durante le attività ricreative, come l'uso diffuso di lettori musicali personali. Ciò mette sempre più giovani a rischio di perdita uditiva, soprattutto dall'uso frequente di cuffie ad alto volume.

Il rumore sul lavoro è la causa principale di perdita uditiva negli adulti, ma può essere mitigato con dispositivi di protezione uditiva e programmi di prevenzione.

La perdita uditiva è un problema di salute pubblica sempre più rilevante a livello globale, con milioni di individui affetti da questa condizione.

Questo problema non solo impatta sulla qualità della vita degli individui ma ha anche conseguenze significative sul sistema sanitario e sulla società nel suo complesso.

Attraverso questo lavoro, si mira a comprendere meglio l'entità del problema della perdita uditiva legata al rumore e a identificare le migliori strategie preventive per affrontarlo.

La scelta di questo argomento è motivata dalla crescente consapevolezza dell'importanza della salute uditiva nei contesti lavorativi, dove l'esposizione prolungata al rumore può causare danni permanenti all'udito.

Attraverso l'analisi dei fondamenti teorici sull'ipoacusia da rumore e l'esame delle normative e dei regolamenti in materia, la tesi si propone di fornire una panoramica completa sul contesto normativo e sulle implicazioni sulla salute e sulla qualità della vita dei lavoratori.

Inoltre, esplora le metodologie di valutazione del rischio rumore, focalizzandosi sugli approcci e gli strumenti utilizzati per misurare il rumore ambientale e sull'importanza del ruolo del tecnico audiometrista nella valutazione del rischio.

Il primo capitolo si concentra sui fondamenti teorici dell'ipoacusia da rumore, esaminando l'importanza della valutazione del rischio rumore, definendo le caratteristiche dell'ipoacusia da rumore e analizzando i fattori di rischio e i meccanismi di danno uditivo.

Nel secondo capitolo, vengono esplorate le normative e i regolamenti in materia, contestualizzando il problema della sordità da rumore nell'ambiente lavorativo.

Viene approfondito il Decreto Legislativo 81/08 e le sue implicazioni sulla salute e sulla qualità della vita dei lavoratori, nonché gli obblighi del datore di lavoro e i diritti dei lavoratori in relazione alla prevenzione della sordità o perdite dell'udito nei luoghi di lavoro.

Il terzo capitolo si concentra sulle metodologie di valutazione del rischio rumore, esaminando approcci e strumenti per la misurazione del rumore ambientale.

Viene analizzato il ruolo del tecnico audiometrista e delle sue competenze nella valutazione del rischio rumore, insieme agli esami audiometrici e alla classificazione del danno uditivo. Infine, viene esaminata l'interpretazione dei risultati degli esami attraverso i criteri di Merluzzi Pira Bosio.

Per affrontare queste tematiche, verranno condotte ricerche approfondite utilizzando una varietà di fonti attendibili.

Queste includono pubblicazioni accademiche, banche dati scientifiche, rapporti delle organizzazioni sanitarie e istituzioni specializzate nell'udito, nonché testi di medicina dell'udito e audiologia, selezionando materiali che offrono una prospettiva completa sull'argomento, integrando studi recenti, dati statistici e linee guida cliniche.

La scelta dei materiali è stata guidata dalla necessità di ottenere informazioni aggiornate e affidabili per supportare il lavoro.

La conclusione della tesi mira a sintetizzare l'importanza di adottare efficaci strategie di valutazione del rischio rumore nei luoghi di lavoro al fine di proteggere la salute uditiva dei lavoratori e promuovere un ambiente lavorativo sicuro e salutare.

Tuttavia, si sottolinea che il tema trattato è estremamente ampio e complesso, suggerendo la necessità di ulteriori analisi e approfondimenti per affrontare in modo completo questa importante tematica.



## **CAPITOLO 1: FONDAMENTI TEORICI SULL'IPOACUSIA DA RUMORE**

### **1.1 Importanza della valutazione del rischio rumore**

In tutto il mondo, si stima che circa 360 milioni di persone convivono con una riduzione dell'udito da moderata a grave causata da diverse ragioni, come esposizione al rumore, difetti genetici, complicanze alla nascita, malattie infettive, otiti croniche, uso di farmaci dannosi per l'udito e invecchiamento. Oltre la metà di questi casi potrebbero essere prevenuti, soprattutto l'esposizione al rumore [1].

L'impatto del rumore sull'udito dipende dal livello sonoro e dalla durata dell'esposizione, con il rischio di danni permanenti se si superano certi limiti [2]. Vari fattori, come la suscettibilità individuale, l'età e le condizioni dell'orecchio, influenzano il grado di danno. Anche eventi improvvisi, come un'esplosione, possono provocare danni uditivi irreversibili se il rumore è sufficientemente intenso.

I cambiamenti della società stanno portando ad un aumento dell'esposizione al rumore, sia sul luogo di lavoro che durante le attività ricreative come l'uso di lettori musicali personali. Un numero sempre maggiore di giovani si trova a rischio di perdita dell'udito a causa dell'abitudine di utilizzare le cuffie per ascoltare la musica ad alti volumi. Secondo Imam e Hannan [3], le persone che sono esposte a suoni superiori a 89 dB per più di 5 ore alla settimana potrebbero subire danni permanenti all'udito nel lungo termine.

Il rumore professionale è la causa più comune di perdita uditiva negli adulti, considerata attualmente incurabile. L'approccio preventivo migliore che si può adottare è l'utilizzo dei dispositivi di protezione più adatti. Un efficace programma di prevenzione dell'esposizione al rumore include l'individuazione delle fonti di rumore, l'attuazione di misure di controllo e normative nei luoghi di lavoro, oltre alla realizzazione di screening audiologici regolari per i lavoratori che operano in ambienti rumorosi.

Oltre al rumore forte, esistono diversi altri fattori di rischio, alcuni modificabili e altri non, che potrebbero contribuire alla progressione della perdita dell'udito causata dal rumore. I fattori modificabili includono il fumo, il diabete e la mancanza di attività fisica, mentre quelli non modificabili sono l'età e la predisposizione genetica. Questi fattori possono agire in sinergia con il rumore, accelerando il deterioramento dell'udito [4].

Secondo alcuni studiosi [5], i generi diversi rispondono quasi allo stesso modo al rumore, ma il genere influisce sui comportamenti acustici di assunzione di rischi: gli uomini si impegnano in attività rumorose significativamente più ad alto rischio rispetto alle donne. Inoltre, le donne sarebbero più protette dal danno uditivo a causa della presenza degli ormoni, in particolare degli estrogeni.

Secondo uno studio condotto negli Stati Uniti l'esposizione al rumore sul luogo di lavoro è uno dei rischi più diffusi [6].

La sovraesposizione ripetuta al rumore, pari o superiore a 85 dBA, può portare a problemi di udito permanenti, acufeni e difficoltà nella comprensione del discorso in ambienti rumorosi. Attualmente, circa 22 milioni di lavoratori negli Stati Uniti sono esposti a livelli pericolosi di rumore sul luogo di lavoro. Il 33% degli adulti in età lavorativa con una storia di esposizione al rumore presenta segni di danno all'udito, mentre il 16% dei lavoratori esposti ha una diagnosi di ipoacusia. I settori minerario, edile e manifatturiero hanno la più alta prevalenza di esposizione al rumore e perdita dell'udito, ma c'è rischio di danno uditivo in ogni settore.

La perdita dell'udito indotta dal rumore può essere evitata attraverso una maggiore comprensione dei processi biologici che causano danni uditivi da rumore, un programma di sensibilizzazione sull'importanza della prevenzione e un piano di interventi per contrastare l'idea diffusa che il rumore non rappresenti una minaccia per la salute dei lavoratori, un problema spesso accettato come una conseguenza inevitabile.

In Italia, nelle statistiche assicurative dell'INAIL, la voce "ipoacusia da rumore/trauma acustico" è una delle patologie professionali più frequentemente segnalate, ma con una tendenza al ribasso. Per determinare se un'ipoacusia sia di origine professionale, è necessario dimostrare che il deficit uditivo sia stato causato dal lavoro e che abbia provocato un danno permanente all'udito.

Questa malattia è inclusa sia nell'elenco delle malattie che devono essere obbligatoriamente denunciate in base all'articolo 139 del D.P.R. 1124/1965 (Lista I - malattie con alta probabilità di origine lavorativa) sia nelle tabelle INAIL delle malattie professionali nel settore industriale e agricolo per il riconoscimento assicurativo (D.M. 9 aprile 2008).

Secondo la banca dati Inail, l'ipoacusia da rumore ha mostrato un lieve calo nei casi riconosciuti negli ultimi anni.

I settori edile e metalmeccanico sono i più colpiti, rappresentando oltre il 60% dei casi, seguiti dalla trasformazione di minerali non metalliferi, dalle attività dei servizi e dalla lavorazione del legno.

L'ipoacusia da rumore, nonostante sia diminuita notevolmente negli ultimi vent'anni, rimane ancora una delle malattie professionali più comuni nell'industria.

Alla fine del XX secolo, comparando i dati europei, essa risultava essere la principale causa di malattia professionale in Italia, Germania, Austria e Portogallo, la seconda causa in Svizzera e la terza in Danimarca, Spagna e Francia. Nel complesso, l'80% delle segnalazioni di ipoacusia provenivano da quattro settori: industria metalmeccanica, edilizia, industria estrattiva e industria del legno, con numeri inferiori per l'industria tessile e chimica.

Nell'ultimo decennio, i dati europei indicano che le patologie muscoloscheletriche sono al primo posto, con valori che superano anche la metà dei casi rilevati annualmente, mentre le ipoacusie da rumore mostrano un andamento decrescente ovunque.

In Italia, i casi di ipoacusia da rumore accertati positivi da parte dell'INAIL sono diminuiti da 2730 nel 2011 a 1923 nel 2016. Questo calo delle ipoacusie da rumore non è osservato, invece, nelle nazioni di più recente industrializzazione, dove l'esposizione a elevati livelli di rumore è ancora significativa [7].

Il trauma acustico cronico è una condizione patologica evitabile che può essere prevenuta attraverso un adeguato programma che includa prevenzione ambientale, organizzativa, sorveglianza sanitaria, protezione individuale, informazione e formazione.

La sorveglianza sanitaria riveste un ruolo cruciale nel garantire il corretto funzionamento di qualsiasi programma, anche se non è necessariamente la priorità principale. Tuttavia, quando condotta singolarmente, rischia di perdere gran parte della sua efficacia, trasformandosi in un semplice compimento formale delle normative di settore. È solo quando inserita in un contesto più ampio che la sorveglianza sanitaria diventa uno strumento essenziale per valutare i rischi, quantificare i danni e monitorare l'efficacia delle misure preventive adottate.

In questo contesto, l'esame audiometrico emerge come una pratica di fondamentale importanza. Questo test può risultare estremamente utile nell'identificare precocemente un deficit uditivo causato dall'esposizione al rumore, consentendo interventi tempestivi che

potrebbero limitare o addirittura invertire il danno iniziale. Inoltre, l'audiometria fornisce un metodo affidabile per documentare l'evoluzione di danni uditivi permanenti nel tempo. Oltre al suo ruolo nella diagnosi precoce e nel monitoraggio del danno uditivo da rumore, l'audiometria può essere altrettanto preziosa nella diagnosi di altre patologie uditive non correlate al rumore. Inoltre, attraverso la quantificazione dell'inabilità correlata al danno uditivo, questo esame fornisce un quadro chiaro e obiettivo delle conseguenze fisiche dell'esposizione a fonti di rumore dannose.

Integrare l'esame audiometrico all'interno di un programma di sorveglianza sanitaria più ampio rappresenta, dunque, un passo fondamentale per garantire la salute e il benessere dei lavoratori, consentendo non solo la prevenzione e la gestione precoce dei danni uditivi, ma anche la diagnosi e il trattamento tempestivo di altre condizioni uditive.

Come è noto, la diagnosi dell'ipoacusia da rumore si basa, oltre all'anamnesi lavorativa, sulle caratteristiche del tracciato audiometrico rilevato (Tabella 1).

Tabella 1 - Caratteristiche audiometriche del trauma acustico cronico

Ipoacusia neurosensoriale.
Tipicamente bilaterale e simmetrica.
Iniziale "incisura" dell'audiogramma alla frequenza di 3000, 4000 o 6000 Hz, con risalita a 8000 Hz.
Successivo interessamento delle frequenze adiacenti, se l'esposizione a rumore perdura, mantenendo la risalita a 8000 Hz.
Localizzazione precisa della "incisura" dipendente da fattori multipli, tra cui frequenza del rumore e dimensioni del condotto uditivo esterno.
Danno uditivo provocato solo dal rumore generalmente non superiore a 75 dB per le alte frequenze e 40 dB per quelle medio-basse.
Evoluzione dell'ipoacusia molto rapida nei primi 10-15 anni di esposizione a rumore, cui fa seguito un notevole rallentamento.

Fonte: Innocenti *et al.*, 2020

La corretta esecuzione dell'esame audiometrico gioca un ruolo essenziale nel determinare se l'ipoacusia sia causata dall'esposizione professionale al rumore.

Questo tipo di esame è non invasivo, veloce e conveniente, rimane ancora insostituibile nella sorveglianza della salute dei lavoratori. Al contrario, altre tecniche proposte per la

rilevazione precoce del danno all'udito, come le emissioni otoacustiche, non sono risultate affidabili nei soggetti esposti al rumore a causa di una bassa specificità.

È importante sottolineare che l'audiometria richiede la piena collaborazione del paziente per ottenere risultati accurati. Pertanto, è fondamentale che venga eseguita secondo standard elevati di buona pratica [8].

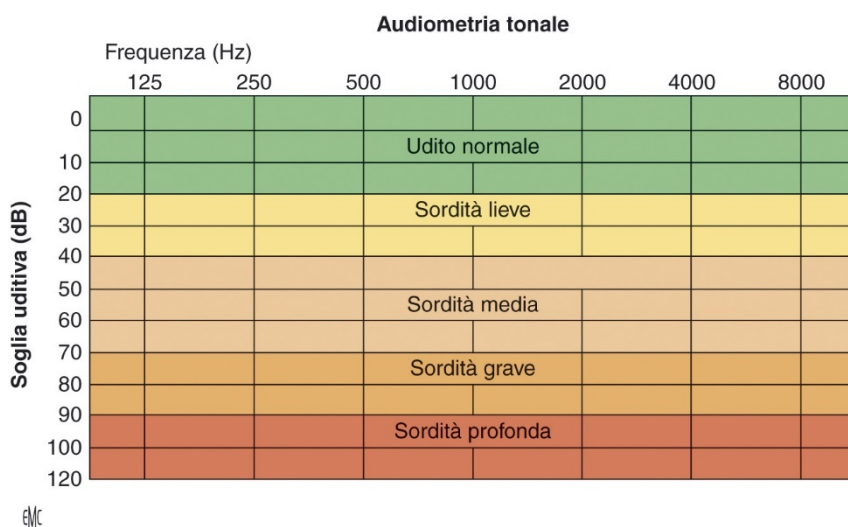
Il grado (gravità) della perdita uditiva viene calcolato a partire dall'audiogramma tonale facendo la media della perdita uditiva in decibel (dB hearing level [HL]) per suoni di frequenza 500, 1 000, 2 000 e 4 000 Hz (International Bureau for Audiophonology) (Figura 1).

L'udito è considerato normale per l'orecchio esaminato se la media (o soglia) è compresa tra 0 e 20 dB HL.

Se la soglia è superiore a 20 dB HL, la sordità è classificata in:

- lieve: deficit di 21-40 dB;
- media: deficit di 41-70 dB;
- grave: deficit di 71-90 dB;
- profonda: deficit di 91-119 dB;
- ° primo grado: 91-100 dB
- ° secondo grado: 101-110 dB
- ° terzo grado: 111-119 dB.

Figura 1: Categorizzazione dei livelli di sordità in conformità con le specifiche del International Bureau for Audiophonology



Fonte: [13] Mosnier, 2024

L'audiogramma rappresenta graficamente il livello uditivo in decibel (dB HL) sull'asse delle ordinate e la frequenza del tono stimolo in cicli per secondo o Hertz (Hz) sull'asse delle ascisse. Nell'interpretazione di un esame audiometrico tonale, è cruciale considerare la gravità del danno uditivo, sia per applicazioni cliniche che medico-legali. È essenziale specificare il grado di sordità sia quantitativamente che qualitativamente.

La classificazione audiometrica proposta dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) del 1980 si basa sulla media delle frequenze 500-1000-2000-4000 Hz, con un limite superiore della normoacusia a 25 dB e una suddivisione dei deficit uditivi tra 40 e 70 dB in due gradi:

- Normoacusia: 0-25 dB
- Ipoacusia lieve: 25-40 dB
- Ipoacusia media: 41-55 dB
- Ipoacusia medio-grave: 56-70 dB
- Ipoacusia grave: 71-90 dB
- Ipoacusia profonda: > 91 dB

È importante distinguere tra diversi tipi di ipoacusia:

- Trasmissiva: soglia uditiva normale per via ossea e aumentata per via aerea, causata da problemi dell'orecchio esterno e medio con funzione normale dell'orecchio interno.
- Neurosensoriale: aumenti simili delle soglie uditiva sia per via aerea che ossea, indicando una funzione normale dell'orecchio esterno e medio associata a problemi all'orecchio interno.
- Mista: aumenti sia per via aerea che ossea, con differenze nel "gap" A-O, indicando un coinvolgimento sia dell'orecchio interno che dell'apparato di trasmissione del suono.

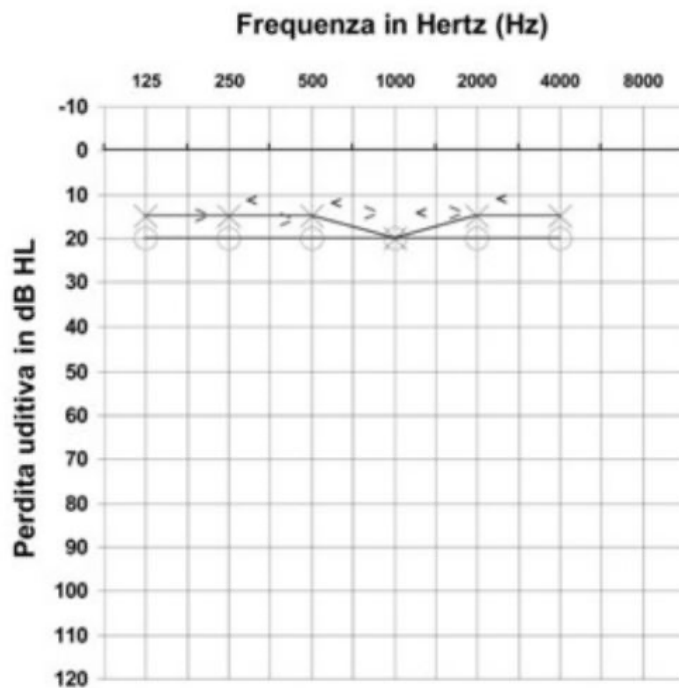
La soglia uditiva tonale può anche essere categorizzata in base alla configurazione audiometrica:

- Pantonale: variazioni di meno di 5 dB in salita o in discesa per ottava.

- In discesa sugli acuti: decremento di 5-12 dB per ottava.
- In ripida discesa sugli acuti: decremento di 13 dB o più per ottava.
- In brusca caduta sugli acuti: variazione pantonale o gradualmente in discesa seguita da una ripida caduta.
- In salita: incremento di 5 dB o più per ottava.
- A “corda molle”: perdita di 20 dB a 1000 Hz e/o 2000 Hz rispetto a 500 Hz e 4000 Hz.

Segue una serie di esempi di tracciati audiometrici tonali con le relative classificazioni [9]. Il referto sarà diviso in due parti: la descrizione dell’audiogramma (referto audiometrico) e le conclusioni cliniche (referto clinico) che permetteranno una migliore valutazione del caso dal punto di vista medico.

Figura 2: Normoacusia

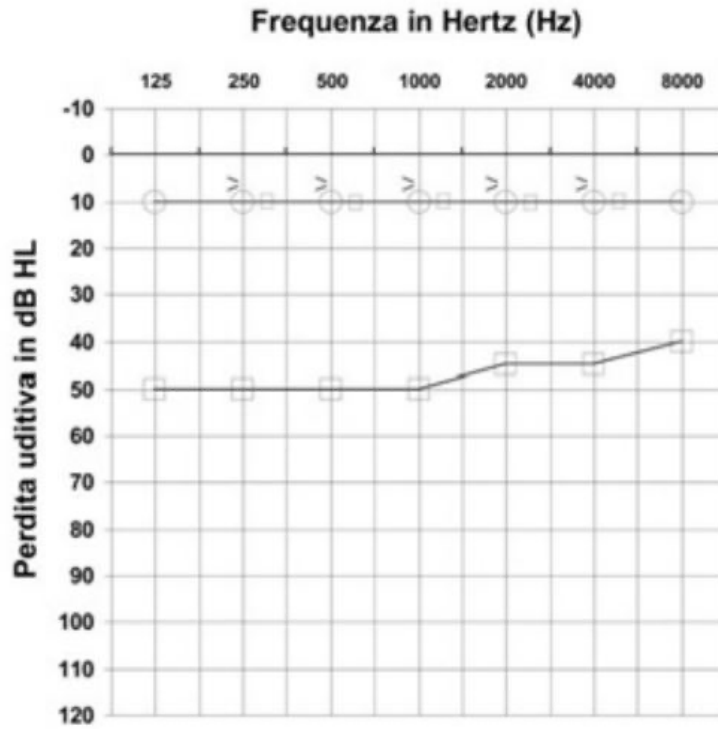


Referto audiometrico: normoacusia bilaterale.

Referto clinico: funzione uditiva nei limiti della norma.

Fonte: Silvano, 2008

Figura 3: Ipoacusia trasmissiva monolaterale

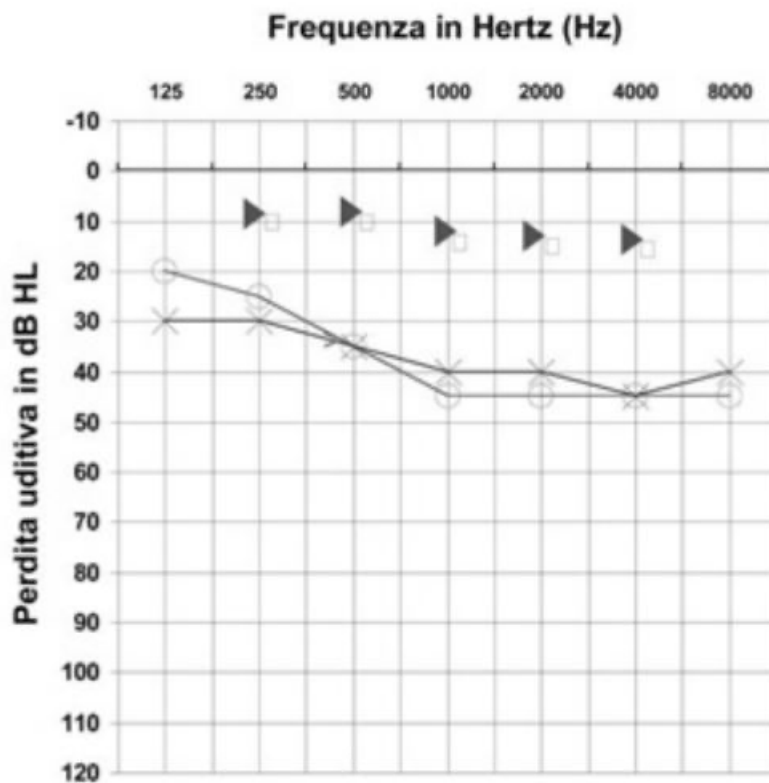


Referto audiometrico: Normoacusia destra. Ipoacusia trasmissiva sinistra di media entità, pantonale. Referto clinico: reperti compatibili con colesteatoma timpanomastoideo sinistro

Fonte: Silvano, 2008



Figura 4: Ipoacusia trasmissiva bilaterale



Referto audiometrico: ipoacusia bilaterale simmetrica di tipo trasmissivo di media entità.

Referto clinico: reperti compatibili con otosclerosi bilaterale.

Fonte: Silvano, 2008

## 1.2 Definizione e caratteristiche dell'ipoacusia da rumore

Fin dai tempi antichi ci si è interrogati sull'impatto del rumore sulla vita quotidiana e sulla salute delle persone. Cicerone e Seneca narrano di come molti abitanti della valle del Nilo avessero problemi di udito a causa del costante frastuono prodotto dalle cascate del fiume. Questo fenomeno non era unicamente limitato all'antico Egitto; già durante l'età del bronzo, come ipotizza Hinchcliffe, potrebbe essersi diffusa la sordità da rumore in altre civiltà.

La problematica del rumore urbano trovò anche riscontro nell'antica Roma, dove Giulio Cesare intervenne con la *Lex Julia Municipalis*, una legge municipale volta a limitare il passaggio dei carri fino a tardi nel pomeriggio. Questa legge non solo dimostra una consapevolezza dell'importanza di mitigare il rumore nella vita urbana, ma suggerisce anche che il problema fosse sufficientemente rilevante da richiedere una regolamentazione ufficiale [10].

Storicamente, il primo tentativo di stabilire un legame causale tra rumore "professionale" e malattia è stato attribuito a Bernardino Ramazzini, un illustre docente della Scuola Padovana vissuto tra il 1633 e il 1714.

Nel 1700, la sua opera "*De morbis artificum diatriba*" fornì una spiegazione patogenetica della sordità dei calderai evidenziando come l'esposizione continua al rumore generato dalle attività lavorative potesse danneggiare irreversibilmente l'udito.

Nel suo trattato, Ramazzini descrisse in dettaglio i rischi per la salute associati a varie professioni e ambienti di lavoro, compresi gli effetti negativi del rumore sulla salute degli operai. Questo lavoro pionieristico rappresentò un punto di svolta nella comprensione delle malattie professionali e nella promozione di misure preventive sul luogo di lavoro.

L'opera di Ramazzini sottolineò l'importanza di identificare e mitigare i rischi legati all'ambiente lavorativo, anticipando i principi moderni della medicina del lavoro e della sicurezza sul lavoro. Il suo contributo ha avuto un impatto duraturo sullo sviluppo delle politiche sanitarie e delle normative sulla sicurezza occupazionale [11].

Prima di definire l'ipoacusia da rumore, è importante dare una definizione di suono e rumore.

Dal punto di vista fisico, il suono è la propagazione di un'energia meccanica in un fluido attraverso onde generate da un corpo in vibrazione [12].

Le onde sonore generate da un corpo in vibrazione in un gas come l'aria sono onde longitudinali di compressione e rarefazione dell'aria, considerate come onde di massa volumica o di pressione. Le funzioni d'onda per le onde sonore includono lo spostamento longitudinale delle molecole di gas rispetto alla loro posizione di equilibrio e variazioni della pressione del gas.

Le caratteristiche fisiche del suono includono la frequenza, misurata in Hertz (Hz), che determina la qualità della nota sonora.

L'orecchio umano è in grado di percepire suoni che vanno da 20 a 20.000Hz [8]. L'intensità dell'energia trasportata dall'onda sonora per unità di superficie nell'unità di tempo è misurabile in decibel (dB). Il timbro è una caratteristica che influisce sulla percezione della variazione di frequenza e ampiezza dell'onda sonora.

Il rumore, definito come una mescolanza non razionale di suoni con diverse frequenze e intensità, può essere anche descritto come qualsiasi suono non desiderato o gradito dal punto di vista psicologico [12].

Il rumore industriale, che può causare danni all'udito e influenzare negativamente la salute generale dei lavoratori, può essere classificato in diverse categorie secondo uno specifico schema:

1. Rumore Continuo: Questo tipo di rumore è costante e uniforme nel tempo, senza variazioni significative nella sua intensità o frequenza. Esempi comuni includono il ronzio di macchinari in funzione o il costante rumore di fondo in ambienti industriali.
2. Rumore Impulsivo: Si tratta di suoni improvvisi e transitori, caratterizzati da picchi di intensità molto elevati seguiti da un rapido calo. Questo tipo di rumore può essere generato, ad esempio, da esplosioni, colpi di martello o dal funzionamento di macchinari che producono rumore intermittente.
3. Rumore Intermittente: È caratterizzato da periodi di silenzio alternati a periodi di rumore più o meno intenso. Questo tipo di rumore può derivare da cicli di lavoro di macchinari o processi industriali che generano rumore solo durante determinati momenti.
4. Rumore a Basso Frequenza: Questo tipo di rumore è caratterizzato da onde sonore con frequenze inferiori a quelle udibili normalmente dall'orecchio umano. Può essere prodotto da macchinari pesanti in movimento o da vibrazioni strutturali.

La classificazione del rumore industriale in queste categorie aiuta a comprendere meglio i suoi effetti sulla salute e a sviluppare strategie di prevenzione e controllo per proteggere i lavoratori esposti a tali rischi.

L'ipoacusia da rumore è una forma di perdita uditiva che colpisce entrambe le orecchie, di solito in modo simmetrico, causata dall'esposizione a rumori ad alta intensità (>80-85 dB[A]) per diverse ore al giorno per lunghi periodi di tempo [14].

La gravità e la progressione delle lesioni uditive dipendono da vari fattori, come l'intensità e la frequenza del rumore, così come dalla sensibilità individuale. In genere, il danno uditivo causato dal rumore colpisce l'orecchio interno.

Esposizioni a livelli estremamente alti di rumore, come esplosioni, possono causare lesioni alla membrana timpanica o alla catena ossiculare a causa del significativo movimento dell'aria. I danni all'udito iniziano nelle cellule ciliate esterne (CCE), provocando principalmente cambiamenti morfologici alle stereociglia.

Inoltre, l'esposizione a rumori intensi porta a stress ossidativo e a un aumento di radicali liberi che possono danneggiare le cellule ciliate esterne, le quali sono particolarmente vulnerabili a tali effetti. I disturbi ionici calcici intracellulari a livello delle cellule ciliate esterne possono innescare la produzione di radicali liberi e potrebbero essere collegati allo sviluppo di sordità legata al rumore.

L'ipoacusia da rumore può essere causata da un trauma acustico acuto o cronico [2].

Un trauma acustico acuto si verifica quando viene rilevata un'ipoacusia monolaterale, neurosensoriale a causa di un rumore improvviso, breve e molto intenso (oltre i 75 dB), come detonazioni, scoppio di petardi ed esplosioni.

Un rumore con un'intensità superiore a 140 dB, anche per breve tempo, può causare grave sordità e acufene immediatamente dopo l'esposizione. Spesso, il trauma acustico acuto porta alla perforazione della membrana timpanica e al sanguinamento dell'orecchio a causa dei danni sonori subiti [15].

L'ipoacusia da trauma acustico acuto si manifesta con sintomi come forte dolore, stordimento e possibile presenza di vertigini. L'esame ottico può rivelare la rottura o sanguinamento della membrana timpanica nei casi più gravi.

Il *Temporary Threshold Shift* (TTS) è una condizione temporanea di riduzione dell'udito che si verifica dopo un'esposizione prolungata al rumore [16]. Esistono due tipi principali di *Temporary Threshold Shift*, ciascuno con un diverso tempo di recupero dal momento dell'esposizione al rumore:

1. *Temporary Threshold Shift Transitorio* (TTST): Questo tipo di TTS si verifica immediatamente dopo l'esposizione al rumore e può durare per un breve periodo, solitamente da pochi minuti a qualche ora. Durante questo periodo, l'udito può essere compromesso e i soggetti possono sperimentare difficoltà nell'udire suoni deboli o nel distinguere le parole in ambienti rumorosi. Tuttavia, con il passare del tempo e il riposo dell'orecchio, l'udito tende a tornare al suo livello normale.

2. *Temporary Threshold Shift Prolungato* (PTTS): Questo tipo di TTS si verifica dopo un'esposizione prolungata al rumore e può persistere per un periodo più lungo, anche fino

a diversi giorni. Durante questo periodo, l'udito può essere compromesso in modo più significativo rispetto al TTST e il recupero può richiedere più tempo. Il PTTS è spesso associato a esposizioni prolungate al rumore ad alto volume, come concerti o ambienti di lavoro rumorosi, e può essere un segno di danno uditivo temporaneo più serio.

In entrambi i casi, è importante limitare l'esposizione al rumore e adottare misure preventive, come l'uso di dispositivi di protezione dell'udito, per ridurre il rischio di danni uditivi temporanei e permanenti.

Il monitoraggio regolare dell'udito e la consulenza da parte di professionisti della salute uditiva sono cruciali per identificare precocemente eventuali danni e adottare le misure necessarie per proteggere l'udito a lungo termine.

L'esposizione al rumore quotidiana dei lavoratori, che in media è di 8 ore al giorno per 5 giorni alla settimana, senza protezione delle vie uditive, può causare un passaggio dalla temporanea all'alterazione permanente della soglia uditiva, provocando danni cronici e la morte delle cellule ciliate.

Il deterioramento della soglia uditiva non è costante, con un rapido peggioramento nei primi 10 anni di esposizione al rumore, un rallentamento tra i 10 e i 30 anni e poi un incremento a causa dell'associazione con la presbiacusia [17].

La malattia segue un percorso che si articola in quattro fasi distinte.

Nella prima fase, che si manifesta nei primi 10/20 giorni di esposizione al rumore, il lavoratore avverte un acufene alla fine della giornata lavorativa e una sensazione di orecchio tappato.

Nella fase successiva, i sintomi variano notevolmente da individuo a individuo, con l'unico sintomo comune dell'acufene intermittente. Con il passare dei mesi/anni di esposizione al rumore, i danni iniziano a essere evidenti solo attraverso esami audiometrici.

Nella terza fase è il lavoratore stesso che si rende conto del suo deterioramento uditivo, come ad esempio la difficoltà nel percepire il ticchettio dell'orologio, l'aumento del volume della televisione e la difficoltà nel seguire una conversazione. Infine, nella quarta fase, la comunicazione verbale è fortemente compromessa e il danno uditivo è ormai evidente.

Nell'ipoacusia da rumore, oltre alla diminuzione quantitativa della capacità uditiva, si verifica anche un deterioramento qualitativo, con una percezione anomala o fastidiosa dei suoni, che può portare al fenomeno del *recruitment*.

Questo fenomeno comporta una sensazione di fastidio percepita dal soggetto a un'intensità considerata normale per una persona con udito normale.

Dal punto di vista audiometrico, nel danno cronico da rumore, le frequenze interessate inizialmente sono 3-4-6 kHz, per poi estendersi alle 0,5-1-2 kHz, salendo fino agli 8 kHz.

Per diagnosticare correttamente un'ipoacusia da rumore, è essenziale condurre un'attenta anamnesi che includa patologie passate e presenti, una dettagliata ricostruzione dell'attività lavorativa attuale e passata, e possibili esposizioni al rumore al di fuori del lavoro [1].

Il datore di lavoro deve chiedere al dipendente riguardo a eventuali malattie o problemi di salute passati o presenti che potrebbero influire direttamente o indirettamente sulla sua capacità uditiva, come ipertensione arteriosa, infezione da tifo, malaria, tubercolosi, assunzione di farmaci ototossici, traumi cranici, intossicazioni professionali, meningiti, diabete, vasculopatie cerebrali o tossicosi endogene in caso di insufficienza renale o epatica; nel caso in cui fossero presenti, è importante cercare e investigare specifiche patologie dell'udito.

L'ipertensione arteriosa e l'arteriosclerosi sembrano essere associate alla perdita dell'udito a causa dei danni ai vasi sanguigni, con una riduzione del lume vascolare e ispessimento dell'avventizia nel canale uditivo interno.

È essenziale identificare precedenti patologie otorinolaringoiatriche come otiti, otosclerosi o nevrile virale del nervo acustico per differenziare i sintomi interindividuali. I pazienti con traumi cranici preesistenti o colpo di frusta cervicale possono mostrare deficit uditivi a diverse estensioni nell'audiogramma, probabilmente a causa di danni al recettore cocleare.

L'esposizione a agenti ototossici professionali (come solventi organici come toluene o benzene, monossido di carbonio o pesticidi) o extraprofessionali (come antibiotici come la gentamicina o azitromicina, antitumorali come il cisplatino o antimalarici come la cloroquina) sembra compromettere l'apparato uditivo, anche se in entità ed epoca di insorgenza difficilmente oggettivabile.

L'anamnesi lavorativa dovrebbe includere informazioni sull'entità dell'esposizione al rumore sia attuale che passata, sull'ambiente professionale, sulle specifiche mansioni svolte, sulle fasi del ciclo lavorativo e sull'uso di dispositivi di protezione individuale.

L'anamnesi extralavorativa può includere, ad esempio, l'esposizione a rumori causati dall'uso di armi da fuoco, la pratica di sport rumorosi, l'ascolto di musica ad alto volume tramite cuffie o essere un musicista. Altri fattori che possono aggravare la patologia

includono l'assunzione di alcol e il consumo di tabacco, entrambi associati a un aumento del rischio di danni uditivi.

Inoltre, è importante raccogliere informazioni dettagliate sull'ambiente lavorativo, comprese le specifiche mansioni svolte e le fasi del ciclo lavorativo che comportano un'esposizione prolungata al rumore. Questo aiuta a valutare l'entità del rischio uditivo sul posto di lavoro e a identificare eventuali carenze nelle misure di prevenzione e protezione adottate dal datore di lavoro.

Infine, l'anamnesi dovrebbe includere anche informazioni sull'uso passato e attuale di dispositivi di protezione individuale, come cuffie antirumore o tappi per le orecchie, al fine di valutare l'efficacia di tali misure nel proteggere l'udito del lavoratore [1].

In conclusione, condurre un'attenta anamnesi che comprenda patologie passate e presenti, dettagli sull'attività lavorativa e possibili esposizioni al rumore al di fuori del lavoro è essenziale per diagnosticare correttamente un'ipoacusia da rumore e per adottare le misure preventive e terapeutiche appropriate per proteggere la salute uditiva dei lavoratori.

### **1.3 Fattori di rischio e meccanismi di danno uditivo**

Gli agenti fisici rappresentano una categoria di fattori che influenzano le condizioni ambientali e possono avere un impatto significativo sulla salute umana (Figura 5). Questi agenti sono soggetti a leggi fisiche e possono introdurre energia nei luoghi di vita e lavoro, con il potenziale di causare danni alla salute se superano determinati livelli di esposizione [18].

Tra i principali rischi fisici che possono contribuire al danno uditivo, troviamo il rumore e le vibrazioni meccaniche, che possono essere presenti in una vasta gamma di ambienti lavorativi. Il rumore, in particolare, rappresenta uno dei fattori di rischio più comuni e diffusi per la perdita dell'udito occupazionale. L'esposizione prolungata a livelli elevati di rumore può danneggiare le cellule sensoriali dell'orecchio interno, causando ipoacusia o sordità.

Altri agenti fisici che possono contribuire al danno uditivo includono i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche artificiali, i microclimi estremi, gli infrasuoni, gli ultrasuoni e le atmosfere iperbariche. Anche se il loro impatto diretto sull'udito potrebbe essere meno evidente rispetto al rumore e alle vibrazioni, è comunque importante valutare

e gestire i rischi associati a tali agenti per garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori [19].

In particolare, la valutazione dei rischi derivanti dalle radiazioni ottiche naturali è obbligatoria, mentre per le radiazioni ionizzanti esiste una normativa specifica che ne regola l'esposizione e la protezione. È quindi fondamentale adottare misure preventive adeguate e fornire formazione ai lavoratori per ridurre l'esposizione a tali agenti fisici e prevenire il danno uditivo e altri problemi di salute correlati.

Figura 5: Rischi derivanti da agenti fisici



Fonte: Web

I rischi derivanti da agenti fisici nell'ambiente lavorativo devono essere eliminati o ridotti il più possibile tramite diverse azioni. Queste includono una corretta progettazione e pianificazione dei processi lavorativi sul luogo di lavoro, la riduzione della presenza di agenti fisici in base alle necessità lavorative, la diminuzione della durata e dell'intensità dell'esposizione, la limitazione del numero di lavoratori potenzialmente esposti, la formazione e l'informazione adeguata dei lavoratori, l'utilizzo di attrezzature adeguate e l'implementazione di misure tecniche e organizzative adeguate.

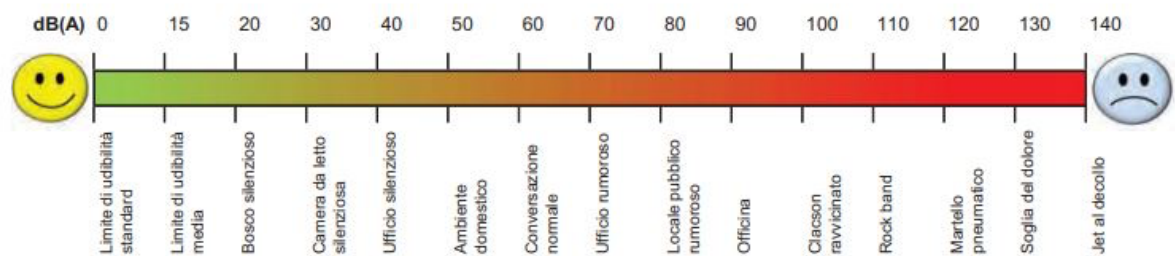
In Italia, milioni di lavoratori sono esposti ad agenti di rischio fisico sul posto di lavoro. Dati recenti provenienti dal sistema di sorveglianza delle malattie professionali MAIPROF indicano che oltre il 70% delle malattie di probabile origine professionale negli ultimi tre anni sono dovute all'esposizione ad agenti fisici [20].



Il rumore all'interno degli ambienti di lavoro rimane una delle principali cause di malattia professionale. In passato, legato a metodologie produttive obsolete e alla mancanza di cultura della sicurezza, il lavoratore aveva poche possibilità se non quella di adattarsi al rumore sul posto di lavoro.

Oggi, invece, le cose sono cambiate: è possibile utilizzare diversi mezzi per ridurre il rumore sia all'interno che all'esterno degli ambienti di lavoro.

Figura 6: Scala del rumore in relazione alla sensibilità uditiva



Fonte: Sabatino, 2015

I danni provocati dal rumore dipendono dalla potenza acustica e dal tempo di esposizione e possono essere classificati in diverse categorie: traumi all'udito, effetti fisiologici ed effetti psicologici [21].

I traumi all'udito possono causare una perdita progressiva dell'udito inizialmente nelle frequenze estreme e poi anche nella regione media, fino alla sordità in casi più gravi. Gli effetti sui lavoratori che operano a contatto con i motori a reazione possono manifestarsi attraverso vertigini e nausea a causa del rumore che agisce negativamente sull'orecchio, sede del senso dell'equilibrio.

Tra i principali effetti fisiologici dell'esposizione al rumore si possono riscontrare stanchezza, senso di fatica persistente non alleviato nemmeno dal riposo, disturbi del sonno, emicrania, stordimento, inappetenza, anemia, disturbi neuro-vegetativi, accelerazione del battito cardiaco e della respirazione, aumento della pressione sanguigna e variazioni del metabolismo di base.

Gli effetti psicologici dell'esposizione al rumore includono la comparsa di sentimenti negativi come angoscia, disagio e paura.

Altri effetti più gravi possono comprendere difficoltà di concentrazione, problemi di memoria e cambiamenti nella personalità. Possono inoltre verificarsi atteggiamenti ossessivi, irritabilità, stanchezza e difficoltà nel comprendere messaggi verbali durante le conversazioni. L'attività intellettuale e/o motoria può rallentare a causa dell'esposizione al rumore.

Il danno uditivo da trauma acustico provoca alterazioni anatomico-patologiche a livello dell'organo del Corti, con le cellule ciliate esterne colpite inizialmente e le cellule ciliate interne eventualmente danneggiate [22]. Il giro basale della coclea, responsabile della percezione delle frequenze acute, è particolarmente colpito, con frequenze comprese tra i 3000 e i 4000 Hz.

Esistono varie teorie sul legame tra danno uditivo da rumore e danneggiamento del giro basale della coclea, ma la teoria più accreditata è quella di Ruedi basata sul modello di Bekesy.

La teoria si fonda sulla dinamica dei liquidi labirintici: l'onda viaggiante generata dalla stimolazione sonora crea vortici da entrambi i lati della membrana labirintica, tutti orientati nella stessa direzione. Al contrario, la stimolazione sonora ad alta intensità induce la formazione di vortici in senso opposto che possono danneggiare la membrana basilare e, di conseguenza, l'organo del Corti vicino alla spirale basale [20].

Il deterioramento precoce delle cellule ciliate porta anche alla rottura degli stereocigli che possono disporre in modo irregolare o venire persi. Questo impatta sulle strutture di supporto e sulle fibre nervose, creando uno squilibrio metabolico che include nuclei ingrossati, mitocondri ingrossati e vescicole nel citoplasma.

Le teorie sul danno metabolico pongono l'accento sull'eccessiva stimolazione uditiva come causa di danni alle cellule dell'organo uditivo [23]. Questo eccesso di stimolazione può innescare una serie di processi cellulari dannosi, tra cui la formazione di radicali liberi e l'eccitotossicità del glutammato, un neurotrasmettitore eccitatorio.

Il glutammato, diffondendosi lungo l'Organo del Corti, può causare necrosi e apoptosi delle cellule ciliate, compromettendo così la funzionalità uditiva. Inoltre, l'esposizione al rumore può provocare un aumento del calcio libero all'interno delle cellule ciliate esterne, sia attraverso l'ingresso attraverso canali ionici che dalla sua liberazione da depositi intracellulari.

Questo sovraccarico di calcio può a sua volta scatenare processi di morte cellulare e apoptosi, anche in assenza di glutammato. In aggiunta, i cambiamenti nella stria vascolare, una struttura nel labirinto dell'orecchio interno, possono compromettere la funzionalità endococleare, riducendo l'amplificazione cocleare e portando a un aumento della soglia uditiva.

Le teorie sul danno metabolico forniscono, dunque, una comprensione dettagliata dei processi cellulari coinvolti nei danni uditivi causati dall'esposizione al rumore. Queste conoscenze sono cruciali per lo sviluppo di strategie preventive e terapeutiche mirate a proteggere e preservare la salute uditiva dei lavoratori esposti a livelli elevati di rumore [10].

## **CAPITOLO 2: NORMATIVE E REGOLAMENTI IN MATERIA**

### **2.1 Contestualizzazione del problema della sordità da rumore nell'ambiente lavorativo**

Il problema della sicurezza sul lavoro è emerso con la rivoluzione industriale nel XIX secolo, quando molte persone si trasferirono dalle campagne alle città per lavorare nelle nuove fabbriche. Le condizioni di lavoro difficili spinsero ben presto i lavoratori a organizzarsi in associazioni e a chiedere miglioramenti. Le proteste portarono, alla fine dell'Ottocento, all'emanazione delle prime leggi sulla sicurezza sul lavoro.

Con il progresso tecnologico e le nuove modalità produttive, queste leggi sono state aggiornate per affrontare nuovi rischi e proteggere la salute dei lavoratori.

La legislazione sulla sicurezza sul lavoro ha seguito così un processo evolutivo che continua ancora oggi a causa delle costanti modifiche delle condizioni lavorative e dell'emergere di nuovi rischi e malattie professionali.

Questo quadro normativo può essere suddiviso in due periodi storici: il primo va dagli anni '50 agli anni '80, caratterizzato da norme create per adattarsi ai cambiamenti sociali e industriali del dopoguerra e per rispondere alla crescente esigenza di tutela della sicurezza sul lavoro; il secondo inizia dagli anni '90, influenzato dalle direttive comunitarie e dalla crescente consapevolezza del ruolo attivo dei lavoratori nella gestione della sicurezza aziendale.

Nel biennio 1955-56 sono state promulgate norme fondamentali per applicare i principi della Costituzione (artt. 32, 35, 38, 41) e del Codice Civile (art. 2078) riguardanti la sicurezza sul lavoro. Tra queste, il D.P.R. n. 547 del 1955 stabilisce le regole per la prevenzione degli infortuni nelle attività produttive, mentre il D.P.R. n. 303 del 1956 tratta le norme generali sull'igiene del lavoro e il D.P.R. n. 164 del 1956 regola la prevenzione degli infortuni nel settore delle costruzioni.

Negli anni '70, sia i lavoratori che i sindacati hanno acquisito una maggiore consapevolezza sull'importanza della tutela della salute sul lavoro, sono stati introdotti

standard internazionali nei contratti collettivi come riferimento per la sicurezza dei lavoratori.

Inoltre, la Legge n. 300 del 1970, nota come Statuto dei lavoratori, all'articolo 9 prevede la partecipazione dei lavoratori alla gestione della sicurezza attraverso organismi sindacali. Questi organismi potevano controllare l'applicazione delle norme di prevenzione e promuovere nuovi sistemi di sicurezza per ridurre significativamente il rischio di infortuni. Sempre negli anni '70, con la Riforma Sanitaria Nazionale del 1978 (Legge 833/78), sono state create le Unità Socio-Sanitarie Locali (ASL) a livello regionale per tutelare la salute dei cittadini, inclusi i lavoratori dipendenti. Con questa legge, alcune competenze che prima erano gestite da enti statali come l'E.N.P.I. (Ente Nazionale per la Previdenza degli Infortuni) e l'A.N.C.C. (Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione), come la vigilanza sull'applicazione delle norme di sicurezza e la fornitura di informazioni antinfortunistiche, sono passate alle Regioni e quindi alle ASL.

A partire dagli anni '80, la Comunità Europea ha iniziato a emanare direttive e linee guida per uniformare la regolamentazione sulla sicurezza sul lavoro tra tutti gli Stati membri.

Nel 1988, l'ordinamento italiano ha introdotto normative per proteggere l'ambiente dall'inquinamento industriale, tra cui il D.P.R. 175/88 sui grandi rischi industriali e il D.P.R. 203/88 per il controllo delle emissioni atmosferiche.

Nei primi anni '90, è stata emanata la Legge n. 46/90 che stabilisce regole precise per la sicurezza degli impianti elettrici, di riscaldamento e tecnologici. Inoltre, il D. Lgs. 277/91 ha fissato norme per proteggere i lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici. Infine, la Legge n. 257 del 27 marzo 1992 ha introdotto norme per la cessazione dell'uso dell'amianto [22].

Un passo fondamentale per la regolamentazione della sicurezza sul lavoro, in linea con le normative europee, è stato compiuto con l'emanazione del D. Lgs. 626/94, successivamente modificato da altri decreti (come il n. 242/96, il n. 25/2002 e il n. 195/2003).

I punti principali del decreto comprendevano l'obbligo di valutare tutti i rischi associati a una specifica attività lavorativa e di redigere un documento che contenesse la valutazione dei rischi, l'individuazione delle misure di prevenzione e protezione, e un programma delle misure da adottare per garantire la sicurezza dei lavoratori.

Per la prima volta, il datore di lavoro doveva implementare un vero e proprio processo di “risk assessment”, che includeva l’identificazione e la valutazione dei rischi, il loro impatto e le raccomandazioni per la loro riduzione.

Con l’adozione del risk assessment si inizia a delineare una bozza di “*risk management*”, oggi fondamentale per la gestione del rischio clinico.

Un altro aspetto importante è l’istituzione della figura del Rappresentante dei lavoratori per la sicurezza, che ha specifici poteri e diritti, come l’accesso ai luoghi di lavoro per controllare e verificare, l’accesso alle documentazioni sulle condizioni di salute dei lavoratori, la partecipazione a riunioni periodiche per valutare lo stato dei sistemi di sicurezza e il coinvolgimento nelle politiche aziendali per il miglioramento dei sistemi di sicurezza.

Il D. Lgs. 626/94 prevedeva anche una serie di diritti per i lavoratori, come il diritto a essere informati sui rischi connessi alla loro attività lavorativa e sulle condizioni di salubrità del luogo di lavoro. Inoltre, garantiva il diritto alla formazione per acquisire le competenze tecniche necessarie a evitare, per quanto possibile, il rischio di infortuni.

Una disposizione particolarmente innovativa del Decreto 626 era l’obbligo di sicurezza per i lavoratori, introdotto dall’articolo 5.

Questo articolo stabiliva che ogni lavoratore doveva prendersi cura della propria salute e sicurezza e di quella degli altri presenti sul luogo di lavoro, come colleghi o altre persone, su cui le sue azioni o omissioni potevano avere effetti negativi.

Tale obbligo, insieme al diritto alla formazione, mirava a creare condizioni di maggiore sicurezza per i lavoratori. Se un lavoratore non rispettava questo obbligo e causava danni o infortuni a sé stesso o ad altri, poteva essere soggetto a sanzioni disciplinari.

Un altro punto cruciale del Decreto 626 era l’articolo 8, che imponeva al datore di lavoro di organizzare un servizio di prevenzione e protezione all’interno dell’azienda.

Questo servizio poteva essere gestito da personale interno o esterno, previa consultazione del rappresentante per la sicurezza.

I responsabili del servizio dovevano possedere i requisiti professionali e le capacità specificate nell’articolo 8 bis. Le loro mansioni, delineate nell’articolo 9, includevano l’identificazione e la valutazione dei fattori di rischio, l’individuazione di misure per la sicurezza e la salubrità degli ambienti di lavoro, e la proposta di programmi di informazione e formazione per i lavoratori. Inoltre, l’articolo 16 del capo IV prevedeva la

sorveglianza sanitaria da parte del medico competente, con controlli preventivi e periodici per monitorare la salute dei lavoratori.

L'evoluzione della normativa sulla sicurezza sul lavoro è continuata con il D. Lgs. n. 758 del 19 dicembre 1994, che ha inasprito le sanzioni per le violazioni in materia di sicurezza e igiene, introducendo la pena dell'arresto come alternativa all'ammenda. Tuttavia, offriva al trasgressore la possibilità di regolarizzare la propria posizione entro un termine stabilito, pagando una parte dell'ammenda.

Nel 1996, il D. Lgs. n. 242/96 ha integrato e modificato il D. Lgs. 626/94; il D. Lgs. n. 459/96 (Direttiva Macchine) ha trattato la sicurezza delle macchine; e il D. Lgs. n. 494/96 ha stabilito le misure minime di sicurezza nei cantieri temporanei mobili. Tutti questi decreti miravano a coinvolgere attivamente tutti i soggetti nella gestione della sicurezza aziendale.

Negli anni successivi, sono state emanate diverse disposizioni che modificavano le normative esistenti e attuavano le direttive CEE. Tra questi, il D. Lgs. n. 151 del 26 marzo 2001, noto come "Testo unico delle disposizioni legislative in materia di tutela e sostegno della maternità e paternità", ha imposto al datore di lavoro l'obbligo di valutare i rischi per la sicurezza e la salute delle lavoratrici madri.

Il 18 novembre 2004, il Consiglio dei Ministri ha approvato la prima bozza del nuovo Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro, con l'intento di riformare completamente il quadro normativo relativo alla sicurezza sul lavoro, abrogando tutte le disposizioni precedenti, inclusi i Decreti 626/1994 e 494/1996.

Tuttavia, nel 2006, il diritto del lavoro continuava a lottare con il problema persistente del lavoro nero e sommerso, che negava i diritti fondamentali dei lavoratori.

A causa dell'alto numero di infortuni sul lavoro e malattie professionali, spesso legati all'uso di manodopera irregolare, le istituzioni hanno sentito la necessità di introdurre leggi più severe contro il lavoro nero.

In particolare, il Decreto Bersani-Visco nel Decreto Legge n. 223 del 4 luglio 2006, convertito nella Legge n. 248 dell'8 aprile 2006, ha introdotto misure urgenti per contrastare il lavoro nero e promuovere la sicurezza nei luoghi di lavoro, specialmente nel settore edilizio.

Il primo comma dell'articolo 36 bis attribuisce al personale ispettivo del Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale il potere di sospendere i cantieri edili ogni volta che

riscontri, direttamente o su segnalazione dell'INPS o dell'INAIL, la presenza di lavoratori non registrati nelle scritture obbligatorie, in misura pari o superiore al 20% del totale dei lavoratori regolarmente impiegati nel cantiere.

Questo avviene anche nei casi di violazioni frequenti riguardo ai tempi di lavoro e di riposo giornaliero e settimanale.

La sospensione dei cantieri viene comunicata dal Ministero del Lavoro al Ministero delle Infrastrutture, che poi emana un provvedimento di interdizione dalle gare d'appalto per l'impresa coinvolta.

Dal 1° ottobre 2006, il datore di lavoro nel settore edile è tenuto per legge a fornire al proprio personale impiegato nei cantieri una tessera di riconoscimento, corredata da una fotografia e contenente le informazioni personali del lavoratore e la denominazione del datore di lavoro stesso. Questa disposizione è obbligatoria e prevede sanzioni amministrative per chi non la rispetta.

Anche i lavoratori autonomi operanti nei cantieri devono avere tale tessera.

Sono esclusi da questa obbligazione i datori di lavoro con meno di 10 dipendenti, a patto che annotino i dati identificativi di tutto il personale giornalmente impiegato nel cantiere in un registro appositamente vidimato e tenuto sul posto di lavoro. Inoltre, il datore di lavoro è tenuto per legge a comunicare l'assunzione di un dipendente entro il giorno precedente l'inizio del rapporto di lavoro, pena sanzioni amministrative.

Nella Finanziaria 2007 sono state introdotte diverse misure volte a contrastare il lavoro nero e migliorare la sicurezza e la salute nei luoghi di lavoro per tutti i settori produttivi.

Queste includono:

- Introduzione di sanzioni severe per l'impiego di lavoratori in nero.
- Conferma di agevolazioni contributive, sgravi per il mezzogiorno e riduzioni dei costi per le imprese edili, con esclusione temporanea per i datori di lavoro con meno di 10 dipendenti con un passato di condanne per violazioni della normativa sulla sicurezza.
- Estensione degli obblighi di coordinamento e informazione per i datori di lavoro appaltanti verso le ditte appaltatrici.
- Potenziamento delle attività ispettive con l'assunzione di fino a 300 ispettori del lavoro e 60 unità dei carabinieri con esperienza specifica.
- Creazione di una banca dati telematica per razionalizzare le ispezioni e raccogliere informazioni sul mercato del lavoro.



- Introduzione dell'obbligo per tutti i settori di compilare il "documento di regolarità contributiva" (Durc) a partire dal 1° luglio 2007.
- Coordinamento a livello nazionale e territoriale per l'emersione del lavoro nero attraverso la costituzione di una cabina di regia nazionale e il Fondo per l'emersione del lavoro irregolare.
- Creazione di un Fondo di sostegno per le famiglie delle vittime di gravi infortuni sul lavoro, in caso di mancanza di copertura assicurativa obbligatoria.
- Definizione di indici di congruità per valutare il rapporto tra qualità dei beni e servizi prodotti e ore di lavoro necessarie.
- Collaborazione con il Ministero dell'Istruzione per progetti sperimentali nelle scuole secondarie per migliorare l'accessibilità architettonica e la sicurezza.

Queste disposizioni miravano a migliorare le condizioni lavorative, ridurre il lavoro nero e promuovere una maggiore sicurezza nei luoghi di lavoro in tutti i settori produttivi.

La Legge n. 123 del 03/08/2007 rappresenta un passaggio significativo verso il miglioramento delle condizioni di lavoro e della salute, promuovendo un cambiamento culturale importante. Questa legge enfatizza il ruolo cruciale della formazione e dell'addestramento professionale, e valorizza chiaramente l'importanza dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza.

Ora, le aziende non devono limitarsi semplicemente al rispetto formale delle normative, ma sono chiamate a informare e formare attivamente i propri lavoratori. Inoltre, la legge sottolinea che migliorare la sicurezza nei luoghi di lavoro è possibile anche contrastando efficacemente il lavoro irregolare.

La promulgazione di questa legge è stata il risultato di un lavoro sinergico con il Ministero della Salute, e ha coinvolto una concertazione proficua con le parti sociali e le Regioni.

L'obiettivo principale è garantire il pieno rispetto delle normative comunitarie, mantenere un equilibrio tra le competenze dello Stato e delle Regioni, e assicurare uniformità nella protezione della salute su tutto il territorio nazionale.

La Legge n. 123/2007 delega al Governo il compito di emanare entro 9 mesi i Decreti Legislativi necessari per riformare le normative vigenti sulla salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, estendendole a tutti i settori, compresa la pubblica amministrazione, e semplificando gli adempimenti formali per favorire soprattutto le piccole e medie imprese nel garantire una sicurezza effettiva sul lavoro.

Altre disposizioni includono il potenziamento delle reti informatiche tra Enti e Istituzioni per migliorare la circolazione delle informazioni, un'intensificazione delle ispezioni di vigilanza, e la revisione delle normative sulla manutenzione, sostituzione di macchinari, impianti e dispositivi di protezione.

Vi è anche una riforma dell'apparato sanzionatorio per incentivare la regolarizzazione dei non conformi, un'importanza crescente attribuita alla formazione e all'informazione come strumenti cruciali di prevenzione, e l'integrazione della salute e sicurezza nei programmi educativi per sensibilizzare i giovani. Infine, si prevede che le imprese conformi alle norme di sicurezza sul lavoro abbiano priorità nell'ottenere appalti e agevolazioni finanziarie.

Il 1° aprile 2008, il Consiglio dei Ministri ha approvato il "Nuovo Testo Unico sulla sicurezza e salute sul lavoro", un Decreto Legislativo che implementa la Legge 123/2007, rivoluzionando il quadro normativo precedente e abrogando normative come il D. Lgs 626/94 e il D. Lgs 494/1996. Composto da 306 articoli distribuiti in 13 titoli e 51 allegati, il D. Lgs 81/2008 è stato considerato urgente per la sua rilevanza sociale, nonostante sia stato adottato durante la fine della legislatura, a causa degli elevati incidenti mortali.

Il decreto introduce diversi elementi chiave: l'estensione delle disposizioni sulla salute e sicurezza a tutti i lavoratori, inclusi autonomi, domiciliari, a progetto e interinali senza distinzioni formali; un rafforzamento delle sanzioni; un potenziamento del ruolo del Rappresentante dei lavoratori per la sicurezza anche a livello territoriale; la revisione e il coordinamento delle attività di vigilanza per migliorare l'efficienza degli interventi; l'istituzione di un sistema informativo pubblico con la partecipazione delle parti sociali; l'introduzione del libretto sanitario e di rischio personale per ogni lavoratore; il finanziamento di azioni promozionali per le PMI, incluso l'inserimento della salute e sicurezza nei programmi scolastici e universitari; la semplificazione degli adempimenti burocratici non impattanti sulla salute e sicurezza; il potenziamento della figura del medico competente; la formazione obbligatoria per datore di lavoro e lavoratore; e la revisione del sistema delle sanzioni, con possibilità di pena detentiva per la mancata valutazione dei rischi in aziende ad elevata pericolosità.

Gli interventi mirano a coordinare a livello nazionale le politiche sulla salute e sicurezza, organizzare la circolazione delle informazioni, razionalizzare le strutture di vigilanza e coinvolgere pienamente le parti sociali nel sistema istituzionale.

Il D. Lgs 81/2008 introduce, inoltre, importanti misure per razionalizzare le funzioni istituzionali e coinvolgere le Parti sociali nel sistema di sicurezza sul lavoro; tra queste, si evidenzia la creazione del “Comitato per l’indirizzo e la valutazione delle politiche attive e per il coordinamento nazionale delle attività di vigilanza in materia di salute e sicurezza sul lavoro” (art. 5).

Questo comitato mira a coordinare le istituzioni nazionali e territoriali competenti, colmando una lacuna presente dal finire degli anni ‘70, che ha compromesso il sistema nazionale di prevenzione. Inoltre, viene istituito il SINP (Sistema Informativo Nazionale per la Prevenzione) (art. 8), che coinvolge vari enti e ministeri, inclusi Ministero della Salute, del Lavoro, dell’Interno, Regioni/Province autonome, INAIL, ISPESL, IPSEMA, con il supporto del CNEL.

Il SINP è volto a migliorare la circolazione delle informazioni e alla consultazione periodica delle Parti sociali, comprese le organizzazioni scientifiche e quelle che si occupano della salute delle donne.

Poco più di un anno dopo l’entrata in vigore del D. Lgs 81/2008, il 20 agosto 2009 è stato introdotto il Decreto Legislativo n. 106 del 3 agosto 2009, noto come “decreto correttivo del Testo Unico in materia di sicurezza e salute sul lavoro”.

Questo decreto ha rivisto in modo sostanziale la normativa sulla prevenzione, rispondendo alle criticità riscontrate nei primi mesi di applicazione del D. Lgs 81/2008 e mirando a migliorare le regole stesse sulla sicurezza.

L’obiettivo principale era chiarire il quadro normativo per favorirne l’applicazione corretta ed efficace, con un generale alleggerimento delle norme attraverso una ulteriore semplificazione degli adempimenti formali per le aziende.

Questo approccio evidenzia la volontà del legislatore di concentrare l’attenzione dei datori di lavoro sulla salute e sicurezza dei lavoratori, come già espresso con il D. Lgs. 81/2008.

Un esempio significativo di questa semplificazione riguarda la produzione del documento di valutazione dei rischi, reso obbligatorio in modalità più accessibili.

Nell’articolo 28, comma 2, del D. Lgs 81/2008, era previsto l’obbligo di apporre una data certa nel documento di valutazione dei rischi. Tuttavia, la complessità della procedura per conferire certezza alla data di redazione e completamento del documento rappresentava un onere amministrativo significativo per le imprese, senza apportare vantaggi sostanziali effettivi.

Di conseguenza, il legislatore ha introdotto un sistema alternativo di certificazione. Oltre alla data certa, è ora possibile che il documento sia sottoscritto dal datore di lavoro, che assume la piena responsabilità giuridica ed esclusiva per il documento, mentre il responsabile del servizio di prevenzione e protezione, il rappresentante dei lavoratori per la sicurezza o il rappresentante territoriale per la sicurezza dei lavoratori, insieme al medico competente se nominato, possono firmare solo per confermare la data di revisione.

Inoltre, il Decreto Legislativo 106/2009 ha semplificato l'obbligo di redigere il DUVRI (documento unico di valutazione dei rischi) come previsto dall'articolo 26, comma 3, del Decreto Legislativo 81/08, estendendolo anche ai lavori di breve durata senza particolari rischi.

Tuttavia, l'eccessivo peso di questo obbligo e la sua scarsa rilevanza in alcune tipologie di attività hanno portato all'introduzione di una esenzione per il datore di lavoro dall'obbligo di redigere il DUVRI nei casi di fornitura di materiali, servizi intellettuali o lavori di durata inferiore a due giorni, quando non esistano rischi significativi specifici [16].

In linea con questa semplificazione, è stato eliminato anche l'obbligo, previsto dall'articolo 25 del Decreto Legislativo 81/08, per il medico competente di trasmettere periodicamente agli organismi del servizio sanitario nazionale i dati sanitari aggregati e di rischio dei lavoratori sottoposti a sorveglianza sanitaria, eliminando così duplicazioni inutili di oneri informativi puramente documentali.

## **2.2 Analisi del Decreto Legislativo 81/08 in relazione alla prevenzione della sordità o perdite dell'udito nei luoghi di lavoro**

Il Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n. 81, nel Capo II del Titolo VIII, affronta il rischio specifico legato al rumore nei luoghi di lavoro, inserendosi nel contesto più ampio della normativa sull'inquinamento acustico delineata dalla Legge 26 ottobre 1995 n. 447.

I limiti di esposizione al rumore sul posto di lavoro sono stati stabiliti per la prima volta nel 1991 con il Decreto Legislativo n. 277.

Precedentemente, la normativa prevedeva che in lavorazioni che comportavano scuotimenti, vibrazioni o rumori dannosi ai lavoratori, fossero adottati provvedimenti tecnici per ridurre l'intensità di tali rischi (art. 24 DPR 303/1956).

L'articolo 2087 del Codice Civile, introdotto con il Regio Decreto 16 marzo 1942, n. 262, stabilisce che l'imprenditore è responsabile di adottare le misure necessarie per proteggere l'integrità fisica e morale dei lavoratori, in base alla natura specifica del lavoro, all'esperienza e alla tecnologia disponibile.

Questo passaggio ha segnato l'ingresso a principi generali e indefiniti a valori di azione e limiti precisi per la prevenzione dei rischi e la protezione della salute nei luoghi di lavoro.

Il Decreto Legislativo 10 aprile 2006, n. 195, attuando la Direttiva 2003/10/CE, rappresenta un passo cruciale nella protezione dei lavoratori dai rischi legati al rumore sul posto di lavoro.

Questo decreto introduce requisiti minimi per la sicurezza e la salute dei lavoratori esposti al rumore, enfatizzando l'importanza dell'utilizzo di dispositivi di protezione individuale (DPI) per l'udito.

Nella valutazione del rischio da rumore, si analizza il livello sonoro continuo equivalente "LAeq" a cui il lavoratore è esposto per determinati intervalli di tempo. Questo parametro descrive il livello medio di rumore variabile nel tempo, il cui impatto disturba o danneggia è correlato alla quantità di energia acustica presente [24].

Il Decreto Legislativo 81/2008, all'articolo 188, indica quali parametri fisici devono essere considerati indicatori di rischio legati al rumore nei luoghi di lavoro:

- Livello di esposizione giornaliera al rumore "LEX,8h dB(A)": è il valore medio ponderato nel tempo dei livelli di esposizione al rumore durante una giornata lavorativa standard di otto ore, definito secondo la Norma Internazionale ISO 1999:1990 punto 3.6.
- Livello di esposizione settimanale al rumore "LEX, W": rappresenta il valore medio ponderato nel tempo dei livelli di esposizione al rumore accumulati durante una settimana lavorativa standard di cinque giorni, definito secondo la Norma Internazionale ISO 1999:1990 punto 3.6, nota 2.
- Pressione acustica di picco "ppeak": corrisponde al valore massimo della pressione acustica istantanea, ponderata secondo la scala "C" [25].

L'articolo 189 dello stesso decreto stabilisce i valori limite che devono essere rispettati e valutati in relazione al livello di esposizione giornaliera al rumore e alla pressione acustica di picco:

- a. valori limite di esposizione:  $LEX = 87 \text{ dB(A)}$  e  $140 \text{ dB(C)}$  per ppeak

Il Decreto Legislativo 81/2008 stabilisce che l'orecchio umano reagisce in modo diverso a vari livelli di rumore.

I valori superiori di azione sono definiti come  $LEX = 85 \text{ dB(A)}$  e  $137 \text{ dB(C)}$  per  $p_{peak}$ , mentre i valori inferiori di azione sono  $LEX = 80 \text{ dB(A)}$  e  $122 \text{ dB(C)}$  per  $p_{peak}$ .

Nei luoghi di lavoro, è essenziale monitorare anche il rumore impulsivo di picco, caratterizzato da un aumento molto rapido e spesso ripetuto a intervalli regolari. Questi rumori possono derivare da attività come la martellatura di lamiera o l'imbottigliamento.

La misurazione del rumore deve essere condotta considerando le condizioni prevalenti, inclusi i caratteri specifici del rumore misurato, la durata dell'esposizione e i fattori ambientali circostanti. Ogni misurazione deve indicare anche l'accuratezza delle misurazioni nelle diverse gamme di frequenza, essendo più sensibili alle medie frequenze rispetto a quelle basse o alte.

Il D.Lgs. 81/2008 adotta la curva di ponderazione con filtro A per determinare i livelli di esposizione al rumore  $LEX$ , mentre per la pressione acustica di picco  $p_{peak}$  viene utilizzata la ponderazione in scala C.

Per verificare il rispetto dei Valori Limite di Esposizione (VLE) al rumore, definiti come  $LEX_{8h} = 87 \text{ dB(A)}$  e  $L_{peak} = 140 \text{ dB(C)}$ , tenendo conto dell'attenuazione fornita dai dispositivi di protezione dell'udito (DPI), si applicano le procedure delineate nella Linea Guida dell'ISPESL "Decreto Legislativo 81/2008, Titolo VIII, Capo I, II e III sulla prevenzione e protezione dai rischi derivanti dall'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro del 10 luglio 2008" [25].

Secondo la normativa vigente, se i livelli di esposizione al rumore misurati superano i valori limite di esposizione, è necessario valutare se l'uso dei DPI per l'udito garantisca che questi valori limite non siano superati.

Se l'efficacia dei DPI è adeguata, i valori limite di esposizione sono sempre rispettati. In situazioni eccezionali in cui questo criterio non può essere soddisfatto, si deve calcolare un parametro simulato, come indicato nella norma UNI 9432, che tiene conto dell'attenuazione fornita dai DPI per confrontarlo con i valori limite di esposizione.

Se il livello di esposizione al rumore  $LEX$  supera i  $87 \text{ dB(A)}$ , è necessario intraprendere immediatamente azioni per identificare e rimuovere le cause che generano questa condizione.

La normativa sottolinea l'importanza di ridurre il rumore direttamente alla fonte, attraverso la selezione di macchinari e attrezzature che emettono il minor rumore possibile e l'installazione di adeguati sistemi di insonorizzazione. Inoltre, è cruciale scegliere con cura i dispositivi di protezione dell'udito (DPI-uditivi).

I lavoratori devono comprendere e ricordare non solo il livello medio di esposizione giornaliera al rumore (LEX,8h), ma anche essere consapevoli che anche per brevi periodi di lavoro rumoroso che superano gli 85 dB(A), è prudente e necessario proteggersi, poiché potrebbero causare danni uditivi.

### **2.3 Implicazioni sulla salute e sulla qualità della vita dei lavoratori**

Tra il 2015 e il 2019, le malattie professionali causate esclusivamente dall'esposizione ad agenti fisici, tra cui il rumore, hanno rappresentato circa il 20% di tutte le malattie riconosciute dall'INAIL [24].

L'ipoacusia, che ha costituito circa l'8% di queste malattie, corrispondente a circa 2000 denunce all'anno, si configura come un problema significativo a livello europeo. Nonostante sia in calo, l'ipoacusia rimane la terza malattia professionale più segnalata, subito dopo quelle associate all'apparato muscolo-scheletrico e allo stress lavoro-correlato. È rilevante notare che i danni oltre all'udito dovuti all'esposizione al rumore possono manifestarsi anche a livelli di esposizione molto inferiori rispetto a quelli che provocano danni diretti all'udito. Questi danni comprendono effetti fisiopatologici, disturbi del sonno e del riposo, impatti psicologici e comportamentali, difficoltà nella comunicazione e nell'emissione della voce, oltre a potenziali rischi per la sicurezza sul luogo di lavoro dovuti a una percezione alterata dei segnali acustici e verbali di sicurezza.

Il Decreto Legislativo 81/2008 include disposizioni per proteggere i soggetti particolarmente sensibili, come le donne in gravidanza e i minori, e prevede la tutela delle persone con condizioni individuali suscettibili al rumore [16].

La normativa considera anche come la condizione di esposizione al rumore può interagire con l'uso di sostanze o farmaci ototossici da parte dei lavoratori, nonché con l'utilizzo di attrezzature che producono vibrazioni. Tutti questi elementi sono inclusi nella valutazione dei rischi e nella gestione della sorveglianza sanitaria svolta dal Medico Competente.

Quando nei luoghi di lavoro si supera il primo livello di azione del rumore (80 dB), viene nominato il medico competente e la sorveglianza sanitaria prevede visite su richiesta dei lavoratori.

Se si supera il secondo livello di azione (85 dB), sono previste visite periodiche.

Il medico competente è responsabile di definire un protocollo sanitario specifico, concentrandosi sulla valutazione dell'udito e utilizzando anche esami strumentali come le audiometrie.

Se il medico competente identifica una condizione di salute alterata correlata ai rischi lavorativi in un lavoratore, informa il lavoratore stesso e, nel rispetto del segreto professionale, anche il datore di lavoro.

Quest'ultimo è tenuto a:

- a) riesaminare la valutazione dei rischi;
- b) riesaminare le misure adottate per eliminare o ridurre i rischi;
- c) tenere in considerazione il parere del medico competente nell'implementazione delle misure necessarie per eliminare o ridurre il rischio.

Il medico competente registra nella cartella sanitaria e di rischio i dati della sorveglianza sanitaria, compresi i valori individuali di esposizione, se previsti, comunicati dal datore di lavoro attraverso il servizio di prevenzione e protezione.

L'articolo 41, comma 2 del decreto legislativo 81/08, integrato dalle modifiche del decreto legislativo 106/09, disciplina la sorveglianza sanitaria che il medico competente deve effettuare sui lavoratori.

Questa sorveglianza comprende una serie di visite mediche volte a garantire che i lavoratori siano idonei a svolgere le loro mansioni specifiche.

La visita medica preventiva verifica l'assenza di controindicazioni al lavoro assegnato, mentre la visita medica periodica controlla regolarmente lo stato di salute dei lavoratori, esprimendo un giudizio di idoneità.

La frequenza di queste visite, solitamente annuale, può variare in base alla valutazione dei rischi fatta dal medico competente o su disposizione dell'organo di vigilanza.

Inoltre, la sorveglianza sanitaria include visite mediche su richiesta del lavoratore, legate a rischi professionali o condizioni di salute, nonché in occasione del cambio di mansione o alla cessazione del rapporto di lavoro, nei casi previsti dalla normativa vigente.



Questo sistema di controllo continuo mira a prevenire l'insorgere di problemi di salute correlati al lavoro, garantendo un ambiente lavorativo sicuro e conforme alle leggi vigenti.

## **2.4 Obblighi del datore di lavoro e diritti dei lavoratori**

Secondo l'articolo 190 del Decreto Legislativo 81/2008, il datore di lavoro è tenuto a condurre una valutazione del rumore all'interno della propria azienda.

È responsabile di adottare misure per eliminare o ridurre al minimo possibile il rumore nell'ambiente di lavoro, considerando la sostituzione di macchinari o procedure obsolete o particolarmente rumorose. Se persistono condizioni rischiose, devono essere implementate tutte le misure collettive di protezione, come l'insonorizzazione di locali o macchinari e la separazione di attrezzature o procedure rumorose.

Solo come ultima risorsa, se i livelli di rumore nell'ambiente di lavoro superano ancora i limiti consentiti per legge, devono essere forniti dispositivi di protezione individuale, come tappi auricolari o cuffie.

Questi dispositivi possono essere di diversi tipi, come i tappi auricolari che si inseriscono nel condotto uditivo o le cuffie che coprono completamente le orecchie, fornendo un contatto ermetico con la testa tramite cuscinetti morbidi e rivestite di materiali fonoassorbenti.

Ogni tipo di otoprotettore ha caratteristiche specifiche che determinano la sua capacità di attenuare il rumore a determinate frequenze, e la scelta del dispositivo adatto dipende dalle esigenze ambientali, dalle tipologie di lavorazioni e dalle mansioni svolte [26].

I Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) destinati alla protezione dell'udito devono garantire una riduzione dell'intensità del rumore percepito dai lavoratori, senza però compromettere la loro capacità di percepire segnali di emergenza critici come le sirene antincendio.

Queste misure possono assicurare una protezione efficace per i lavoratori, ma è importante bilanciare tale protezione per evitare una situazione di iperprotezione che potrebbe impedire di udire segnali di sicurezza o avvisi.

L'articolo 193, comma 2, del Decreto Legislativo 81/2008 stabilisce i criteri per valutare l'efficienza dei dispositivi di protezione dell'udito (DPI-u), indicando che sono considerati

adeguati se, utilizzati correttamente, mantengono il rischio a un livello uguale o inferiore ai valori inferiori di azione.

Dal punto di vista metodologico, le norme UNI EN 458 e UNI 9432 forniscono criteri per valutare l'efficienza dei DPI-u, ma attualmente non esiste una normativa consolidata per la valutazione dell'efficacia, che riguarda la reale capacità di un DPI-u di proteggere la funzione uditiva di un lavoratore.

La soglia di adeguata protezione dei DPI-u è raggiunta quando il livello effettivo di esposizione al rumore all'orecchio ( $L_{Aeq}$ ) non supera gli 80 dB(A) e il picco massimo ( $L_{peak}$ ) è inferiore a 135 dB(C) per tutte le attività lavorative. Inoltre, un DPI-u è considerato adeguato se garantisce una protezione con un  $L_{Aeq}$  compreso tra 70 e 75 dB(A).

Se il livello medio di esposizione al rumore ( $L_{Aeq}$ ) è inferiore a 65 dB(A), il lavoratore è considerato iperprotetto, ma questa situazione può essere considerata accettabile se non ci sono rischi di sicurezza evidenti per il lavoratore.

Quando il livello di rumore si trova tra il valore inferiore e quello superiore di azione, è necessario fornire ai lavoratori i DPI-u appropriati per il loro compito specifico. I DPI devono essere utilizzati quando il livello di rumore supera il valore superiore di azione.

È cruciale fornire formazione e informazioni sui rischi legati al rumore ai lavoratori, poiché questo è essenziale per prevenire danni uditivi. Secondo la normativa vigente, è obbligatorio fornire un adeguato addestramento sull'uso corretto di questi DPI.

Questo addestramento è essenziale per i lavoratori e per i loro rappresentanti, poiché include la comprensione delle misure di protezione adottate, dei limiti di esposizione al rumore e dei valori di azione, nonché la consapevolezza dei risultati delle misurazioni di esposizione, dei segni di esposizione dannosa per la salute, delle situazioni che richiedono sorveglianza sanitaria e delle procedure sicure per minimizzare i rischi sul luogo di lavoro [26].

Per valutare l'esposizione al rumore, è essenziale comprendere quanto l'attività svolta dai diversi lavoratori contribuisca effettivamente all'esposizione al rumore. Ad esempio, la presenza di macchinari rumorosi può determinare livelli di esposizione variabili tra i diversi operatori, a seconda del tempo trascorso vicino al macchinario durante il lavoro.

Pertanto, la valutazione dell'esposizione inizia con l'analisi ambientale dei livelli di rumore presenti in diverse aree e specifiche postazioni di lavoro, ma deve essere ponderata

anche rispetto al tempo effettivo di esposizione di ciascun lavoratore durante le otto ore di lavoro giornaliero.

## **CAPITOLO 3: METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE**

### **3.1 Approcci e strumenti per la misurazione del rumore ambientale**

La misurazione del rumore ambientale riveste un ruolo cruciale nella valutazione dei livelli di pressione sonora in un determinato punto di rilevazione.

Questo processo, fondamentale per la protezione della salute pubblica e per la qualità della vita, consente di identificare e quantificare i livelli di rumore a cui le persone sono esposte quotidianamente.

Attraverso l'uso di strumenti precisi è possibile rilevare l'intensità sonora in diversi ambienti, sia interni che esterni, fornendo dati essenziali per la valutazione dei rischi associati all'esposizione a rumori eccessivi.

L'esposizione prolungata a livelli elevati di rumore può comportare una serie di effetti negativi sulla salute, che vanno dalla perdita dell'udito e problemi uditivi come l'acufene, a disturbi del sonno, aumento dello stress, problemi cardiovascolari e riduzione della qualità della vita.

Pertanto, la misurazione accurata del rumore ambientale è essenziale per individuare situazioni di rischio e per consentire alle autorità competenti e alle aziende di adottare le misure preventive necessarie.

Queste misure possono includere l'implementazione di barriere antirumore, la regolazione delle ore di attività rumorose, l'utilizzo di dispositivi di protezione individuale per i lavoratori, e la promozione di pratiche operative più silenziose. Inoltre, i dati raccolti attraverso la misurazione del rumore ambientale sono fondamentali per la creazione di mappe acustiche e per l'elaborazione di piani di azione per la gestione del rumore, contribuendo così a un ambiente più salubre e sicuro per tutti [26].

Il fonometro è uno strumento fondamentale utilizzato per la misurazione del rumore, caratterizzato da diverse componenti essenziali che lavorano in sinergia per garantire rilevazioni precise.

Il cuore del fonometro è il microfono, progettato per captare le onde sonore presenti nell'ambiente. Questo componente è sensibile alle variazioni di pressione sonora e trasforma l'energia meccanica delle onde sonore in segnali elettrici.

Il tipo di microfono utilizzato può variare, ma generalmente si tratta di microfoni a condensatore, scelti per la loro precisione e risposta in frequenza lineare.

Una volta captato dal microfono, il segnale sonoro passa attraverso un attenuatore.

L'attenuatore svolge un ruolo cruciale nel regolare l'intensità del segnale per evitare distorsioni, soprattutto quando le onde sonore sono particolarmente potenti.

Questo componente assicura che il segnale mantenuto rientri in un intervallo che l'elettronica del fonometro può gestire efficacemente.

Successivamente, il segnale attenuato viene inviato a un amplificatore elettronico.

L'amplificatore aumenta la potenza del segnale elettrico, rendendolo abbastanza forte da poter essere analizzato con precisione dalle componenti successive del fonometro.

Questo passaggio è essenziale per garantire che anche i suoni più deboli possano essere misurati con accuratezza.

Infine, il segnale amplificato viene registrato e documentato da uno strumento di registrazione interno al fonometro.

Questa parte del dispositivo può variare da semplici display digitali che mostrano i valori istantanei delle misurazioni, a sistemi più complessi che memorizzano dati per analisi successive.

Alcuni fonometri moderni sono dotati di interfacce per il collegamento a computer o altri dispositivi, facilitando così l'elaborazione e l'archiviazione dei dati raccolti.

In sintesi, il fonometro è composto da un microfono che capta le onde sonore, un attenuatore che regola l'intensità del segnale, un amplificatore elettronico che ne aumenta la potenza, e uno strumento di registrazione che documenta i dati rilevati, garantendo misurazioni del rumore precise e affidabili.

Con il fonometro, si determina l'intensità del rumore in decibel (dB) o in decibel ponderati A (dB(A)).

Questi ultimi riflettono meglio come l'orecchio umano percepisce il rumore, in particolare negli ambienti di lavoro.

Le misurazioni possono includere l'analisi delle bande di frequenza in ottave, fornendo una visione dettagliata dello spettro del rumore [26].

Il rumore può essere classificato principalmente in due categorie:

- Rumore Continuo: include rumori ciclici, fluttuanti, ecc. Il rischio per l'operatore è una combinazione di livello di rumorosità e tempo di esposizione.

- Rumore Impulsivo: include rumori di percussioni isolate, presse, ecc. Il rischio principale è il superamento della soglia di danno immediato pari a 140 dB, che può causare danni uditivi immediati e traumatici.

Per garantire la sicurezza sul lavoro e la salute uditiva dei lavoratori, è essenziale valutare l'esposizione al rumore continuo.

Questo processo si basa su due parametri principali: il Livello di Esposizione Individuale al Rumore Giornaliero (LEX,d) e il Livello di Esposizione Individuale al Rumore Settimanale (LEX,w).

Il LEX,d rappresenta il valore medio ponderato nel tempo dei livelli di esposizione al rumore durante una giornata lavorativa di otto ore.

Questo parametro tiene conto delle variazioni di intensità del rumore nel corso della giornata, fornendo una misura complessiva dell'esposizione giornaliera di un lavoratore.

In pratica, il LEX,d permette di avere un'idea chiara di quanto un lavoratore è esposto al rumore durante una tipica giornata di lavoro.

Il LEX,w, invece, calcola il valore medio ponderato nel tempo dei livelli di esposizione giornaliera al rumore durante una settimana lavorativa di cinque giorni.

Questo parametro è particolarmente utile per monitorare situazioni in cui l'esposizione giornaliera può variare significativamente.

Ad esempio, in ambienti dove i livelli di rumore possono essere molto variabili, il LEX,w fornisce una valutazione complessiva dell'esposizione settimanale, aiutando a capire meglio i rischi a lungo termine.

Per proteggere i lavoratori dal rischio di danni all'udito, sono state definite delle soglie di allarme che, se superate, richiedono l'adozione di specifiche misure correttive.

Quando i livelli di rumore raggiungono la soglia inferiore di azione, compresa tra 80 e 85 decibel (dB(A)), i lavoratori devono essere informati sui rischi legati all'esposizione al rumore e sulle misure di prevenzione disponibili.

In questo caso, è necessario fornire Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) per proteggere l'udito dei lavoratori. Inoltre, su richiesta del lavoratore e con conferma del medico competente, devono essere effettuati controlli sanitari.

È anche importante programmare e implementare misure tecniche e organizzative per ridurre l'esposizione al rumore, come la manutenzione delle macchine e la pianificazione delle attività lavorative in modo da minimizzare l'esposizione.

Se i livelli di rumore superano la soglia superiore di azione, tra 85 e 87 dB(A), diventa obbligatorio l'uso dei DPI.

In questa situazione, è prevista una sorveglianza sanitaria annuale, o con diversa frequenza indicata dal medico competente, per monitorare la salute uditiva dei lavoratori.

Inoltre, è necessario segnalare chiaramente i luoghi dove i livelli di rumore superano gli 85 dB(A) e regolamentare gli accessi a queste aree.

Anche in questo caso, devono essere programmate e attuate ulteriori misure tecniche e organizzative per ridurre il rumore.

Quando i livelli di rumore superano i 87 dB(A) o ci sono forti rumori impulsivi, è fondamentale adottare misure immediate per ridurre l'esposizione al di sotto dei valori limite.

Questo include l'individuazione e l'analisi delle cause dell'esposizione eccessiva e la modifica delle misure di protezione e prevenzione per evitare che tali situazioni si ripetano. Inoltre, la pressione acustica istantanea non deve mai superare i 140 dB (200 Pa) per garantire la sicurezza dei lavoratori.

Il datore di lavoro ha numerosi obblighi per assicurare la protezione dei lavoratori dall'esposizione al rumore.

Deve includere la valutazione del rischio rumore come parte integrante della valutazione generale dei rischi sul lavoro.

Se si ritiene che il livello di esposizione giornaliero (LEX) possa superare gli 80 dB(A), è obbligatorio effettuare una misurazione accurata del rumore.

Questa valutazione deve essere ripetuta in caso di modifiche significative nelle condizioni acustiche dell'ambiente di lavoro.

I risultati delle misurazioni devono essere accuratamente documentati nel documento di valutazione dei rischi, garantendo che tutte le informazioni siano facilmente accessibili per monitorare e migliorare continuamente le condizioni di sicurezza.

In definitiva, la misurazione accurata del rumore ambientale e la valutazione dei rischi associati sono fondamentali per proteggere la salute uditiva dei lavoratori.

Utilizzando strumenti come il fonometro e adottando misure preventive basate sui livelli di esposizione, è possibile ridurre significativamente i rischi legati al rumore.

In questo modo, si può garantire un ambiente di lavoro sicuro e sano, proteggendo non solo l'udito dei lavoratori, ma anche migliorando il loro benessere generale e la produttività.

### **3.1.1 Il fonometro**

Gli strumenti di misura acustici, come i fonometri, sono progettati per fornire misurazioni oggettive del rumore o dei suoni, che possono essere confrontate con i risultati ottenuti mediante metodi soggettivi diretti.

Per ottenere misurazioni precise, è fondamentale che la risposta in frequenza di questi apparecchi sia il più possibile simile alla percezione uditiva dell'orecchio umano.

Questo viene realizzato attraverso un banco di filtri che applica una pesatura alla risposta in frequenza, adattando l'amplificazione in base alla frequenza del suono.

Una delle caratteristiche principali dei fonometri è la capacità di fornire una misura dell'energia effettiva del segnale acustico rilevato, ottenuta grazie al modulo di estrazione del valore efficace (RMS).

Tuttavia, è importante notare che i fonometri non possono fornire dettagli sul contenuto spettrale di un segnale complesso, ma solo sull'energia complessiva distribuita tra le diverse componenti armoniche del segnale.

Per un'analisi dettagliata del contenuto spettrale, è necessario utilizzare un analizzatore di spettro, che mostra l'energia delle singole componenti che costituiscono il segnale totale.

Un fonometro è composto da diverse parti fondamentali:

1. Microfono: Trasforma il segnale acustico in segnale elettrico.
2. Stadi di amplificazione: Amplificano il segnale per renderlo misurabile, anche in caso di segnali acustici deboli.
3. Banche di filtri: Applicano curve di ponderazione diverse per ottenere misurazioni accurate.
4. Estrazione del valore efficace (RMS): Fornisce informazioni sull'energia del segnale.
5. Dispositivo di memoria analogica: Attivato solo in particolari condizioni, per memorizzare i dati.

Inoltre, lo strumento include un indicatore per visualizzare le misurazioni.



I primi due blocchi (microfono e amplificazione) sono generalmente realizzati in hardware analogico, mentre i successivi possono essere digitalizzati tramite campionamento del segnale e successiva elaborazione numerica.

Per una misurazione accurata, è essenziale che la frequenza di campionamento sia elevata, tipicamente tra 88.2 kHz e 192 kHz, o anche superiore per operazioni numeriche su segnali campionati.

Il microfono funge da interfaccia tra l'ambiente fisico e il circuito elettrico.

Questo trasduttore converte le variazioni di pressione dell'onda acustica in variazioni di tensione elettrica, seguendo una legge di proporzionalità.

Idealmente, un microfono dovrebbe avere una risposta in frequenza costante su tutto lo spettro acustico e un diagramma polare che mostri una sensibilità uniforme indipendentemente dalla direzione dell'onda acustica, tuttavia, i microfoni reali tendono a deviare dalla risposta ideale, specialmente agli estremi della banda di frequenze.

Esistono due categorie principali di microfoni in base alla risposta polare:

1. Omnidirezionali: Mantengono una sensibilità costante indipendentemente dall'angolo di incidenza del suono.
2. Direzionali: La loro sensibilità varia a seconda dell'angolo di incidenza, e possono essere ulteriormente suddivisi in cardioidi, supercardioidi e a figura di otto.

Le normative richiedono che i microfoni usati negli audiometri siano omnidirezionali, per evitare una sensibilità preferenziale che potrebbe influenzare i risultati delle misurazioni.

Un microfono di misura di qualità media è progettato per rilevare segnali con una pressione acustica di 74 dB SPL a 1 kHz e fornire un segnale di uscita di 1 mV, tuttavia, il segnale elettrico generato dal microfono deve essere amplificato prima di passare attraverso il banco di filtri di ponderazione.

L'amplificazione è necessaria per adattare il segnale alla gamma di dinamica richiesta e compensare il rapporto segnale/rumore non infinito.

Per segnali acustici elevati, è sufficiente un'amplificazione ridotta, mentre per segnali deboli è necessaria una maggiore amplificazione.

Il primo stadio di amplificazione deve minimizzare il rumore elettrico per garantire prestazioni ottimali, specialmente quando si misurano segnali acustici molto deboli, che richiedono amplificazioni superiori ai 60 dB.

Per gestire un'alta amplificazione senza introdurre distorsioni, si utilizza una cascata di amplificatori.

La risposta dell'orecchio umano varia con la frequenza anche se la pressione sonora è costante. Questo significa che la percezione di due suoni con la stessa intensità ma frequenze diverse può differire.

Per ottenere una misura acustica che si avvicini alla percezione soggettiva, il fonometro deve tener conto di questa variazione.

Per questo scopo, sono state sviluppate curve isofoniche tramite test su campioni di persone con udito normale, utilizzando una frequenza di riferimento (1 kHz) e regolando l'intensità dei segnali a diverse frequenze fino a percepire una sensazione sonora uguale. Queste curve, sviluppate da Fletcher e Munson, rappresentano l'intensità soggettiva percepita per ogni frequenza rispetto a un valore di intensità oggettiva.

Per costruire uno strumento che rifletta adeguatamente la sensazione uditiva, è essenziale che la risposta in frequenza del fonometro corrisponda a una curva isofonica.

La curva di pesatura "A" è una normalizzazione basata su queste curve isofoniche, e rappresenta la risposta in frequenza che permette al fonometro di quantificare la sensazione soggettiva.

Le curve isofoniche mostrano che per ottenere una percezione sonora costante a diverse frequenze, è necessario un segnale di intensità molto maggiore per le frequenze basse rispetto a quelle medio-alte, poiché l'orecchio umano è più sensibile alle frequenze medio-alte.

Pertanto, il fonometro deve compensare queste variazioni, seguendo le curve isofoniche di Fletcher-Munson, ma in senso opposto: aumentando l'intensità per le frequenze basse e riducendola per le frequenze medio-alte per ottenere una misura oggettiva che corrisponda alla percezione soggettiva.

Le curve di ponderazione "C", "B" e "A" rappresentano intensità sonore di 40, 70 e 100 phon, rispettivamente, e sono approssimazioni delle curve isofoniche di Fletcher-Munson.

Queste curve sono ottenute tramite filtri elettronici di primo ordine, realizzati con componenti passivi come resistenze e condensatori.

Questi filtri sono progettati per bilanciare una risposta in frequenza adeguata con la semplicità dei circuiti.

Per garantire misurazioni accurate, i fonometri utilizzano queste curve di ponderazione per valutare rispettivamente i livelli elevati, medi e bassi di intensità sonora.

I circuiti sono progettati per ottenere una risposta in frequenza che si avvicini alle curve isofoniche, utilizzando filtri passa alto e passa basso di primo ordine collegati in cascata.

Nella curva di ponderazione “C” sono impiegati due filtri passa basso e due filtri passa alto.

Per la curva “B”, viene aggiunto un filtro passa alto, e per la curva “A” sono aggiunti due filtri passa alto.

Questi filtri sono disaccoppiati tra loro tramite stadi di impedenza che garantiscono una bassa impedenza di uscita e impediscono l’influenza reciproca dei filtri.

Le curve di ponderazione coprono frequenze da 100 Hz a 16 kHz, con valori completi che vanno da 20 Hz a 20 kHz.

Le strutture circuitali sono progettate per ottenere una risposta adeguata in ogni curva, ma per le risposte “B” e “A” è necessario uno stadio di amplificazione per mantenere un guadagno unitario di 0 dB a 1 kHz.

Senza questo stadio, le risposte frequenziali sarebbero leggermente più basse.

La progettazione dei filtri, con la loro semplicità e ripetibilità, è fondamentale per la precisione degli strumenti di misura acustica.

La struttura dei filtri utilizzati è rappresentata da due filtri passa alto e due filtri passa basso, tutti del primo ordine.

La frequenza di taglio ( $F_t$ ) per entrambi i circuiti è calcolata utilizzando la stessa formula, che dipende dai valori di resistenza ( $R$ ) e capacità ( $C$ ).

Il valore efficace di un segnale è cruciale perché riflette l’energia contenuta nel segnale e, quindi, la sensazione acustica che produce.

Per un segnale sinusoidale, il valore efficace è direttamente legato al valore di picco, e può essere calcolato matematicamente o misurato con un voltmetro RMS.

Per segnali più complessi, la determinazione del valore efficace può essere effettuata utilizzando il teorema di Fourier, che afferma che un segnale complesso può essere scomposto in una somma di segnali sinusoidali.

Conoscendo l’ampiezza di queste componenti, è possibile determinare il valore efficace del segnale complessivo, tuttavia, per ottenere informazioni dettagliate sulle singole componenti del segnale composito, è necessario un analizzatore di spettro.

Quando si misura una tensione variabile nel tempo, spesso la legge che regola tale variazione è complessa.

Per ottenere una misura che rifletta l'energia del segnale, si utilizza un circuito RMS che comprende tre blocchi principali:

1. Rettificatore Quadratico: Calcola il quadrato del segnale.
2. Integratore: Media il valore quadratico su un certo intervallo di tempo.
3. Estrattore di Radice Quadrata: Estrae la radice quadrata del valore medio per ottenere il valore efficace.

Il termine RMS sta per "Root Mean Square," che indica le operazioni eseguite per determinare il valore efficace.

Per calcolare il valore efficace in modo discreto, si utilizza la formula:

$$V_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{N}}$$

dove  $(V_i)$  sono i valori della tensione e  $(N)$  è il numero di campioni.

Questo approccio fornisce una stima della radice quadrata della media dei quadrati dei valori della tensione.

Per una misura perfetta, è necessario considerare un numero infinito di campioni.

La formula diventa:

$$V_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{T_i}^{T_f} v^2(t) dt}$$

dove  $(T_i)$  e  $(T_f)$  rappresentano rispettivamente l'inizio e la fine dell'intervallo di osservazione, e  $(T)$  è la durata dell'intervallo.

La costante di tempo dell'integratore determina il tempo di risposta del convertitore RMS.

Le due modalità principali sono:

- SLOW (1000 ms): Adatta per segnali con variazioni lente, non evidenzia i picchi di breve durata.
- FAST (125 ms): Adatta per segnali con variazioni rapide, mostra anche i picchi di breve durata.

Nella modalità IMPULSE, l'integratore ha una costante di tempo di 35 ms e include uno stadio di rivelazione del picco con una costante di tempo di scarica di 1500 ms.

Questo consente di misurare segnali di breve durata, mantenendo la memoria del massimo valore raggiunto.

Le diverse costanti di tempo influenzano il modo in cui il circuito misura il segnale:

- 1000 ms (SLOW): Fornisce una misura media del segnale, non evidenziando i picchi.

- 125 ms (FAST): Fornisce una misura media e mostra i picchi di breve durata.
- 35 ms (IMPULSE): Eccellente per misurare picchi di segnale di brevissima durata, con un circuito di memoria che conserva il valore massimo.

Quando un suono ha una durata molto breve, inferiore a 10 millisecondi, come un clic di pochi microsecondi usato in test audiometrici o rumori impulsivi come una martellata su una superficie metallica, la modalità IMPULSE non è adatta per ottenere una misura significativa.

In questi casi, è necessario utilizzare la modalità “Peak,” che imposta una costante di tempo dell’integratore molto breve, tipicamente intorno ai 20 microsecondi.

Questa modalità consente di rilevare il valore massimo del segnale acustico.

La modalità Peak è progettata per gestire segnali di breve durata, mantenendo un circuito di memoria che permette di visualizzare il valore massimo raggiunto dal segnale.

Quando si misura il valore efficace di un segnale composito, si ottiene solo l’informazione relativa all’energia complessiva del segnale, senza dettagli sulle singole componenti; per analizzare il contenuto spettrale del segnale, è necessario utilizzare un analizzatore di spettro.

Per segnali stazionari, o quasi, la costante di tempo dell’integratore può essere relativamente lunga, fino a centinaia di millisecondi.

Questo approccio è adeguato per segnali con ampiezza costante o variazioni lente: se il segnale è transitorio con rapide variazioni, la modalità di misura deve essere impostata su Impulse o Peak, a seconda della durata del transitorio.

Quando l’ampiezza di un segnale stazionario è costante, la misura dell’intensità può essere effettuata utilizzando un fonometro in modalità SLOW o FAST.

Questo tipo di misura fornisce risultati accurati per segnali con ampiezza stabile.

Tuttavia, è importante ricordare che la misura fornita dal fonometro riflette solo l’energia complessiva del segnale e non la distribuzione dell’energia tra le diverse componenti.

Per un’analisi completa di un segnale composito, è necessario calcolare il valore efficace di ciascuna componente.

### **3.2 Ruolo del tecnico audiometrista e delle sue competenze nella valutazione del rischio rumore**

Il tecnico audiometrista che opera nel contesto della medicina del lavoro svolge un ruolo altamente multidisciplinare, integrando competenze tecniche, cliniche e relazionali per garantire la salute uditiva dei lavoratori esposti a fattori di rischio acustico.

Il suo intervento si articola su diversi livelli, che vanno ben oltre la semplice esecuzione di esami audiometrici, contribuendo attivamente alla prevenzione e alla gestione delle problematiche legate all'ipoacusia professionale.

Una delle funzioni principali del tecnico audiometrista è quella di agire come counselor del lavoratore, instaurando un rapporto di fiducia e continuità con quest'ultimo.

Ogni anno, il tecnico è incaricato di eseguire il controllo uditivo periodico, obbligatorio per le categorie di lavoratori esposti a livelli di rumore potenzialmente dannosi.

Questa attività non si limita alla mera esecuzione di un test, ma comprende anche la responsabilità di rilevare tempestivamente eventuali peggioramenti della capacità uditiva, intervenendo con suggerimenti su eventuali misure correttive.

Il suo ruolo è quindi fondamentale nel monitoraggio continuo della salute uditiva e nel riconoscimento precoce dell'insorgere di patologie legate all'esposizione al rumore.

Essendo spesso il primo a riscontrare un peggioramento delle condizioni del lavoratore, il tecnico audiometrista è un punto di riferimento sia per il dipendente che per il medico del lavoro.

Sebbene l'audiometria rappresenti il fulcro delle sue competenze, il tecnico audiometrista, dopo aver ricevuto una formazione adeguata, può essere incaricato anche di eseguire la spirometria.

Questo esame, fondamentale nella valutazione della funzionalità respiratoria, è particolarmente rilevante in contesti lavorativi dove l'esposizione a polveri, fumi o sostanze chimiche può compromettere la salute dei polmoni.

La possibilità di affiancare la spirometria alle competenze audiometriche amplia il campo d'azione del tecnico, rendendolo una figura versatile e in grado di contribuire in modo ancora più completo alla prevenzione delle patologie professionali.

Il tecnico audiometrista non agisce mai in isolamento, ma lavora all'interno di un'equipe multidisciplinare che include il medico del lavoro e altri professionisti coinvolti nel processo di prevenzione.

Questa stretta collaborazione è essenziale per garantire un approccio integrato e olistico alla gestione della salute dei lavoratori.

Il tecnico fornisce dati essenziali attraverso gli esami audiometrici e spirometrici, essenziali per prevenire o diagnosticare tempestivamente disturbi uditivi, che vengono poi analizzati congiuntamente dal medico del lavoro per stabilire piani di prevenzione o intervento.

Lavorare in sinergia consente una più efficiente gestione dei rischi e una pronta risposta a eventuali segnali di allarme relativi al benessere dei lavoratori.

Attraverso questi esami, si può misurare la funzionalità e la sensibilità dell'orecchio, diagnosticare eventuali sordità e determinarne l'intensità e la tipologia.

Gli esami audiometrici distinguono tra due tipi principali di sordità [17]:

- Sordità di percezione: causata da danni all'orecchio interno.
- Sordità di trasmissione: dovuta a problemi dell'orecchio esterno o medio.

Questi esami sono sicuri e richiedono la cooperazione tra il tecnico e il paziente.

I principali test audiometrici sono:

- Audiometria tonale: misura la soglia di rilevabilità dei suoni attraverso le vie aeree e ossee, valutando la funzionalità dell'orecchio esterno, medio e interno.
- Audiometria vocale: valuta il livello di comprensione delle parole ascoltate a diverse intensità.

L'associazione di audiometria tonale e vocale è cruciale per diagnosticare patologie del sistema nervoso centrale, come il neurinoma dell'acustico.

I risultati degli esami vengono trascritti su un audiogramma, che richiede apparecchiature specifiche e competenze del tecnico audiometrista.

Le principali attività e competenze del tecnico audiometrista includono:

- Raccolta di informazioni: raccolta di dati oggettivi e soggettivi del paziente.
- Esecuzione di test audiovestibolari: valutazione della capacità uditiva e della funzionalità vestibolare.
- Gestione degli interventi riabilitativi: in collaborazione con l'otorinolaringoiatra.
- Educazione terapeutica: informazione e formazione dei pazienti.

Il tecnico audiometrista svolge attività fondamentali per la raccolta di dati del paziente e esecuzione di test audiovestibolari e somministrazioni di questionari valutativi, utili per valutare la capacità uditiva e la funzionalità vestibolare.

Collabora strettamente con l'otorinolaringoiatra nella gestione degli interventi riabilitativi e si occupa dell'educazione terapeutica, fornendo informazioni e formazione ai pazienti.

Le sue responsabilità includono la valutazione del sistema uditivo e vestibolare, stimando i risultati audiometrici.

Deve inoltre gestire programmi di prevenzione, eseguendo screening per individuare precocemente le patologie uditive, e scegliere le modalità riabilitative più appropriate, adattando trattamenti e ausili protesici alle necessità del paziente.

Oltre alle competenze tecniche, il tecnico audiometrista deve possedere qualità umane essenziali come empatia, sensibilità e disponibilità al rapporto interpersonale, fondamentali per interagire efficacemente con i pazienti e lavorare in équipe.

Il ruolo del tecnico audiometrista, ufficialmente riconosciuto dal D.M. n. 667 del settembre 1994, comprende la prevenzione, valutazione e riabilitazione delle patologie uditive e vestibolari.

Questo professionista esegue prove non invasive e collabora con altre figure professionali per offrire un'assistenza di qualità.

La combinazione delle sue competenze tecniche e umane è cruciale per la diagnosi e gestione delle patologie uditive, contribuendo a migliorare la qualità della vita dei pazienti.

In conclusione, il ruolo del tecnico audiometrista nel contesto della medicina del lavoro è complesso e di cruciale importanza.

Il suo compito va ben oltre la semplice esecuzione di test diagnostici, comprendendo aspetti di consulenza, formazione e collaborazione interprofessionale.

Grazie alla sua formazione multidisciplinare, questa figura contribuisce in modo significativo alla promozione della salute uditiva e respiratoria nei luoghi di lavoro, garantendo un controllo accurato e continuo delle condizioni dei lavoratori.

### **3.3 Esami audiometrici e classificazione del danno uditivo**

L'esame audiometrico, noto anche come audiometria, è un test non invasivo utilizzato per valutare la capacità uditiva di una persona, identificare eventuali problemi di percezione uditiva e determinare l'entità della perdita di udito.

Esistono due principali tipi di audiometria: tonale e vocale.

Il primo esame rileva la soglia di udibilità, ovvero l'intensità acustica minima che una persona può percepire, utilizzando toni puri.



Questi toni vengono inviati attraverso un trasduttore come la cuffia o l'inserto alle orecchie del paziente a diverse intensità per individuare la soglia audiometrica, cioè il suono più debole percepito.

I risultati sono rappresentati su un audiogramma tonale, che evidenzia eventuali deficit uditivi.

L'audiometria vocale valuta la capacità di riconoscere le parole ascoltate a diverse intensità.

Le parole vengono trasmesse al paziente a volumi variabili, e la capacità di comprensione viene tracciata su un audiogramma vocale.

L'esame di audiometria tonale viene prescritto da uno specialista in otorinolaringoiatria quando il paziente segnala una perdita uditiva, per valutare la presenza e l'entità del deficit. Può distinguere tra ipoacusia trasmissiva (problemi nell'orecchio esterno e medio) e ipoacusia neurosensoriale (danni all'orecchio interno o al nervo acustico) o mista (la combinazione tra trasmissiva e neurosensoriale).

Le cause della perdita uditiva includono esposizione a rumori forti, infezioni, patologie tumorali, traumi, farmaci ototossici e invecchiamento [17].

Il test viene eseguito da un tecnico audiometrista in una cabina isolata acusticamente ed elettricamente (cabina silente).

Il paziente indossa cuffie (o inserti) attraverso cui vengono trasmessi toni puri a diverse frequenze e intensità.

La risposta del paziente viene riportata su un audiogramma tonale.

L'audiometria per via aerea valuta la percezione del suono attraverso l'orecchio esterno, e medio e infine all'orecchio interno che trasmette il segnale elettrofisiologico al sistema nervoso centrale (processing uditivo), mentre l'audiometria per via ossea, che utilizza vibrazioni direttamente sulla coclea, valuta direttamente l'orecchio interno scavalcando l'orecchio esterno e medio.

Gli audiogrammi risultanti mostrano le soglie di udibilità per ciascun orecchio, rappresentati su un grafico audiometrico.

Per quanto riguarda il follow-up dei pazienti con perdita uditiva cronica causata da disposizioni a rumori è importante spiegare l'iter che lavoratore affronta se passa nella categoria tutelata dall'Inail.

In caso di danno uditivo il medico effettua una segnalazione che avvia la procedura di riconoscimento della malattia professionale, il lavoratore viene quindi sottoposto a valutazioni audiologiche regolari per monitorare l'evoluzione della perdita uditiva e ricevere gli eventuali interventi terapeutici e riabilitativi necessari.

Il processo prevede, inoltre, che il medico del lavoro notifichi la situazione all'Inail che successivamente si occuperà della gestione della pratica garantendo al lavoratore l'accesso ai benefici previsti per malattie professionali legate all'esposizione a rumori nocivi.

Il confronto tra audiogrammi aerei e ossei aiuta a identificare il tipo di ipoacusia.

Un udito normale ha una soglia inferiore a 20 dB, mentre soglie superiori indicano ipoacusia di vario grado fino alla sordità profonda oltre i 90 dB.

I risultati devono essere interpretati da uno specialista, che può prescrivere ulteriori esami e definire la terapia più appropriata.

In base alle cause della perdita uditiva, il trattamento può includere farmaci, ausili protesici, cambio DPI, e consigli per la prevenzione e la protezione della salute dell'udito.

### **3.4 Interpretazione dei risultati degli esami attraverso i criteri di Merluzzi Pira Bosio**

L'audiometria rappresenta un grafico composto da diversi punti, la cui combinazione genera una vasta gamma di possibilità.

L'audiometria per via aerea valuta la capacità uditiva del paziente, considerando l'orecchio esterno, medio e infine l'orecchio interno, che trasmette il segnale elettrofisiologico al sistema nervoso centrale per il processamento uditivo.

Dall'altra parte, l'audiometria per via ossea, applicando vibrazioni direttamente sulla coclea, valuta la funzionalità dell'orecchio interno bypassando le strutture esterne e medie.

I risultati di entrambe le indagini vengono rappresentati in audiogrammi, dove si illustrano le soglie di udibilità di ciascun orecchio in un grafico audiometrico.

Senza l'uso di metodi sintetici di classificazione, il confronto tra diversi audiogrammi basato sui singoli punti risulterebbe estremamente complesso e laborioso.

Nella letteratura sono stati proposti vari metodi di classificazione delle audiometrie, fondati su due principi distinti: la valutazione morfologica del tracciato oppure elaborazioni numeriche relative a un certo numero di frequenze.

I metodi basati sulla valutazione morfologica del tracciato audiometrico sono particolarmente indicati per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori, a scopo preventivo.

La classificazione non dovrebbe essere effettuata tramite un semplice confronto meccanico, ma deve sempre essere preceduta da una diagnosi audiologica, che tenga conto anche dei dati anamnestici e clinici raccolti.

Solo successivamente è possibile procedere alla classificazione effettiva del tracciato.

Il più noto metodo di classificazione morfologica, comunemente noto come Metodo Merluzzi, è stato sviluppato negli anni '70 del Novecento con l'obiettivo di fornire un quadro sintetico della funzione uditiva di un gruppo omogeneo di persone esposte a elevati livelli di rumore.

Il reticolo della scheda audiometrica era suddiviso in sei aree, ciascuna indicata da una lettera dell'alfabeto: a seconda delle zone attraversate dal tracciato audiometrico, questo veniva classificato con un numero da 0 a 7.

La classe 0 includeva tutti i tracciati considerati "normali", con una soglia uditiva bilaterale uguale o inferiore a 25 dB per ciascuna delle frequenze esaminate.

Le classi 1, 2, 3, 4 e 5 comprendevano tutti i casi di deficit uditivo provocati dal rumore, classificati in base alla gravità come ipoacusia da rumore dal primo al quinto grado.

La progressione delle classi rifletteva il tipico andamento della ipoacusia da rumore, che inizialmente danneggia le frequenze acute, mentre quelle medio-basse sono colpite in una fase successiva.

Le classi 6 e 7 comprendevano, indipendentemente dalla loro gravità, i tracciati che indicavano un deficit uditivo di origine combinata (rumore più altra causa) o dovuto a cause diverse dal rumore.

Nonostante la semplicità del Metodo Merluzzi, esso presentava alcune limitazioni, come la scarsa sensibilità nel rilevare il peggioramento uditivo in un singolo lavoratore.

Ad esempio, un soggetto poteva rimanere nella stessa classe anche se la sua soglia per i 4000 Hz passava da 30 a 50 dB tra un controllo audiometrico e l'altro.

Un altro aspetto problematico riguardava la definizione di normalità, che considerava normale un aumento della soglia uditiva fino a 25 dB.

Sebbene questa definizione fosse accettabile in ambito clinico, risultava grossolana nel contesto della sorveglianza sanitaria dei lavoratori, poiché non teneva conto del trauma

acustico cronico nella sua fase iniziale, che rappresentava comunque un “evento sentinella” di esposizione non controllata a rumore [27].

A fronte delle criticità del Metodo Merluzzi, nel 2003 è stato proposto un nuovo sistema di classificazione, successivamente aggiornato nel 2008.

Questo metodo, denominato Metodo MPB dalle iniziali degli autori Merluzzi, Pira e Bosio, mira a superare alcune delle limitazioni del metodo precedente.

Il Metodo MPB prevede la suddivisione del reticolo audiometrico in un numero maggiore di aree (dieci), permettendo di identificare meglio i tracciati con alterazioni iniziali o lievi.

Sono definite due classi di normalità uditiva, la prima da -10 a 10 dB e la seconda da 15 a 25 dB, con l’obiettivo di:

1. Incoraggiare il personale esecutore a ricercare la vera soglia uditiva, e non solo quella generica intorno ai 25 dB;
2. Identificare precocemente situazioni ancora comprese nella normalità ma indicative di un possibile stato evolutivo o di ipersuscettibilità.

Il Metodo MPB prevede un totale di 18 classi e sottoclassi, indicate da numeri e lettere, dove la progressione numerica e alfabetica rispecchia l’andamento tipico della ipoacusia da rumore e del danno uditivo.

La maggiore sensibilità di questo metodo comporta una certa complessità nel suo utilizzo, problema che gli autori hanno risolto sviluppando un programma di calcolo automatico, inserito in un CD allegato alle Linee guida SIML.

Per garantire un’applicazione critica e consapevole della classificazione, il sistema automatico può essere attivato solo dopo che è stata formulata una delle seguenti diagnosi: tracciato normale, ipoacusia da rumore, ipoacusia non da rumore, presbiacusia o ipoacusia da causa mista.

L’interpretazione dei risultati degli esami audiometrici, come l’audiometria tonale, può essere effettuata, dunque, utilizzando i criteri sviluppati da Merluzzi, Pira e Bosio.

Questi criteri offrono una classificazione standardizzata della perdita uditiva basata sui valori ottenuti dagli audiogrammi, suddividendo la perdita uditiva in base alla soglia di udibilità media, misurata in decibel (dB), sulle principali frequenze impiegate durante l’esame audiometrico (di solito 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz).

Di seguito una sintesi della classificazione:

1. Normale:

- Soglia uditiva media tra 0 e 20 dB.
- Non ci sono perdite significative della capacità uditiva.

#### 2. Ipoacusia Lieve:

- Soglia uditiva media tra 21 e 40 dB.
- Perdita uditiva lieve, possibile difficoltà nel percepire i suoni deboli o in ambienti rumorosi.

#### 3. Ipoacusia Moderata:

- Soglia uditiva media tra 41 e 70 dB.
- Perdita uditiva moderata, difficoltà nel percepire la conversazione normale senza ausili.

#### 4. Ipoacusia Grave:

- Soglia uditiva media tra 71 e 90 dB.
- Perdita uditiva grave, conversazioni possono essere percepite solo a voce molto alta o con ausili acustici.

#### 5. Ipoacusia Profonda:

- Soglia uditiva media superiore a 90 dB.
- Perdita uditiva profonda, difficile percezione di qualsiasi suono senza ausili.

Per interpretare i risultati di un esame audiometrico secondo i criteri di Merluzzi, Pira e Bosio, si seguono alcuni passi fondamentali.

In primo luogo, durante l'audiometria tonale, vengono raccolte le soglie di udibilità per ciascuna frequenza testata, e questi dati sono riportati sull'audiogramma.

Successivamente, si calcola la soglia uditiva media, facendo la media delle soglie a 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz.

Ad esempio, se le soglie per un orecchio sono 30 dB a 500 Hz, 40 dB a 1000 Hz, 50 dB a 2000 Hz e 60 dB a 4000 Hz, la media sarebbe 45 dB.

Infine, si confronta la soglia media ottenuta con i valori dei criteri di Merluzzi, Pira e Bosio per determinare la classificazione della perdita uditiva.

Supponiamo che un paziente abbia le seguenti soglie uditive su un audiogramma [16]:

- 500 Hz: 25 dB
- 1000 Hz: 35 dB
- 2000 Hz: 45 dB
- 4000 Hz: 55 dB

La soglia uditiva media sarà:

$$\text{Soglia media} = \frac{25 + 35 + 45 + 55}{4} = 40 \text{ dB}$$

Secondo i criteri di Merluzzi, Pira e Bosio, una soglia media di 40 dB classifica questo paziente con una ipoacusia lieve.

L'interpretazione degli audiogrammi e la classificazione della perdita uditiva tramite questi criteri forniscono informazioni preziose per la diagnosi e la pianificazione del trattamento.

L'otorinolaringoiatra utilizza questi dati per determinare il tipo di perdita uditiva, che può essere trasmissiva, percettiva o mista.

Questi dati consentono anche di stabilire la gravità della perdita uditiva, classificandola come normale, lieve, moderata, grave o profonda.

In base alla diagnosi, viene pianificato il trattamento adeguato, che può includere la prescrizione di protesi acustiche, terapie mediche o interventi chirurgici, inoltre, l'otorinolaringoiatra fornisce consigli di prevenzione per proteggere e mantenere la salute dell'apparato uditivo.

L'adozione dei criteri di Merluzzi, Pira e Bosio rappresenta un passo significativo verso una standardizzazione nella valutazione dei risultati degli esami audiometrici [28].

Questi criteri, infatti, forniscono un framework chiaro e preciso per classificare i diversi tipi di ipoacusia e per determinare la gravità della perdita uditiva.

Questo approccio sistematico non solo facilita l'interpretazione dei dati, ma rende anche possibile un confronto più efficace tra studi e pratiche cliniche a livello internazionale.

Qualora gli audiogrammi evidenzino anomalie diverse da quelle tipiche legate all'esposizione al rumore, si rende necessario un approfondimento diagnostico.

In questi casi, l'iter per i lavoratori prevede una visita specialistica audiologica e l'esecuzione di esami strumentali più approfonditi.

Tra questi, l'ABR (Auditory Brainstem Response) rappresenta un'indagine diagnostica essenziale per valutare la funzionalità delle vie uditive centrali, monitorando la risposta del tronco encefalico agli stimoli acustici.

L'ABR è utilizzato soprattutto quando si sospettano problematiche di natura neurologica o retrococleare, che non emergono chiaramente dai test audiometrici convenzionali.

Per i lavoratori che presentano anomalie uditive sospette o atipiche, l'iter diagnostico prevede:

1. **Visita specialistica audiologica**, durante la quale viene eseguita una valutazione clinica approfondita dell'orecchio e del sistema uditivo.
2. **Esami strumentali di approfondimento**, tra cui l'ABR, che viene utilizzato per valutare la risposta neurologica agli stimoli sonori e identificare eventuali disfunzioni delle vie nervose centrali.
3. **Monitoraggio continuo**, in cui vengono ripetuti nel tempo sia gli esami audiometrici standard che quelli specialistici, per garantire un quadro diagnostico preciso ed aggiornato.

Questi step consentono di individuare non solo le patologie causate dall'esposizione a rumore, ma anche eventuali problematiche uditive di diversa origine, come patologie neurologiche, malattie degenerative o disturbi dell'orecchio interno, garantendo un'adeguata protezione e gestione della salute del lavoratore.

Utilizzando questi criteri, gli specialisti possono analizzare le soglie di udibilità e classificare le perdite uditive in modo uniforme, riducendo la variabilità nei risultati dovuta a differenze metodologiche.

Questo è particolarmente importante in contesti lavorativi, dove le normative richiedono una valutazione accurata dei rischi legati all'esposizione al rumore.

Le informazioni ottenute attraverso questi criteri possono guidare decisioni cruciali riguardo le misure preventive e le strategie di intervento, garantendo una maggiore protezione per i lavoratori.

Inoltre, l'applicazione di standard internazionali facilita la comunicazione tra professionisti e istituzioni di diversi paesi, promuovendo una cultura della salute uditiva globale.

La condivisione di dati e risultati basati su criteri comuni permette di identificare trend e problematiche emergenti in modo tempestivo, favorendo collaborazioni e studi comparativi.

L'utilizzo dei criteri di Merluzzi, Pira e Bosio può contribuire a una formazione più efficace per i tecnici audiometrici, poiché offre loro un riferimento solido per sviluppare competenze diagnostiche e tecniche [28].

Questo non solo migliora la qualità della valutazione audiometrica, ma rinforza anche l'importanza della prevenzione e della sensibilizzazione sui rischi legati all'ipoacusia da rumore nell'ambiente lavorativo.

Nell'analisi della perdita uditiva, un elemento fondamentale è il confronto con il 90° percentile, basato su tabelle che stimano l'aspettativa di perdita uditiva correlata all'età del lavoratore.

Queste tabelle (Figura 7), spesso utilizzate per la sorveglianza sanitaria in ambito occupazionale, riportano i valori standardizzati di perdita uditiva, differenziati per sesso e età, e forniscono un riferimento per distinguere tra perdite uditive legate all'invecchiamento naturale e quelle causate da esposizioni professionali o patologiche.

Figura 7: Tabelle dei deficit uditivi per età e sesso

**Esempio di Tabella per l'Età:**

Età (anni)	500 Hz (dB HL)	1000 Hz (dB HL)	2000 Hz (dB HL)	4000 Hz (dB HL)	8000 Hz (dB HL)
0-1	10	10	10	10	10
2-5	10	10	10	15	20
6-18	10	10	10	15	25
19-30	15	15	20	25	30
31-50	20	20	25	30	35
51-70	25	30	35	40	45
71+	30	35	40	45	50



### Esempio di Tabella per Sesso:

Frequenza (Hz)	Uomini (dB HL)	Donne (dB HL)
500	15	10
1000	15	10
2000	20	15
4000	25	20
8000	30	25

Le tabelle riportano il valore percentuale di perdita uditiva atteso per ciascuna fascia di età, indicando la progressiva riduzione della soglia uditiva tipica del processo di invecchiamento.

Il confronto tra i dati ottenuti dagli audiogrammi e le curve standard del 90° percentile permette di identificare se la perdita uditiva del lavoratore è compatibile con l'età o se richiede ulteriori indagini.

La perdita uditiva tende a manifestarsi diversamente tra uomini e donne, con progressioni più marcate negli uomini a causa di fattori ambientali e occupazionali che possono incidere in modo più diretto sulla salute dell'udito.

Di conseguenza, le tabelle sono suddivise in base al sesso per fornire un'analisi accurata.

In situazioni in cui la perdita uditiva del lavoratore si discosta significativamente dal normale calo uditivo legato all'età, il protocollo prevede una visita specialistica audiologica, seguita da esami strumentali avanzati come la ABR (Auditory Brainstem Response), utile per rilevare disfunzioni più complesse nel sistema uditivo centrale e nelle vie neurali.

## **CONCLUSIONI:**

La valutazione del rischio rumore nell'ambiente lavorativo è cruciale per prevenire l'ipoacusia da rumore, una delle principali patologie professionali legate all'esposizione prolungata a livelli elevati di rumore.

Questa tesi ha esaminato le basi teoriche dell'ipoacusia da rumore, le normative vigenti e le metodologie di valutazione del rischio, fornendo un quadro completo e integrato delle misure necessarie per tutelare la salute uditiva dei lavoratori.

Nel primo capitolo, si è sottolineata l'importanza della valutazione del rischio rumore, definendo l'ipoacusia da rumore e analizzando i fattori di rischio e i meccanismi di danno uditivo.

La prevenzione è essenziale, poiché una volta instauratasi, l'ipoacusia da rumore è irreversibile. L'identificazione dei principali fattori di rischio e la comprensione dei meccanismi di danno permettono di attuare strategie di prevenzione più mirate ed efficaci.

Il secondo capitolo ha contestualizzato il problema della sordità da rumore nell'ambiente lavorativo, analizzando il Decreto Legislativo 81/08, che rappresenta il principale riferimento normativo per la prevenzione delle malattie professionali in Italia.

Il decreto impone obblighi specifici ai datori di lavoro e tutela i diritti dei lavoratori, promuovendo misure preventive e correttive per ridurre l'esposizione al rumore.

La normativa evidenzia come la prevenzione del danno uditivo sia non solo un obbligo legale, ma anche un imperativo etico per migliorare la qualità della vita dei lavoratori.

Nel terzo capitolo, sono stati esaminati gli approcci e gli strumenti per la misurazione del rumore ambientale.

Tra questi, gli esami audiometrici giocano un ruolo fondamentale nella classificazione del danno uditivo.

In conclusione, la prevenzione dell'ipoacusia da rumore rappresenta un impegno multidisciplinare che richiede l'applicazione rigorosa delle normative vigenti, la competenza dei professionisti coinvolti e l'utilizzo di strumenti di valutazione idonei. L'analisi condotta in questa tesi ha evidenziato come l'implementazione di strategie preventive sia cruciale per tutelare la salute uditiva dei lavoratori, riducendo al minimo il rischio di esposizione a livelli dannosi di rumore.

Un aspetto fondamentale emerso è il ruolo centrale del tecnico audiometrista, la cui competenza e professionalità sono indispensabili per la corretta esecuzione e interpretazione degli esami audiometrici.

L'esame audiometrico, infatti, è di esclusiva competenza del tecnico audiometrista per diversi motivi che meritano di essere approfonditi.

Innanzitutto, il tecnico audiometrista è un professionista sanitario che ha conseguito una formazione universitaria specifica e altamente specializzata, integrata da un percorso professionalizzante attraverso il tirocinio clinico-aziendale svolto presso strutture ospedaliere. Questo iter formativo consente di acquisire non solo competenze teoriche, ma anche una solida esperienza pratica nel campo della valutazione audiometrica.

Inoltre, l'obbligo di formazione continua (ECM) nel settore audiometrico garantisce che i tecnici siano sempre aggiornati sulle nuove metodologie di esame, sull'evoluzione degli strumenti diagnostici e sulle normative di riferimento.

Questo impegno nella formazione permanente permette ai tecnici audiometristi di mantenere un elevato standard professionale, necessario per eseguire con precisione e accuratezza esami che, seppur all'apparenza semplici, richiedono in realtà una profonda conoscenza della fisica, dell'elettronica e delle misure elettriche applicate all'audiometria.

È proprio questa sinergia tra formazione teorica e competenze pratiche che rende il tecnico audiometrista una figura insostituibile nell'ambito della valutazione del rischio rumore.

Solo grazie a tale preparazione è possibile garantire che gli esami audiometrici siano eseguiti correttamente, fornendo una diagnosi precisa e affidabile del danno uditivo, e assicurando che i risultati ottenuti siano comparabili a livello internazionale attraverso l'adozione di criteri standardizzati, come quelli di Merluzzi, Pira e Bosio.

Infine, è essenziale contrastare le pratiche fraudolente come la simulazione di ipoacusia finalizzata all'ottenimento di indennizzi dall'INAIL, che rappresentano una minaccia all'integrità del sistema previdenziale e dei benefici destinati ai lavoratori onesti.

Per prevenire e contrastare tali fenomeni, è necessario implementare rigorosi controlli e procedure di audit, nonché garantire una formazione continua per i professionisti coinvolti, affinché dispongano delle competenze necessarie a individuare eventuali tentativi di frode.

Solo attraverso un'azione congiunta tra professionisti qualificati, datori di lavoro consapevoli e un sistema normativo efficace sarà possibile assicurare che la prevenzione

del rischio rumore e la tutela della salute uditiva nei luoghi di lavoro siano realmente efficaci.

## **BIBLIOGRAFIA:**

- [1] Iavicoli S., Ipocausia da rumore, un problema di salute ancora attuale sul lavoro, Inail, 2018
- [2] Stolfi A., La valutazione dei rischi, I working papers di Olympus – 36/2014, 2014
- [3] Imam L, Hannan SA. Noise-induced hearing loss: a modern epidemic? Br J Hosp Med. 02;78(5):286–290, 2017
- [4] Daniel E. Noise and hearing loss: a review. J Sch Health. 2007 May;77(5):225–231.
- [5] Andrea D. Warner-Czyz & Sarah Cain, Age and gender differences in children and adolescents' attitudes toward noise, International Journal of Audiology, 2016, 55:2, 83-92, DOI: 10.3109/14992027.2015.1098784
- [6] Themann, Christa L., e Elizabeth A. Masterson. «Occupational Noise Exposure: A Review of Its Effects, Epidemiology, and Impact with Recommendations for Reducing Its Burden». The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 146, n. 5, novembre 2019
- [7] Cirillo E., D'Alba M., and Martellotta F., Rumore e attività lavorativa negli uffici, La Medicina del Lavoro 97.6 (2006): 749-761.
- [8] Innocenti A., Botti C., Roscelli F., Quercia A., Spirometria e audiometria: Manuale pratico per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori, EPC, 2020
- [9] Silvano V., Refertazione e interpretazione dei tracciati e dei questionari in ORL, Quaderni Monografici di Aggiornamento A.O.O.I, 2008
- [10] Martini S., Il senso dell'udito nel Corpus Aristotelicum, Peter Lang, 2011
- [11] Ramazzini B., De Morbis Artificum Bernardini Ramazzini Diatriba, University of Chicago Press, 1940
- [12] Beltrami C., Arte e fisica del suono, Franco Angeli Edizioni, 2014
- [13] Mosnier I., Sordità improvvise, EMC - Otorinolaringoiatria, Volume 23, Issue 1, 2024
- [14] Motta G., Il rumore nell'ambiente di lavoro e il danno uditivo, Omega, 1992
- [15] Medina-Garin DR, Dia A, Bedubourg G, Deparis X, Berger F, Michel R. Acute acoustic trauma in the French armed forces during 2007-2014. Noise Health. 2016 Nov-Dec;18(85):297-302. doi: 10.4103/1463-1741.195802
- [16] Rotella A., Campurra G., Il rischio rumore negli ambienti lavorativi, Ipsoa, 2013
- [17] Sghirlanzoni A., Genovese U., Guida alla valutazione medico-legale del danno neurologico, Springer Milan, 2012

- [18] Clerici M., L'audioprotesista. Esperienze di lavoro di un audioprotesista da 37 anni nel settore audioprotesico, Edicola, 2006
- [19] Martini A., Prosser S., Aimoni, C., Audiologia e foniatría, Omega, 2010
- [20] Cerniglia A., Simulazioni acustiche in ambiente, RCI, anno XXV, 9, Tecniche Nuove, 1998.
- [21] Prosser S., Martini A., Argomenti di audiologia, Omega, 2013
- [22] D'Amico F, Mochi S, Salvati A. Le malattie professionali in Italia: evoluzione storica, tendenze in atto e prospettive future. Rivista infortuni e malattie professionali, 2002
- [23] Sabatino R., La valutazione del rischio rumore, Inail, 2015
- [24] Pizzuti A., Papale A., Leva A., Nataletti P., Pinto I., Campo G., Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale, 2018
- [25] Cuda D., Ghiselli S., Guerzoni L., Labora A., Stato attuale delle Politiche Sanitarie Italiane sulla Sordità, in Argomenti di Otorhinolaryngologica Italica ACTA, Vol. XVI, Pacini Editore Medicina, 2022
- [26] Cavallucci S., Stanganini S., Abc della sicurezza per il rischio rumore, EPC Libri, 2013
- [27] Campurra G., Manuale Medicina del lavoro 2013, Ipsoa, 2013.
- [28] Bartolucci G. B., Linee Guida per la prevenzione dei danni uditivi da rumore in ambiente di lavoro, Pime, 2003