



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Tecniche della Prevenzione nell'Ambiente
e nei Luoghi di Lavoro

**Effetti Extra-Uditivi Del Rumore: Stress
Generato In Ambito Lavorativo Nel Caso In Cui
Il Rumore Non Superi Il Livello Sonoro
Equivalente Di 85 dB Durante La Giornata
Lavorativa**

Relatore:

Prof.ssa Lory Santarelli

Tesi di Laurea di:

Giacomo Baldinelli

Correlatore:

Prof.ssa Bianca Maria Orciani

A.A. 2019/2020

INDICE

1. Introduzione.	4
2. Lo stress nei luoghi di lavoro.	5
2.1. Stressor e stress, stimolo e risposta.	5
2.2. Salute e stress lavoro correlato (SLC).	7
3. Rumore e organismo umano: dalle vie di accesso alla somatizzazione. ...	10
3.1. Il rumore.	10
3.2. L'udito: anatomia e fisiologia dell'orecchio.	12
3.3. Sistema nervoso vegetativo.	20
3.4. Anatomia dell'encefalo.	21
4. Come il rumore agisce sull'organismo umano.	28
4.1. Sistema endocrino.	28
4.2. Sistema nervoso.	31
5. Sintomatologia dello stress da rumore.	34
5.1. Effetti diretti del rumore: annoyance ed "effetto fatica".	34
5.2. Effetti indiretti del rumore: disturbo del sonno.	36
6. Legislatura vigente.	38
6.1. Tutela dei lavoratori dal rumore.	38
6.2. Stress lavoro correlato (SLC).	40

7. La sperimentazione in azienda.	46
7.1. Le rilevazioni fonometriche.	46
7.2. Sperimentazione con nuovi otoprotettori.	59
8. Un'integrazione nella valutazione dello stress lavoro correlato.	64
9. Conclusioni.	69
10. Allegati.	72
Allegato 1 – Questionario per la valutazione dello stress in seguito alla sperimentazione con otoprotettori.	72
Allegato 2 – Dichiarazione di conformità UE per otoprotettori ULTRAFIT 14.	76
Allegato 3 – Autorizzazione da parte del professor Fausti per l'utilizzo della sua dispensa.	77
11. Bibliografia.	78
12. Sitografia.	81

1° CAPITOLO

INTRODUZIONE

Lo stress è, negli ultimi anni e con trend sempre più crescente, fonte di sempre più dubbi e preoccupazione e gli viene spesso attribuito il “ruolo” di causa nell’insorgenza di varie malattie, tanto da entrare a far parte dei rischi specifici aziendali e da avere una propria valutazione dei rischi, ovvero quella per lo STRESS LAVORO CORRELATO.

Ma che cos’è lo STRESS LAVORO CORRELATO? In che modo si sviluppa e influenza la vita lavorativa e quotidiana di tutti i lavoratori?

In questa tesi andrò a illustrare cos’è lo stress e in che modo agisce sull’essere umano, approfondendo la tematica della tutela dei lavoratori dal rumore inferiore al **valore superiore di azione** nei luoghi di lavoro, dallo stress generato da esso e analizzando e ragionando sul manuale ad uso delle aziende, redatto dall’Inail, per la “valutazione e gestione del rischio stress lavoro correlato”.

2° CAPITOLO

LO STRESS NEI LUOGHI DI LAVORO

2.1. – Stressor e stress, stimolo e risposta.

Legati dalla relazione stimolo-risposta, stressor e stress fanno parte della vita quotidiana di ognuno di noi: identificato lo stressor nello stimolo e lo stress nella risposta, parliamo di stressor ogniqualvolta ci riferiamo a qualsiasi stimolo esterno verso il nostro organismo, che sia questo positivo (una vincita di denaro), negativo (l'urto del piede contro uno spigolo), rapido e violento (lo scoppio di un petardo) o cronico (l'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro) mentre parliamo di stress tutte le volte in cui ci si riferisce alla risposta dell'organismo agli stimoli esterni prima citati.

Lo stress generato come risposta agli stressor consiste in un processo biochimico che viene ripetuto quotidianamente nell'organismo ogniqualvolta si rende necessario; in pratica, lo stress corrisponde a un'intensificazione dell'attività vitale (tramite la secrezione di ormoni) che consente all'organismo di adattarsi e reagire al variare delle circostanze creanti stressor, fornendoci quindi l'energia necessaria per l'adattamento alla nuova circostanza (Chetta 2008).

L'insieme di tutte le reazioni biochimiche attuate dall'organismo in risposta agli stressor viene generalmente inteso come “*sindrome generale di adattamento*” (d'ora in poi GAS) ed è articolata principalmente in tre fasi:

1. *Reazione d'allarme*: in questa prima fase vengono attivate tutte le reazioni aspecifiche scatenate da uno stressor; lo scopo dell'organismo è proprio quello di ricreare l'equilibrio perso a causa dello stimolo esterno per il quale non è adatto né quantitativamente né qualitativamente.

La reazione d'allarme si suddivide a sua volta nella fase dello *shock*, dove l'organismo subisce passivamente l'azione dello stressor e la fase del *controshock* in cui l'organismo reagisce con le risposte aspecifiche.

2. *Fase di adattamento o stadio della resistenza*: fase che si manifesta nel caso in cui ci si trova soggetti a stressor protratti nel tempo, caratterizzata dall'adattamento dell'organismo agli stimoli esterni grazie alle reazioni aspecifiche utilizzate come risposta; in questa fase è solita aumentare la resistenza verso gli stimoli esterni ai quali si è sottoposti.
3. *Fase di esaurimento*: fase in cui l'organismo esaurisce la capacità di adattamento ed iniziano a manifestarsi gli effetti dannosi; questa fase può comparire a ridosso o tardivamente rispetto all'esposizione allo stressor in questione (Jannini et. al. 1988).

2.2. – *Salute e stress lavoro correlato (SLC).*

Lo stress lavoro correlato (d'ora in poi SLC) rappresenta uno dei problemi di salute più indicato dai lavoratori, tanto da trovarsi al secondo posto tra quelli da loro presentati; lo SLC interessa il 27% dei lavoratori italiani e il 22% di quelli europei, vale a dire circa un quarto del totale (Cortese et. al. 2013).

Dal punto di vista legislativo, la tematica dello SLC è stata affrontata per la prima volta abbastanza recentemente, lo dimostra il fatto che il primo documento legislativo che va ad analizzare le problematiche apportate ai lavoratori dallo stress è l'*ACCORDO EUROPEO SULLO STRESS SUL LAVORO* (2004); tale accordo fu sancito con l'obiettivo di tutelare maggiormente la salute, che ricordiamo essere uno "stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, non consistente solo in un'assenza di malattia o d'infermità" (Pais 2020) e la sicurezza sui luoghi di lavoro, mirando a conseguenti benefici non solo per i lavoratori ma anche per l'azienda e per la società.

Esistono infatti numerose indagini che vanno ad evidenziare una forte correlazione tra SLC e le più varie malattie come cardiopatie, disturbi muscolo-scheletrici, affezioni gastro-intestinali, disturbi della sfera psichica quali ansia, depressione, difficoltà di concentrazione, ridotte capacità decisionali, modifiche dello stile di vita e comportamentali (Cortese et. al. 2013).

L'accordo sopra citato inquadra giustamente lo SLC non come una malattia, in quanto abbiamo visto al sotto capitolo **2.1.** lo stress non essere una malattia, ma come una possibile causa di essa, perciò esso va considerato come un fattore di rischio, ovvero la “probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione” (Pais 2020) e come tale va valutato al fine di garantire la sicurezza e salute dei lavoratori.

L'accordo prende giustamente in analisi il fatto che non tutte le manifestazioni di stress sul lavoro sono causate dal lavoro stesso o dall'ambiente lavorativo in quanto ogni lavoratore possiede una dimensione sociale al di fuori di quella lavorativa, concetto che fu trattato per la prima volta dallo psicologo Elton Mayo che, nel trattare la sua *Teoria delle Relazioni Umane*, indicò come i lavoratori non siano degli individui isolati ma possiedano una dimensione sociale (nel nostro caso tutto ciò che è esterno all'ambito lavorativo) con una forte influenza psico-emotiva sulla propria personalità (Bonazzi 2002).

Nella valutazione di tutti i rischi bisogna tener conto della percezione che i lavoratori hanno di questi e lo SLC non fa eccezione: ogni lavoratore, in base a diversi fattori tra i quali sicuramente troveremo le abitudini, le esperienze pregresse, i valori personali e culturali, l'età e il genere, avrà una percezione del rischio diversa da quella di un altro lavoratore; quando si parla di SLC, bisogna

tener conto anche del fatto che, come prima citato, ogni lavoratore ha una propria sfera sociale esterna al lavoro ed essa potrebbe non solo modificare la percezione del rischio che ha in un dato momento il lavoratore ma anche variare nel tempo, con il risultato che il lavoratore, a distanza di tempo, potrebbe reagire in maniera differente a situazioni simili tra loro.

3° CAPITOLO

RUMORE E ORGANISMO UMANO: DALLE VIE DI ACCESSO ALLA SOMATIZZAZIONE

3.1. – Il rumore.

Il rumore è innanzitutto un suono e, come tale, è identificato dal punto di vista fisico come una variazione di pressione (perturbazioni meccaniche sotto forma di compressione e rarefazione) intorno al valore che ha la pressione atmosferica in quel determinato punto; di conseguenza, si definisce sorgente sonora qualsiasi evento che va a creare volontariamente o involontariamente dette perturbazioni meccaniche.

Affinché il suono creato si propaghi è necessario che il mezzo che circonda la sorgente sonora sia dotato di elasticità: quando la sorgente emette le onde sonore (perturbazioni meccaniche), sta producendo delle oscillazioni sonore che entrando a contatto con le varie particelle del mezzo fanno entrare queste in vibrazione, a loro volta, le particelle vibranti entreranno a contatto con le particelle adiacenti trasmettendo loro l'energia meccanica in questione, e così via fino alla fine del moto perturbatorio; nel caso in cui il mezzo non fosse dotato di

elasticità non ci sarebbe la propagazione del moto, impedendo la propagazione del suono (Cellai e Secchi 2000).

La porzione di spazio all'interno della quale le onde sonore riescono a propagarsi è definita *campo sonoro*.

I parametri fondamentali del suono sono la *frequenza* (corrispondente al numero di variazioni di pressione compiute in un secondo), misurata in Hz (Hertz) e il *contenuto energetico* misurato in Pa (Pascal); la frequenza e il contenuto energetico vanno a definire quali sono rispettivamente il campo di udibilità e la soglia di udibilità per l'orecchio umano: il primo va dai 20 ai 20.000 Hz mentre la seconda corrisponde ad un'entità minima di pressione pari a 2×10^{-5} .

Ricapitolando, le condizioni ritenute indispensabili per la generazione, propagazione e udibilità del suono sono:

- La presenza di un mezzo elastico;
- Una variazione di pressione nel mezzo che non si discosti troppo da un valore di equilibrio (come potrebbe essere la pressione atmosferica);
- Una frequenza compresa nel campo di udibilità;
- Un contenuto energetico superiore alla soglia di udibilità.

(Cellai e Secchi 2000)

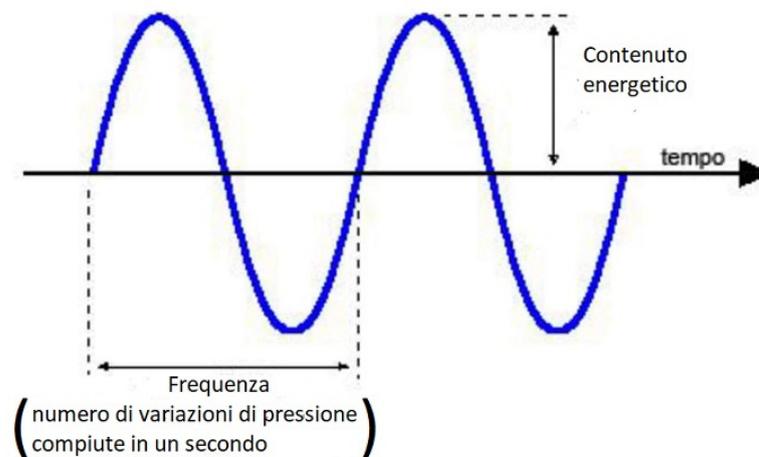


Figura 1 - Onda sonora.

3.2. – L'udito: anatomia e fisiologia dell'orecchio.

L'udito è il risultato della stimolazione dell'area acustica della corteccia cerebrale; prima però, le onde sonore devono mettere in moto quella complessa macchina che è l'orecchio per far sì che si crei l'impulso che raggiungerà poi la corteccia.

L'orecchio è la porzione del nostro corpo soggetto alle onde sonore precedentemente trattate; esso è diviso in tre parti anatomiche: orecchio esterno, orecchio medio e orecchio interno.

- **Orecchio esterno:** dall'esterno verso l'interno, nell'orecchio esterno troviamo il *padiglione auricolare* (una sorta di tromba presente sui due lati della testa) e il *condotto uditivo esterno*; quest'ultimo è un canale tubolare

che parte dal padiglione auricolare, si impegna nell'osso temporale e termina con la membrana timpanica la quale, distesa trasversalmente nel fondo di tale canale, indica anche il confine tra orecchio esterno e orecchio medio.

Il condotto uditivo esterno ha una lunghezza di circa 3 cm ed è generalmente diretto verso l'interno, in avanti e in basso, anche se la prima porzione è inclinata verso l'alto per poi incurvarsi verso il basso.

All'interno del condotto sono presenti ghiandole sudoripare modificate secernenti cerume.

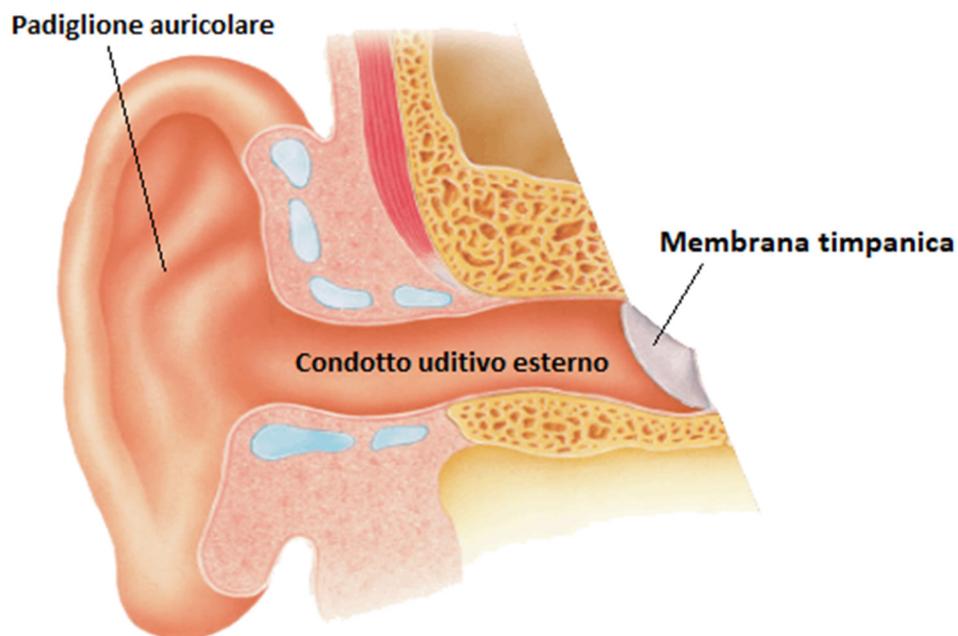


Figura 2 - Anatomia orecchio esterno.

- **Orecchio medio:** la seconda parte anatomica dell'orecchio è sostanzialmente una cavità ricoperta da mucosa e uno sottile strato epiteliale, scavata all'esterno della porzione petrosa (o piramide) del temporale.

Data cavità contiene i tre ossicini dell'udito (formanti quella che prende appunto il nome di catena degli ossicini), posizionati dall'esterno verso l'interno, nell'ordine di *martello*, *incudine* e *staffa*.

Quello che può essere individuato come il “manico” del martello è incluso all'interno della membrana timpanica, mentre la “testa” è articolata con l'incudine che è, a sua volta, articolato con la staffa.

Nella cavità dell'orecchio medio troviamo diverse aperture: quella del condotto uditivo esterno (chiusa dalla membrana timpanica); due aperture comunicanti con l'orecchio interno: la *finestra ovale*, nella quale è fissato il piede della staffa e la *finestra rotonda*, chiusa dalla membrana timpanica secondaria; l'ultima apertura è quella di comunicazione con la *tuba uditiva* (o anche *tuba di Eustachio*).

La tuba uditiva, formata da parete in parte ossea, in parte cartilaginea e fibrosa e tappezzata di mucosa, è fondamentale per permettere il funzionamento dell'apparato uditivo; si estende dall'orecchio medio verso il basso, in avanti e in dentro, sboccando nella rinofaringe, ed è proprio da

qui che quando si deglutisce o si sbadiglia, fa entrare l'aria per equilibrare dall'interno la pressione atmosferica che dal condotto uditivo esterno agisce sulla membrana timpanica.

Questo meccanismo per mantenere l'equilibrio è fondamentale perché, l'equilibrio della pressione che agisce sulle due facce della membrana timpanica, le permette di vibrare sotto l'azione delle onde sonore e le impedisce di rompersi.

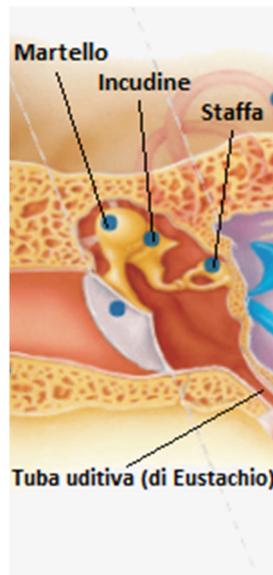


Figura 3 - Anatomia orecchio medio.

- **Orecchio interno:** conosciuto anche come *labirinto* a causa della sua complicata morfologia, è formato principalmente da due parti: il labirinto osseo e il labirinto membranoso, il secondo situato all'interno del primo; il labirinto osseo è suddiviso a sua volta in due compartimenti interni: quello

vestibolare, coinvolto nella funzione dell'equilibrio e quello *cocleare*, coinvolto nella funzione dell'udito.

Nel labirinto membranoso, per quanto riguarda il compartimento vestibolare, troviamo l'*utricolo* e il *sacculo*, contenuti nel vestibolo e i *canali semicircolari membranosi* contenuti all'interno dei canali semicircolari ossei mentre, per quanto riguarda il compartimento cocleare, troviamo il *dotto cocleare*, contenuto all'interno della coclea.

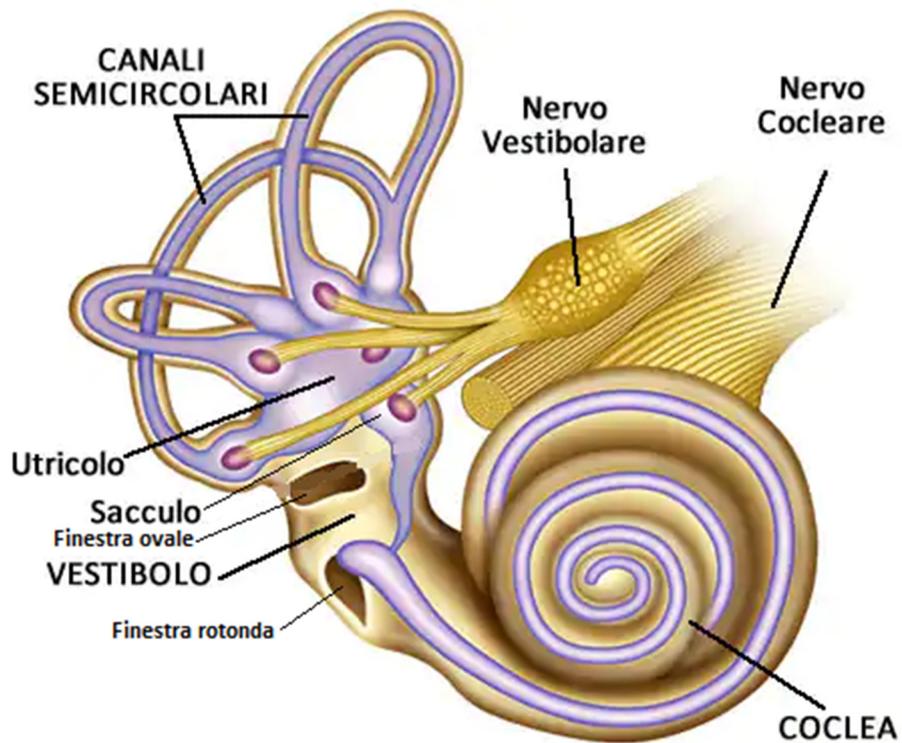


Figura 4 - Anatomia orecchio interno.

La *coclea* (così chiamata per la sua forma a chiocciola) è un condotto osseo che si avvolge come una spirale attorno ad un perno osseo centrale

chiamato *modiolo*; il modiolo accoglie il *ganglio cocleare*, anch'esso spiralizzato, il quale comprende le cellule che vanno a far parte del primo neurone della via acustica centrale.

Nello specifico, se si va a prendere la sezione trasversale del *condotto cocleare membranoso*, si noterà che esso è strutturato come un condotto triangolare all'interno della coclea ossea, diviso in tre scale lungo tutto il suo percorso a spirale; la scala superiore è denominata *scala vestibolare* mentre la scala inferiore è la *scala timpanica* e sono entrambe piene di *perilinf*a, un liquido simile a quello cerebrospinale; tra la scala vestibolare e quella timpanica è situata la *scala media* contenente il *dotto cocleare* e piena di *endolinf*a, liquido chiaro ricco di potassio.

La volta del condotto è denominata membrana vestibolare (o *di Reissner*), il pavimento del condotto cocleare è invece denominato membrana basilare; su quest'ultima, per tutta la lunghezza del dotto cocleare, è situato l'*organo del Corti*, l'organo del senso dell'udito il quale è strutturalmente composto da cellule di sostegno e cellule ciliate (cellule acustiche); quest'ultime, allungano le loro ciglia nell'endolinf a e sono coperte da una membrana aderente chiamata *membrana tectoria*.

I dendriti dei neuroni sensoriali, tramite il ganglio cocleare, sono in diretto contatto con le cellule ciliate dell'organo del Corti; gli assoni di questi

neuroni formano il nervo cocleare (una branca dell'VIII paio di nervi cranici) e conducono impulsi che sono alla base del senso dell'udito.

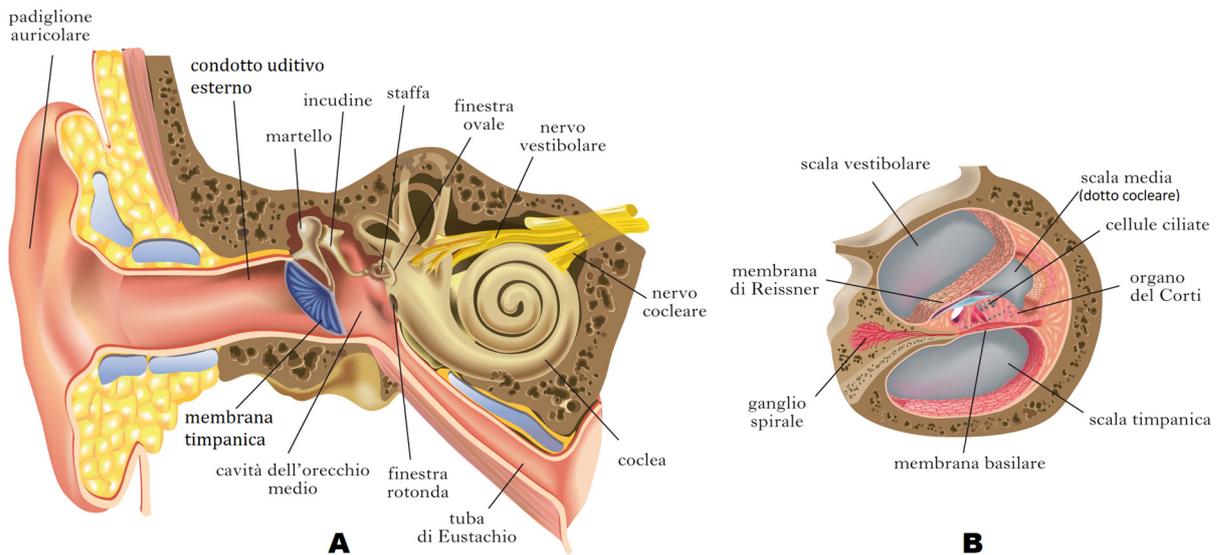


Figura 5 - A) Anatomia completa dell'orecchio; B) Sezione della coclea membranosa.

Come visto al sotto capitolo 3.1., il suono si propaga nel mezzo sottoforma di onde sonore.

Una volta che queste entrano nel condotto uditivo esterno grazie anche all'aiuto del padiglione auricolare, iniziano a battere contro la membrana timpanica, facendola vibrare; queste vibrazioni mettono in movimento la catena degli ossicini (martello, incudine e staffa) essendo il manico del martello incluso nella membrana timpanica.

La testa del martello è articolata con l'incudine che è a sua volta articolato con la staffa, quindi ogni oscillazione trasmessa dalla membrana timpanica diventa un

movimento dell'incudine che va a muovere la staffa contro la finestra ovale; quando la staffa si muove contro la finestra ovale (con un movimento a sportello) viene esercitata una pressione sulla perilinfina della scala del vestibolo.

Tale pressione provoca una piccola “onda” nella perilinfina che, tramite la membrana vestibolare, viene trasmessa all'endolinfina contenuta nel dotto cocleare e di conseguenza all'organo del Corti e alla membrana basilare, che funge da supporto per l'organo; successivamente la membrana basilare trasmette l'onda nuovamente alla perilinfina (questa volta a quella della scala timpanica) e infine si esaurisce contro la membrana timpanica secondaria presente sulla finestra rotonda.

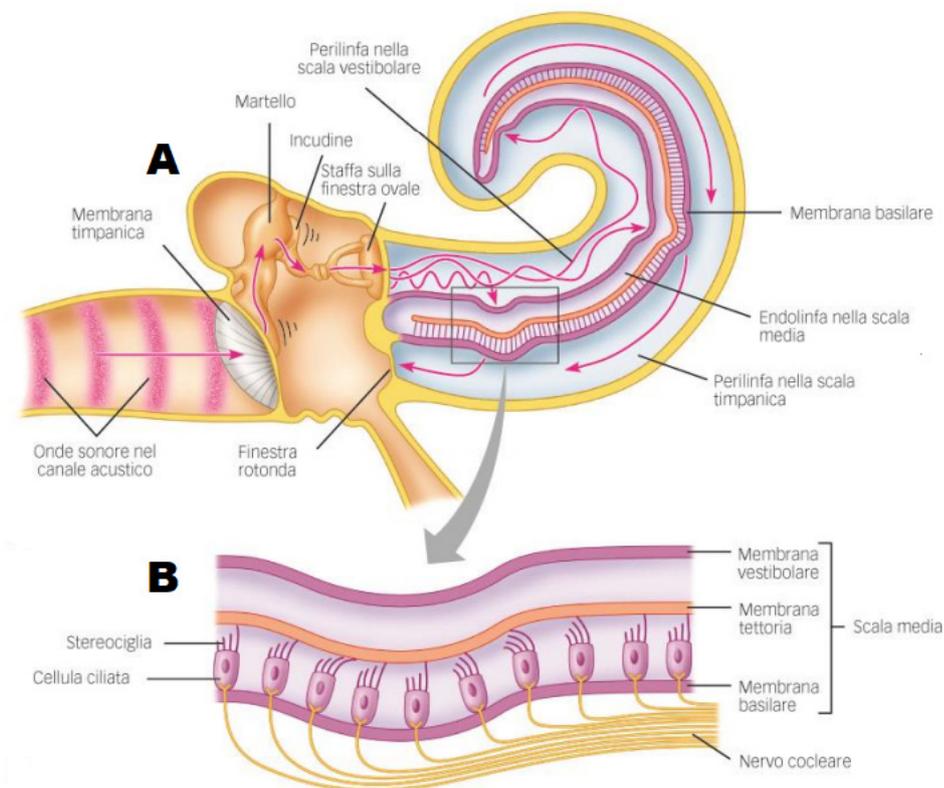


Figura 6 - A) Effetto delle onde sonore sull'orecchio; B) Ingrandimento sul dotto cocleare.

Come spiegato prima e come si può notare dalla *Figura 6-B*, le ciglia delle cellule ciliate sono ben aderenti alla membrana tectoria; il movimento delle ciglia contro tale membrana rappresenta il fattore responsabile della trasduzione dello stimolo meccanico in stimolo bioelettrico che viene trasmesso dalle cellule acustiche alle fibre del nervo cocleare.

Ciò è permesso grazie al rapporto sinaptico tra le cellule ciliate dell'organo del Corti e i neuroni del ganglio cocleare, mediante i dendriti (prolungamenti periferici) di questi; saranno poi gli assoni di tali neuroni a formare la branca cocleare del nervo vestibolococleare (VIII paio di nervi cranici), che si porta poi fino al tronco dell'encefalo (Thibodeau e Patton 2005).

3.3. – Sistema nervoso vegetativo.

Il sistema nervoso vegetativo (SNV), o sistema nervoso autonomo, è parte del compartimento efferente (cioè l'insieme di tutti i nervi in uscita dal sistema nervoso centrale, il quale comprende encefalo e midollo spinale) del sistema nervoso periferico (SNP); il termine “vegetativo” indica che il SNV regola le attività involontarie dell'organismo con l'obiettivo di mantenere l'omeostasi, che ricordiamo essere definita come “la relativa costanza dell'ambiente interno di un organismo” (Thibodeau e Patton 2005).

Il SNV comprende le vie sensitive (afferenti), necessarie per ricevere feedback sulla cui base regolare gli effettori e vie motrici (efferenti), tramite le quali mantiene l'omeostasi.

Le vie motrici del SNV si dividono in *sistema simpatico* e *sistema parasimpatico*: generalmente i due sistemi hanno vie nervose separate, eppure diversi effettori hanno innervazione vegetativa duplice, ricevono quindi input sia dal sistema simpatico che da quello parasimpatico.

Il simpatico e il parasimpatico agiscono per antagonismo: uno di questi inibisce gli effettori mentre l'altro li stimola; di conseguenza, gli effettori che hanno innervazione duplice, saranno controllati con molta più precisione rispetto agli effettori a singola innervazione i quali, baseranno la loro attività solo sulla stimolazione/inibizione o mancata stimolazione/inibizione (Thibodeau e Patton 2005).

3.4. – Anatomia dell'encefalo.

L'encefalo è definito come “la parte del sistema nervoso centrale contenuta all'interno del cranio; consiste di tronco cerebrale, cervelletto e cervello” (Thibodeau e Patton 2005).

La zona anatomica del *cervello* comprende il *telencefalo* e il *diencefalo*, quest'ultimo a sua volta suddiviso in *talamo*, *ipotalamo* ed *epifisi* mentre la zona anatomica del *tronco encefalico* è suddivisa in *bulbo*, *ponte* e *mesencefalo*.

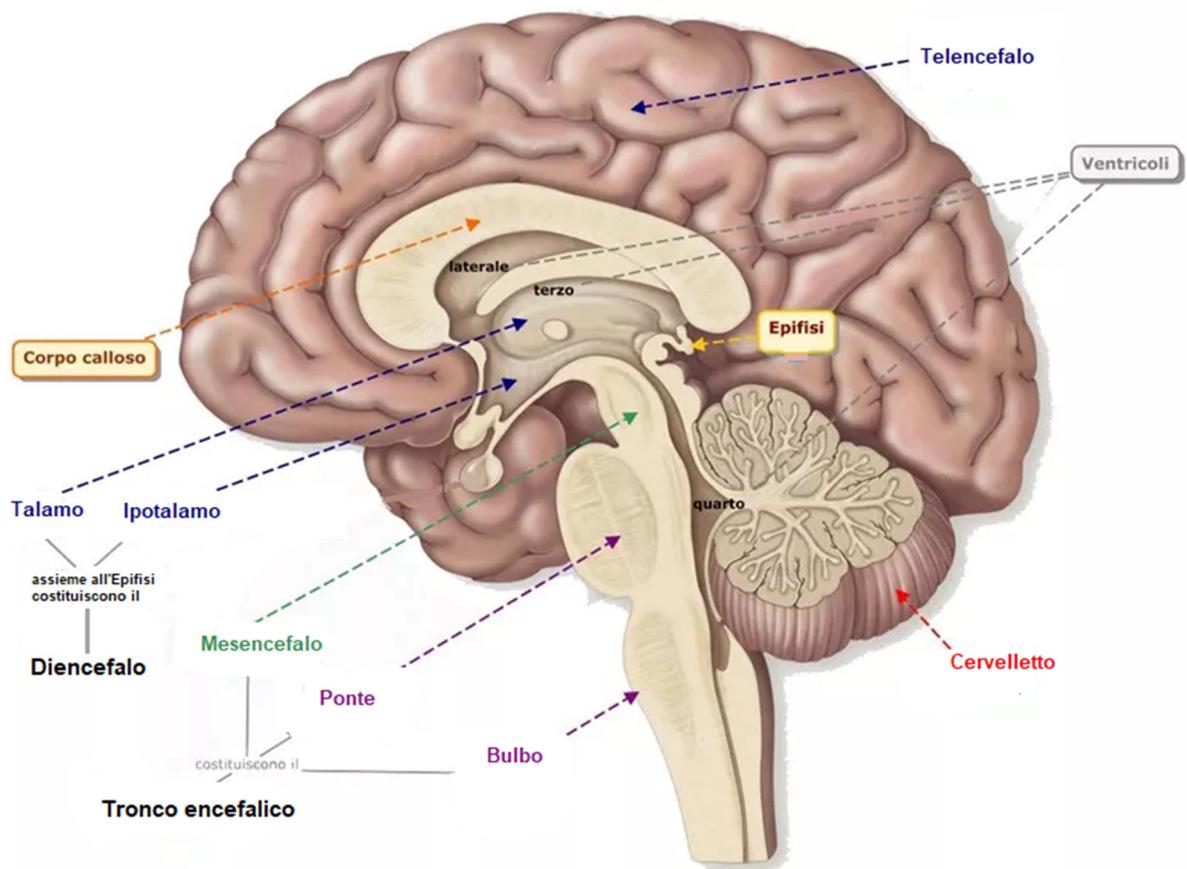


Figura 7 - Sezione sagittale dell'encefalo.

Il tronco encefalico è percorso per tutta la sua lunghezza da una rete formata da sostanza grigia e sostanza bianca chiamata *formazione reticolare*: essa è posizionata centralmente, va dal mesencefalo al bulbo e riceve afferenze da molti neuroni recettivi.

Tutto il tronco encefalico (dal basso verso l'alto: bulbo, ponte e mesencefalo) è formato da formazione reticolare circondata da sostanza bianca, esso svolge funzioni sensitive, motrici e riflesse.

Successivamente al mesencefalo troviamo il diencefalo (termine che letteralmente vuol dire “in mezzo ai due emisferi cerebrali”), formato da diverse strutture, le cui principali sono il talamo e l'ipotalamo.

Il talamo è formato da due masse ovoidali composte da sostanza grigia e diversi nuclei (gruppi di neuroni); i *corpi genicolati* sono per l'appunto due importanti coppie di ammassi nucleari comprese nel talamo, situati postero-inferiormente a ciascuna massa talamica, i quali giocano un ruolo fondamentale nell'elaborazione degli input uditivi e visivi.

Le funzioni del talamo sono molteplici:

- **“Raccolta e smistamento” di impulsi sensitivi:** nei nuclei talamici terminano un gran numero di assoni che portano impulsi provenienti dal midollo spinale, dal tronco cerebrale, dal cervelletto, dai gangli della base e da varie parti del cervello; questi assoni terminanti nei nuclei talamici stabiliscono sinapsi con i neuroni i cui assoni portano impulsi in uscita dal talamo verso tutte le aree della corteccia cerebrale.
- **Responsabile delle emozioni:** il talamo ha un ruolo nei meccanismi che associano gli impulsi sensitivi con sensazioni piacevoli o sgradevoli (nel

nostro caso associa gli stressor positivi a sensazioni piacevoli e stressor negativi a sensazioni sgradevoli).

- **Risveglio, allarme e attenzione:** prende parte ai meccanismi responsabili di tali attività.
- **Produzione di movimenti riflessi complessi:** prende parte a meccanismi responsabili di tali attività.

L'ipotalamo invece è situato al di sotto del talamo e consta di diverse strutture, è un'area molto piccola del cervello ma funzionalmente molto importante in quanto svolge ruoli importanti per la sopravvivenza e per la sfera dei piaceri; funziona come anello di congiungimento tra mente (psiche) e corpo (soma) e tra sistema nervoso e sistema endocrino.

Nello specifico, le funzioni dell'ipotalamo sono:

- **Regolatore e coordinatore di attività autonome:** gli assoni dei neuroni dei nuclei ipotalamici terminano in centri del sistema simpatico e parasimpatico di tratti del tronco cerebrale o del midollo spinale diretti dall'ipotalamo stesso; esso quindi può stimolare o inibire e di conseguenza regolare e coordinare le attività autonome.
- **Legame tra *psiche* e *soma*:** tratti e vie nervose della corteccia cerebrale conducono gli impulsi all'ipotalamo il quale, per mezzo di numerose

sinapsi, conduce tali impulsi ai centri autonomi del tronco cerebrale e ai centri autonomi e somatici del midollo spinale.

Essendo l'ipotalamo il legame tra psiche (mente) e soma (corpo), rappresenta anche la via tramite la quale le emozioni possono modificare le funzioni corporee; questo legame porta sia dei benefici ma anche dei problemi: i primi stanno nelle influenze che la mente cosciente può esercitare nella guarigione di varie malattie del corpo, mentre i secondi stanno nel fatto che tali emozioni possono essere sintomo di malattie psicosomatiche.

- **Controllo dello stato di veglia:** prendendo parte ai meccanismi di risveglio e dell'allerta, l'ipotalamo svolge un ruolo essenziale nel controllo della veglia: ne è la prova la sonnolenza caratteristica di chi soffre di disturbi ipotalamici.
- **Mantenimento della temperatura corporea:** gli assoni dei neuroni ipotalamici si connettono con i centri somatici del brivido e con i centri vegetativi per il controllo della vasocostrizione, della vasodilatazione e della sudorazione, meccanismi tramite i quali controlla la temperatura corporea.

Al di sopra del diencefalo troviamo il telencefalo, diviso in emisfero cerebrale destro ed emisfero cerebrale sinistro, ed è tra le suddivisioni dell'encefalo la più voluminosa e specializzata.

La corteccia cerebrale, che ricopre la superficie del telencefalo, è formata da 6 strati di neuroni racchiusi in uno spessore che varia dai 2 ai 4 mm; fisicamente è composta da dei rilievi i quali prendono il nome di *circonvoluzioni* (o *giri*).

Giri adiacenti sono separati da solchi poco profondi e da altri più profondi; i solchi più profondi che prendono il nome di *scissure*, dividono ogni emisfero in cinque *lobi*: quattro di essi prendono il nome dalle ossa craniche che li sovrastano (lobo frontale, lobo parietale, lobo temporale e lobo occipitale) mentre il quinto, chiamato *insula* (o *isola di Reil*), non è visibile in quanto situato profondamente nella scissura laterale.

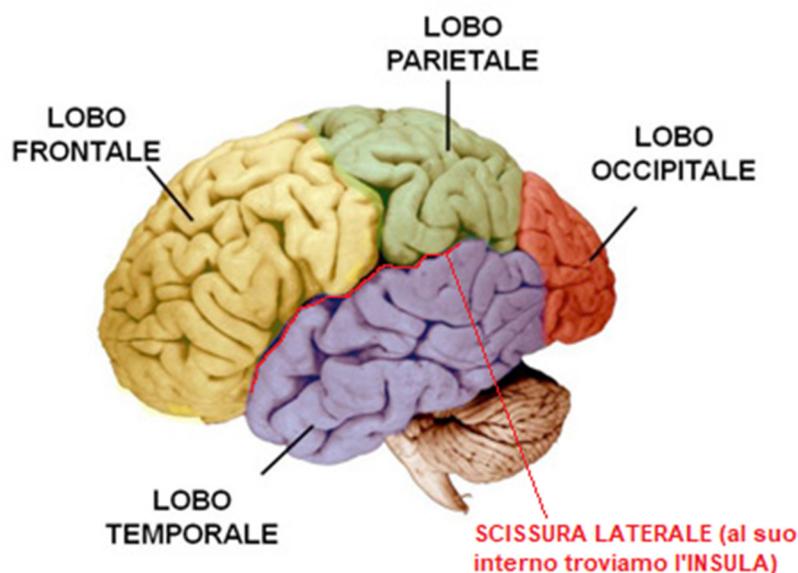


Figura 8 - Emisfero cerebrale sinistro del telencefalo presentato con la suddivisione in lobi.

Un'ulteriore suddivisione possibile per la corteccia cerebrale è quella sulla base delle aree funzionali: diverse funzioni cerebrali hanno una tipica localizzazione, fatto noto come *localizzazione cerebrale*.

Nel nostro caso, l'area funzionale che ci interesserà maggiormente sarà quella della associazione uditiva, la quale comprende la *circonvoluzione traversa di Heschl* (conosciuta anche come area acustica primaria), situata nel lobo temporale (Thibodeau e Patton 2005).

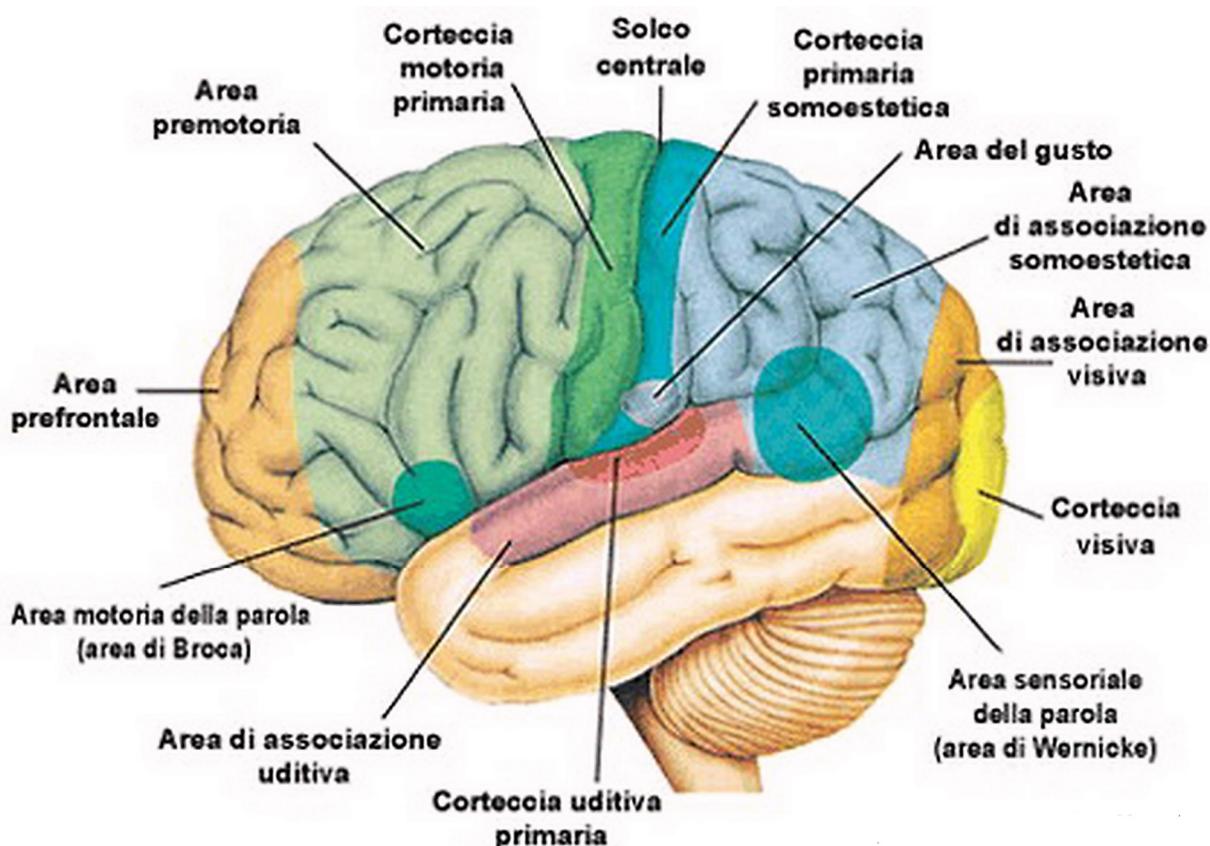


Figura 9 - Aree funzionali della corteccia cerebrale.

4° CAPITOLO

COME IL RUMORE AGISCE SULL'ORGANISMO UMANO

4.1. – *Sistema endocrino.*

Sono ormai numerosi gli studi che pongono il rumore come causa di alterazioni neuroormonali.

Uno di questi è quello condotto da Tomei et al. nel 2000, il quale va ad evidenziare delle riduzioni significative nel livello del cortisolo (CORT) ematico, della prolattina (PRL) e dell'ormone della crescita (GH), mentre il deidroepiandrosterone-solfato (DHEA-S) e l'insulina (IRI) aumentano.

Nello specifico, sono tre gli ormoni tra quelli sopra citati le cui variazioni possono portare a disturbi importanti:

- **Cortisolo:** i livelli misurati di CORT nel sangue avevano un valore medio di 105,9 ng/ml durante una situazione di pre-esposizione al rumore, livello che scese a 94,1 ng/ml durante l'esposizione al rumore e che scese ancora a 87,7 ng/ml in una situazione di post-esposizione (Tomei et al. 2000).

Bassi livelli di cortisolo sono collegati negativamente a disturbi del tono dell'umore come l'ipomania, instabilità affettiva in entrambi i sessi e azioni impulsive nel sesso maschile (Tomei et al. 2009).

- **Deidroepiandrosterone-solfato e insulina:** il DHEA-S misurato nella condizione di pre-esposizione al rumore aveva una concentrazione media nel sangue di 2,64 microg/ml, concentrazione che sale a 2,74 microg/ml durante l'esposizione al rumore e a 2,89 microg/ml in condizione di post-esposizione; l'IRI invece partiva da un valore medio di 8,09 microU/ml in condizioni di pre-esposizione per salire a 9,75 microU/ml durante l'esposizione al rumore e, infine, scendere a 7,77 microU/ml in condizioni di post-esposizione (Tomei et al. 2000).

Le variazioni di DHEA-S e di IRI si trovano a collaborare comportando l'aumento dell'aggressività.

Inoltre, alti livelli di IRI, sono collegati a sintomi soggettivi come sensazione di nausea o sonnolenza, sensazione di irrequietezza all'avvio del rumore, sensazione di freddo alle estremità degli arti superiori e inferiori; tali sintomi potrebbero essere collegati con uno stato di attivazione parasimpatica (Tomei et al. 2009).

Le variazioni di livelli ormonali sopra descritte avvengono in quella che, nelle tre fasi tipiche dello stress discusse al sotto capitolo **2.1.**, è indicata come reazione d'allarme; nella seconda fase, quella di adattamento, troviamo un aumento ormonale, come quello del CORT nel plasma e di altri ormoni ipofisari, meccanismo attuato dall'organismo per mantenere l'omeostasi mediante

l'attivazione del sistema ipotalamo-ipofisi-surrene mentre, nella terza e ultima fase ovvero quella dell'esaurimento, l'organismo non riesce più ad adattarsi alle nuove richieste, situazione che causa la comparsa di sintomi fisici come stanchezza, emotivi come ansia, senso d'impotenza e sfiducia, fisiologici come la riduzione delle difese immunitarie.

Tutte le modificazioni ormonali causate dal rumore porteranno quindi a delle successive modificazioni metaboliche e emodinamiche (rispettivamente: le modificazioni che riguardano l'insieme delle reazioni chimiche che avvengono nella cellula e le modificazioni riguardanti i meccanismi di circolazione del sangue (Thibodeau e Patton 2005)); va detto però che, tutte le azioni dell'organismo in risposta al rumore, sono fortemente collegate all'intensità, alla durata e alla suscettibilità del soggetto stesso.

Se però da una parte abbiamo "l'incertezza" collegata ai tempi e modi di somministrazione al rumore e alla suscettibilità personale, dall'altra abbiamo il fatto che, come indicato al sotto capitolo **3.4.**, sono presenti numerosi studi che dimostrano come l'ipotalamo abbia un ruolo centrale nella comunicazione tra sistema nervoso centrale (SNC) e sistema endocrino: gli impulsi uditivi viaggiano lungo la formazione reticolare fino a raggiungere i nuclei ipotalamici, saranno poi questi a indirizzarli verso le ghiandole e gli organi endocrini.

L'ipotalamo non solo invia segnali al sistema endocrino ma anche alla corteccia e al sistema limbico (parte dell'encefalo coinvolta nelle emozioni e nella memoria: è formato da varie strutture tra cui l'ipotalamo (Thibodeau e Patton 2005)).

L'esposizione al rumore infatti, può causare in un soggetto precedentemente vittima di un trauma il ricordo fisico ed emotivo di esso, il quale provocherà tensione muscolare, variazione della pressione sanguigna, della frequenza cardiaca ed altre risposte fisiologiche e cerebrali.

Finché l'organismo riesce a recuperare l'omeostasi mediante le azioni di risposta allo stimolo acustico la situazione va considerata normale; tale recupero diviene però sempre più difficile a mano a mano che lo stimolo diventa cronico e si protrae nel tempo: ciò comporta un continuo stato di attivazione comportamentale, vegetativa ed endocrina, con tutte le somatizzazioni che ne conseguono (Tomei et al. 2009).

4.2. – Sistema nervoso.

Il sistema nervoso, sia centrale che autonomo, risponde al rumore con reazioni molteplici; ciò è dovuto dalle connessioni anatomiche delle vie uditive (ovvero il nervo vestibolococleare) con strutture come sistema simpatico, sistema limbico,

aree della corteccia cerebrale e formazione reticolare: queste strutture vanno ad interagire tra loro fornendo da parte dell'organismo reazioni di varia natura al rumore, identificabili come stress.

Il rumore agisce sul sistema nervoso tramite due diversi procedimenti:

- **Direttamente o a retroazione positiva:** in questo caso, lo stimolo acustico raggiunge la formazione reticolare stimolandola attraverso le fibre brevi del grande fascio acustico, il che porta ad una conseguente stimolazione del mesencefalo e del lobo temporale della corteccia cerebrale; la conseguenza di tutto ciò sarà l'inibizione temporale dell'attività corticale che porta a un sovraccarico dell'attività della formazione reticolare stessa.

Questo meccanismo conduce ad un affaticamento psicosensoriale sempre più elevato.

- **Indirettamente o a retroazione negativa:** questo meccanismo agisce tramite le fibre lunghe del grande nervo acustico, sovraccaricando le zone della corteccia nelle quali avviene la neurocezione delle frequenze componenti il rumore percepito: questo sovraccarico porta alla riduzione dell'inibizione che la corteccia attua nei confronti della formazione reticolare e una conseguente attivazione di quest'ultima, ad una secondaria eccitazione dei centri mesencefalici ed un'ulteriore dell'entità dei messaggi

di inattivazione provenienti dalla corteccia verso la formazione reticolare; questo meccanismo oltre a determinare fatica psicosensoriale favorisce anche il verificarsi della somatizzazione del danno.

Il sistema nervoso risponde allo stressor del rumore attivando il SNV simpatico con liberazione di catecolamine a livello sinaptico e favorendo la secrezione dell'adrenalina da parte del surrene; seguiranno ovviamente una prima fase di adattamento e una seconda di esaurimento in cui si potrebbero provocare danni ad organi e apparati (Tomei et al. 2009).

In questo 4° capitolo abbiamo visto come l'organismo reagisce con lo stress al rumore, nel prossimo analizzeremo i sintomi.

5° CAPITOLO

SINTOMATOLOGIA DELLO STRESS DA RUMORE

5.1. – Effetti diretti del rumore: annoyance ed “effetto fatica”.

- **Annoyance:** Inteso come una sensazione di uno o più sentimenti come disagio, depressione, aggressività rancore, fastidio, offesa e malcontento, l'*annoyance* è un effetto psicologico che si manifesta quando lo stressor rumoroso va ad interferire con una qualsiasi attività svolta o con un pensiero.

Qualsiasi sia il sentimento tramite il quale si manifesta l'*annoyance*, esso si può ripercuotere sia sulla sfera lavorativa del soggetto (modificandone l'efficienza del lavoro e la produttività), sia sulla sfera personale di questo: abbiamo già visto al sotto capitolo 2.2. come la sfera personale di un lavoratore possa interferire nella sua attività lavorativa, viceversa lo stress accumulato sul luogo di lavoro può avere dei risvolti nella vita quotidiana extra lavorativa del soggetto (Tomei et al. 2009).

Lo studio “*Exposure to traffic noise and effects on attention*”, compiuto da Tomei et al. nel 2006, va ad evidenziare proprio come il rumore possa

infiacire sulle capacità cognitive (in particolare sull'attenzione e sulle capacità di ragionamento logiche) anche in assenza di danni uditivi.

Se è vero che come si evince dal titolo lo scopo dello studio era quello di analizzare le conseguenze dell'esposizione al rumore prodotto dal traffico urbano è anche vero che, gli autori dello studio, hanno sottoposto i vari soggetti presi come campioni ad un livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata "A" (L_{Aeq}) di 74 dB, il che vuol dire che lo stesso studio può essere applicato anche a tutte le situazioni in cui il lavoratore sia esposto ad un livello uguale o superiore a 74 dB [A] (Tomei et al. 2006).

- **“Effetto fatica”**: Di pari passo con l'annoyance può manifestarsi anche quello che viene definito come *“effetto fatica”*, individuato in una sensazione di stanchezza causata dalla continua esposizione al rumore da parte del soggetto.

Pur essendo il rumore uno stimolo sensoriale che non trasmette nessun messaggio, richiede comunque uno sforzo non indifferente da parte del soggetto esposto per riconoscere questa sua mancanza di contenuto: è proprio la continua attività di “filtraggio” che va a determinare il sovraccarico a livello corticale che porta poi alla sensazione di affaticamento (D'Alessandro et al. 2003).

5.2. – Effetti indiretti del rumore: disturbo del sonno.

Fu il dottor Elliot D. Weitzman, nel 1983, il primo che evidenziò come il 3° e 4° stadio del sonno, o anche conosciuti come sonno ad onde lente (*slow wave sleep*, d'ora in poi SWS), siano dei bersagli specifici dello stress.

La relazione tra stress e sonno inizia dal sistema ipotalamo-ipofisi-surrene; abbiamo visto al sotto capitolo 4.1. come tale sistema venga attivato da parte dell'organismo in risposta al rumore: l'ipotalamo viene stimolato e produce l'*ormone di rilascio della corticotropina* (CRH) il quale induce ad uno stato di veglia, grazie ad un effetto eccitatorio su varie strutture sottocorticali.

L'aumento del livello di CRH comporta un aumento del livello di eccitazione del sistema nervoso, il quale si manifesta con uno stato maggiore di vigilanza: questa situazione prende il nome di *aerousal*.

Inoltre, la suscettibilità dello SWS è età-dipendente, in quanto è stato dimostrato come il sonno sia relativamente più resistente al CRH negli individui di giovane età rispetto a quelli di mezza età (Guazzelli e Gemignani 2012).

I disturbi del sonno causati dallo stress generato da rumore possono manifestarsi anche a distanza di 24/48 ore dall'esposizione ad esso, gli effetti che si ripercuoteranno sulla salute del soggetto saranno perciò conseguenza di una scarsa qualità del sonno: tra questi ricordiamo l'incremento della stanchezza, della

sonnolenza e una maggiore suscettibilità all'arroganza durante la giornata (Tomei et al. 2009).

6° CAPITOLO

LEGISLATURA VIGENTE

6.1. – Tutela dei lavoratori dal rumore.

A normare la tutela dei lavoratori dal rumore è il D. Lgs. n°81 del 9 aprile 2008 “Testo unico per la salute e la sicurezza nei luoghi di lavoro” (d’ora in poi TU): tale decreto prevede, all’articolo 190, che come tutte le altre fonti di rischio il rumore sia valutato nella valutazione dei rischi.

L’articolo 189 del TU stabilisce quali sono i valori di esposizione per il rumore nei luoghi di lavoro che saranno poi oggetto di azioni di prevenzione e/o esposizione; esso individua tre livelli:

- **Valori inferiori di azione:** $L_{EX,8h}$ pari a 80 dB(A) e p_{peak} pari a 135 dB(C);
- **Valori superiori di azione:** $L_{EX,8h}$ pari a 85 dB(A) e p_{peak} pari a 137 dB(C);
- **Valori limite di esposizione:** $L_{EX,8h}$ pari a 87 dB(A) e p_{peak} pari a 140 dB(C);

nei tre livelli sopra elencati il termine “ $L_{EX,8h}$ ” rappresenta il “*livello di esposizione giornaliera al rumore*” e indica il “valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore...” mentre il termine “ p_{peak} ” sta per la “*pressione acustica di*

picco” e indica il “valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza (C)” (Pais 2020).

Nel caso in cui dalla valutazione dei rischi risultasse che il livello di esposizione al rumore al quale sono esposti i lavoratori superi i *valori superiori di esposizione*, il datore di lavoro deve provvedere ad abbassare il più possibile il rischio intervenendo sulla fonte, elaborando e applicando piani di misure tecniche ed organizzative volti a diminuire l’esposizione al rumore e avvalendosi delle migliori tecnologie possibili: tutte queste tecniche prendono il nome di *misure di prevenzione e protezione*.

Qualora i rischi derivanti dal rumore non possano essere portati a livelli inferiori a quelli determinati dai *valori inferiori di esposizione* tramite l’adozione delle misure di prevenzione e protezione, il datore di lavoro fornisce ai propri dipendenti i *dispositivi di protezione individuale* per l’udito (DPI) in modo da tutelarli dall’esposizione prolungata a livelli dannosi di rumore.

La normativa prevede che qualora l’esposizione al rumore presente nel luogo di lavoro superi, ovviamente dopo aver adottato le misure di prevenzione e protezione, i valori inferiori di azione ($L_{EX,8h} = 80$ dB(A) e $p_{peak} = 135$ dB(C)) il datore di lavoro ha l’obbligo di mettere a disposizione dei lavoratori i DPI per l’udito ma sarà a discrezione di questi utilizzarli o meno; nel caso in cui invece l’esposizione al rumore sia pari o superi i valori superiori di azione ($L_{EX,8h} = 80$

dB(A) e $p_{\text{peak}} = 135$ dB(C)) il datore di lavoro ha l'obbligo di mettere a disposizione e far utilizzare i DPI per l'udito.

La scelta del DPI idoneo alla mansione è chiaramente strettamente correlata alla mansione svolta e al livello di rumore presente durante lo svolgimento di questa; ogni DPI ha una differente "capacità" di protezione dal rumore dovuta dalla sua forma e dal materiale da cui è composto, qualora questa capacità sia troppo elevata, si rischia di cadere in iperprotezione e quindi di isolare il lavoratore dall'ambiente esterno.

6.2. – Stress lavoro correlato (SLC).

È l'articolo 28 c. 1 del TU a precisare come nella valutazione dei rischi, sia dovere del datore di lavoro effettuare anche la valutazione del rischio da SLC rimandando proprio all'Accordo Europeo dell'8 ottobre 2004, già citato al sotto capitolo 2.2., come fonte di tale obbligo (Pais 2020).

L'Inail ha messo a disposizione delle aziende il manuale "*LA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO STRESS LAVORO-CORRELATO*" come documento guida per la redazione della valutazione dello SLC; tale manuale riporta i riferimenti normativi in materia di SLC, spiega come

dovrebbe essere fatta una buona valutazione di esso e mette a disposizione anche delle griglie per effettuare tale valutazione.

Il manuale in questione non si limita solo ad avvicinare i datori di lavoro al mondo dello SLC, problema negli anni sottovalutato e preso seriamente in considerazione troppo recentemente, ma fa in modo (e ne indica l'importanza anche nel paragrafo "Considerazioni") che per la compilazione della valutazione dello SLC ci sia un importante coinvolgimento dei lavoratori e degli RLS/RLST da parte del datore di lavoro e del RSPP.

La collaborazione tra le alte cariche aziendali e la forza lavoro non solo rende più facile, veloce e veritiera la valutazione dello SLC ma aiuta già di per sé ad abbassare tale rischio (Di Tecco et al. 2017).

Il manuale prevede di svolgere la valutazione attraverso quattro fasi:

- **Fase propedeutica:** questa fase prevede innanzitutto la creazione di un Gruppo di gestione; tale gruppo sarà formato dal datore di lavoro, il RSPP, l'ASPP (se nominato), il medico competente (se nominato) e il RLS/RLST. Successivamente ricadrà tra i compiti di questo Gruppo la creazione di gruppi omogenei di lavoratori (gruppi di lavoratori che si possa ragionevolmente pensare siano esposti alla stessa tipologia di SLC), l'elaborazione di un piano di valutazione e gestione del rischio da SLC e

l'elaborazione di una strategia comunicativa che permetta il coinvolgimento dei lavoratori (Di Tecco et al. 2017);

- **Valutazione preliminare:** durante questa valutazione per ogni gruppo omogeneo individuato dal Gruppo di gestione avverrà una raccolta e analisi di tre “famiglie” di indicatori per lo SLC: gli Eventi sentinella, i fattori di Contenuto del lavoro e i fattori di Contesto del lavoro; qualora questa valutazione risulterà negativa verrà allegata al Documento della valutazione dei rischi e non sarà necessario procedere con le ulteriori due fasi (Di Tecco et al. 2017);
- **Valutazione approfondita:** il Gruppo di gestione procederà all'analisi delle percezioni che i lavoratori hanno in relazione ai fattori che possono influire sul livello di SLC percepito da essi, in modo da poter pianificare degli interventi mirati (Di Tecco et al. 2017);
- **Pianificazione interventi:** infine in questa fase verranno programmati gli interventi da attuare: ad ogni intervento verrà fornito un livello di priorità, ci si baserà su di esso per definire la pianificazione delle mosse future (Di Tecco et al. 2017);

tutte le tabelle, le griglie di valutazione e le liste di controllo necessarie a svolgere le quattro fasi sopra citate sono rese disponibili dall'Inail come allegati al manuale.

Il manuale trattato finora ha però anche delle importanti lacune: queste stanno nella poca importanza che il documento dà ad alcune cause responsabili dello SLC rispetto ad altre.

Analizzando il documento, le relative tabelle e griglie di valutazione fornite con esso per la stima e valutazione del rischio da SLC, salta subito all'occhio il fatto che gli indicatori valutanti lo SLC creato da l'ambiente di lavoro (inteso come struttura fisica e attrezzatura di lavoro, non come ambiente sociale) e da altri rischi i quali lo influenzano ma diversi da esso (rischio chimico, rischio biologico, microclima, illuminamento, ecc...) sono in netta minoranza rispetto agli altri.

Si possono infatti contare 13 indicatori valutanti l'ambiente di lavoro e i vari rischi chimici, fisici e biologici su un totale di 66 indicatori totali, senza contare gli Eventi sentinella per i quali su totale di 10 eventi, solo uno può essere collegato a cause esterne alla sfera personale e sociale del lavoratore (inadeguatezze in confronto al carico di lavoro e alle risorse che esso ha a disposizione, rapporti con colleghi/superiori, possibilità di carriera, possibilità di ferie ecc...) e comunque non in materia esclusiva, essendo tale voce degli Eventi sentinella mirata alla lamentela in via formale dei lavoratori, qualsiasi siano le motivazioni di esse; oltretutto, all'interno dei 13 indicatori ambientali, solo **2** riguardano lo stress derivato da rumore: il primo indicatore si preoccupa solo del fatto che non si superino gli 85 dB(A) per quanto riguarda il $L_{EX,8h}$ e i 137 dB(C) per la p_{peak}

mentre l'attenzione del secondo indicatore è volta sulla presenza o meno di un inadeguato comfort acustico negli ambienti non industriali (fonti di rumore estranee alle normali attività di ufficio).

Si può dire quindi che in realtà gli indicatori valutanti l'acustica siano in totale **DUE**, ma uno viene utilizzato nel caso venga valutata un'attività lavorativa di tipo industriale o comunque dotata di attrezzatura che possa ragionevolmente produrre rumore durante il suo impiego mentre l'altro viene utilizzato nel caso si valuti un'attività lavorativa svolta in ufficio (Di Tecco et al. 2017).

È chiaro che alla luce di quanto dimostrato ai capitoli **4** e **5** questi due singoli indicatori possono non essere esaustivamente rappresentativi dello stress che poi effettivamente grava direttamente (sovraccarico delle vie nervose e anomala attività endocrina con conseguenti sbalzi umorali, annoyance ed effetto fatica) e indirettamente (disturbo del sonno) sul lavoratore.

Ciò porta a dedurre una cosa: la lacuna più grande di tale linee guida sta nel fatto che, qualora all'interno di una data attività lavorativa siano solo i rischi individuati come ambientali (o nel peggiore dei casi solo uno di tali rischi, come ad esempio il rumore) a causare l'aumento di SLC nei lavoratori e, nel caso in cui gli altri indicatori facenti parte della valutazione preliminare siano quasi tutti negativi, si potrebbe avere come risultato di tale valutazione la non necessità di apportare migliorie in materia di SLC, con conseguente carico stressante in aumento nel

lavoratore senza che questo lo sappia ma provando uno o più sintomi tra quelli diretti e indiretti.

7° CAPITOLO

LA SPERIMENTAZIONE IN AZIENDA

7.1. – Le rilevazioni fonometriche.

Come anticipato nell'introduzione l'obiettivo di questa tesi è quello di dimostrare che, tramite l'uso di adeguati DPI acustici, la protezione dell'udito in quei casi in cui il $L_{EX,8h}$ non superi gli 85 dB(A) (dove quindi vige l'obbligo per il datore di lavoro di mettere a disposizione dei lavoratori gli otoprotettori ma non vige l'obbligo di utilizzarli) gioca un ruolo importante nella gestione e nella riduzione dello SLC del lavoratore.

La prima mossa dopo aver individuato le possibili aziende utili alla nostra causa è stata quella di effettuare delle rilevazioni fonometriche in modo da assicurarci che la condizione fondamentale legata al non superamento degli 85 dB(A) fosse certa.

Le rilevazioni fonometriche (come suggerisce la parola stessa) vengono effettuate tramite l'utilizzo del *fonometro*, un apparecchio che va a misurare il livello di pressione sonora e deve rispettare i requisiti delle categorie 1 o 2 in conformità alla norma CEI EN 61672-1:2014 (Sabatino et al. 2015).

Questo è composto da:

- **Microfono:** è il primo elemento, componente il fonometro, ad entrare in contatto con il rumore; come precedentemente visto al sotto capitolo **3.1.** il rumore (o, in un contesto più generale, il suono) consiste in un'alternanza di rarefazioni e compressioni nel mezzo, ovvero di una variazione di pressione con moto oscillatorio attraverso questo, variazione che prende il nome di pressione acustica: il compito del microfono è proprio quello di trasformare tale energia acustica (pressione sonora) in energia elettrica.
I parametri sui quali si giudica la qualità del microfono stesso sono la veridicità con cui trasforma il segnale di pressione in segnale elettrico, la capacità di non introdurre dei disturbi nel campo sonoro in cui si colloca e l'insensibilità alle variazioni ambientali (come umidità, temperatura e pressione atmosferica) (Farina e Fausti);
- **Preamplificatore (o impedance converter):** questo vede la sua funzione principale nell'adattare le alte impedenze di uscita del microfono alle basse impedenze richieste dalle componenti del fonometro successive (Farina e Fausti);
- **Amplificatore:** riceve ed amplifica il segnale elettrico per poter essere poi elaborato dalle componenti successive; è necessario che tale amplificatore

contenga uno spettro di frequenze che il microfono possa individuare (Farina e Fausti);

- **Filtri di ponderazione:** successivamente all'amplificatore sono presenti dei filtri di ponderazione che, se selezionati, vanno ad eseguire automaticamente una correzione sul segnale elettrico in ingresso, al fine di attenuare certe frequenze e ad esaltarne altre (Farina e Fausti).

Per capire meglio come mai sia necessario utilizzare le curve di ponderazione, bisogna introdurre le *curve isofoniche*: esse sono curve aventi lo stesso livello medio di sensazione sonora (misurato in *phon*) per tutta la loro lunghezza e utilizzate in un diagramma che vede la frequenza nelle ascisse e il livello di pressione sonora nelle ordinate (*Diagramma di Fletcher e Munson*), rappresentano come l'orecchio umano va a ponderare il suono che percepisce a seconda delle frequenze alle quali questo viaggia. Se si guarda la Figura 10 rappresentante il Diagramma di Fletcher e Munson, si noter  che il livello di phon, percepito in maniera "pura" solo a 1000 Hz (1 kHz) e uguale in tutta la isofonica, non corrisponde allo stesso livello di dB a seconda della frequenza (Paroncini).

Premesso che la percezione uditiva   una caratteristica soggettiva, si sono individuate quattro diverse curve di ponderazione: (A)/(B)/(C)/(D): prendendo come esempio la curva di ponderazione (A), costruita sulla

curva isofonica a 40 phon, noteremo che a 1000 Hz corrisponderà un livello di pressione sonora di 40 dB mentre, per far sì che l'orecchio umano percepisca lo stesso livello medio di sensazione sonora di 40 phon ad una frequenza di 40 Hz, sarà necessario un livello di pressione sonora di 70 dB.

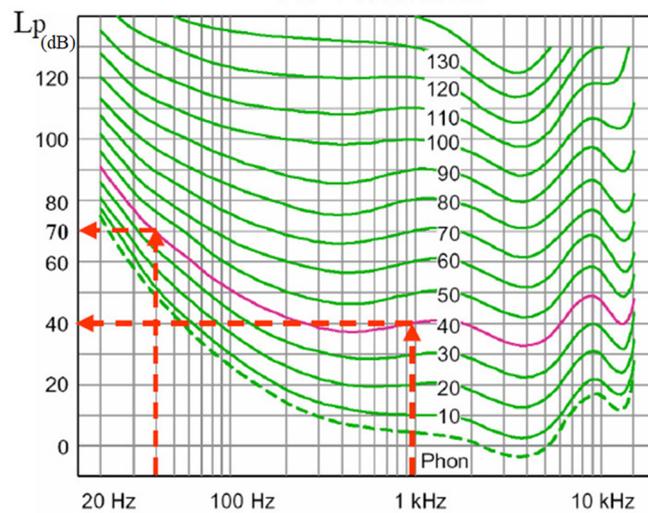


Figura 10 - Diagramma di Fletcher e Munson.

La curva di ponderazione (A) è la più utilizzata (la si utilizza ogni qual volta si misura il $L_{EX,8h}$) in quanto va ad esaltare le frequenze tra i 1000 Hz e i 5000 Hz, proprio quelle alle quali l'orecchio umano è più suscettibile, attenuando quelle sotto i 1000 Hz.

La curva di ponderazione (C) viene utilizzata per la misurazione del rumore di picco p_{peak} ; le curve (B) e (D) sono meno utilizzate in quanto la prima è caduta in disuso avendo un utilizzo simile alla curva (A) con il difetto però di essere meno rappresentante l'orecchio umano rispetto ad essa, mentre la

seconda viene utilizzata per la misurazione del rumore prodotto dal traffico aereo (Farina e Fausti).

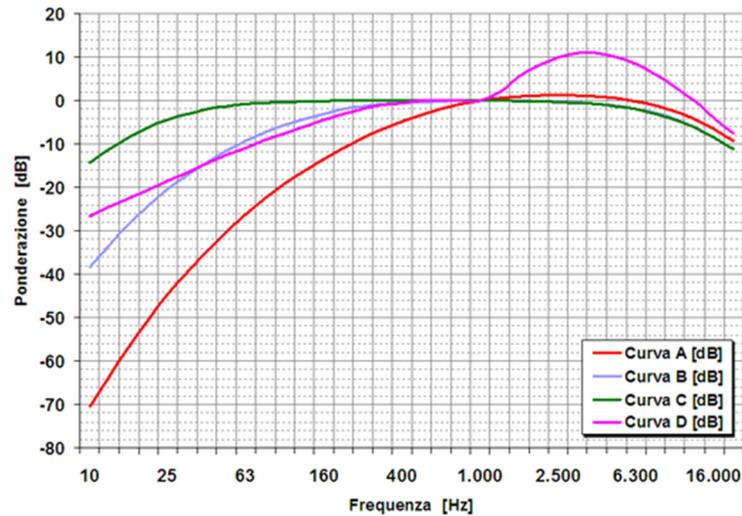


Figura 11 - Diagramma di ponderazione.

Guardando la Figura 11, si noterà che le curve di ponderazione, una volta applicate alla misurazione a seconda della necessità, andranno a diminuire o aumentare il livello di pressione sonora misurato: ad esempio, la curva di ponderazione (A) in rosso, diminuirà il livello di pressione sonora misurato che viaggia a 160 Hz di circa 14 dB, quella di ponderazione (D) invece ad una frequenza di 2500 Hz aumenterà il livello di pressione sonora misurato di circa 10 dB.

- **Rivelatore:** blocco costituito da un *convertitore rms* e un *convertitore logaritmico*, è di fondamentale importanza per il funzionamento di tutto l'apparecchio.

Il Rivelatore infatti, prima trasforma attraverso il convertitore rms la tensione alternata del segnale elettrico (che proviene dal blocco precedente dell'apparecchio) in una tensione continua proporzionale al valore efficace o al valore di picco del suono misurato, poi tramite il convertitore logaritmico è possibile passare da tale valore efficace (o di picco) al livello di pressione sonora in dB (Farina e Fausti).

- **Strumento di lettura:** è la componente “finale” della catena di misurazione che compone il fonometro: al giorno d’oggi sono tutti di tipo digitale (display) ma in passato erano di tipo analogico (a lancetta) (Farina e Fausti).

Affinché lo strumento registri una misura veritiera esso va tarato: l’operazione di taratura viene eseguita almeno ogni 2 anni e deve rispettare le caratteristiche descritte nelle norme CEI EN 60942:2003 e CEI EN 61672-3:2014; la taratura va comunque effettuata dopo che gli strumenti subiscono un evento traumatico o una riparazione (Sabatino et al. 2015).

Una corretta rilevazione fonometrica deve essere conforme alle indicazioni della norma UNI EN ISO 9612:2011 e della UNI 9432:2011, da considerarsi complementare alla prima; la rilevazione può essere effettuata seguendo tre diverse strategie:

- **Misurazioni basate su attività (compiti):** questa strategia viene utilizzata per effettuare misurazioni di lavori composti da compiti ben definiti.

La giornata tipo del lavoratore o del gruppo omogeneo esaminato viene suddivisa in compiti (i quali per comodità verranno chiamati “m”), si rileverà quindi per ogni “m” il livello sonoro equivalente ponderato in (A) $L_{Aeq,m}$ e il livello sonoro di picco ponderato in (C) $L_{peak,m}$.

Per ogni compito vanno eseguite almeno tre misurazioni: qualora queste differiscano tra loro di 3 dB o più andranno effettuate minimo altre 3 misurazioni, andranno divisi i compiti individuati in sotto-compiti (per rendere le misurazioni più mirate) o andranno effettuate misurazioni più lunghe, tutto ciò con lo scopo di raccogliere più informazioni sull’attività in questione.

Ogni misurazione deve avere una durata sufficiente a rappresentare il livello medio di pressione sonora normalmente presente nell’attività lavorativa, in qualsiasi caso le misurazioni devono essere di almeno cinque minuti.

Il fonometro fornisce per ogni misurazione dei compiti “m” il $L_{Aeq,m}$ e il $L_{peak,m}$: nel caso in cui il rilievo fonometrico sia composto da una singola misura basterà prendere in entrambi i casi il valore misurato; se invece il rilievo è composto da più misurazioni, il $L_{peak,m}$ sarà semplicemente il valore misurato più alto mentre il $L_{Aeq,m}$ sarà la risultante della seguente relazione:

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

dove:

- $L_{Aeq,mi}$ è il livello sonoro equivalente ponderato (A) del campione di indice “i”;
- “i” è l’indice del campione considerato;
- “l” è il numero totale di campioni per il compito “m”;
- “m” è il compito considerato.

Una volta calcolato il $L_{Aeq,m}$ si potrà calcolare il $L_{EX,8h}$ riferito al lavoratore (da tenere presente che un singolo lavoratore può svolgere più compiti, quindi il livello di esposizione giornaliera sarà la risultante della seguente relazione):

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

dove:

- $L_{Aeq,m} \rightarrow$ livello sonoro equivalente del compito “m” misurato ($L_{Aeq,m}$);
- $T_m \rightarrow$ media aritmetica delle durate dei compiti “m”;
- $T_0 \rightarrow$ durata di riferimento della giornata lavorativa di 8 ore;

- **Misurazioni basate sulle mansioni:** strategia di rilievo utilizzata quando non è possibile dividere l'attività lavorativa in compiti; tale strategia è basata sul prelievo di campioni casuali dell'esposizione al rumore.

Una volta individuate le mansioni (e di conseguenza stabiliti i GAO, Gruppi Acusticamente Omogenei) occorre determinare la durata minima cumulativa delle misurazioni, basata sul numero di lavoratori (per comodità definiti n_G) che compongono il GAO.

La norma UNI EN ISO 9612:2011 prevede per il calcolo della durata minima cumulativa delle misurazioni:

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

Tabella 1 - Calcolo della durata minima cumulativa delle misurazioni.

La durata minima cumulativa indicata nella Tabella 1 deve essere ottenuta con un numero minimo di 5 misurazioni.

Per quanto concerne il calcolo del L_{Aeq} la formula sarà analoga a quella utilizzata nelle misurazioni per attività, con la differenza che tutti i dati saranno riferiti alle mansioni e non ai compiti, mentre la formula per il calcolo del $L_{EX,8h}$ sarà la seguente:

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

dove:

- L_{Aeq} → Livello della pressione sonora ponderato A per l'effettiva durata della giornata lavorativa;
 - T_e → effettiva durata della giornata lavorativa;
 - T_0 → durata di riferimento pari a 8 ore.
- **Misurazioni a giornata intera:** viene utilizzata quando l'esposizione al rumore del lavoratore non è precisamente identificabile per complessità o imprevedibile.

Effettuata a differenza delle precedenti due tramite misuratore personale e non tramite fonometro, è la più semplice a livello concettuale e di calcolo in quanto tale misuratore viene collocato vicino alle vie uditive del lavoratore e misura il livello di pressione sonora al quale è soggetto durante tutta la giornata effettiva del lavoratore.

I difetti di questo metodo sono l'elevato numero di ore richiesto per effettuare una valutazione e la necessità di eseguire, qualora le tre misurazioni minime differiscano di almeno 3 dB tra loro, altre due misurazioni obbligatorie.

Le formule per il calcolo del L_{Aeq} e del $L_{EX,8h}$ saranno analoghe a quelle utilizzate nella strategia per mansioni.

(Sabatino et al. 2015).

Le aziende da noi individuate sono la **M&F** di Castelfidardo e la **GE Cartotecnica** di Loreto.

Alla **M&F** abbiamo adottato un approccio per compiti, in quanto ogni lavoratore svolge è addetto a dei compiti ben precisi; le figure lavorative individuate nell'attività sono quella dell'**addetto all'officina** e quella dell'**addetto alle presse e all'inscatolamento**:

- L'**addetto all'officina** vede rientrare tra i suoi compiti (i quali saranno soggetti a misurazioni) la *lavorazione al tornio*, le lavorazioni nell'*area di lavoro/aggiustaggio + elettroerosione a tuffo + centro lavoro*, la *lavorazione alla fresa* e la *lavorazione al trapano*.

Numero misure	Compiti	L_{pAeqTn}	$L_{p,Cpicco}$	Exp.
		dBA	dBC	min
M.1	tornio	81,7	93,8	90
M.2	area di lavoro aggiustaggio + elettroerosione a tuffo + centro lavoro	75,4	96,5	120
M.3	fresa	77,7	99,0	180
M.4	trapano	75,1	92,2	90
Livello di esposizione giornaliero Lex, 8h per la specifica mansione		dB(A)	78,1	

Tabella 2 - Lex,8h per la figura "Addetto all'officina"; estratto della "Valutazione del rischio rumore in ambiente di lavoro" per la M&F di Castelfidardo, documento emesso il 24/07/2020.

- L'addetto alle presse e all'inscatolamento invece ha tra i suoi compiti le lavorazioni nell'area operatore presse e le lavorazioni nell'area operatore postazione inscatolamento.

Numero misure	Compiti	LpAeqTn	LP,Cpicco	Exp.
		dBA	dBC	min
M.5	area operatore presse	84,3	110,2	240
M.6	area operatore postazione inscatolamento	80,3	104,7	240
Livello di esposizione giornaliero Lex, 8h per la specifica mansione		dB(A)	82,8	

Tabella 3 - Lex,8h per la figura "Addetto alle presse e all'inscatolamento"; estratto della "Valutazione del rischio rumore in ambiente di lavoro" per la M&F di Castelfidardo, documento emesso il 24/07/2020.

Come si può notare dalla *Tabella 2* e dalla *Tabella 3* ad ogni misurazione è assegnato un tempo di esposizione in minuti; questo viene comunicato dal lavoratore stesso (e poi confermato dal datore di lavoro/supervisore area) al tecnico effettuate la rilevazione: tale tempo è fondamentale perché permette di dare un "peso" alla misurazione corrispondente durante il calcolo del $L_{EX,8h}$; infatti, come visto precedentemente, la formula del calcolo del $L_{EX,8h}$ tiene conto di quanto il lavoratore venga esposto al rumore misurato al fine di fornire, anche nel caso in cui nelle 8 ore lavorative il soggetto lavoratore svolga diversi compiti e sia quindi esposto a dei livelli di rumore differenti, un valore che sia il più veritiero possibile.

Anche alla **GE Cartotecnica** abbiamo scelto di adottare una metodologia di rilievo per compiti; le figure lavorative da noi individuate per una corretta suddivisione dei compiti sono l'**addetto alle macchine manuali**, l'**addetto alle**

macchine automatiche, l'addetto all'impilamento scatole e l'addetto carrello elevatore:

- **L'addetto alle macchine manuali** si trova ad utilizzare, per svolgere i suoi compiti, la *fustellatrice* e la *timbratrice*.

Numero misure	Compiti	LpAeqTn	LP,Cpicco	Exp.
		dBA	dBC	min
M.1	utilizzo fustellatrice	77,8	109,0	240
M.2	timbratrice	73,1	102,3	240
Livello di esposizione giornaliero Lex, 8h per la specifica mansione		dB(A)	76,1	

Tabella 4 - Lex,8h per la figura "Addetto alle macchine manuali"; estratto della "Valutazione del rischio rumore in ambiente di lavoro" per la GE Cartotecnica di Loreto, documento emesso il 12/10/2020.

- **L'addetto alle macchine automatiche** si occupa di controllare e gestire il funzionamento della *macchina rivestitrice*, con compiti di supervisione e manutenzione.

Numero misure	Compiti	LpAeqTn	LP,Cpicco	Exp.
		dBA	dBC	min
M.3	utilizzo macchina rivestitrice	81,2	107,8	420
M.4	altre attività (intervento su macchina)	81,2	107,8	60
Livello di esposizione giornaliero Lex, 8h per la specifica mansione		dB(A)	81,2	

Tabella 5 - Lex,8h per la figura "Addetto alle macchine automatiche"; estratto della "Valutazione del rischio rumore in ambiente di lavoro" per la GE Cartotecnica di Loreto, documento emesso il 12/10/2020.

- **L'addetto all'impilamento scatole** ha il compito di raggruppare e impilare il prodotto uscente dalla rivestitrice.

Numero misure	Compiti	LpAeqTn	LP,Cpicco	Exp.
		dBA	dBC	min
M.5	impilamento scatole	78,4	111,8	480
Livello di esposizione giornaliero Lex, 8h per la specifica mansione		dB(A)	78,4	

Tabella 6 - Lex,8h per la figura "Addetto all'impilamento scatole"; estratto della "Valutazione del rischio rumore in ambiente di lavoro" per la GE Cartotecnica di Loreto, documento emesso il 12/10/2020.

- L'addetto carrello elevatore si divide tra lo svolgere il suo compito nell'area magazzino e lo svolgerlo in area produzione.

Numero misure	Compiti	LpAeqTn	LP,Cpicco	Exp.
		dBA	dBC	min
M.4	utilizzo muletto centro ambiente area magazzino	60,0	75,0	240
M.5	utilizzo muletto centro ambiente area produzione	81,2	107,8	240
Livello di esposizione giornaliero Lex, 8h per la specifica mansione		dB(A)	78,2	

Tabella 7 - Lex,8h per la figura "Addetto carrello elevatore"; estratto della "Valutazione del rischio rumore in ambiente di lavoro" per la GE Cartotecnica di Loreto, documento emesso il 12/10/2020.

7.2. – Sperimentazione con nuovi otoprotettori.

In seguito alle indagini fonometriche, ho fornito i lavoratori della **M&F** e della **GE Cartotecnica** di otoprotettori adatti alle loro condizioni lavorative.

In totale i lavoratori delle due aziende sono 15 e gli otoprotettori scelti sono gli **ULTRAFIT 14**, prodotti dalla **3M** (vedere Allegato 2 per conformità CE): la scelta è ricaduta su questo modello in quanto, avendo un fattore di attenuazione SNR (Single Number Rating) di 14 dB, è stato progettato e creato proprio per

essere utilizzato in quegli ambienti dove il $L_{EX,8h}$ non supera gli 85 dB(A) e dove quindi non è necessario (ed è addirittura superfluo) un livello di attenuazione maggiore.

I lavoratori hanno indossato gli otoprotettori forniti in dotazione, durante le 8 ore lavorative giornaliere, per un periodo di 2 settimane alla fine delle quali, è stato consegnato loro un questionario da compilare (vedere Allegato 1) in forma anonima per valutare se e come l'utilizzo degli otoprotettori abbia modificato il loro livello di stress.

Dall'analisi dei questionari, i dati più interessante ai fini della tesi riportano che:

- Su un totale di 15 lavoratori sono in 6 quelli che, prima della sperimentazione, erano già a conoscenza degli effetti extrauditivi da rumore;



Grafico 1 - Diagramma a torta rappresentante la conoscenza da parte dei lavoratori degli effetti EXTRAUDITIVI da rumore prima della sperimentazione.

dei 6 che ne erano già a conoscenza, **in un solo caso** il merito è della formazione in azienda.

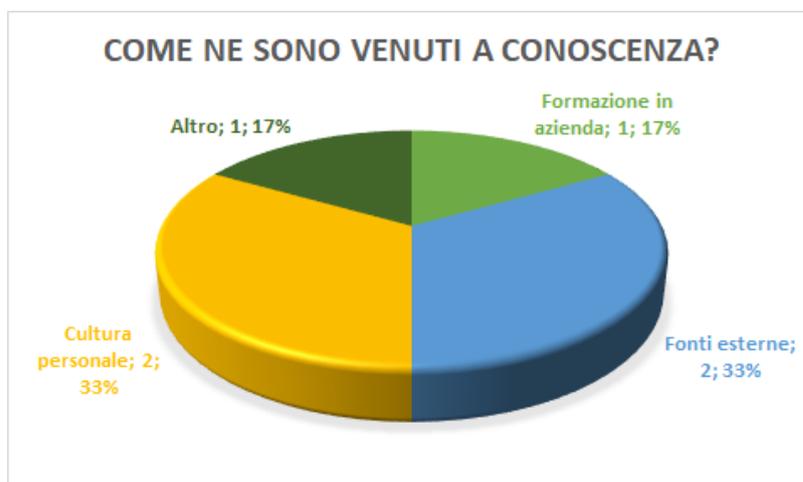


Grafico 2 - Diagramma a torta rappresentante le fonti della conoscenza dei lavoratori in materia di effetti EXTRAUDITIVI da rumore.

- Su un totale di 15 lavoratori, 4 hanno dichiarato di aver riscontrato un miglioramento dell'attenzione durante lo svolgimento della propria attività lavorativa; ciò è importante perché non solo influisce sul livello di stress del lavoratore ma anche sulla percezione che esso riesce ad avere dell'ambiente a sé circostante e degli altri rischi presenti.

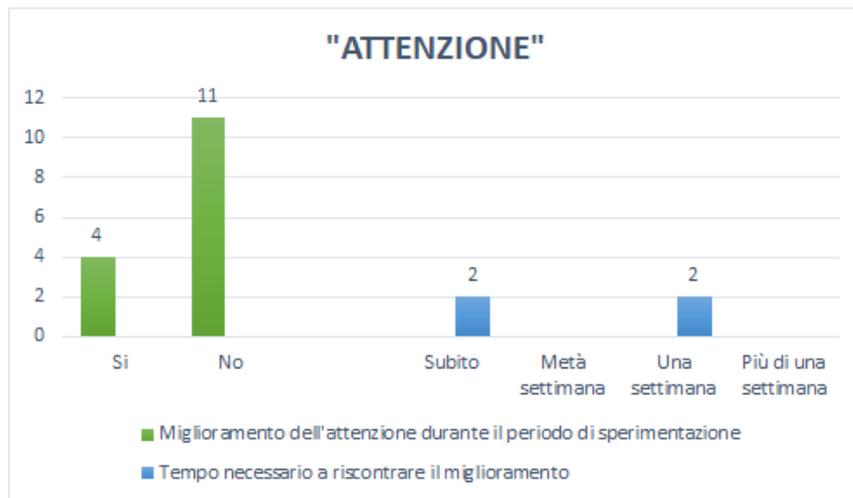


Grafico 3 - Grafico a colonne rappresentante il miglioramento dell'ATTENZIONE dei lavoratori durante la sperimentazione.

- 4 lavoratori su 15 hanno riscontrato nel periodo di sperimentazione una maggiore capacità di concentrazione.

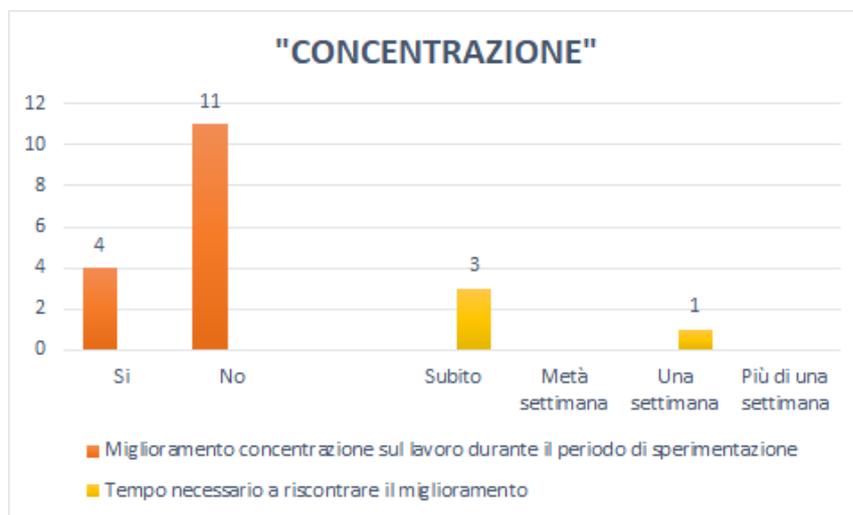


Grafico 4 - Grafico a colonne rappresentante il miglioramento della CONCENTRAZIONE dei lavoratori durante la sperimentazione.

- 3 lavoratori su 15 hanno dichiarato di aver riscontrato un diminuito della quantità di stanchezza a fine turno lavorativo.

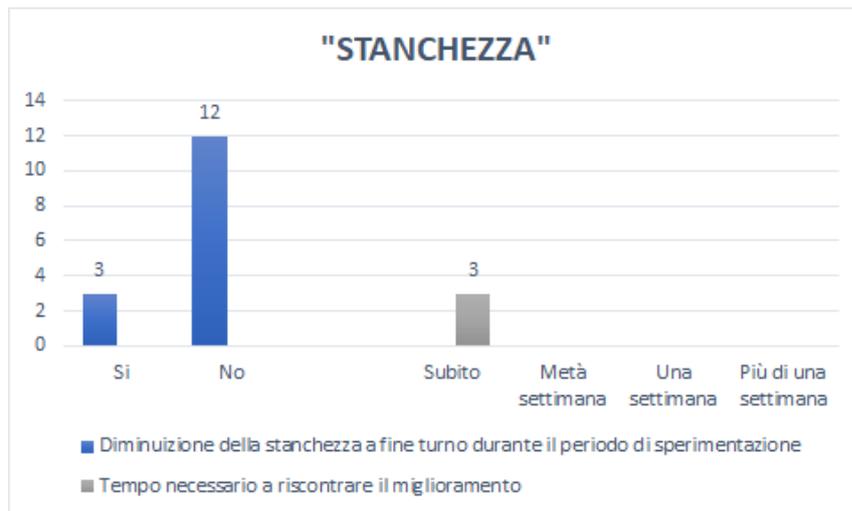


Grafico 5 - Grafico a colonne rappresentante il diminimento della STANCHEZZA a fine turno nei lavoratori durante la sperimentazione.

8° CAPITOLO

UN'INTEGRAZIONE NELLA VALUTAZIONE DELLO STRESS

LAVORO CORRELATO

A seguito delle criticità presenti nel manuale Inail “*LA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO STRESS LAVORO-CORRELATO*”, da me individuate e illustrate al sotto capitolo **6.2.**, mi sono interrogato su quali fossero le maggiori lacune in azienda in materia di tutela da rumore.

Durante i sopralluoghi alla **M&F** e alla **GE Cartotecnica** (ma anche durante altri sopralluoghi in altre aziende, svolti durante il periodo di tirocinio) mi sono reso conto che le problematiche legate alla protezione dei lavoratori dal rischio del rumore, nei casi in cui il $L_{EX,8h}$ non era superiore agli 85 dB(A), venivano principalmente da due fonti:

- Il DPI messo a disposizione non era adeguato alla particolare condizione lavorativa;
- L'utilizzo dei DPI acustici per la tutela dell'udito dagli effetti **extrauditivi** da rumore non veniva incoraggiato.

Successivamente, anche con l'aiuto delle sperimentazioni presso la **M&F** e la **GE Cartotecnica** le quali mi hanno aiutato a studiare meglio la situazione, mi sono permesso di ipotizzare due aggiunte da apportare al manuale Inail sopra citato per poter far fronte (almeno in parte) alle lacune già presentate:

1. Aggiungere alla lista di controllo “**Area Contenuto del lavoro**”, più precisamente alla sezione “*Ambiente di lavoro e attrezzature di lavoro*”, un quesito che vada ad indagare sul coinvolgimento dei lavoratori (o di almeno un rappresentante per ogni gruppo omogeneo) nella scelta del DPI acustico da adottare.

Un DPI adeguato alla situazione lavorativa è fondamentale: se si utilizza un DPI il cui grado di protezione è troppo elevato non solo si porterà il lavoratore a svolgere la propria mansione in una condizione di *iperprotezione*, non permettendogli di sentire quindi i “suoni fondamentali” (come un allarme o la voce di un collega vicino), ma risulterà allo stesso tempo molto scomodo da utilizzare, addirittura fastidioso, creando nel lavoratore una situazione di isolamento che lo porterà a scegliere di non utilizzare il DPI.

N.	Indicatore	Si	No	Punteggio	Note
	I lavoratori (o almeno un lavoratore rappresentante il gruppo omogeneo) sono coinvolti nella scelta del DPI acustico più adatto alla situazione?	0 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>		
	Scelta studiata in funzione del Lex,8h.				

Figura 12 - Proposta di aggiunta per il primo quesito.

2. Aggiungere alla lista di controllo “**Area contesto del lavoro**”, alla sezione “*Funzione e cultura organizzativa*”, un quesito che verifichi l’incentivo all’utilizzo di tali DPI.

L’incentivo all’utilizzo dei DPI può essere di due grandi tipologie:

- **Preventivo:** come indicato dall’analisi dei questionari al sotto capitolo 7.2., su 15 campioni presi in analisi, 6 erano a conoscenza degli effetti extrauditivi da rumore e solo 1 lo era perché trattati durante la formazione in azienda; questo dato indica che il problema è molto sottovalutato o addirittura non conosciuto, quando invece abbiamo riportato più fonti di carattere scientifico che attestano come il rumore possa creare danni che vanno oltre l’ipoacusia e i problemi al timpano.

Formare il lavoratore sui rischi ai quali va in contro non utilizzando il DPI è il primo metodo per responsabilizzarlo e incentivarlo all’utilizzo di esso.

- **Stimolante:** in una situazione lavorativa avviata, dove il lavoratore è già stato informato sugli effetti extrauditivi da rumore, il DL potrebbe cercare di incentivare l'utilizzo dei DPI dando degli stimoli ai lavoratori; potrebbe, per esempio, proporre un premio mensile o annuale per il/i lavoratore/i più diligenti e responsabili in materia di sicurezza (il che può aiutare a far fronte anche ad altre problematiche in ambito di salute e sicurezza aziendale).

N.	Indicatore	Si	No	Punteggio	Note
	Il lavoratore è incentivato ad utilizzare i DPI acustici messi a disposizione?	0 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>		
Il datore di lavoro promuove e incentiva l'utilizzo dei DPI con azioni a carattere preventivo e non.					

Figura 13 - Proposta di aggiunta per il secondo quesito.

Come si può notare dalle figure 12 e 13, ad entrambe le proposte è stato attribuito un punteggio di 4 nel caso in cui la risposta sia negativa, questo perché a seguito dei sopralluoghi fatti e della sperimentazione eseguita, sono questi due i punti cardine necessari ad aumentare l'utilizzo di DPI acustici all'interno delle aziende nei casi in cui il $L_{EX,8h}$ non superi gli 85 dB(A).

Il fatto di aggiungere questi due indicatori non comporta una modifica dei range per la valutazione finale del rischio da SLC in quanto, come si può notare alla Figura 14, i range fissati dalle linee guida per la valutazione finale del rischio sono stati studiati in modo che il punteggio venga calcolato come una percentuale

e non come una semplice somma degli indicatori (come avviene per gli **Eventi sentinella** e che avrebbe comportato un cambio dei range per la valutazione del rischio), applicando quindi la formula:

$$\left\{ \frac{\text{(SOMMA DEI PUNTEGGI DEGLI INDICATORI DELLA DIMENSIONE)}}{\text{NUMERO DEGLI INDICATORI DELLA DIMENSIONE}} \right\} \times 100$$

Punteggio finale della Lista di controllo							
	Punteggio complessivo	Fasce di rischio					
		Non rilevante		Medio		Alto	
		DA	A	DA	A	DA	A
Punteggio Area Eventi sentinella	(.....) +	0		6		16	
Punteggio Area Contenuto	(.....) +	0	23	24	43	44	100
Punteggio Area Contesto	(.....) =	0	37	38	53	54	100
Punteggio finale	(.....)	0	58	59	90	91	216

Figura 14 - Tabella per il calcolo del punteggio finale per la valutazione dello SLC.

9° CAPITOLO

CONCLUSIONI

In seguito ai dati raccolti alla **M&F** di Castelfidardo e alla **GE Cartotecnica** di Loreto e considerando che il rumore, come tutti i fattori di rischio, ha un'incidenza soggettiva sul lavoratore in quanto ogni soggetto esposto ha un diverso grado di tolleranza al fattore di rischio in questione (soprattutto nel caso preso in analisi in cui il $L_{EX,8h}$ è inferiore al **valore superiore di azione** di 85 dB(A)) e che quindi ogni lavoratore può reagire diversamente alla sperimentazione, posso ritenermi soddisfatto, avendo registrato miglioramenti nei lavoratori in quei processi cognitivi (come l'attenzione e la concentrazione) e nella quantità di stanchezza a fine turno, bersagli tipici dello stress nell'essere umano.

Il 36% dei lavoratori coinvolti nella sperimentazione (4 su 11) hanno dichiarato di aver notato un miglioramento dell'attenzione: sono svariati gli infortuni sul lavoro causati dalla mancanza di attenzione durante lo svolgimento delle proprie mansioni, i lavoratori che hanno riscontrato tale miglioramento (che, come si può notare dal *Grafico 3*, è avvenuto nel 50% dei casi già dai primi giorni di sperimentazione mentre nell'altro 50% dopo una settimana su due totali) saranno

in grado di essere più concentrati sulle loro attività e quindi evitare di essere dannosi con le proprie azione per se stessi e per gli altri.

Per quanto riguarda la concentrazione, anche in questo caso sono stati il 36% dei lavoratori a riscontrare un miglioramento: avvenuto per il 75% di essi (vedere *Grafico 4*) già dai primi giorni e per il 25% dopo la prima settimana di sperimentazione, un miglioramento della concentrazione permetterà al lavoratore non solo di poter svolgere le proprie mansioni più velocemente ma anche con una qualità migliore; ciò porterà vantaggi al lavoratore stesso in quanto sarà un valore aggiunto per la propria azienda e al DL in quanto questo miglioramento, se applicato su larga scala tramite una corretta valutazione e scelta dei DPI e una buona promozione dell'utilizzo di essi, potrà aumentare la produttività dell'azienda stessa.

Infine, per quanto riguarda la stanchezza, è stato il 27% dei lavoratori (3 su 11) a riscontrare tale miglioramento.

L'ambito della stanchezza è un ambito molto delicato: la stanchezza è influenzata da tantissimi fattori, non tutti controllabili da noi stessi, è anche però un fattore fondamentale non solo nella qualità dell'operato in azienda ma anche nel modo in cui ci interfacciamo con le altre persone, anche al di fuori del luogo di lavoro. Come trattato nel sotto capitolo **2.2.**, lo stress che grava su un lavoratore non proviene tutto dal suo mondo lavorativo ma anche dalla sua dimensione sociale,

esterna al contesto lavorativo, che può avere una forte influenza psico-emotiva su di esso: di conseguenza, un lavoratore meno stanco sarà un lavoratore che potrà “coltivare” meglio la propria dimensione sociale e che a sua volta, potrà quindi non essere una fonte di aumento del carico di stress.

10° CAPITOLO

ALLEGATI

Allegato 1 – Questionario per la valutazione dello stress in seguito alla sperimentazione con otoprotettori.

VALUTAZIONE DEL PERIODO DI 2 SETTIMANE CON OTOPROTETTORI 3M “ULTRAFIT 14”

Innanzitutto, vorrei ringraziarla ancora per essersi reso disponibile ad indossare gli otoprotettori in questione; le chiedo ora un’ultima piccola cortesia: risponda a questo questionario, del tutto anonimo, facendo riferimento alle 2 settimane appena trascorse con la massima sincerità.

Per evitare che nel trasferimento delle informazioni i documenti si mischino, vi chiedo di accordarvi tra di voi e che ognuno utilizzi una lettera diversa (indicandola nell’apposito spazio in alto a destra in ogni foglio), non essendo io a conoscenza delle lettere da voi scelte vi garantisco il più totale anonimato del questionario.

Spero che gli otoprotettori che vi ho fornito abbiano reso il vostro lavoro un minimo più lieto e che possiate continuare ad usarli.

Grazie ancora e buon lavoro, Giacomo.

1. Era già a conoscenza di quelli che vengono individuati come “effetti extrauditivi” da rumore (stanchezza, disturbo del sonno, difficoltà di concentrazione, disturbo dell’attenzione, tensione generale verso altre persone)?

- Sì
- No

2. Se sì, come ne era venuto/a a conoscenza?

- Formazione in azienda (presso l’attuale impiego)
- Fonti esterne

- Cultura personale
- Altro

D'ora in poi le domande saranno riferite al periodo di due settimane durante il quale ha indossato gli inserti auricolari ULTRAFIT 14 ai fini della ricerca.

3. Come giudica l'utilizzo degli inserti sopra citati?

- Scomodo
- Comodo
- Indifferente

4. Se ha risposto con "scomodo" alla precedente domanda indichi cortesemente le sensazioni provate:

.....
.....

5. Durante il periodo in analisi, come giudica il suo sonno?

- Migliorato
- Leggermente migliorato
- Indifferente
- Leggermente peggiorato
- Peggiorato

6. Nel caso in cui **NON** abbia risposto "indifferente" alla precedente domanda, crede che le variazioni del suo sonno dipendano dall'utilizzo degli inserti forniti e quindi dalla maggiore tutela dal rumore?

- Si
- No

7. Ha riscontrato un miglioramento dell'attenzione durante la sua attività lavorativa?

- Si
- No

8. Quando ha iniziato a notare questo miglioramento?

- Da subito
- A metà della prima settimana
- Alla fine della prima settimana
- A metà della seconda settimana
- Gli ultimi giorni

9. È riuscito/a a concentrarsi meglio durante la sua attività lavorativa?

- Sì
- No

10. Quando ha iniziato a notare questo miglioramento?

- Da subito
- A metà della prima settimana
- Alla fine della prima settimana
- A metà della seconda settimana
- Gli ultimi giorno

11. Si è sentito/a meno stanco a fine turno?

- Sì
- No

12. Se sì, quantifichi questo miglioramento da 1 a 5:

1 2 3 4 5

13. Quando ha iniziato a notare questo miglioramento?

- Da subito
- A metà della prima settimana
- Alla fine della prima settimana
- A metà della seconda settimana
- Gli ultimi giorni

14. Ha riscontrato un miglioramento nei rapporti con i colleghi (come miglioramento dei dialoghi o una maggior propensione ad accettare una critica in maniera positiva)?

- Sì
- No

15. Quando ha iniziato a notare questo miglioramento?

- Da subito
- A metà della prima settimana
- Alla fine della prima settimana
- A metà della seconda settimana
- Gli ultimi giorni

16. Ha notato un miglioramento nei rapporti con persone esterne all'attività lavorativa (come maggiore pazienza ad ascoltare o maggiore soglia di tolleranza verso le altre persone)?

- Sì
- No

17. Quando ha iniziato a notare questo miglioramento?

- Da subito
- A metà della prima settimana
- Alla fine della prima settimana
- A metà della seconda settimana
- Gli ultimi giorni

Allegato 2 – Dichiarazione di conformità UE per otoprotettori ULTRAFIT 14.

IT

DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ UE

La presente Dichiarazione di conformità viene rilasciata su esclusiva responsabilità del produttore,
3M United Kingdom PLC of 3M Centre, Cain Road, Bracknell, Berkshire, RG12 8HT, UK
il quale dichiara che il seguente dispositivo di protezione individuale (DPI)

Descrizione prodotto: **3M™ Reusable Earplugs**

Modello prodotto: **E-A-R™ Ultrafit™ 14**
E-A-R™ Ultrafit™ 20
E-A-R™ Tracor™ 20

è conforme alle disposizioni dei seguenti regolamenti e/o direttive europee

Regolamento sui DPI (dispositivi di protezione individuale)

Il modello è conforme alle disposizioni del regolamento (UE) 2016/425, compreso l'adempimento ai requisiti essenziali di salute e di sicurezza applicabili, definiti nell'allegato II, e alla norma nazionale che recepisce la norma europea armonizzata numero:

EN 352-2:2002 (3M TS0526)

ed è identico al DPI oggetto di esame UE del tipo (modulo B del regolamento (UE) 2016/425) citato nel certificato numero:

CE 706310 (Data di emissione: 24/10/2019)

emesso da
BSI Group, The Netherlands B.V. Say Building, John M. Keynesplein 9, 1066 EP Amsterdam,
The Netherlands, Codice organismo notificato. 2797

ed è soggetto alle procedure definite nel modulo D del regolamento (UE) 2016/425 sotto la sorveglianza di:
BSI Group, The Netherlands B.V. Say Building, John M. Keynesplein 9, 1066 EP Amsterdam,
The Netherlands, Codice organismo notificato. 2797

Allegato 3 – Autorizzazione da parte del professor Fausti per l'utilizzo della sua dispensa.

Buongiorno sig. Baldinelli,
ho ricevuto la sua richiesta tramite l'Ufficio Protocollo e Archivio dell'Università di Ferrara.
Innanzitutto la ringrazio per il suo messaggio.
La dispensa a cui fa riferimento fa parte del materiale didattico della Scuola di Acustica dell'Università di Ferrara.
Non mi è chiaro in che modo lei intenda utilizzarla per il suo lavoro di tesi, se copiando intere frasi e paragrafi o fare una breve sintesi funzionale al suo lavoro di tesi. In qualità di relatore di molte tesi di laurea, ho sempre chiesto ai miei laureandi di non copiare intere frasi o utilizzare integralmente materiale preso da altre fonti, anche perché altrimenti non sarebbe un lavoro utile per il laureando stesso.
Il mio suggerimento, pertanto, è quello di fare una sintesi delle parti che lei ritiene rilevanti per il suo lavoro di tesi, citando la fonte e gli autori. Poiché il materiale è disponibile su internet, chi lo riterrà utile potrà scaricarlo direttamente. In alternativa, se la procedura è accettabile per il suo relatore, potrebbe inserire la dispensa come allegato alla sua tesi di laurea, lasciando inalterata la struttura, il logo e il nome degli autori.
Cordiali saluti
Patrizio Fausti

11° CAPITOLO

BIBLIOGRAFIA

- *ACCORDO EUROPEO SULLO STRESS SUL LAVORO* (2004) Siglato da CES - sindacato Europeo; UNICE - “Confindustria europea”; UEAPME – associazione europea artigianato e PMI; CEEP - associazione europea delle imprese partecipate dal pubblico e di interesse economico generale. Bruxelles.
- Bonazzi, G. (2002) *Storia del pensiero organizzativo - vol. I “La questione industriale”*. Franco Angeli Editore, Milano.
- Cellai F., Secchi S. *Fondamenti di Acustica*. Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Processi e Metodi della Produzione Edilizia.
- Chetta G. (2008) *STRESS E BENESSERE – educazione mentale nell’ambito della psico-neuro-endocrino-connettivo-immunologia*.
- Cortese C.G., Gerbaudo L., Manconi M. P., Violante B. (2013) *L’identificazione dei fattori di rischio stress lavoro-correlato in un’Azienda Sanitaria Ospedaliera: un approccio quali-quantitativo*. Torino.

- D'Alessandro D., Chiarello G., Fara G. M., Rini F., Vasapollo R. (2003). *Le esperienze raccolte ed i programmi di valutazione del superamento della normale tollerabilità dell'immissione di rumore e vibrazioni.* Università "La Sapienza" di Roma.
- Di Tecco C., Ballottin A., Barbanelli C., D'Orsi F., Di Marzio D., Fortuna G., Ghelli M., Ghezzi V., Iavicoli S., Persechino B., Ronchetti M., Valenti A. (2017) *La metodologia per la valutazione e gestione del rischio stress lavoro-correlato.* Tipolitografia Inail, Milano.
- Fausti P., Farina A. *Dispensa di Fonetria.* Scuola di Acustica, Università degli Studi di Ferrara.
- Gary A. Thibodeau, Kevin T. Patton (2005) *Anatomia & Fisiologia* curatori dell'edizione italiana Carla Biondi, Daniele Ricci, Massimo Trevisi. - 4. ed. - Milano : CEA, 2005. - XXXIII, 1105 p. : ill. ; 28 cm. ((Trad. di vari, rev. di C. Biondi, D. Ricci, M. Trevisi)).
- Guazzelli M., Gemignani A. (2012) *Stress e disturbi del sonno: Dagli aspetti neurobiologici alla clinica.* In Stress e disturbi da somatizzazione (pp. 97-108). Springer, Milano.
- Jannini E.A., Fabbri A., Gnessi L., Isidori A., Moretti C. (1988) *Neuroendocrinologia dello stress.* Genova.

- Pais A. (2020) *Testo unico per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro*. IX ed. Guidonia (RM), EPC editore.
- Paroncini M. *Appunti di Acustica*. Università Politecnica delle Marche, sede di Ancona.
- Sabatino R., Del Gaudio M., Nataletti P. (2015) *La valutazione del rischio rumore*. Tipolitografia Inail, Milano.
- Tomei F., Baccolo T. P., Ruffino M. G., Rosati M. V., Strollo F., Tomao E. *Acute experimental exposure to noise and hormonal modifications*. Journal of Environmental Science and Health 2000, Part A, 35:4, 537-555, DOI: 10.1080/10934520009376985
- Tomei G., Anzani M. F., Casale T., Cerratti D., Filippelli C., Fioravanti M., Paolucci M., Piccoli F., Tomei Fa., Tomei Fr. (2009) *Effetti extrauditivi del rumore*. G Ital Med Lav Erg, 31(1), 37-48.
- Tomei G., Chiovenda P., Ciarrocca M., Ercolani M., Moffa F., Tecchio F., Zappasodi F. (2006) *Exposure to traffic noise and effects on attention*. Annali di Igiene : Medicina Preventiva e di Comunità. 18(6):507-519.

12° CAPITOLO

SITOGRAFIA

- *Figura 1 – Onda sonora* → http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Fisica-Tecnica-Ambientale-2016/Dispense/08_Battilocchi_258730_Lorenzani_263539.pdf
- *Figura 2 - Anatomia orecchio esterno.* → <https://www.beltone.com/~media/99C1FF5AFAE148A68A0C257DC2E19586.ashx>
- *Figura 3 - Anatomia orecchio medio.* → <https://www.beltone.com/it-it/hearing-loss/anatomy-of-ear>
- *Figura 4 – Anatomia orecchio interno.* → <https://www.my-personaltrainer.it/imgs/2019/09/02/orecchio-interno-anatomia-orig.jpeg>
- *Figura 5 - A) Anatomia completa dell'orecchio; B) Sezione della coclea membranosa.* → http://www.treccani.it/enciclopedia/udito_%28Dizionario-di-Medicina%29/#gallery-1

- *Figura 6 - A) Effetto delle onde sonore sull'orecchio; B) Ingrandimento sul dotto cocleare.* → https://www.dbcf.unisi.it/sites/st13/files/allegati/12-11-2015/udito_ed_equilibrio.pdf
- *Figura 7 - Sezione sagittale dell'encefalo.* → https://www.medicinapertutti.it/wp-content/uploads/anatomia_normale/sistema_nervoso/img_sist_nervoso/sn_c/encefalo.jpg
- *Figura 8 - Emisfero cerebrale sinistro del telencefalo presentato con la suddivisione in lobi.* → https://fisiologicamente.altervista.org/?attachment_id=58
- *Figura 9 - Aree funzionali della corteccia cerebrale.* → <https://lamedicinaestetica.files.wordpress.com/2017/07/medicina-online-cervello-cervelletto-sistema-nervoso-lobi-lobo-frontale-temporale-occipitale-corteccia-brain-cerebellus-pics-picture-photo-wallpaper-hi-resolution-hi-res-nerve.jpg?w=640>
- *Figura 10 - Diagramma di Fletcher e Munson.* → <https://www.sonorasrl.com/wp-content/uploads/2018/11/isof.jpg>
- *Figura 11 - Diagramma di ponderazione.* → https://www.sonorasrl.com/wp-content/uploads/2018/11/curve_ponderazione_sonora1.png