



Università degli Studi di Trieste

DIPARTIMENTO UNIVERSITARIO CLINICO DI SCIENZE MEDICHE,
CHIRURGICHE E DELLA SALUTE

Corso di Studi

TECNICHE DELLA PREVENZIONE NELL'AMBIENTE E NEI LUOGHI DI LAVORO

Il rischio da esposizione a rumore e vibrazioni nei lavoratori addetti alla manutenzione e collaudo dei mezzi della Difesa Italiana

Tesi di laurea triennale

Relatore:

dott. Federico Ronchese

Correlatore:

Furlan Stefano

Laureando:

Cantarutti Lucia

+

Anno Accademico 2024/2025

Sommario

Sommario	3
1. Introduzione.....	5
2. Scopo della tesi.....	9
3. Le vibrazioni	12
3.1 Le vibrazioni corpo intero e mano-braccio.....	12
3.2 La valutazione del rischio vibrazioni	14
3.3 La normativa di riferimento.....	19
3.4 L'effetto delle vibrazioni sui lavoratori.....	21
4. Il rumore	25
4.1 Il rumore	25
4.2 La valutazione del rischio rumore.....	26
4.3 La normativa di riferimento.....	29
4.4 L'effetto del rumore sui lavoratori	31
5. Materiali e metodi	33
5.1 L'accelerometro.....	33
5.2 Protocollo di misura delle vibrazioni.....	35
5.3 Il fonometro	38
5.4 Protocollo di misura del rumore	39
5.5 Rilevazione strumentale	40
5.6 Analisi condotte post-misure	41
6. Risultati	43
6.1 Risultati delle misure effettuate – Vibrazioni corpo intero	43
6.2 Risultati delle misure effettuate – Vibrazioni mano-braccio	44
6.3 Risultati delle misure effettuate – Rumore.....	45

6.4 Comparazione dei risultati	46
6.4 Tempo massimo di utilizzo	48
7. Discussione	50
8. Conclusioni.....	52
9. Bibliografia e Sitografia.....	53
Ringraziamenti	54

1. Introduzione

L'ambiente lavorativo contemporaneo è un crocevia di interazioni tra l'uomo, le macchine e i processi produttivi, che se da un lato generano valore e progresso, dall'altro possono esporre i lavoratori a una serie di rischi per la salute e la sicurezza. Tra questi, gli agenti fisici costituiscono una categoria di fattori di rischio di primario rilievo, definiti come forme di energia presenti nell'ambiente di lavoro capaci, se superati determinati livelli o durate di esposizione, di arrecare danno all'organismo umano. Questa vasta categoria include elementi come le temperature estreme, le radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, i campi elettromagnetici e, in modo significativo per il presente contesto, le vibrazioni meccaniche e il rumore.

Nell'ambito accademico, il rumore viene definito come una percezione uditiva in grado di indurre una sensazione sgradevole, fastidiosa o intollerabile mentre il suono, in senso più generale, è una sensazione uditiva generata da uno stimolo esterno che attiva l'organo dell'udito. Fisiologicamente, il fenomeno sonoro ha origine dalla vibrazione di un corpo dotato di proprietà elastiche e si propaga attraverso un mezzo (solido, liquido o gassoso), anch'esso caratterizzato da proprietà elastiche. I suoni percepiti nell'ambiente sono generalmente complessi, ma è possibile identificarne alcune caratteristiche oggettive che ne consentono la classificazione. Tra queste, l'intensità del suono si riferisce alla sua "forza" o "volume". Essa varia significativamente in funzione della distanza dalla sorgente sonora e della natura dell'evento che l'ha generato. Ad esempio, una percussione leggera su una superficie produrrà un suono di bassa intensità, mentre una percussione energica genererà un suono di intensità maggiore. Un'altra proprietà fondamentale è l'altezza del suono, che distingue i suoni in "acuti" o "gravi". Tipicamente, i suoni acuti sono associati a sorgenti di dimensioni minori o a vibrazioni con frequenze elevate, mentre i suoni gravi provengono da sorgenti di maggiori dimensioni o da vibrazioni a bassa frequenza. A differenza dell'intensità, l'altezza del suono non è intrinsecamente influenzata dalla distanza dalla sorgente (salvo effetti Doppler legati a rapidi spostamenti).

In Italia, la legislazione che disciplina il rischio da rumore negli ambienti lavorativi è primariamente delineata dal Decreto Legislativo 81/2008, comunemente noto come Testo

Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro. Questo decreto, insieme alle sue successive modifiche e integrazioni, recepisce le direttive europee pertinenti e definisce le misure specifiche per la tutela dei lavoratori esposti al rumore, al suo interno infatti vengono descritti i valori limite di esposizione ed i valori di azione e gli obblighi del datore di lavoro al fine di tutelare i lavoratori esposti.

I dati di Letteratura correlano l'esposizione a rumore industriale con le patologie dell'orecchio quali ad esempio l'ipoacusia da rumore. I dati INAIL aggiornati al 31 ottobre 2024, contenuti nelle Tabelle Nazionali con Cadenza Semestrale, rivelano come tale problematica sia ancora rilevante.

Figura 1 Malattie dell'orecchio e dell'apofisi mastoide- Tabelle Nazionali con Cadenza Semestrale 2024 INAIL

ICD-10	Casi	
H83.3 Effetti del rumore sull'orecchio interno - ipoacusia da rumore, trauma acustico	1.809	96,79%
H80.3 Sordità neurosensoriale bilaterale	31	1,66%
H90 Sordità da difetto di trasmissione e/o neurosensoriale	26	1,39%
H90.6 Sordità bilaterale mista trasmissiva e neurosensoriale	3	0,16%
Totale	1.869	100,00%

Le vibrazioni rappresentano un rischio insidioso e spesso sottovalutato, ma con un impatto considerevole sulla salute dei lavoratori. Si tratta di oscillazioni di corpi solidi che, trasmettendosi all'organismo, possono causare una varietà di disturbi e patologie. Distinguiamo principalmente due tipologie di esposizione: le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (*hand-transmitted vibration, HTV*), tipiche dell'utilizzo di utensili manuali vibranti come martelli pneumatici, trapani o motoseghe, e le vibrazioni trasmesse a tutto il corpo (*whole body vibration, WBV*), che interessano chi opera su macchinari pesanti, veicoli industriali o mezzi di trasporto. Comprendere la natura, i meccanismi di trasmissione e gli effetti sulla salute delle vibrazioni meccaniche è fondamentale per la prevenzione delle malattie professionali e per la promozione di un ambiente di lavoro più sicuro e sostenibile.

In linea generale, la prolungata esposizione ad elevati livelli di vibrazioni al corpo intero generate da macchine industriali e/o agricole e da veicoli di trasporto pubblico è associata all'insorgenza di disturbi e lesioni a carico della colonna vertebrale, in particolare nel suo tratto lombare. Diversi studi epidemiologici e reviews hanno riportato una maggiore

incidenza di low back pain (LBP), ernie discali e alterazioni degenerative della colonna vertebrale nei conducenti di veicoli industriali e di mezzi di trasporto rispetto ad altri gruppi di lavoratori non esposti a WBV o rispetto alla popolazione generale. Inoltre, i risultati di vari studi epidemiologici hanno evidenziato come lavorazioni in cui vengono utilizzati utensili che espongono a vibrazioni trasmesse al sistema mano – braccio possano indurre l'insorgenza di un insieme di disturbi neurologici, circolatori digitali e lesioni osteoarticolari a carico degli arti superiori, definite con termine unico “Sindrome da Vibrazioni Mano-Braccio” (*HAVS, hand-arm vibration syndrome*).

Il Decreto Legislativo n. 81/2008 classifica le vibrazioni meccaniche in due grandi categorie: quelle trasmesse al sistema mano-braccio e quelle trasmesse al corpo intero. Queste due tipologie si distinguono principalmente per i disturbi associati, i valori limite di esposizione e i valori d'azione.

Le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio sono vibrazioni meccaniche derivanti da apparecchiature vibranti che, durante il loro normale utilizzo, vengono impugnate dal lavoratore con una o entrambe le mani. L'esposizione a queste vibrazioni comporta un rischio significativo per la salute e la sicurezza dei lavoratori, potendo indurre patologie a carico dei sistemi vascolare, osteoarticolare, neurologico e muscolare. In questo caso l'esposizione alle vibrazioni è attribuibile al contatto diretto delle mani con l'impugnatura del volante e l'intervallo di frequenza di interesse per tali vibrazioni è compreso tra 6,3 Hz e 1250 Hz.

I dati INAIL aggiornati al 31 ottobre 2024, contenuti nelle Tabelle Nazionali con Cadenza Semestrale, rivelano un'associazione significativa tra l'esposizione a vibrazioni e le malattie del sistema circolatorio. In particolare, il 91,67% dei casi di insorgenza della Sindrome di Raynaud (condizione caratterizzata da un vasospasmo (contrazione improvvisa e transitoria dei vasi sanguigni) che colpisce principalmente le piccole arterie delle estremità, in particolare le dita delle mani e dei piedi) sono riconducibili all'esposizione a vibrazioni.

Figura 2 Malattie al sistema circolatorio - Tabelle Nazionali con Cadenza Semestrale 2024 INAIL

Classe ICD-10	ICD-10	Gruppo agente causale	Casi	
Malattie delle arterie, delle arteriole e dei capillari (I70-I79)	I73.0 Sindrome di raynaud	Vibrazioni	22	91,67%
		Ambiente termico	1	4,17%
		Altri gruppi agente causale	1	4,16%
		Totale	24	100,00%
		Altre	1	100,00%
	Totale		25	100,00%
Altre classi ICD-10			3	100,00%
Totale			28	100,00%

Le vibrazioni trasmesse al corpo intero sono vibrazioni meccaniche che entrano nel corpo umano con una frequenza compresa tra 0,1 e 80 Hz. Una fonte comune di esposizione a queste vibrazioni sono i veicoli, dove vengono trasferite al corpo tramite sedili o pavimenti mentre l'esposizione alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio si verifica in attività in cui si impugnano utensili vibranti come martelli demolitori, decespugliatori, motoseghe e altre attrezzature soggette a vibrazioni e/o impatti. In questi casi, l'esposizione è causata dal contatto diretto delle mani con l'impugnatura dell'utensile, e l'intervallo di frequenza rilevante va dai 6,3 ai 1250 Hz.

I dati INAIL aggiornati al 31 ottobre 2024, contenuti nelle Tabelle Nazionali con Cadenza Semestrale, rivelano un'associazione significativa tra l'esposizione a vibrazioni e le dorsopatie. In particolare, il 18,02% dei casi di dorsopatia (una condizione che si manifesta con dolore nella zona centrale della colonna vertebrale) e in modo specifico le ernie del disco intervertebrale, sono direttamente riconducibili all'esposizione a vibrazioni.

Questa correlazione si spiega attraverso l'impatto meccanico delle vibrazioni sull'integrità della colonna vertebrale. Le vibrazioni, specialmente quelle trasmesse al corpo intero attraverso il sedile o il pavimento (come avviene per chi guida mezzi pesanti o manovra macchinari industriali), agiscono come stressor continui e ripetuti sulle strutture spinali

Figura 3 Discopatie- Tabelle Nazionali con Cadenza Semestrale 2024 INAIL

Dorsopatie (M40-M54)	M51.2 Eritia di altro disco intervertebrale specificato	Sollevamento di un carico	2.237	58,93%
		Vibrazioni	684	18,02%
		Altri gruppi agente causale	875	23,05%
		Totale	3.796	100,00%
		Sollevamento di un carico	1.425	52,24%
	M51.1 Disturbi di disco intervertebrale lombare e di altra sede associati a radicolopatia	Trasporti di carichi	618	22,65%
		Altri gruppi agente causale	685	25,11%
		Totale	2.728	100,00%
		Altre	2.567	100,00%
	Totale		9.091	100,00%

2. Scopo della tesi

Il presente lavoro di tesi di laurea illustra lo sviluppo di un piano di lavoro finalizzato a evidenziare la problematica del rischio derivante dall'esposizione a vibrazioni e rumore nei lavoratori impiegati nelle attività di manutenzione e collaudo dei mezzi della Difesa Italiana. Questa attività è stata attuabile grazie alla gentile collaborazione con il Gruppo Goriziane Group S.p.A., una family company fondata nel 1948, che si è affermata come un attore chiave nel settore della Difesa, specializzato in Manutenzione, Riparazione e Revisione (MRO). L'azienda vanta una cultura organizzativa fondata sull'autonomia e l'autosufficienza, strutturata nel corso di 75 anni per padroneggiare ogni aspetto della gestione delle piattaforme dei clienti, dalla manutenzione e riparazione alla revisione completa e all'aggiornamento.

Le attività di Goriziane si concentrano in particolare sulla manutenzione di veicoli militari, sia cingolati che ruotati, leggeri e pesanti, una delle missioni storiche dell'azienda, caratterizzata da una meticolosa attenzione ai dettagli.

Di seguito una disamina dettagliata delle principali attività e capacità:

- **Manutenzione, Riparazione e Revisione (MRO):** Il dipartimento MRO è composto da tecnici e ingegneri qualificati che offrono servizi affidabili nel campo. Goriziane possiede una profonda esperienza nella revisione e ricondizionamento di veicoli militari, con tecnici esperti capaci di condurre smontaggi parziali o completi per ispezionare i veicoli in dettaglio, rilevare componenti danneggiati o usurati, e procedere alla riparazione o sostituzione. I veicoli vengono poi testati prima di essere riportati ai loro livelli operativi completi.

Per supportare queste operazioni, Goriziane dispone di una serie di reparti specializzati e infrastrutture avanzate:

- **Dipartimento Motori:** Grazie al suo staff tecnico e oltre 75 anni di esperienza,

Goriziane ha sviluppato un know-how e una metodologia unici al mondo per la manutenzione, la revisione e la rigenerazione dei motori;

- **Dipartimento Trasmissioni:** L'azienda possiede un dipartimento dedicato alle trasmissioni, che utilizza le tecnologie più avanzate ed è licenziataria per Allison e ZF, due dei maggiori produttori di trasmissioni;
- **Dipartimento Banchi Prova:** Goriziane può testare qualsiasi tipo di motore fino a 2.000 cavalli e fornire una documentazione completa. L'azienda dispone inoltre di un'area test su terreno di 50.000 m² e due laghi di prova, permettendo di eseguire test rigorosi, anche per veicoli anfibi;
- **Dipartimento Saldatura:** Le attività di saldatura e carpenteria sono condotte all'interno del capannone principale, un'area di quasi 1400 metri quadrati, che include una camera calda per i test di saldatura (WPS, WPQR, WAC, PQR);
- **Dipartimento Verniciatura:** L'impianto è dotato di due camere riscaldate per la fase di verniciatura, con un volume elevato che consente la verniciatura e la successiva asciugatura simultanea di quattro carri armati pesanti;
- **Dipartimento Lavaggio:** Goriziane ha un'area dedicata al lavaggio, dotata di sistemi avanzati;
- **Dipartimento Idraulica:** Grazie alle tecnologie più recenti e all'esperienza ereditata, Goriziane è un leader nella riparazione e manutenzione di qualsiasi sistema idraulico di veicoli cingolati e ruotati.

In particolare, i mezzi che generano vibrazioni corpo intero, utilizzati dai lavoratori addetti alla manutenzione e al collaudo, sono stati identificati per modello e tipologia. Su tali mezzi è stata condotta una giornata di prove sperimentali, durante la quale sono stati misurati i livelli di vibrazioni e rumore emessi nel corso del loro utilizzo sul campo. L'obiettivo di tali rilevazioni è quello di migliorare le condizioni operative degli addetti, favorendo al contempo una maggiore sensibilizzazione sui rischi connessi all'esposizione a vibrazioni e rumore.

Il lavoro di tesi ha molteplici scopi:

- Valutazione mirata del rischio da esposizione a vibrazioni corpo intero e mano-

braccio per i lavoratori impiegati nella manutenzione e collaudo dei mezzi;

- Valutazione mirata del rischio da esposizione a rumore per i lavoratori impiegati nella manutenzione e collaudo dei mezzi;
- Ottimizzazione della prevenzione del rischio vibrazioni e rumore e, di conseguenza, del Documento di Valutazione dei Rischi;

L'obiettivo principale è quello di introdurre una procedura nella quale tutti i mezzi presenti vengano classificati e suddivisi per tipologia e modello, in modo da creare una lista associandone per ognuno il tempo massimo di utilizzo per non superare i valori soglia del livello d'azione giornaliero di esposizione e al valore limite giornaliero di esposizione.

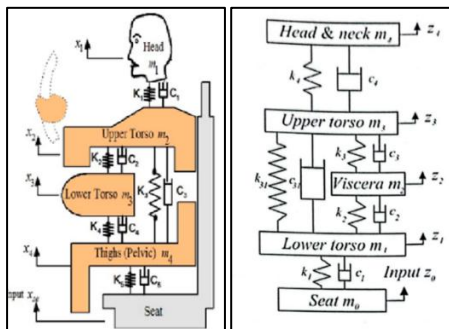
3. Le vibrazioni

3.1 Le vibrazioni corpo intero e mano-braccio

Le vibrazioni rappresentano una forma di energia meccanica che si propaga all'interno del corpo umano attraverso una superficie di contatto, esse sono generate dall'utilizzo di attrezzature lavorative che presentano un'oscillazione ad alta frequenza e ridotta ampiezza intorno al proprio baricentro. Tale energia può essere trasmessa all'intero organismo del lavoratore o manifestarsi in modo localizzato esclusivamente a livello degli arti.

Le vibrazioni trasmesse al corpo intero vengono riscontrate maggiormente nei settori del trasporto, industria e agricoltura. In questi settori i lavoratori conducono mezzi pesanti (*Heavy Equipment Vehicles- HEV*) giornalmente comportando un'importante esposizione alle vibrazioni che si propagano attraverso il sedile e il pavimento del mezzo. La modalità di propagazione delle vibrazioni comporta un'importante influenza del terreno sottostante al mezzo (off-road, strada in ghiaia, strada asfaltata) provocando un'esposizione maggiore qualora la strada sia dissestata o non asfaltata ed esponendo i lavoratori a dei picchi di vibrazioni dovuti al cambio repentino di substrato di lavoro. I soggetti indicati precedentemente svolgono il loro lavoro prevalentemente in posizione assisa pertanto grazie al modello di Wan e Schimmels è possibile analizzare gli effetti delle vibrazioni in un sistema massa-molla-smorzamento (Figura 3), questo evidenzia come ad ogni parte del corpo umano appartiene una diversa frequenza di oscillazioni facendo così attribuire ad ogni distretto anatomico una specifica frequenza di risonanza a cui coincideranno diverse reazioni alle vibrazioni

Figura 4 Schema modello Wan e Schimmels



Il Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 (Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro) definisce le vibrazioni trasmesse al corpo intero come "vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al corpo intero, comportano rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare lombalgie e traumi del rachide¹". Tale definizione sottolinea i principali effetti negativi sulla salute derivanti da questa esposizione.

L'esposizione prolungata a vibrazioni trasmesse al corpo intero è riconosciuta come un fattore di rischio significativo per l'apparato muscolo-scheletrico, con particolare incidenza sul tratto lombare del rachide, ma anche sui distretti del collo e della spalla. Le patologie più frequentemente riscontrate includono dolori lombo-sacrali, ernie discali e processi degenerativi precoci della colonna vertebrale.

È inoltre documentato come l'esposizione a vibrazioni possa aggravare lesioni o traumatismi preesistenti, per tanto risulta fondamentale considerare la natura multifattoriale di queste patologie in quanto accanto ai fattori di rischio occupazionali è possibile che intervengano fattori extra-occupazionali, che possono sovrapporsi e contribuire all'insorgenza o all'aggravamento dei disturbi.

Nonostante l'evidenza degli effetti, i meccanismi specifici attraverso cui le vibrazioni trasmesse al corpo intero contribuiscono all'insorgenza di alterazioni del rachide non sono ancora completamente elucidati. Questo è in parte dovuto alla frequente coesistenza di altri fattori di stress ergonomico, quali l'adozione di posture prolungate e la frequenza di movimenti di flessione e torsione del rachide. Inoltre, in alcune mansioni, come quella di autista, l'esposizione a vibrazioni può essere associata a ulteriori fattori di sovraccarico

«TU-81-08-Ed.-Gennaio-2025-1.pdf», s.d., consultato 16 aprile 2025,
<https://www.ispettorato.gov.it/files/2025/01/TU-81-08-Ed.-Gennaio-2025-1.pdf>.

biomeccanico per il tratto lombare, come la movimentazione manuale di carichi.

I meccanismi attraverso cui le vibrazioni trasmesse al corpo intero inducono patologie sopra citate possono essere categorizzati in due tipologie principali:

- **Danni strutturali diretti:** Questi si verificano a seguito dell'innescio di fenomeni di risonanza nel rachide. Quando la frequenza delle vibrazioni trasmesse è compresa tra 3 e 10 Hz, si possono generare sollecitazioni meccaniche che causano danni strutturali ai dischi intervertebrali e alle articolazioni vertebrali. Questo può portare a processi degenerativi e lesioni.
- **Affaticamento muscolare e sovraccarico:** L'esposizione alle vibrazioni può indurre un'eccessiva e prolungata risposta contrattile dei muscoli paravertebrali. Questa iperattività muscolare può generare fenomeni di sollecitazione e affaticamento, contribuendo allo sviluppo di dolore e disfunzione muscolo-scheletrica nel tratto interessato.

Le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (*HAV*) costituiscono un significativo fattore di rischio occupazionale, derivante dall'utilizzo di apparecchiature vibranti impugnate dal lavoratore. L'esposizione a tali vibrazioni può compromettere la salute e la sicurezza dei lavoratori, manifestandosi principalmente attraverso disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici e muscolari. Le vibrazioni vengono misurate sui tre assi cartesiani sfruttando l'effetto piezoelettrico, principio secondo cui i cristalli di quarzo, sottoposti a una forza vibrante, generano un accumulo di cariche elettriche. In conformità con la nuova Direttiva CE, è indispensabile indicare il risultato derivante dalla combinazione dei valori rilevati su tutti e tre gli assi. Anche in assenza di effetti patologici conclamati, l'esposizione alle vibrazioni può causare disagio e compromettere lo svolgimento delle mansioni lavorative. A tal proposito, la "Direttiva Macchine" 2006/42/CE (D. Lgs. 17/10) impone ai costruttori di dichiarare i valori delle vibrazioni emesse da utensili portatili e macchine. In particolare, il punto 1.5.9 stabilisce che: "La macchina deve essere progettata e costruita in modo tale che i rischi dovuti alle vibrazioni trasmesse dalla macchina siano ridotti al livello minimo, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di mezzi atti a ridurre le vibrazioni, in particolare alla fonte²."

3.2 La valutazione del rischio vibrazioni

² «Gazzetta Ufficiale», consultato 6 giugno 2025,
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/02/19/010G0031/sg>.

Le vibrazioni sono caratterizzate da oscillazioni meccaniche attorno ad un punto di equilibrio rendendo possibile definire i seguenti parametri:

- Frequenza (f): numero di cicli completi nell'unità di tempo;
- Periodo (T): intervallo di tempo necessario per completare un ciclo (reciproco della frequenza);
- Lunghezza d'onda (λ): spazio percorso dall'onda in un periodo;
- Ampiezza (A): ampiezza dell'onda;
- Velocità di propagazione (c_s): velocità alla quale l'onda si sposta nel mezzo in cui si propaga.

Figura 5 Parametri descrittivi dell'oscillazione meccanica che produce la vibrazioni



Di questa, due aspetti chiave sono la frequenza, misurata in Hertz (Hz), e l'intensità, definita dal valore quadratico medio (*root mean square/r.m.s.*) dell'ampiezza ed espressa in metri al secondo quadrato (m/s^2). L'intensità e, soprattutto, la frequenza delle vibrazioni possono variare notevolmente a seconda della fonte che le genera. Gli indicatori di esposizione quantitativi sono basati sul valore d'azione giornaliero e sul valore limite di esposizione giornaliero, indicatori espressi o in termini di accelerazione equivalente ponderata in frequenza delle vibrazioni riferita a 8 ore di lavoro ($A(8)$ in ms^{-2} r.m.s.), o dal Valore della Dose di Vibrazioni (VDV in $ms^{-1.75}$). Il più elevato valore quadratico medio, o il più elevato valore di VDV dell'accelerazione ponderata in frequenza (a_w), calcolato lungo i tre assi ortogonali x, y, z (cioè $1.4a_{wx}$, $1.4a_{wy}$, o a_{wz} per un lavoratore seduto o in piedi), viene utilizzato come parametro per la valutazione del grado di esposizione.

La valutazione dei rischi si configura come un pilastro ineludibile nell'ambito della salute e sicurezza sul lavoro, rappresentando lo strumento primario attraverso il quale il datore di lavoro adempie al suo dovere di tutelare il proprio personale. Essa consente di identificare, analizzare e gestire i pericoli intrinseci a ciascuna mansione. Sebbene il Documento di Valutazione dei Rischi (*DVR*) tradizionalmente includa i cosiddetti rischi di natura "stocastica" (scivolamenti, tagli o cadute dall'alto, la cui entità è stimata attribuendo un valore probabilistico all'accadimento e alla gravità del danno, in assenza di precise norme tecniche) il legislatore ha imposto al datore di lavoro di estendere questa analisi anche ai rischi specifici. Tra questi, si annoverano il rumore, gli agenti chimici, la movimentazione manuale dei carichi e le vibrazioni meccaniche. Per queste ultime categorie di rischio, il D.Lgs. 81/2008 fornisce un quadro normativo che rimanda a specifiche norme tecniche, le quali, a loro volta, delineano algoritmi di calcolo dettagliati per la determinazione della classe di rischio.

La valutazione del rischio vibrazioni richiede un'attenta e sistematica individuazione di tutte le sorgenti di vibrazioni meccaniche presenti nell'ambiente lavorativo, seguita dalla determinazione accurata dei livelli di esposizione a cui i lavoratori sono soggetti. L'articolo 202 del D.Lgs 81/2008 sancisce in modo perentorio l'obbligo per il datore di lavoro di effettuare una valutazione e/o misurazione di tali livelli. Questo passaggio è fondamentale per discernere se l'esposizione costituisca un potenziale per la salute dei lavoratori e, di conseguenza, per implementare gli opportuni interventi di prevenzione e protezione.

Ai fini di una corretta valutazione e definizione delle condizioni di rischio per i lavoratori, la misura delle vibrazioni ricopre notevole importanza. La caratterizzazione delle sorgenti di vibrazione si basa su norme internazionali che utilizzano come parametri significativi per la pericolosità di un determinato tipo di lavorazione l'intensità della vibrazione, il contenuto spettrale, la durata di esposizione giornaliera e l'esposizione cumulata nel tempo

Le misurazioni, ai sensi dell'articolo 202, possono essere effettuate sia senza misurazioni dirette, basandosi su informazioni affidabili reperibili direttamente dai costruttori delle attrezzature o da banche dati accreditate (come la banca dati del Portale Agenti Fisici, gestita dall'Inail), sia tramite misurazione diretta, aderendo rigorosamente alle metodiche prescritte da specifici standard internazionali EN-ISO. In particolare, qualora

un'attrezzatura esponga i lavoratori a vibrazioni mano-braccio (*HAV*) o a vibrazioni corpo intero (*WBV*), i livelli di esposizione devono essere determinati rispettivamente in conformità con le norme UNI EN ISO 5349 e UNI EN ISO 2631.

Per giungere ad una valutazione completa ed efficace da vibrazioni meccaniche, il datore di lavoro deve tenere in considerazione una molteplicità di fattori interconnessi quali:

- Livello, tipologia e durata dell'esposizione: risulta infatti essenziale analizzare non solo l'intensità delle vibrazioni ma anche la loro tipologia (vibrazioni continue, intermittenti o urti ripetuti) e la durata dell'esposizione giornaliera;
- Valore limite di esposizione e valori di azioni: questi parametri normativi costituiscono le soglie oltre le quali è imperativo adottare misure preventive e protettive;
- Effetti sulla salute di lavoratori sensibili: È fondamentale considerare l'impatto potenziale su categorie di lavoratori particolarmente vulnerabili (ad esempio donne in gravidanza e minori) per i quali i rischi possono essere amplificati;
- Effetti indiretti: le vibrazioni infatti possono interagire con altri fattori ambientali (rumore, alte o basse temperature) o con altre attrezzature, generando effetti sinergici o indiretti sulla sicurezza e salute dei lavoratori;
- Informazioni del costruttore: i dati tecnici forniti dal produttore dell'attrezzatura sono una fonte preziosa per la caratterizzazione delle emissioni vibratorie;
- Alternative a basso rischio: la ricerca di attrezzature progettate per ridurre i livelli di esposizione alle vibrazioni è una strategia preventiva di primaria importanza;
- Prolungamento dell'esposizione: è cruciale considerare eventuali periodi di esposizione a vibrazioni corpo intero che si estendono oltre l'orario lavorativo ordinario negli ambienti soggetti a responsabilità del datore di lavoro;
- Condizioni di lavoro particolari: fattori quali basse temperature, ambienti umidi o bagnati, e il sovraccarico biomeccanico degli arti superiori e della colonna vertebrale possono aggravare gli effetti delle vibrazioni;
- Dati della sorveglianza sanitaria: le informazioni raccolte attraverso i programmi

di sorveglianza sanitaria, unitariamente a quelle reperibili nella letteratura scientifica, offrono un quadro prezioso per la comprensione e la gestione del rischio.

Una volta completata la fase di valutazione e qualora vengano superati i valori d'azione, il datore di lavoro è tenuto a adottare tempestivamente le misure tecniche ed organizzative mirate a ridurre al minimo l'esposizione e i rischi ad essa correlati. Tra le principali strategie da implementare si annoverano:

- Revisione dei metodi di lavoro: privilegiare l'adozione di metodologie operative che comportino una minore esposizione alle vibrazioni meccaniche;
- Selezione di attrezzature idonee: impiegare attrezzature che, in relazione al compito da svolgere, generino il minor livello possibile di vibrazioni;
- Utilizzo di attrezzature accessorie: adottare dispositivi specifici per mitigare il rischio, come sedili che attenuano efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero, maniglie o guanti antivibrazione per il sistema mano-braccio;
- Formazione e informazione dei lavoratori: educare il personale sull'uso corretto e sicuro delle attrezzature e dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) associati al fine di minimizzare l'esposizione;
- Limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione: implementare strategie per contenere i tempi e l'entità dell'esposizione alle vibrazioni;
- Organizzazione degli orari di lavoro: prevedere periodi di riposo adeguati e una pianificazione degli orari che favorisca il recupero e riduca la sollecitazione.

La fase conclusiva del processo di valutazione del rischio vibrazioni si concretizza nella stesura di un apposito allegato al Documento Valutazione dei Rischi (*DVR*) ovvero il *DVR Vibrazioni*. Questo documento, redatto dal datore di lavoro in stretta collaborazione con il Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (*RSPP*) e il medico competente, deve includere un'analisi esaustiva del rischio specifico. Ciò comprende la descrizione dei modelli delle attrezzature impiegate, le mansioni associate, i DPI pertinenti, i livelli di esposizione giornaliera per ogni attrezzatura e, non meno importante, i dettagli sulle misure tecniche e organizzative adottate per la minimizzazione del rischio.

In tal modo, si garantisce un approccio olistico e sistematico alla tutela della salute dei lavoratori esposti alle vibrazioni meccaniche.

3.3 La normativa di riferimento

La normativa di riferimento per le vibrazioni riveste un ruolo cruciale nella salvaguardia della salute dei lavoratori esposti a tale rischio in svariati settori, sia a livello europeo che nazionale un corpus di regolamenti e direttive è stato sviluppato con l'obiettivo di stabilire limiti di esposizione e definire le necessarie misure preventive per mitigare l'impatto delle vibrazioni sulla forza lavoro.

Le principali fonti normative in materia sono:

- La Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio: adottata il 25 giugno 2002, questa direttiva costituisce il fulcro del riferimento legislativo europeo per la prevenzione dei rischi derivanti alle vibrazioni meccaniche. La sua importanza risiede nella sua duplice applicabilità, coprendo sia le vibrazioni mano-braccio che le vibrazioni corpo intero. La Direttiva 2002/44/CE ha il merito di aver introdotto e stabilito i valori di esposizione e i valori d'azione per l'esposizione alle vibrazioni, fornendo così un quadro chiaro per la valutazione e la gestione del rischio in tutti gli Stati membri dell'Unione Europea;
- Il Decreto Legislativo 81/2008 (Testo Unico sulla Sicurezza): a livello Nazionale rappresenta la principale normativa che disciplina la protezione dai rischi derivanti dalle vibrazioni meccaniche nei luoghi di lavoro. Esso stabilisce norme precise per prevenzione e il controllo di tali rischi. Le disposizioni di maggior rilevanza relative alle vibrazioni si trovano agli articoli 201, 202 e 203. L'articolo 201 si occupa di definire chiaramente il concetto di vibrazione mano-braccio e corpo intero e impone che la valutazione del rischio debba essere condotta attraverso misurazioni effettuate in conformità con gli standard tecnici riconosciuti a livello internazionale, come la normativa UNI EN ISO 2631, specificatamente dedicata alla misurazione delle vibrazioni corpo intero e la norma ISO 5349, per la misurazione delle vibrazioni mano-braccio. L'articolo 202 riprende e conforma i valori limite di esposizione e i valori d'azione stabiliti dalla Direttiva Europea 2002/44/CE, garantendo così l'allineamento della legislazione nazionale con quella comunitaria. L'articolo 203 definisce gli obblighi del datore di lavoro in termini di riduzione del rischio, infatti impone l'adozione di misure preventive e protettive, che spaziano dall'acquisto di

attrezzature meno dannose al miglioramento e alla valorizzazione della formazione dei dipendenti sull'uso delle macchine e sulla gestione del rischio, inoltre l'articolo sottolinea l'importanza di un'organizzazione del lavoro che miri a minimizzare l'esposizione complessiva dei lavoratori alle vibrazioni. Un aspetto fondamentale previsto dal Testo Unico è la sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti a livelli di vibrazioni superiore al valore di azione ($2,5 \text{ m/s}^2$), tale sorveglianza deve essere condotta periodicamente da un medico competente con l'obiettivo primario di monitorare l'eventuale insorgenza di patologie correlate all'esposizione alle vibrazioni e di adottare tempestivamente i provvedimenti necessari in caso di anomalie o segni di compromissione della salute.

- Le norme tecniche come la UNI EN ISO 2631 e la UNI EN ISO 5349: le quali si configurano come un riferimento essenziale per la misurazione e la valutazione delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio e corpo intero. La loro importanza risiede nel garantire che le rilevazioni siano condotte con rigore metodologico, assicurando così che i dati ottenuti siano accurati e realmente rappresentativi del rischio a cui i lavoratori sono esposti. Questo standard internazionale fornisce le linee guida necessarie per un'analisi oggettiva, fondamentale per la successiva implementazione di efficaci misure preventive e protettive.

La normativa stabilisce due soglie fondamentali per la gestione del rischio da vibrazioni corpo intero: un valore di azione e un limite di esposizione. Il superamento del valore d'azione impone al datore di lavoro di implementare misure di controllo dei rischi ma risulta cruciale sottolineare che il rischio di lesioni o traumi indotti dalle vibrazioni non è assente al di sotto del valore d'azione, questo è particolarmente vero in presenza di cofattori di rischio significativi come uno sforzo muscolare elevato, basse temperature o una maggiore suscettibilità individuale. Indipendentemente dai livelli di esposizione, la normativa impone ai datori di lavoro di agire preventivamente. Ciò significa che, anche quando i valori di azione non vengono superati sussiste l'obbligo di ridurre il più possibile o eliminare i rischi associati alle vibrazioni trasmesse al corpo. Qualora invece i valori di azione vengano superati, scatta l'obbligo rafforzato per il datore di lavoro di attuare specifiche e ulteriori misure di prevenzione per i lavoratori esposti, garantendo così una tutela più stringente.

Nel contesto di questo lavoro di tesi, la norma tecnica UNI EN ISO 2631-2 ha rappresentato il riferimento principale. Questa normativa si concentra sull'esposizione

umana alle vibrazioni trasmesse al corpo intero (*WBV*), fornendo un metodo dettagliato per la loro misurazione e valutazione. La norma specifica in particolare la determinazione della direzione e della posizione di misurazione, aspetti cruciali per garantire l'accuratezza dei dati raccolti. Un elemento fondamentale della UNI EN ISO 2631-2 è la definizione della ponderazione in frequenza applicabile nell'intervallo da 1 Hz a 80 Hz, un range nel quale la postura del soggetto non necessita di essere specificatamente definita. Le appendici informative di questa norma offrono inoltre preziose indicazioni sui possibili effetti delle vibrazioni sulla salute, sul benessere e sulla percezione del “male dei trasporti” fornendo un quadro più completo per l'interpretazione dei risultati delle misurazioni.

Inoltre si è fatto riferimento anche alla norma tecnica UNI EN ISO 5349 che rappresenta un riferimento essenziale per la misurazione e la valutazione delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio nell'ambiente lavorativo. Questa normativa fornisce indicazioni dettagliate sulle precauzioni necessarie per ottenere misurazioni accurate e rappresentative delle vibrazioni. Consente, inoltre, di determinare l'esposizione giornaliera per ciascuna operazione e di calcolare il valore complessivo di vibrazione riferito a un periodo di otto ore, basandosi sul principio dell'uguale energia. L'applicazione della UNI EN ISO 5349 si estende a tutte le situazioni in cui i lavoratori sono esposti a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio. Ciò include l'utilizzo di macchine portatili o guidate manualmente, la manipolazione di manufatti in lavorazione che generano vibrazioni, o l'interazione con dispositivi di comando di macchine sia mobili che fisse.

3.4 L'effetto delle vibrazioni sui lavoratori

L'esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero (*WBV*) induce una serie di movimenti e tensioni all'interno del corpo umano, con conseguenze significative che spaziano dal semplice disagio a una compromissione delle prestazioni lavorative. Più criticamente, le *WBV* possono aggravare lesioni dorso-lombari preesistenti e rappresentare un serio rischio per la salute e la sicurezza generale dei lavoratori. In particolare, le vibrazioni a bassa frequenza (inferiori a 0,1 Hz) possono innescare fenomeni di cinetosi, comunemente noti come mal di movimento. Gli studi epidemiologici sull'esposizione a lungo termine alle vibrazioni corpo intero hanno consistentemente evidenziato un elevato rischio per la salute, focalizzandosi in modo particolare sul tratto lombare del rachide, ma

estendendosi anche al collo e alle spalle. Alcune ricerche specifiche hanno inoltre fornito prove di effetti sul sistema digestivo, sugli organi riproduttivi femminili e sul sistema venoso periferico. Questi dati sottolineano la complessità e la multifattorialità degli impatti delle WBV sull'organismo umano. I risultati di tali studi mostrano una maggiore prevalenza di dolori lombo-sacrali, ernie discali e degenerazione precoce della colonna vertebrale nei gruppi di lavoratori esposti a vibrazioni di tutto il corpo. In modo particolare le patologie maggiormente connesse all'esposizione a vibrazioni al corpo intero sono:

- Patologie del rachide lombare: comprendono un ampio spettro di condizioni che interessano la parte inferiore della colonna vertebrale, ovvero la regione compresa tra l'ultima vertebra toracica (T12) e il sacro. Questa sezione della colonna è particolarmente vulnerabile a causa del suo ruolo cruciale nel sostenere il peso corporeo, permette ampi movimenti e assorbe carichi e sollecitazioni durante le attività quotidiane e lavorative;
- Disturbi cervico-brachiali: rappresentano un insieme di condizioni dolorose e disfunzionali che interessano la regione del collo (cervicale) e si irradiano verso il braccio (brachiale), fino alla mano. Queste patologie sono caratterizzate dalla presenza di sintomi che coinvolgono sia il rachide cervicale che gli arti superiori, spesso a causa della compressione o irritazione di strutture nervose o vascolari che originano dal collo e si estendono lungo il braccio;
- Disturbi digestivi: chiamati anche disturbi gastrointestinali, costituiscono un'ampia categoria di condizioni che interessano l'apparato digerente, ovvero l'insieme degli organi responsabili della digestione e dell'assorbimento dei nutrienti dal cibo, nonché dell'eliminazione delle scorie. Questo sistema comprende il tratto gastrointestinale (esofago, stomaco, intestino tenue e crasso), il fegato, il pancreas e la cistifellea;
- Disturbi circolatori: sono un'ampia categoria di condizioni che colpiscono i vasi sanguigni (arterie, vene e capillari) e il cuore, compromettendo la capacità del sistema cardiovascolare di trasportare efficacemente sangue, ossigeno e nutrienti a tutti i tessuti e organi del corpo, e di rimuovere i prodotti di scarto. Una circolazione sanguigna alterata può avere conseguenze significative sulla salute

generale dell'individuo, portando a danni tissutali, disfunzioni d'organo e, nei casi più gravi, eventi acuti potenzialmente fatali;

- Effetti sull'apparato riproduttivo: effetti nocivi sull'apparato riproduttivo femminile quali alterazioni del ciclo mestruale, problemi legati alla gravidanza e discomfort o dolore pelvico possono essere causati dallo stress meccanico e dalla risonanza di vibrazioni sugli organi pelvici;
- Effetti cocleari: la coclea è una componente dell'orecchio interno a forma di chiocciola primariamente associato alla percezione uditiva ed è tradizionalmente nota per essere vulnerabile a rumori e vibrazioni trasmesse per via aerea. Nonostante l'apparato uditivo sia relativamente ben protetto all'interno del cranio, è possibile che le vibrazioni trasmesse attraverso la struttura ossea del cranio o per via fluidodinamica (liquido cerebrospinale) passano raggiungere la coclea;
- Effetti sull'apparato vestibolare: l'apparato vestibolare, situato all'interno dell'orecchio, è il principale sistema sensoriale responsabile del mantenimento dell'equilibrio, della percezione del movimento del corpo e della testa nello spazio, e del controllo dei movimenti oculari per stabilizzare lo sguardo. È costituito da canali semicircolari (che rilevano i movimenti rotatori) e dagli otoliti (che rilevano l'accelerazione lineare e la gravità).

L'esposizione a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (*HAV*) può compromettere la salute e la sicurezza dei lavoratori, manifestandosi principalmente attraverso disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici e muscolari. Gli effetti di un'esposizione prolungata sono correlati a specifiche patologie, come di seguito dettagliato:

- Disturbi Vascolari: Uno degli effetti più distintivi è la vasocostrizione, in cui i vasi sanguigni delle dita si restringono in risposta all'esposizione alle vibrazioni, determinando una riduzione del flusso ematico. Tale condizione evolve nel fenomeno del "dito bianco" o sindrome di Raynaud indotta da vibrazioni (*VWF*), caratterizzata da pallore digitale, intorpidimento e talvolta dolore, particolarmente accentuati in ambienti a basse temperature.
- Disturbi Neurologici: Le vibrazioni possono indurre danni ai nervi della mano e del braccio, con conseguente perdita di sensibilità, parestesie o dolore. La

compromissione della percezione tattile o termica è frequentemente riscontrabile negli operatori esposti cronicamente a strumenti vibranti.

- **Disturbi Muscoloscheletrici:** L'esposizione continua può influenzare negativamente muscoli, tendini e articolazioni, conducendo a condizioni quali tendiniti o sindrome del tunnel carpale, che generano dolore e limitazione della mobilità. A lungo termine, possono essere interessate anche le articolazioni del polso, del gomito e della spalla. **Danni Cutanei:** Le vibrazioni costanti possono causare microtraumi ai tessuti molli della mano, manifestandosi con calli, ispessimenti cutanei o, in casi severi, necrosi cutanea.

L'esposizione prolungata a vibrazioni di elevata intensità può indurre patologie professionali nei lavoratori. L'entità del danno, oltre alla durata dell'esposizione, è influenzata da diversi fattori aggiuntivi quali:

- **Forza di presa:** Una maggiore forza di presa sull'utensile vibrante comporta un incremento dell'energia trasmessa al sistema mano-braccio. La riduzione della forza di presa, ove possibile, può mitigare la trasmissione vibratoria.
- **Postura del corpo:** Posture scorrette o scomode durante l'impiego di strumenti vibranti possono esacerbare i danni muscoloscheletrici, aumentando lo stress su tendini, muscoli e articolazioni.
- **Condizioni dell'attrezzatura:** Attrezzature con manutenzione carente o usurate tendono a generare vibrazioni di ampiezza superiore e frequenze più dannose. Un'adeguata manutenzione degli strumenti è cruciale per la riduzione del rischio.
- **Condizioni ambientali:** Lavorare in ambienti freddi può aggravare i sintomi vascolari, come il fenomeno del dito bianco, poiché il freddo promuove ulteriormente la vasocostrizione. La combinazione di freddo e vibrazioni incrementa significativamente i rischi per l'operatore.

4. Il rumore

4.1 Il rumore

Il rumore viene definito come un suono che genera una sensazione spiacevole, fastidiosa o intollerabile. Il suono, invece, è una percezione uditiva derivante da uno stimolo esterno che attiva l'organo dell'udito. Questo fenomeno fisico ha origine dal movimento di un corpo elastico e si propaga attraverso un mezzo (solido, liquido o gassoso) dotato anch'esso di proprietà elastiche. I suoni che percepiamo sono generalmente complessi, ma possono essere classificati in base a determinate caratteristiche oggettive. L'intensità del suono si riferisce alla sua "forza" o "volume". Si possono percepire suoni molto intensi oppure appena udibili, e questa variazione dipende significativamente dalla distanza dalla sorgente sonora e dalla natura dell'evento che lo ha generato. Per esempio, un colpo leggero su un tavolo produce un suono debole, mentre un colpo energico genera un suono decisamente più forte. L'intensità diminuisce all'aumentare della distanza dalla sorgente. L'altezza del suono descrive la percezione di un suono come "acuto" o "grave". Generalmente, i suoni acuti sono associati a oggetti più piccoli o a vibrazioni più rapide, mentre quelli gravi derivano da oggetti di dimensioni maggiori o vibrazioni più lente. A differenza dell'intensità, l'altezza del suono non è influenzata dalla distanza dalla sorgente sonora (a meno di rapidi spostamenti che causino un effetto Doppler).

Per la quantificazione del rumore viene utilizzato il decibel (dB), il quale non è una vera e propria unità di misura, bensì un'unità di livello che esprime il logaritmo del rapporto tra due quantità omogenee di pressione misurata su quella assunta come riferimento. È un range di 0-120dB ricordando che ogni 6 dB si ha un raddoppio della pressione sonora.

La sua utilità risiede nella capacità di semplificare il calcolo di prodotti e rapporti tra numeri che presentano ordini di grandezza molto diversi. Grazie alle proprietà dei logaritmi, le operazioni di moltiplicazione e divisione si trasformano, rispettivamente, in addizioni e sottrazioni, rendendo i calcoli notevolmente più agevoli. Inoltre, l'uso del logaritmo comprime le scale numeriche, riducendo intervalli estesi a poche decine. La misurazione diretta del suono in unità assolute come Watt (W) per la potenza, W/m^2 per l'intensità o Pascal (Pa) per la pressione acustica si rivela spesso impraticabile a causa

della vasta escursione dei valori. Per esempio, la pressione sonora percepibile dall'orecchio umano varia da 20 microPascal (soglia di udibilità) a 63,2 Pascal (soglia del dolore), coprendo un intervallo di 10^6 . Per ovviare a questa problematica, si è optato per un approccio di misurazione relativa, prendendo come riferimento il valore minimo udibile. Si è inoltre osservato che la relazione tra la sensazione sonora e lo stimolo fisico che la genera non è lineare, bensì di tipo esponenziale: un raddoppio della pressione sonora di una sorgente non corrisponde a un raddoppio della sensazione percepita, ma a un incremento superiore. Da queste considerazioni deriva l'adozione di una misurazione logaritmica: il decibel. Il decibel (dB) è definito come la decima parte del bel (B), ovvero $10\text{dB}=1\text{B}$. Rappresenta il logaritmo del rapporto tra due grandezze omogenee, come potenze, pressioni o potenziali elettrici. Sebbene il bel sia ormai in disuso, rimane l'unità di misura fondamentale da cui il decibel deriva.

4.2 La valutazione del rischio rumore

La valutazione dei rischi costituisce un elemento ineludibile e primario nell'ambito della salute e sicurezza sul lavoro, configurandosi come lo strumento attraverso cui il datore di lavoro adempie al suo dovere di tutelare il proprio personale. Essa consente di identificare, analizzare e gestire i pericoli intrinseci a ciascuna mansione. Sebbene il Documento di Valutazione dei Rischi (*DVR*) tradizionalmente includa i cosiddetti rischi di natura "stocastica" (es. scivolamenti, tagli, cadute dall'alto), il legislatore ha imposto di estendere questa analisi anche ai rischi specifici, tra cui il rumore, gli agenti chimici, la movimentazione manuale dei carichi e le vibrazioni meccaniche. Per queste ultime categorie di rischio, il D.Lgs. 81/2008 fornisce un quadro normativo che rimanda a specifiche norme tecniche, le quali delineano algoritmi di calcolo dettagliati per la determinazione della classe di rischio. La valutazione del rischio rumore richiede un'attenta e sistematica individuazione di tutte le sorgenti di rumore presenti nell'ambiente lavorativo, seguita dalla determinazione accurata dei livelli di esposizione a cui i lavoratori sono soggetti. L'articolo 190 del D.Lgs. 81/2008 sancisce in modo perentorio l'obbligo per il datore di lavoro di effettuare una valutazione e/o misurazione di tali livelli. Questo passaggio è fondamentale per discernere se l'esposizione costituisca un potenziale pericolo per la salute dei lavoratori e, di conseguenza, per implementare gli opportuni interventi di prevenzione e protezione. Ai fini di una corretta valutazione e definizione

delle condizioni di rischio per i lavoratori, la misura del rumore ricopre notevole importanza. La caratterizzazione delle sorgenti rumorose si basa su norme internazionali che utilizzano come parametri significativi per la pericolosità di un determinato tipo di lavorazione l'intensità del rumore, il contenuto spettrale, la durata dell'esposizione giornaliera e l'esposizione cumulata nel tempo. Le misurazioni, ai sensi dell'articolo 190, possono essere effettuate sia senza misurazioni dirette, basandosi su informazioni affidabili reperibili direttamente dai costruttori delle attrezzature o da banche dati accreditate (come la banca dati del Portale Agenti Fisici, gestita dall'INAIL), sia tramite misurazione diretta, aderendo rigorosamente alle metodiche prescritte da specifici standard internazionali. In particolare, i livelli di esposizione al rumore devono essere determinati in conformità con la norma UNI EN ISO 9612. Per giungere a una valutazione completa ed efficace del rischio da rumore, il datore di lavoro deve tenere in considerazione una molteplicità di fattori interconnessi:

- Livello, tipologia e durata dell'esposizione: È essenziale analizzare non solo l'intensità del rumore ma anche la sua tipologia (continuo, intermittente o impulsivo) e la durata dell'esposizione giornaliera.
- Valore limite di esposizione e valori di azione: Questi parametri normativi costituiscono le soglie oltre le quali è imperativo adottare misure preventive e protettive.
- Effetti sulla salute di lavoratori sensibili: È fondamentale considerare l'impatto potenziale su categorie di lavoratori particolarmente vulnerabili (ad esempio, donne in gravidanza e minori) per i quali i rischi possono essere amplificati.
- Effetti indiretti: Il rumore può interagire con altri fattori ambientali (come alte o basse temperature) o con altre attrezzature, generando effetti sinergici o indiretti sulla sicurezza e salute dei lavoratori (es. difficoltà di comunicazione, mascheramento di segnali di allarme).
- Informazioni del costruttore: I dati tecnici forniti dal produttore dell'attrezzatura sono una fonte preziosa per la caratterizzazione delle emissioni sonore.
- Alternative a basso rischio: La ricerca di attrezzature progettate per ridurre i livelli di emissione sonora è una strategia preventiva di primaria importanza.

- Prolungamento dell'esposizione: È cruciale considerare eventuali periodi di esposizione al rumore che si estendono oltre l'orario lavorativo ordinario negli ambienti soggetti a responsabilità del datore di lavoro.
- Condizioni di lavoro particolari: Fattori quali il confinamento, la riverberazione o la presenza di altre sorgenti possono aggravare gli effetti del rumore.
- Dati della sorveglianza sanitaria: Le informazioni raccolte attraverso i programmi di sorveglianza sanitaria, unitamente a quelle reperibili nella letteratura scientifica, offrono un quadro prezioso per la comprensione e la gestione del rischio.

Una volta completata la fase di valutazione e qualora vengano superati i valori d'azione, il datore di lavoro è tenuto a adottare tempestivamente le misure tecniche ed organizzative mirate a ridurre al minimo l'esposizione e i rischi ad essa correlati. Tra le principali strategie da implementare si annoverano:

- Revisione dei metodi di lavoro: Privilegiare l'adozione di metodologie operative che comportino una minore esposizione al rumore.
- Selezione di attrezzature idonee: Impiegare attrezzature che, in relazione al compito da svolgere, generino il minor livello possibile di rumore.
- Utilizzo di misure di controllo tecnico: Adottare interventi tecnici come l'isolamento acustico delle sorgenti, l'installazione di barriere antirumore, o l'insonorizzazione degli ambienti.
- Formazione e informazione dei lavoratori: Educare il personale sull'uso corretto e sicuro delle attrezzature e dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) associati (es. otoprotettori) al fine di minimizzare l'esposizione.
- Limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione: Implementare strategie per contenere i tempi e l'entità dell'esposizione al rumore.
- Organizzazione degli orari di lavoro: Prevedere periodi di riposo adeguati e una pianificazione degli orari che favorisca il recupero e riduca la sollecitazione acustica.

La fase conclusiva del processo di valutazione del rischio rumore si concretizza nella stesura di un apposito allegato al Documento Valutazione dei Rischi (*DVR*), ovvero il *DVR Rumore*. Questo documento, redatto dal datore di lavoro in stretta collaborazione con il Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (*RSPP*) e il medico competente, deve includere un'analisi esaustiva del rischio specifico. Ciò comprende la descrizione delle sorgenti di rumore, le mansioni associate, i DPI pertinenti, i livelli di esposizione giornaliera per ogni postazione o attrezzatura e, non meno importante, il dettaglio sulle misure tecniche e organizzative adottate per la minimizzazione del rischio. In tal modo, si garantisce un approccio olistico e sistematico alla tutela della salute dei lavoratori esposti al rumore.

4.3 La normativa di riferimento

La normativa di riferimento in materia di rumore riveste un ruolo cruciale nella salvaguardia della salute dei lavoratori esposti a tale rischio in svariati settori, sia a livello europeo che nazionale. Un corpus di regolamenti e direttive è stato sviluppato con l'obiettivo di stabilire limiti di esposizione e definire le necessarie misure preventive per mitigare l'impatto del rumore sulla forza lavoro. Le principali fonti normative in materia di rumore sono:

- La Direttiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio: Adottata il 6 febbraio 2003, questa direttiva costituisce il fulcro del riferimento legislativo europeo per la prevenzione dei rischi derivanti dall'esposizione al rumore. La sua importanza risiede nell'aver introdotto e stabilito i valori di esposizione e i valori d'azione per l'esposizione al rumore, fornendo così un quadro chiaro per la valutazione e la gestione del rischio in tutti gli Stati membri dell'Unione Europea.
- Il Decreto Legislativo 81/2008 (Testo Unico sulla Sicurezza): A livello nazionale, il D.Lgs. 81/2008 rappresenta la principale normativa che disciplina la protezione dai rischi derivanti dall'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro. Esso stabilisce norme precise per la prevenzione e il controllo di tali rischi. Le disposizioni di maggior rilevanza relative al rumore si trovano agli articoli 187, 188, 189 e 190.
- L'articolo 187 si occupa di definire chiaramente i concetti chiave legati al rumore e ai suoi effetti, fornendo le basi per la valutazione.
- L'articolo 188 riprende e conforma i valori limite di esposizione e i valori d'azione

stabiliti dalla Direttiva Europea 2003/10/CE, garantendo così l'allineamento della legislazione nazionale con quella comunitaria.

- L'articolo 189 definisce gli obblighi del datore di lavoro in termini di valutazione del rischio rumore, imponendo che essa sia condotta da personale competente e attraverso misurazioni effettuate in conformità con gli standard tecnici riconosciuti a livello internazionale.
- L'articolo 190 definisce gli obblighi del datore di lavoro in termini di riduzione del rischio. Impone l'adozione di misure preventive e protettive, che spaziano dalla scelta di attrezzature meno rumorose all'implementazione di misure organizzative e tecniche, nonché alla valorizzazione della formazione e informazione dei dipendenti sull'uso delle macchine e sulla gestione del rischio. Inoltre, l'articolo sottolinea l'importanza di un'organizzazione del lavoro che miri a minimizzare l'esposizione complessiva dei lavoratori al rumore. Un aspetto fondamentale previsto dal Testo Unico è la sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti a livelli di rumore superiore al valore di azione inferiore (85 dBA, o 137 dBC per il picco). Tale sorveglianza deve essere condotta periodicamente da un medico competente con l'obiettivo primario di monitorare l'eventuale insorgenza di patologie correlate all'esposizione al rumore e di adottare tempestivamente i provvedimenti necessari in caso di anomalie o segni di compromissione della salute.
- Le norme tecniche come la UNI EN ISO 9612: Questa norma si configura come un riferimento essenziale per la misurazione e la valutazione dell'esposizione al rumore sul posto di lavoro. La sua importanza risiede nel garantire che le rilevazioni siano condotte con rigore metodologico, assicurando così che i dati ottenuti siano accurati e realmente rappresentativi del rischio a cui i lavoratori sono esposti. Questo standard internazionale fornisce le linee guida necessarie per un'analisi oggettiva, fondamentale per la successiva implementazione di efficaci misure preventive e protettive.

La normativa stabilisce due soglie fondamentali per la gestione del rischio da rumore: un valore d'azione inferiore (es. 85 dBA) e un valore limite di esposizione (es. 87 dBA, tenendo conto dei DPI). Il superamento del valore d'azione impone al datore di lavoro di implementare misure di controllo dei rischi. È cruciale sottolineare che il rischio di lesioni o traumi uditivi non è assente al di sotto del valore d'azione; questo è particolarmente vero in presenza di cofattori di rischio significativi o di una maggiore suscettibilità individuale.

Indipendentemente dai livelli di esposizione, la normativa impone ai datori di lavoro di agire preventivamente. Ciò significa che, anche quando i valori d'azione non vengono superati, sussiste l'obbligo di ridurre il più possibile o eliminare i rischi associati al rumore. Qualora invece i valori d'azione vengano superati, scatta l'obbligo rafforzato per il datore di lavoro di attuare specifiche e ulteriori misure di prevenzione per i lavoratori esposti, garantendo così una tutela più stringente.

Nel contesto di questo lavoro di tesi, la norma tecnica UNI EN ISO 9612 ha rappresentato il riferimento principale. Questa normativa si concentra sulla determinazione dell'esposizione al rumore in ambiente lavorativo, fornendo un metodo dettagliato per la sua misurazione e valutazione. La norma specifica, in particolare, le strategie di misurazione (misura per compiti, per giornata intera o per campionamento), gli aspetti cruciali per garantire l'accuratezza dei dati raccolti e le metodologie di calcolo del livello di esposizione giornaliera. Le appendici informative di questa norma offrono inoltre preziose indicazioni sulle incertezze di misura e sulle procedure per la gestione delle stesse, fornendo un quadro più completo per l'interpretazione dei risultati delle misurazioni.

4.4 L'effetto del rumore sui lavoratori

L'esposizione al rumore può causare una serie di effetti sulla salute, la cui gravità dipende direttamente dall'intensità e dalla durata dell'esposizione stessa. Tali effetti possono manifestarsi come alterazioni funzionali transitorie e reversibili, oppure come lesioni permanenti a carico dell'orecchio interno. Livelli di esposizione particolarmente elevati possono anche indurre lesioni traumatiche all'orecchio medio e interno.

Quando l'apparato uditivo è stimolato da rumori di elevata intensità (superiore a 80 dB) per diverse ore, si può verificare uno spostamento temporaneo della soglia uditiva (STS), noto anche come fatica uditiva. Questa condizione comporta una perdita uditiva reversibile, che si ripristina una volta cessato lo stimolo e dopo un adeguato periodo di riposo. Tuttavia, se lo stimolo acustico è eccessivo e si ripete costantemente per lunghi periodi, come nel caso dell'esposizione professionale al rumore, si determina uno spostamento permanente della soglia uditiva (SDS). Questa condizione è irreversibile ed è caratterizzata da una perdita anatomica delle cellule ciliate dell'organo del Corti, cruciali per la percezione del suono. L'esposizione a livelli di rumore estremamente elevati,

superiori a 140 dB, provoca una sensazione dolorosa e, nei casi più gravi, può causare un danno immediato all'apparato uditivo, come la rottura della membrana timpanica e lesioni alle cellule ciliate. Queste lesioni di origine prevalentemente traumatica, benché rare negli ambienti di lavoro industriali, sono solitamente dovute a rumori impulsivi improvvisi, come esplosioni.

Oltre agli effetti uditivi, l'esposizione al rumore può indurre anche effetti extrauditivi. Questi sono riconducibili ad alterazioni neurovegetative a carico di vari organi e apparati. La loro manifestazione può differire a seconda che la stimolazione sia prodotta da un rumore intenso e improvviso o da un rumore intenso ma prolungato nel tempo. È importante sottolineare che tali effetti sono spesso aspecifici, in quanto possono essere provocati anche da stimoli diversi dal rumore.

5. Materiali e metodi

Il presente capitolo è dedicato alla descrizione dettagliata dei materiali impiegati e delle metodologie adottate per lo svolgimento della ricerca, l'acquisizione delle misurazioni e l'elaborazione dei dati. La rigorosa espressione di questa sezione riveste un'importanza cruciale al fine di assicurare la replicabilità delle procedure, consentendo la riproduzione delle medesime condizioni sperimentali e la conseguente verifica dei risultati conseguiti.

Dei mezzi presenti per le operazioni di manutenzione e collaudo sono stati individuati due modelli, più specificatamente:

- BV 206
- Leopard Pioniere

La selezione delle tipologie dei mezzi testati è stata condotta privilegiando il principio della riproducibilità delle misure. Questo approccio è stato adottato al fine di garantire l'aderenza a uno standard metodologico rigoroso, facilitando così le successive fasi di classificazione dei dati.

Inoltre risulta cruciale specificare che le misurazioni si sono svolte su un campo prova di strada bianca, nella fattispecie composta da ghiaia ordinaria ovvero un aggregato lapideo di origine naturale, derivante dall'erosione e dal trasporto di rocce preesistenti le cui proprietà fisiche, quali la densità apparente, l'angolo di attrito interno e la permeabilità, la rendono un materiale fondamentale in diverse applicazioni ingegneristiche, dall'impiego come inerte per calcestruzzi e malte, alla realizzazione di sottofondi stradali, drenaggi e ricariche.

5.1 L'accelerometro

Per la rilevazione delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio, è stato impiegato un accelerometro Svantek SV106D, concesso in uso dall'Università degli Studi di Trieste. Questo analizzatore multicanale per vibrazioni a corpo intero e mano-braccio è conforme ai requisiti della norma ISO 8041-1:2017 e si presta idealmente per misurazioni in

accordo con le norme ISO 2631-1, ISO 2631-2, ISO 2631-5, ISO 5349 e la Direttiva 2002/44/CE. Lo strumento, caratterizzato da dimensioni contenute, permette l'acquisizione simultanea di dati da due accelerometri triassiali, grazie ai suoi due ingressi compatibili con sensori di tipo IEPE (*Integrated Electronic Piezo-Electric*) o MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*). L'SV106D è in grado di fornire in tempo reale i seguenti parametri di misura: RMS (*Root Mean Square*), Picco, Picco-Picco, VDV (*Vibration Dose Value*), MTVV (*Maximum Transient Vibration Value*) e la dose come A(8) (valore normalizzato di accelerazione equivalente su 8 ore). La potenza di calcolo del processore digitale integrato consente inoltre l'esecuzione di analisi in tempo reale in bande di 1/1 o 1/3 di ottava, simultaneamente alla modalità di misurazione.

Il sensore triassiale utilizzato per le misurazioni delle vibrazioni corpo intero (modello SV 38V) è costituito da un disco tipicamente posizionato sulle superfici di contatto dell'operatore (sedile e schienale), in conformità con la normativa ISO 2631-1, dotato di memoria integrata (*TEDS- Transducer Electronic Data Sheet*) che consente il trasferimento automatico delle informazioni relative alla sensibilità allo strumento SV 106. Dal punto di vista tecnologico, l'SV 38V impiega trasduttori basati su tecnologia MEMS (*Micro-Electro-Mechanical System*), questa scelta costruttiva conferisce all'accelerometro una ridotta richiesta energetica e una maggiore robustezza rispetto ai sensori piezoelettrici tradizionali, aspetti risultanti fondamentali per applicazioni sul campo e a lungo termine.

I dati acquisiti in formato di "time history" vengono registrati su una scheda microSD interna. Successivamente, tali dati possono essere scaricati su personal computer tramite interfaccia USB e analizzati utilizzando il software "Supervisor". Questo pacchetto software, sviluppato da Svantek, supporta l'intera gamma di strumenti dell'azienda dedicati alla misurazione del rumore e delle vibrazioni in ambienti lavorativi. Supervisor facilita l'organizzazione dei dati al momento del download e fornisce un database strutturato in cartelle ed etichette, consentendo una classificazione basata su utenti, mansioni e compiti specifici.



Figura 6 Accelerometro SVANTEK SV 106 D

5.2 Protocollo di misura delle vibrazioni

In ottemperanza a quanto stabilito dall'Appendice XXXV, Parte B, del D.Lgs. 81/2008, la misurazione dell'accelerazione delle vibrazioni trasmesse al sistema corpo intero (*whole body vibration, WBV*) e il conseguente calcolo dei relativi descrittori di esposizione devono essere eseguiti in stretta aderenza ai requisiti della norma ISO 2631-1.

Per tanto nel presente studio di tesi, l'approccio alla misurazione dell'esposizione enfatizza l'importanza di considerare i seguenti aspetti fondamentali:

- I metodi di misurazione adottati, inclusa l'eventuale campionatura, devono garantire una rappresentatività accurata dell'esposizione del lavoratore alle vibrazioni meccaniche. È fondamentale che le metodologie e le attrezzature impiegate siano specificatamente adatte alle caratteristiche delle vibrazioni da rilevare, tenendo conto dei fattori ambientali e delle specificità dell'apparecchiatura di misurazione. Tutto ciò deve essere condotto in piena conformità con quanto stabilito dalla norma UNI EN ISO 2631-1;
- La strumentazione impiegata per le misurazioni deve essere conforme alle specifiche delineate dalla norma UNI EN ISO 8041-1;
- Per garantire l'accuratezza delle misurazioni, gli accelerometri devono essere saldamente posizionati e la loro presenza non deve alterare in nessun modo la mobilità del lavoratore;
- I cavi degli accelerometri non devono essere sottoposti a sforzi e non devono

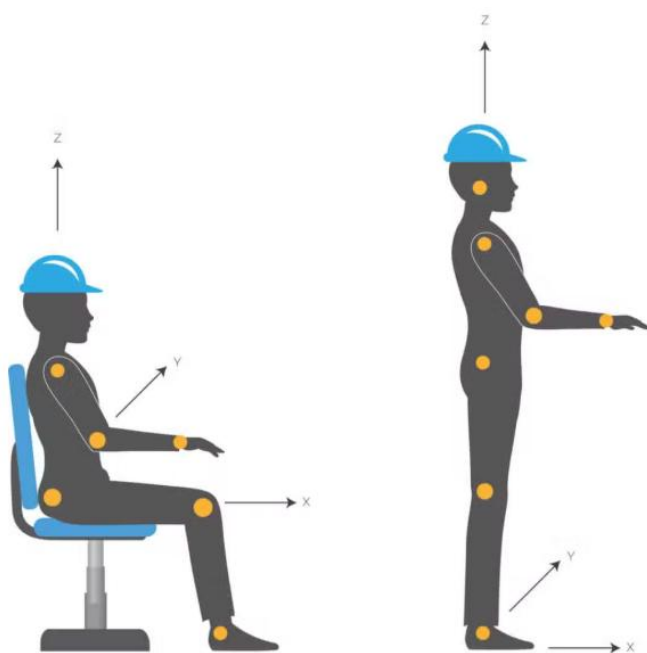
essere lasciati liberi di oscillare, in quanto ciò potrebbe indurre errori nel segnale, pertanto è necessario fissare i cavi utilizzando delle apposite fascette adesive;

Prima di procedere con le misurazioni delle vibrazioni, è essenziale condurre un'indagine preliminare approfondita. Questa fase risulta cruciale per comprendere la situazione lavorativa in condizioni tipiche di esercizio, analizzare le mansioni specifiche dei lavoratori, identificare le postazioni di misura più rappresentative e valutare i macchinari impiegati nelle diverse lavorazioni.

Successivamente, i rilievi vengono eseguiti adottando un sistema di riferimento cartesiano definito come segue:

- Asse x: Direzione laterale, solitamente da sinistra verso destra;
- Asse y: Direzione antero-posteriore, solitamente da avanti a dietro;
- Asse z: direzione verticale, solitamente da su a giù.

Figura 7 Sistema di coordinate per il posizionamento del trasduttore corpo intero



Nel calcolo dell'esposizione alle vibrazioni, le componenti orizzontali sono considerate maggiormente dannose per il sistema corpo intero pertanto le accelerazioni ponderate in frequenza lungo gli assi X e Y (laterali) vengono moltiplicate per un fattore di 1,4 mentre la vibrazione verticale sull'asse Z viene moltiplicata per un fattore di 1.

In conformità con il D.Lgs. 81/2008, Appendice XXXV parte A, la misurazione dell'accelerazione associata alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (*HAV*) e il

successivo calcolo dei descrittori di esposizione devono essere eseguiti in accordo con gli standard ISO 5349-1 e ISO 5349-2. Pertanto, durante la misurazione dell'esposizione a vibrazioni, come nel presente lavoro di tesi, è cruciale considerare i seguenti aspetti:

- **Metodi e Attrezzature:** I metodi impiegati, inclusa la campionatura, devono essere rappresentativi dell'esposizione reale del lavoratore alle vibrazioni meccaniche. I metodi e le apparecchiature devono essere adattati alle caratteristiche specifiche delle vibrazioni da misurare, ai fattori ambientali e alle peculiarità dell'apparecchiatura di misurazione, in conformità con la norma UNI EN ISO 5349-2.
- **Conformità della Strumentazione:** La strumentazione utilizzata deve essere conforme alle specifiche delineate dalla norma UNI EN ISO 8041-1.
- **Posizionamento degli Accelerometri:** Gli accelerometri devono essere saldamente fissati, assicurandosi che la loro presenza non influenzi le modalità di lavorazione e la prensione da parte del lavoratore.
- **Gestione dei Cavi:** I cavi degli accelerometri non devono essere sottoposti a tensione eccessiva né lasciati liberi di oscillare, al fine di prevenire errori nel segnale. È pertanto indispensabile fissare i cavi con apposite fascette adesive.

Le misurazioni devono essere precedute da un'accurata indagine preliminare. Questa indagine è volta a studiare la situazione lavorativa in condizioni tipiche, analizzando le mansioni dei lavoratori, le postazioni di misura e i macchinari impiegati nelle diverse lavorazioni. Successivamente, i rilievi vengono eseguiti facendo riferimento a un sistema di coordinate cartesiane definito come segue:

- **Asse x:** Ortogonale al palmo della mano, rappresenta la vibrazione che attraversa la mano dal davanti al retro.
- **Asse z:** Parallelo alle ossa dell'avambraccio, rappresenta la vibrazione che si verifica parallelamente alle ossa del dorso della mano.
- **Asse y:** Parallelo al palmo della mano e ortogonale all'asse z, rappresenta la vibrazione che attraversa le nocche da sinistra a destra.

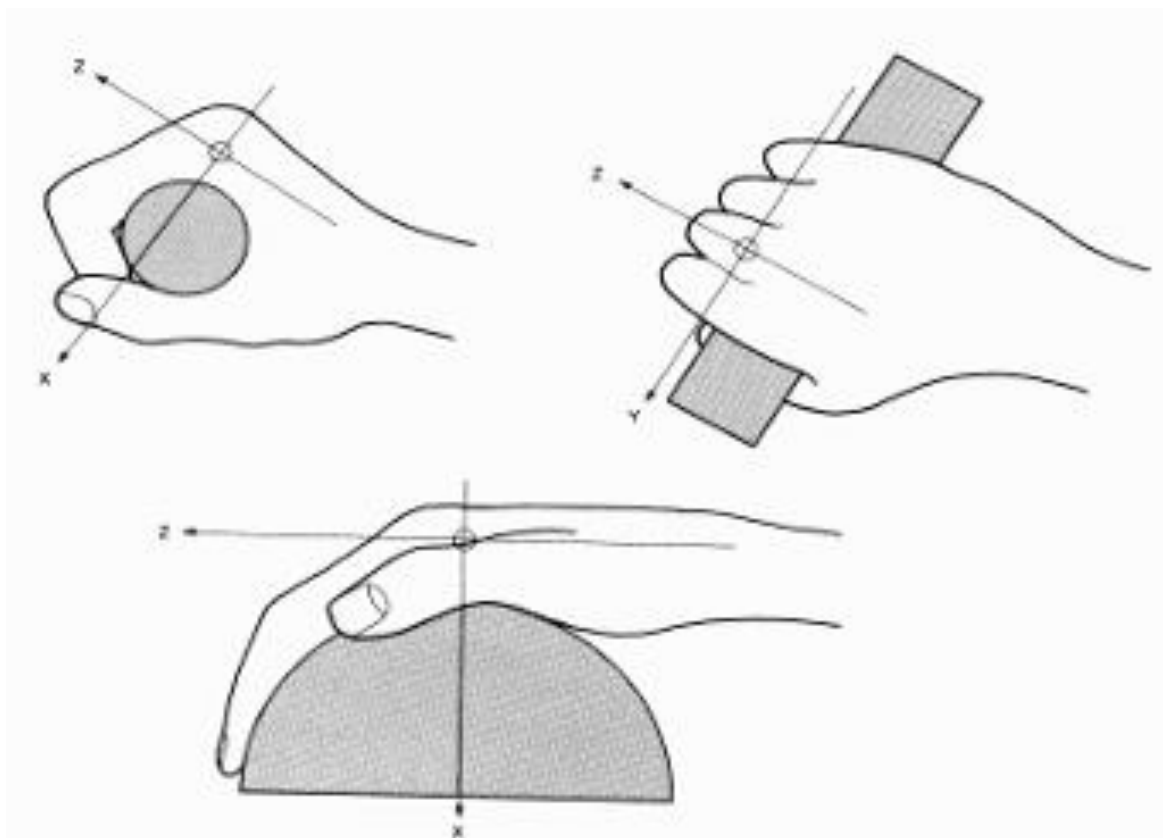


Figura 8 Sistema di coordinate per il posizionamento dei trasduttori per la mano

5.3 Il fonometro

Per la rilevazione del rumore, è stato impiegato il fonometro Larson Davis LXT, fornito dall'Università degli Studi di Trieste, il quale si configura come uno strumento particolarmente adatto a tale scopo, grazie alle sue avanzate capacità di misurazione e analisi che rispondono pienamente alle esigenze normative e scientifiche. Il Larson Davis LxT è un fonometro di Classe 1 o 2, classificazioni che ne attestano l'elevata precisione, indispensabile per conformarsi alle direttive vigenti in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro. La sua capacità di misurare simultaneamente diverse ponderazioni in frequenza (A, C, Z) e costanti di tempo (*Fast*, *Slow*, *Impulse*) consente una caratterizzazione completa del rumore, dalla sua intensità percepita dall'orecchio umano (dBA) alla sua componente impulsiva (dBC o dBLin picco), aspetti cruciali per una valutazione approfondita del rischio. Un elemento distintivo di questo fonometro è la sua capacità di calcolare metriche fondamentali per l'igiene industriale, quali il livello equivalente (L_{eq}), il livello di esposizione giornaliera ($L_{ep,d}$) e la dose di rumore. Queste

metriche sono direttamente correlate ai requisiti del D.Lgs. 81/2008 per la valutazione dell'esposizione professionale al rumore. La funzione di data logging automatico permette di registrare i livelli di rumore nel tempo, fornendo un profilo dettagliato dell'esposizione e facilitando l'analisi di attività lavorative variabili. Inoltre l'opzionale analisi in banda d'ottava e terzo d'ottava è un'ulteriore funzionalità di grande rilevanza in quanto permette di individuare le frequenze predominanti del rumore, consentendo una comprensione più profonda delle sue caratteristiche spettrali. Questa informazione è vitale non solo per la valutazione del danno uditivo, ma anche per l'identificazione delle sorgenti di rumore e la progettazione di interventi di bonifica acustica mirati ed efficaci. L'utilizzo di un fonometro con tali caratteristiche consente quindi di produrre dati solidi e validi, supportando con rigore scientifico le conclusioni della tesi in merito all'identificazione e alla gestione del rischio rumore.

Insieme al fonometro è stato dotato dall'Università degli Studi di Trieste anche il calibratore Larson Davis CAL200, il quale risulta di Classe 1, una designazione che ne attesta l'elevatissimo livello di precisione. Questo strumento è progettato per generare un segnale acustico di riferimento a una frequenza e un livello di pressione sonora noti e stabili, tipicamente 94 dB o 114 dB a 1 kHz. Questi valori standardizzati sono fondamentali per calibrare i fonometri prima e dopo ogni sessione di misurazione. L'impiego del calibratore garantisce che le rilevazioni del fonometro siano accurate e tracciabili, un requisito imprescindibile per produrre risultati scientificamente validi in quanto le variazioni di temperatura, umidità e pressione atmosferica, così come l'usura o lo spostamento del microfono del fonometro, possono influenzare la sensibilità dello strumento. Il CAL200 permette di compensare queste deviazioni, assicurando che le misurazioni di rumore riflettano fedelmente la realtà acustica dell'ambiente investigato.

Figura 9 Fonometro LARSON DAVIS LXT



5.4 Protocollo di misura del rumore

Ai sensi del Capo II del D.Lgs. 81/2008, la misurazione dell'esposizione al rumore in ambito lavorativo e il conseguente calcolo dei descrittori di esposizione devono essere eseguiti in stretta aderenza ai requisiti della norma ISO 9612. Nel presente studio di tesi, l'approccio alla misurazione dell'esposizione enfatizza l'importanza di considerare i seguenti aspetti fondamentali:

- **Metodi e Campionamento:** I metodi di misurazione adottati, inclusa l'eventuale campionatura, devono garantire una rappresentatività accurata dell'esposizione del lavoratore al rumore meccanico. È imperativo che le metodologie e le attrezzature impiegate siano specificatamente adatte alle caratteristiche del rumore da rilevare, tenendo conto dei fattori ambientali e delle specificità dell'apparecchiatura di misurazione. Tutto ciò deve essere condotto in piena conformità con quanto stabilito dalla norma UNI EN ISO 9612.
- **Conformità della Strumentazione:** La strumentazione impiegata per le misurazioni deve essere rigorosamente conforme alle specifiche delineate dalla norma UNI EN ISO 9612.
- **Posizionamento del Microfono:** Per garantire l'accuratezza delle misurazioni, il microfono deve essere saldamente posizionato e la sua presenza non deve alterare in alcun modo la mobilità del lavoratore.
- **Gestione dei Cavi:** I cavi del fonometro non devono essere sottoposti a sforzi e non devono essere lasciati liberi di oscillare, poiché ciò potrebbe indurre errori nel segnale. Pertanto, è necessario fissare i cavi utilizzando delle apposite fascette adesive.

Prima di procedere con le misurazioni del rumore, è essenziale condurre un'indagine preliminare approfondita. Questa fase è cruciale per comprendere la situazione lavorativa in condizioni tipiche di esercizio, analizzare le mansioni specifiche dei lavoratori, identificare le postazioni di misura più rappresentative e valutare i macchinari impiegati nelle diverse lavorazioni.

5.5 Rilevazione strumentale

La presente indagine si fonda su un'approfondita rilevazione strumentale, condotta in rigorosa ottemperanza alle direttive stabilite dall'INAIL. Tali linee guida hanno definito con precisione i parametri operativi per l'acquisizione dei dati, includendo il numero di

misurazioni da effettuare, la loro durata complessiva e le procedure per il calcolo dell'esposizione giornaliera. Per quanto concerne le valutazioni individuali dei soggetti alla guida dei mezzi, si è proceduto all'esecuzione di un minimo di tre misurazioni, al fine di assicurare la significatività statistica e la robustezza dei risultati. In dettaglio, sono state adottate le seguenti specifiche tecniche per ciascun agente fisico:

- Rumore (EN ISO 9612): La durata delle misurazioni per ciascuna mansione è stata di almeno cinque minuti.
- Vibrazioni al sistema mano-braccio (UNI EN ISO 5349-2): La durata di ogni misurazione non è stata inferiore al minuto.
- Vibrazioni al sistema corpo intero (UNI EN ISO 2631-1): Sebbene la normativa di riferimento non specifichi il numero di misurazioni da eseguire, le linee guida INAIL suggeriscono una durata minima di 240 secondi (ovvero 4 minuti) per ciascuna misurazione, criterio che è stato adottato nel presente studio.

È cruciale evidenziare come, nell'ambito della valutazione delle vibrazioni, le caratteristiche individuali (quali le differenze antropometriche e le tecniche operative) possano esercitare un'influenza notevolmente più marcata sui risultati delle misurazioni rispetto a quanto si osserva per il rumore. Pertanto, nel caso in cui un medesimo veicolo sia utilizzato da più operatori, diviene indispensabile replicare le misurazioni su ciascun soggetto coinvolto, eseguendo molteplici rilevazioni per ogni individuo. Per assicurare l'univocità nella determinazione del valore di esposizione su periodi brevi, strettamente dipendente dal numero di misurazioni effettuate, si raccomanda di condurre tre misurazioni per ciascun soggetto. Questo approccio deve essere applicato a un numero di soggetti pari ad almeno un terzo del gruppo omogeneo, arrotondato per eccesso. Ad esempio, per gruppi fino a sei individui, saranno inclusi almeno due soggetti; per gruppi fino a nove, almeno tre soggetti, e così via.

5.6 Analisi condotte post-misure

I dati raccolti tramite misurazioni sui dipendenti sono stati elaborati utilizzando specifici software di analisi statistica e calcolo. Per quanto riguarda le vibrazioni le informazioni, acquisite dalla memoria interna dell'accelerometro Svantek 106D, sono state trasferite al software di analisi “Supervisor” di Svantek. Il programma “Supervisor” ha consentito di gestire le misurazioni creando sessioni di analisi per ogni specifico scenario di rilevazione. Dopo l'importazione dei dati, il software ha fornito una serie di parametri

fondamentali per l'analisi. Tra questi, si includono i grafici che rappresentano l'andamento dei valori istantanei delle vibrazioni in funzione del tempo, i valori di picco su tutti e tre gli assi cartesiani, le medie relative a ciascun asse e il calcolo automatico dell'esposizione giornaliera alle vibrazioni. Quest'ultimo è stato determinato in base al tempo di utilizzo delle attrezzature durante una giornata lavorativa standard di otto ore. Questo processo ha permesso di ottenere una visione dettagliata e completa dei livelli di esposizione. Per il rumore invece i dati, salvati sulla memoria interna del fonometro Larson Davis LxT, sono stati poi trasferiti al software di analisi "G4-LD-UTILITY". Il programma "G4-LD-UTILITY" ha consentito di gestire le misurazioni creando sessioni di analisi per ogni specifico scenario di rilevazione. Dopo l'importazione dei dati, il software ha fornito una serie di parametri fondamentali per l'analisi quali i grafici che rappresentano l'andamento dei valori istantanei, il valore di picco, le medie relative alla misurazione e il calcolo automatico dell'esposizione giornaliera al rumore. Quest'ultimo è stato determinato in base al tempo di utilizzo delle attrezzature durante una giornata lavorativa standard di otto ore. Questo processo ha permesso di ottenere una visione dettagliata e completa dei livelli di esposizione.

Dopo l'estrazione dal software di analisi, i dati sono stati preliminarmente elaborati in un foglio di calcolo Excel per la loro selezione e filtrazione, al fine di ottenere una rappresentazione più chiara e immediata dei risultati.

Successivamente, per condurre un'analisi statistica più approfondita, è stato impiegato "Jamovi". Questo software, essendo gratuito e open-source, fornisce un'interfaccia intuitiva e user-friendly, molto simile a un foglio di calcolo, che facilita l'esecuzione di analisi statistiche senza la necessità di scrivere codice complesso. "Jamovi", particolarmente apprezzato nell'ambito della ricerca e dell'istruzione per la sua combinazione di potenza e semplicità, si basa sul linguaggio di programmazione R, ampiamente utilizzato in statistica. Lo strumento ha permesso di eseguire diverse analisi statistiche, tra cui t-test, ANOVA, regressione, correlazione e analisi fattoriale.

6. Risultati

Le misurazioni condotte hanno rivelato un'esposizione significativa dei lavoratori a rumore e vibrazioni per entrambi i mezzi analizzati.. A causa dell'assenza di dati pregressi o di studi comparativi specifici e documentati, non è stato possibile confrontare i livelli di esposizione attuali con valori storici o di riferimento. Tale limitazione sottolinea l'importanza di queste rilevazioni come base per futuri monitoraggi. Nelle sezioni successive, verranno presentate le tabelle riassuntive che descrivono in dettaglio i livelli di esposizione rilevati. Tali valori sono stati correlati alle fasce di rischio definite dalla normativa vigente, utilizzando la matrice di rischio già integrata nelle procedure aziendali interne. Questa analisi fornisce un contributo fondamentale per una valutazione del rischio più accurata.

6.1 Risultati delle misure effettuate – Vibrazioni corpo intero

La tabella ricavata dall'analisi dei dati mostra una comparazione relativa all'esposizione giornaliera alle vibrazioni corpo intero espressa in m/s^2 indicato come $A(8)$ derivante l'attività di prova in campo dei mezzi.

Tabella 1 Valore di esposizione vibrazioni corpo intero BV 206

BV 206		
WBV A(8) 1,59 m/s^2		Corpo intero WBV A(8) < 0,4 m/s^2
		Corpo Intero 0,4 m/s^2 < WBV (8) < 0,5 m/s^2
		Corpo Intero 0,6 m/s^2 < WBV (8) < 1 m/s^2
	X	Corpo Intero WBV A(8) > 1 m/s^2 o brevi periodi WBV (8) _{periodi brevi} > 1,5 m/s^2

Tabella 2 Valore di esposizione vibrazioni corpo intero Leopard Pioniere

LEOPARD PIONIERE		
WBV A(8) 1,11 m/s ²		Corpo intero WBV A(8) < 0,4 m/s ²
		Corpo Intero 0,4 m/s ² < WBV (8) < 0,5 m/s ²
		Corpo Intero 0,6 m/s ² < WBV (8) < 1 m/s ²
	X	Corpo Intero WBV A(8) > 1 m/s ² o brevi periodi WBV (8) _{periodi brevi} > 1,5 m/s ²

6.2 Risultati delle misure effettuate – Vibrazioni mano-braccio

La tabella ricavata dall'analisi dei dati mostra una comparazione relativa all'esposizione giornaliera alle vibrazioni mano-braccio espressa in m/s² indicato come A(8) derivante l'attività di prova in campo dei mezzi.

Tabella 3 Valore di esposizione vibrazioni mano-braccio BV 206

BV 206		
HAV A(8) 3,25 m/s ²		Mano-braccio HAV A(8) < 2,0 m/s ²
		Mano-braccio 2 m/s ² < HAV (8) < 2,5 m/s ²
	X	Mano Braccio 2,5 m/s ² < HAV (8) < 5,0 m/s ²
		Mano-braccio HAV A(8) > 5,0 m/s ² o brevi periodi HAV (8) _{periodi brevi} > 20 m/s ²

Tabella 4 Valore di esposizione vibrazioni mano-braccio Leopard Pioniere

LEOPARD PIONIERE		
HAV A(8) 2,26 m/s ²		Mano-braccio HAV A(8) < 2,0 m/s ²
	X	Mano-braccio 2 m/s ² < HAV (8) < 2,5 m/s ²
		Mano Braccio 2,5 m/s ² < HAV (8) < 5,0 m/s ²
		Mano-braccio HAV A(8) > 5,0 m/s ² o brevi periodi HAV (8) _{periodi brevi} > 20 m/s ²

6.3 Risultati delle misure effettuate – Rumore

La tabella ricavata dall'analisi dei dati mostra una comparazione relativa all'esposizione giornaliera al rumore espressa in dB indicato come L_{aeq} e $L_{picco(max)}$ derivante l'attività di prova in campo dei mezzi.

Tabella 5 Valore di esposizione rumore BV 206

BV 206		
L_{aeq} 101,7 dB		Inferiore al limite inferiore di esposizione (80,0 dB(A))
		Tra il limite superiore di azione e il limite inferiore di azione (80,0 dB(A) < Exp < 85,0 dB(A))
		Tra il limite superiore di azione e il limite di esposizione (85,0 dB(A) < Exp < 87,0 dB(A))
	X	Superiore al livello di esposizione (87,0 dB(A))

Tabella 6 Valore di esposizione rumore (picco) BV 206

BV 206- valore impulsivo		
$L_{Peak(max)}$ 131,9 dB	X	Inferiore al limite inferiore di esposizione (135,0 dB(C))
		Tra il limite superiore di azione e il limite inferiore di azione (135,0 dB (C)) < L_{peak} < (137,0 dB (C))
		Tra il limite superiore di azione e il limite di esposizione (137,0 dB (C)) < L_{peak} < (140,0 dB (C))
		Superiore al livello di esposizione (140,0 dB (C))

Tabella 7 Valore di esposizione rumore Leopard Pioniere

LEOPARD PIONIERE		
L_{aeq} 106,3 dB		Inferiore al limite inferiore di esposizione (80,0 dB(A))
		Tra il limite superiore di azione e il limite inferiore di azione (80,0 dB(A) < Exp < 85,0 dB(A))
		Tra il limite superiore di azione e il limite di esposizione (85,0 dB(A) < Exp < 87,0 dB(A))
	X	Superiore al livello di esposizione (87,0 dB(A))

Tabella 8 Valore di esposizione rumore (picco) Leopard Pioniere

LEOPARD PIONIERE – valore impulsivo		
L_{Peak(max)} 132,4 dB	X	Inferiore al limite inferiore di esposizione (135,0 dB(C))
		Tra il limite superiore di azione e il limite inferiore di azione (135,0 dB (C)) < L _{peak} < (137,0 dB (C))
		Tra il limite superiore di azione e il limite di esposizione (137,0 dB (C)) < L _{peak} < (140,0 dB (C))
		Superiore al livello di esposizione (140,0 dB (C))

6.4 Comparazione dei risultati

Al fine di agevolare l'analisi e la comparazione dei dati, si è proceduto alla loro rappresentazione in forma grafica. I grafici presentati, unitamente alle testimonianze raccolte dai lavoratori, evidenziano che il mezzo Leopard Pioniere è stato impiegato nel corso della sperimentazione secondo il consueto regime di collaudo, e non sfruttando la sua massima potenzialità operativa. Di conseguenza, si precisa che i valori registrati in condizioni lavorative di pieno regime saranno verosimilmente superiori.

Vibrazioni corpo intero m/s²

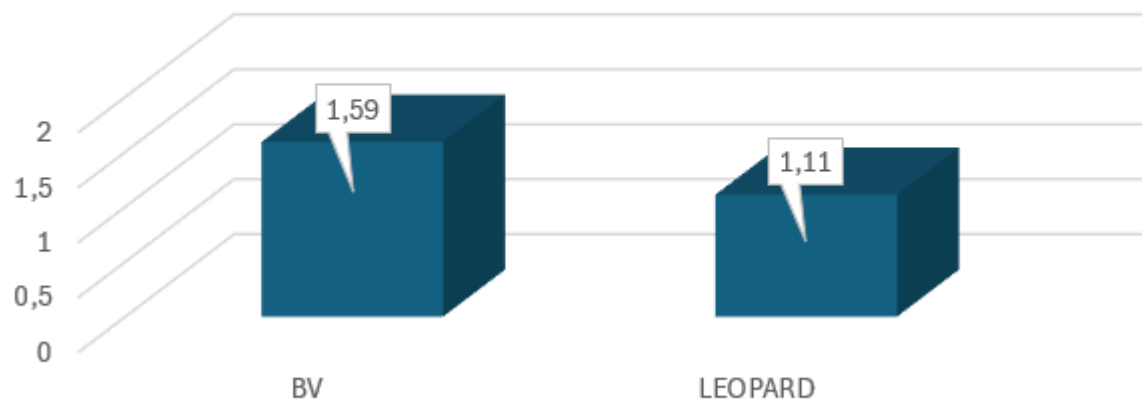


Grafico 1 Grafico comparativo valori WBV

Vibrazioni mano braccio m/s²

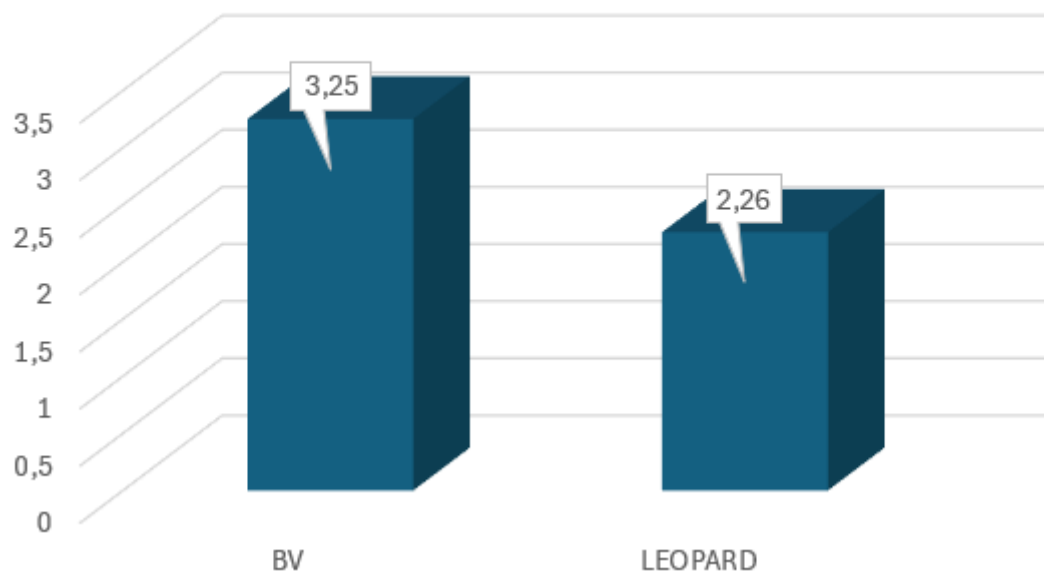


Grafico 2 Grafico comparativo HAV

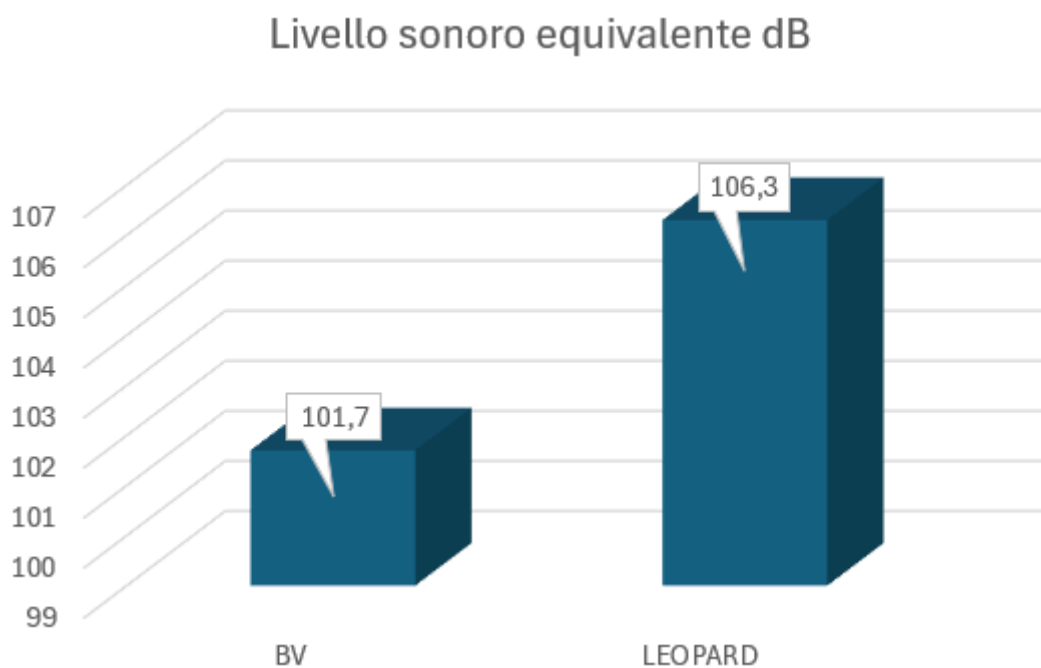


Grafico 3 Grafico comparativo Leq

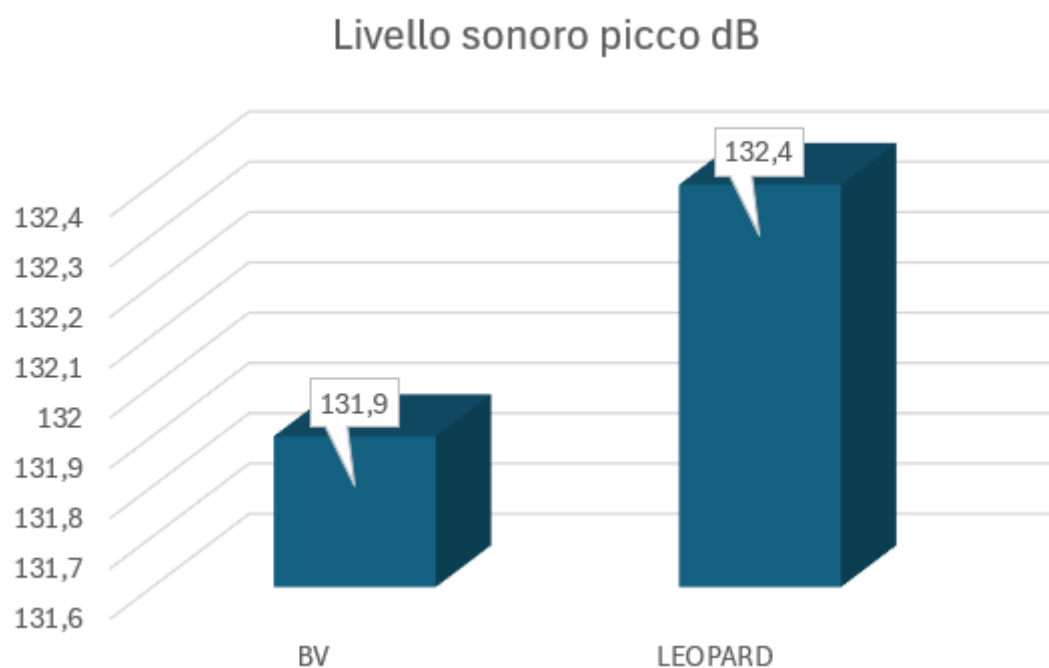


Grafico 4 Grafico comparativo L peak

6.4 Tempo massimo di utilizzo

Dai risultati ottenuti, e considerando l'attività non costante all'interno dell'azienda, è possibile effettuare un calcolo per stabilire il tempo massimo di utilizzo settimanale dei mezzi soggetti

ai collaudi stabilendo così un dei limiti interni per la tutela dei lavoratori ottenendo quindi quanto segue:

Tabella 9 Tempo massimo di utilizzo vista l'esposizione a vibrazioni corpo intero

VIBRAZIONI CORPO INTERO	
Per il calcolo del tempo massimo di utilizzo settimanale dei mezzi si è proceduto utilizzando il calcolo standardizzato presente all'intero del portale agenti fisici secondo cui: $T_{\max} = 40 * \left(\frac{1,0}{a_{w_{\max}}} \right)^2$ Dove: - 40 sono le ore lavorative settimanali; - 1,0 è il valore limite di esposizione espresso in m/s²; - $A_{w_{\max}}$ è Valore dell'accelerazione somma vettoriale delle componenti rilevate sui tre assi.	
Tempo massimo utilizzo settimanale BV	9,7 ore/settimana
Tempo massimo utilizzo settimanale Leopard	10,9 ore/settimana

Tabella 10 Tempo massimo di utilizzo vista l'esposizione a rumore

RUMORE	
Per il calcolo del tempo massimo di utilizzo settimanale dei mezzi si è proceduto utilizzando il calcolo standardizzato presente all'intero del portale agenti fisici secondo cui: $T_{\max} = 40 * 10^{\frac{87-L_{eq}}{10}}$ Dove: - 40 sono le ore lavorative settimanali; - 87 è il valore limite di esposizione espresso in dB; - L_{eq} è il livello sonoro continuo equivalente.	
Tempo massimo utilizzo settimanale BV senza DPI	0,47 ore/settimana
Tempo massimo utilizzo settimanale BV con DPI CUFFIE WURTH WNA BASIC (efficienza calcolata con metodo SNR secondo PAF)	40 ore/settimana
Tempo massimo utilizzo settimanale Leopard senza DPI	1,35 ore/settimana
Tempo massimo utilizzo settimanale Leopard con DPI TAPPI WURTH EAR PLUG X-100 (efficienza calcolata con metodo SNR secondo PAF)	33,27 ore/settimana

7. Discussione

Le risultanze delle indagini strumentali condotte *in situ* hanno posto in luce una serie di criticità significative inerenti all'esposizione dei lavoratori addetti alle attività di collaudo a fattori di rischio fisico quali le vibrazioni meccaniche e il rumore durante le sequenze operative di prova dei veicoli. Tali elementi di criticità non solo configurano una potenziale minaccia per l'integrità psicofisica del personale impiegato, ma impongono altresì l'urgente necessità di un'analisi eziologica approfondita mirata all'implementazione tempestiva di idonee misure di prevenzione e protezione in conformità con la normativa vigente. Si rende indispensabile, pertanto, una valutazione meticolosa al fine di mitigare i rischi e assicurare un ambiente di lavoro salubre e sicuro, ponendo la salvaguardia della salute dei dipendenti come obiettivo primario.

L'Eterogeneità dell'Esposizione e l'Esigenza di una Valutazione Dinamica del Rischio

Un elemento di cruciale importanza emerso dall'analisi dettagliata dei dati raccolti concerne la natura intrinsecamente discontinua e non standardizzata dell'esposizione ai fattori di rischio considerati. Contrariamente a quanto si osserva in contesti lavorativi caratterizzati da un'esposizione prolungata e sostanzialmente costante nel tempo, i cicli operativi connessi alle prove di collaudo in pista raramente eccedono la durata temporale di un'ora. Nella maggior parte delle casistiche, tali operazioni si manifestano attraverso sequenze di lavoro non continuative e intervallate. Questa spiccata eterogeneità delle condizioni operative si traduce in una marcata e imprevedibile variabilità delle esposizioni giornaliere a cui il lavoratore è sottoposto.

Tale variabilità rende di fatto inefficace e inadeguato un approccio di valutazione del rischio di tipo generico o statico. Diventa, di conseguenza, assolutamente imprescindibile adottare e formalizzare una metodologia di valutazione del rischio da vibrazioni e rumore che sia altamente personalizzata, dinamica e basata sul principio dell'effettiva dose assorbita. Tale metodologia deve essere in grado di tenere in debita considerazione la specificità di ogni singola operazione di collaudo e la durata reale e documentata dell'esposizione, al fine di giungere a una stima del rischio che sia il più possibile precisa e attendibile.

Strategie di Mitigazione: Integrazione tra Conformità Normativa e Misure Gestionali

Le evidenze empiriche acquisite durante le misurazioni suggeriscono che, al di là del mero rispetto formale dei valori limite di esposizione stabiliti dalle disposizioni normative vigenti, si profila come fondamentale l'esigenza di integrare l'approccio prescrittivo-normativo con

l'implementazione proattiva di misure correttive e preventive a livello sia operativo che gestionale.

Queste misure dovrebbero prioritariamente includere la riduzione mirata e calendarizzata dei tempi complessivi di esposizione giornaliera per ciascun addetto, in correlazione diretta con l'entità del rischio rilevato. A ciò si aggiunge l'introduzione strutturata di pause frequenti e programmate, la cui funzione precipua è quella di consentire un adeguato recupero fisiologico e sensoriale dell'operatore. Una siffatta strategia, pur non potendo eliminare alla radice la fonte di rischio intrinseca all'attività, ne mitiga tuttavia in maniera significativa gli effetti cumulativi, riducendo l'impatto complessivo sulla salute e sul benessere del lavoratore. L'adozione di misure organizzative e procedurali si configura, in tale contesto, come un elemento chiave per la tutela del personale.

Implementazione di un Sistema di Monitoraggio Continuo e Specifico

Per assicurare la perennità dell'efficacia delle misure di prevenzione e la costante salvaguardia dell'incolumità dei lavoratori, si rende indispensabile l'istituzione e l'implementazione di un sistema di monitoraggio ambientale e personale regolare, sistematico e altamente specifico. Questo sistema dovrebbe prevedere la misurazione puntuale e documentata delle vibrazioni e del rumore per ogni singola attrezzatura o veicolo impiegato e per ogni specifica procedura operativa di collaudo. L'adozione di un approccio di monitoraggio così dettagliato e granulare non solo eleverebbe drasticamente il livello di accuratezza e l'affidabilità scientifica della valutazione del rischio complessivo, ma rappresenterebbe anche il presupposto necessario per lo sviluppo e l'implementazione di interventi preventivi e protettivi che siano massimamente mirati ed efficaci. In tal modo, si renderebbe possibile ottimizzare in maniera continua e basata su dati oggettivi le condizioni ergonomiche e igieniche del lavoro, promuovendo al contempo una cultura aziendale evoluta, intrinsecamente orientata alla sicurezza sul lavoro, alla salute e al benessere complessivo dei dipendenti.

8. Conclusioni

In conclusione, il presente lavoro di tesi ha dimostrato in modo inequivocabile che l'esposizione a vibrazioni (sia del sistema corpo intero che del sistema mano-braccio) e a rumore, nel contesto lavorativo specifico degli addetti alla manutenzione e al collaudo dei mezzi della Difesa Italiana, rappresenta un fattore di rischio significativo che richiede un monitoraggio costante e puntuale. Le misurazioni condotte sul campo hanno confermato l'esistenza di un'esposizione potenzialmente dannosa per la salute dei lavoratori.

Per mitigare efficacemente questo rischio, non è sufficiente affidarsi unicamente a dispositivi di protezione individuale. L'analisi ha evidenziato l'efficacia di un approccio integrato che prevede l'introduzione di specifiche misure organizzative e formative. Tra queste, l'implementazione di limiti settimanali per le ore di prova dei mezzi, l'introduzione di pause frequenti e pianificate durante le operazioni, una rotazione strategica del personale tra diverse mansioni sono strategie chiave e un'attenta sorveglianza sanitaria mirata al monitoraggio delle condizioni fisiche dei lavoratori. Tali misure contribuiscono in modo sinergico a ridurre l'esposizione cumulativa dei lavoratori, abbassando di conseguenza il rischio di insorgenza di patologie professionali correlate a vibrazioni e rumore.

In prospettiva, questo studio offre un contributo di notevole rilevanza per l'implementazione di misure preventive efficaci non solo per i mezzi oggetto di questa analisi, ma anche per l'intero settore. Il modello di monitoraggio continuo qui proposto può essere esteso e adattato per la valutazione del rischio su altri mezzi e attrezzature caratterizzati da livelli di esposizione simili. Inoltre, l'approccio metodologico seguito, basato sull'analisi rigorosa delle misurazioni in situ, rappresenta una solida base scientifica per future ricerche. Queste potrebbero focalizzarsi sull'ottimizzazione delle strategie di prevenzione e sulla riduzione del rischio per tutti i lavoratori impiegati in attività di manutenzione e collaudo di mezzi speciali, fornendo una guida preziosa per l'adozione di standard di sicurezza più elevati.

9. Bibliografia e Sitografia

1. Esposizione a vibrazioni, hand arm vibration & whole body vibration
6922-EsposizioneVibrazioniHAV-WBV.pdf».
<https://cipesalute.org/cedo/allegati/6922-EsposizioneVibrazioniHAV-WBV.pdf>.
2. Bovenzi, M. «Health Effects of Mechanical Vibration». *Giornale Italiano Di Medicina Del Lavoro Ed Ergonomia* 27, fasc. 1 (2005): 58–64.
3. "Direttiva Macchine" 2006/42/CE (D. Lgs. 17/10) «Gazzetta Ufficiale»..
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/02/19/010G0031/sg>.
4. «Malattie professionali | Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali»..
<https://www.lavoro.gov.it/temi-e-priorita/salute-e-sicurezza/focus-on/malattie-professionali/pagine/default>.
5. Nakashima, Ann M. «Whole-Body Vibration in Military Vehicles: A Literature Review». *Canadian Acoustics* 33, fasc. 2 (2005): 2.
<https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/1719>
6. Prevenzione E Sicurezza. «Prevenzione E Sicurezza | Vibrazioni». <https://www.inail.it>.
7. Smith, Derek R, e Peter A Leggat. *Health Effects, Measurement and Minimization*. s.d.
8. «Tabelle_nazionali_cadenza_semestrale_blocco2.pdf». s.d.
https://dati.inail.it/opendata_files/downloads/datisemestralimalattieprofessionali/Tabelle_nazionali_cadenza_semestrale_blocco2.pdf.
9. «TU-81-08-Ed.-Gennaio-2025-1.pdf». s.d. Consultato 16 aprile 2025.
<https://www.ispettorato.gov.it/files/2025/01/TU-81-08-Ed.-Gennaio-2025-1.pdf>.
10. Vartolomei, Sorin, e Mihai JĂDĂNEANÎ. *APPLICATIONS OF ADVANCED MATERIALS IN ROMANIAN MILITARY TECHNOLOGY FOR REDUCING THE ARMORED FIGHTING VEHICLES' VIBRATIONS*. s.d.
11. «Veicolo cingolato blindato bimodulare BV 206». <https://www.esercito.difesa.it:443/equipaggiamenti/Veicoli-blindati-e-corazzati-da-combattimento/Veicoli-Cingolati/Pagine/BV-206.aspx>.
12. «web_xxx_FAQ_totale_5_parti_2021_08_23.pdf». s.d.
https://www.portaleagentifisici.it/filemanager/userfiles/web_xxx_FAQ_totale_5_parti_2021_08_23.pdf?lg=IT.

Ringraziamenti

Ringrazio sinceramente tutte le persone che hanno contribuito a questo lavoro.

Desidero ringraziare in primo luogo il dott. Federico Ronchese in qualità di mio relatore e i tutor universitari per la fiducia e la disponibilità mostratami. In modo particolare desidero ringraziare il dott. Giovanni Missana che pur non avendo partecipato al progetto mi è stato affianco all'inizio per percorso universitario.

Un sentito ringraziamento va alla family company GORIZIANE S.p.A.

In modo particolare alla storica famiglia Zanin che mi ha dato l'opportunità di poter sviluppare questo progetto di tesi accogliendomi sin dal primo giorno in modo caloroso all'interno dello stabilimento, a Stefano Furlan per avermi seguito nel percorso mettendo a disposizione tempo e professionalità per aiutarmi a crescere nonché per il suo lavoro come correlatore e infine a tutti i dipendenti.

Di questi ultimi è doveroso da parte mia ringraziare chi ha partecipato alle misure, trovando il tempo non solo di svolgere le stesse ma anche di approfondire l'argomento mostrando interesse e cooperazione.

Ci tengo poi particolarmente a ringraziare tutte le persone (universitarie, lavorative e non) che mi sono state affianco durante questi tre anni, e quindi un sincero ringraziamento a: tutta la mia famiglia di cui in particolare ringrazio i miei genitori, Simone, Alice, Angelica, Marco, Noemi.

