



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 vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio: Studio sui lavoratori del Corpo Forestale Regionale

Tesi di laurea triennale

Relatore

Dott. Federico Ronchese

Correlatore

Ing. Davide Maruccio de Marco

Dott. Matteo Brazzafolli

Dott. Giacomo Visintin

Laureando

Elia Ceper

Anno Accademico 2023/2024

Indice

1. INTRODUZIONE	4
1.1. LE VIBRAZIONI MANO-BRACCIO	7
1.2. LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO VIBRAZIONI	9
1.3. LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO	11
1.4. L'IMPATTO DELLE VIBRAZIONI SUI LAVORATORI	13
1.5. LA REALTÀ DEI DIPENDENTI REGIONALI	14
2. SCOPO DELLA TESI	17
3. MATERIALI E METODI	18
3.1. L'ACCELEROMETRO	19
3.2. PROTOCOLLO DI MISURA	20
3.3. RILEVAZIONE STRUMENTALE	23
3.4. ANALISI DATI CONDOTTE POST-MISURE	26
4. RISULTATI	29
4.1. RISULTATI DELLE MISURE EFFETTUATE	30
4.2. COMPARAZIONE TRA I RISULTATI E I VALORI DICHIARATI DAL PORTALE AGENTI FISICI	34
4.3. TEMPO MASSIMO DI UTILIZZO	35
5. DISCUSSIONE	38
6. CONCLUSIONI	39
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	40

1. Introduzione

L'esposizione professionale a vibrazioni meccaniche può presentare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori se non viene correttamente valutata e se non vengono messe in atto, da parte del datore di lavoro per tramite del Servizio di Prevenzione e Protezione, tutte le misure tecniche di prevenzione e protezione consentite dallo stato dell'arte e tutte le misure organizzative concretamente attuabili nel posto di lavoro.¹

Tra i rischi per la salute degli operatori del Corpo Forestale Regionale, l'esposizione a vibrazioni meccaniche rappresenta uno tra i fattori di più difficile quantificazione, soprattutto per l'impiego eterogeneo delle attrezzature che in utilizzo, producono vibrazioni, come motoseghe, decespugliatori, soffiatori, lance per spegnere incendi ma anche i semplici automezzi che utilizzano quotidianamente. La letteratura medica evidenzia una correlazione tra l'esposizione a vibrazioni meccaniche e l'insorgenza di patologie, in relazione anche alla durata dell'esposizione.

Il termine vibrazione si attribuisce in particolare all'oscillazione meccanica, attorno ad un punto d'equilibrio, ed è 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 1: Parametri descrittivi dell'oscillazione meccanica che produce le vibrazioni



Nel contesto del potenziale impatto delle vibrazioni sulla salute dei soggetti lavorativamente esposti, le vibrazioni meccaniche vengono misurate e tipicamente quantificate mediante la quantità cinematica "accelerazione". Due elementi cardine dell'accelerazione sono rappresentati dalla frequenza e dall'intensità: la prima è espressa in Hertz (Hz), la seconda è definita in base al valore quadratico medio (root mean square o r.m.s.) dell'ampiezza ed espressa in m/s^2 . A seconda delle sorgenti che producono vibrazioni, le intensità e soprattutto le frequenze delle vibrazioni possono essere molto diverse.

Il Decreto Legislativo n. 81/2008 suddivide le vibrazioni meccaniche in due gruppi, quelle trasmesse al sistema mano braccio e quelle trasmesse al corpo intero. Queste due tipologie di vibrazioni differiscono principalmente per i disturbi a loro associate, per i valori dei limiti di esposizione e i valori d'azione. Le vibrazioni trasmesse al corpo intero sono vibrazioni meccaniche che entrano nel corpo umano nella gamma di frequenza da 0,1 a 80 Hz e una tipica fonte sono i veicoli, dove vengono trasferite le vibrazioni al corpo umano tramite sedili o pavimenti. L'esposizione alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio invece, si riscontra in lavorazioni nelle quali si impugnano utensili vibranti come martelli demolitori,

decespugliatori, motoseghe e altre attrezzature sottoposte a vibrazioni e/o impatti. In questo caso, l'esposizione è causata dal contatto delle mani con l'impugnatura di utensili condotti a mano e l'intervallo di frequenza d'interesse è compreso dai 6,3 ai 1250 Hz.²

La CONTARP (Consulenza tecnica accertamento rischi e prevenzione centrale e regionali) Friuli Venezia Giulia, ha valutato oltre 200 casi di malattie professionali aventi per origine l'esposizione a vibrazioni. Tra questi casi di malattie professionali, il complesso di quelle derivanti da vibrazioni al sistema mano-braccio ne costituisce il 40%.

La seguente tabella mostra i dati relativi alle denunce riportate all'INAIL nei sei anni compresi dal 2012 al 2017, riconducibili a patologie date dall'esposizione prolungata a vibrazioni meccaniche trasmesse al sistema mano-braccio (dati estrapolati dalla banca dati statistica dell'INAIL). I settori lavorativi riportati nella Tabella 1 fanno riferimento quelli dell'industria e servizi, agricoltura e dipendenti conto stato.³

Tabella 1: Malattie professionali da agenti fisici denunciate all'Inail nel periodo 2012-2017

Malattia	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Sindrome del tunnel carpale (Movimenti ripetuti + postura + forza + HAV)	5.363	5.823	6.224	6.201	6.547	6.117
Ernia discale lombare (Movimentazione manuale dei carichi + WBV)	3.667	4.383	5.706	6.388	5.979	5.740
Ipoacusia da rumore e trauma acustico	4.551	4.627	4.715	4.743	4.757	4.539
Sindrome di Raynaud (HAV)	197	194	173	172	190	136
Malattie dell'occhio (Radiazioni ionizzanti + Radiazioni ottiche)	113	109	105	101	113	100

1.1. Le vibrazioni mano-braccio

La vibrazione è un'energia meccanica che entra nel corpo umano attraverso una superficie di continuità e si genera con l'utilizzo di un'attrezzatura di lavoro che tende ad oscillare sul suo stesso baricentro, con una ridotta estensione e un'alta frequenza; tutto ciò può trasmettersi all'intero corpo del lavoratore o ai soli arti.⁴

Le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio sono quelle che derivano da un'apparecchiatura vibrante che nell'uso normale va impugnata dal lavoratore con una o entrambe le mani e comportano un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici e muscolari.⁵ Ad ognuno di questi disturbi si possono associare gli effetti di un'esposizione prolungata:

- **Disturbi vascolari:** Uno degli effetti più noti è la vasocostrizione, in cui i vasi sanguigni delle dita si restringono in risposta alle vibrazioni, riducendo il flusso sanguigno. Ciò porta a una condizione nota come "dito bianco" o fenomeno di Raynaud indotto da vibrazioni, caratterizzato da sbiancamento delle dita, intorpidimento, e talvolta dolore, specialmente in ambienti freddi;
- **Disturbi neurologici:** Le vibrazioni possono causare danni ai nervi della mano e del braccio, portando a perdita di sensibilità e formicolio o dolore. La riduzione della capacità di percepire il tatto o la temperatura è comune negli operatori che sono esposti a lungo a strumenti vibranti;
- **Disturbi muscoloscheletrici:** L'esposizione continua può influenzare anche i muscoli, i tendini e le articolazioni, portando a condizioni come tendiniti o sindrome del tunnel carpale, che causano dolore e ridotta mobilità. Anche le articolazioni del polso, del gomito e della spalla possono essere interessate a lungo termine;
- **Danni cutanei:** La vibrazione costante può causare microtraumi ai tessuti molli della mano, provocando calli, ispessimenti della pelle o, in casi gravi, necrosi cutanea.

Nei lavoratori, l'esposizione a lungo termine a vibrazioni di elevata intensità può produrre vere e proprie patologie. Il loro effetto si traduce, in quasi tutte le totalità di casi, in malattie professionali. Inoltre, vi sono anche altri fattori che possono determinare l'entità del danno derivante dalle vibrazioni mano-braccio oltre alla variabile del tempo, come:

- Forza di presa: Maggiore è la forza con cui un operatore afferra lo strumento vibrante, maggiore sarà l'energia trasferita attraverso il sistema mano-braccio. Ridurre la forza di presa quando possibile può aiutare a diminuire la trasmissione delle vibrazioni;
- Postura del corpo: Una postura errata o scomoda durante l'uso di strumenti vibranti può aggravare i danni muscoloscheletrici, poiché aumenta lo stress su tendini, muscoli e articolazioni;
- Condizioni dell'attrezzatura: Attrezzature mal mantenute o usurate possono produrre vibrazioni di ampiezza più elevata e frequenze più dannose. È importante mantenere gli strumenti in buono stato di funzionamento per ridurre il rischio;
- Condizioni ambientali: Lavorare in ambienti freddi può esacerbare i sintomi vascolari, come il dito bianco, poiché il freddo promuove ulteriormente la vasocostrizione. La combinazione di freddo e vibrazioni aumenta i rischi per l'operatore.

Le vibrazioni vengono misurate sui tre assi cartesiani sfruttando l'effetto piezoelettrico (i cristalli di quarzo, sottoposti ad una forza vibrante, portano ad un accumulo di cariche elettriche positive e negative) e in base alla nuova Direttiva CE, è necessario, indicare il risultato ottenuto dalla combinazione di tutti e tre i valori rilevati sugli assi. Anche senza arrivare ad effetti patologici, l'esposizione a vibrazioni può arrecare disagio e disturbo nell'espletamento dei compiti lavorativi. Inoltre, la "Direttiva Macchine" 2006/42/CE (D. Lgs. 17/10) impone ai costruttori di dichiarare i valori delle vibrazioni emesse dagli utensili portatili e dalle macchine, in particolare al punto 1.5.9.: *“La macchina deve essere progettata e costruita in modo tale che i rischio dovuti alle vibrazioni trasmesse dalla macchina siano ridotti al*

livello minimo, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di mezzi atti a ridurre le vibrazioni, in particolare alla fonte.”⁴

1.2. La valutazione del rischio vibrazioni

La valutazione dei rischi è un aspetto fondamentale della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro, poiché consente al datore di lavoro di adottare le misure necessarie alla tutela del proprio personale, valutando i rischi associati alla loro mansione. Oltre ai rischi di natura stocastica inseriti solitamente nel Documento di Valutazione dei Rischi (DVR), ossia quei rischi quali scivolamento, taglio, cadute dall'alto, ecc. per cui non esistendo norme tecniche di riferimento, l'entità del rischio viene calcolata assegnando un opportuno valore alla probabilità di accadimento ed alla gravità del danno, il Datore di Lavoro dovrà valutare anche i rischi di natura specifica, come rumore, vibrazioni, chimico, movimentazione manuale dei carichi ecc. Per tali rischi, il D. lgs. 81/2008 rimanda alle norme tecniche che contemplano opportuni algoritmi di calcolo per l'individuazione della classe di rischio.

La valutazione del rischio vibrazioni richiede l'individuazione di tutte le sorgenti di vibrazioni meccaniche e la determinazione dei livelli di esposizione a vibrazione dei lavoratori. L'articolo n. 202 del D. Lgs. 81/2008, impone al Datore di Lavoro di effettuare una valutazione e/o misurazione dei livelli di vibrazioni a cui sono esposti i lavoratori, per determinare se costituiscono un potenziale rischio per la salute, ed attuare di conseguenza gli appropriati interventi di prevenzione e protezione. L'articolo n. 202 del D. Lgs. 81/2008 inoltre, prevede che la valutazione del rischio vibrazioni possa essere effettuata sia senza misurazioni, sulla base di appropriate informazioni reperibili dal costruttore e/o da banche dati accreditate come l'ISPESL, sia con misurazioni, in accordo con le metodiche di misura prescritte da specifici standard ISO-EN. Se una determinata attrezzatura sottopone i lavoratori a rischio vibrazioni mano-braccio o corpo intero, i livelli di esposizione sono individuati rispettivamente sulla base delle norme UNI EN ISO 5349 ed UNI EN ISO 2631.

Per una valutazione dei rischi da vibrazioni meccaniche il Datore di Lavoro deve considerare diversi elementi, tra cui livello, tipo e durata dell'esposizione, inclusa ogni esposizione a vibrazioni intermittenti o a urti ripetuti; valori limite di esposizione e i valori d'azione specificati; eventuali effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio con particolare riferimento alle donne in gravidanza e ai minori; eventuali effetti indiretti sulla sicurezza e salute dei lavoratori risultanti da interazioni tra le vibrazioni meccaniche, il rumore e l'ambiente di lavoro o altre attrezzature; informazioni fornite dal costruttore dell'attrezzatura di lavoro; esistenza di attrezzature alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione alle vibrazioni meccaniche; prolungamento del periodo di esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero al di là delle ore lavorative, in locali di cui è responsabile; condizioni di lavoro particolari, come le basse temperature, il bagnato, l'elevata umidità o il sovraccarico biomeccanico degli arti superiori e del rachide; informazioni raccolte della sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica.

Successivamente alla valutazione dei rischi, quando vengono superati i valori d'azione, il datore di lavoro adotta le misure tecniche o organizzative, volte a ridurre al minimo l'esposizione e i rischi che ne conseguono, considerando in particolare: altri metodi di lavoro che richiedano una minore esposizione a vibrazioni meccaniche; attrezzature di lavoro che producano, tenuto conto del lavoro da svolgere, il minor livello possibile di vibrazioni; attrezzature accessorie per ridurre i rischi di lesioni provocate dalle vibrazioni, quali sedili che attenuano efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero e maniglie o guanti che attenuano la vibrazione trasmessa al sistema mano-braccio; informazione e formazione dei lavoratori sull'uso corretto e sicuro delle attrezzature di lavoro e dei DPI a loro associati, in modo da ridurre al minimo la loro esposizione a vibrazioni meccaniche; limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione; organizzazione di orari di lavoro appropriati, con adeguati periodi di riposo.

La fase di valutazione del rischio vibrazioni si conclude con la stesura da parte del Datore di Lavoro, in collaborazione con il Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP) e il medico competente, del DVR e dei suoi allegati tra i quali il DVR Vibrazioni, che comprende tutta la valutazione del rischio specifico vibrazioni quindi i modelli delle attrezzature utilizzate, la mansione e i DPI associati, il livello di esposizione giornaliera per ogni attrezzatura e infine le misure tecniche e organizzative per ridurre al minimo il rischio.

1.3. La normativa di riferimento

La normativa di riferimento per le vibrazioni mano-braccio è fondamentale per proteggere la salute dei lavoratori esposti a questo tipo di rischio nei settori boschivi, industriali, edili e artigianali. A livello europeo e nazionale, esistono regolamenti e direttive specifiche che stabiliscono i limiti di esposizione e le misure preventive necessarie per ridurre l'impatto delle vibrazioni sui lavoratori. Le principali normative di riferimento in materia sono:

- La Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno del 2002 che è il principale riferimento legislativo europeo per la prevenzione dei lavoratori dai rischi derivanti dalle vibrazioni meccaniche. Questa direttiva riguarda sia le vibrazioni mano-braccio sia le vibrazioni corpo intero e stabilisce i valori limite e i valori d'azione per l'esposizione a vibrazioni.
- Il Decreto Legislativo 81/2008 (Testo Unico sulla Sicurezza), il quale regola la protezione dai rischi di vibrazioni meccaniche nei luoghi di lavoro, stabilendo norme precise per la prevenzione e il controllo. Le principali disposizioni dello stesso si trovano agli articoli 201, 202 e 203; L'articolo n° 201 definisce i concetti di vibrazione mano-braccio e stabilisce che la valutazione del rischio debba comprendere misurazioni effettuate in base a standard tecnici riconosciuti, come la norma ISO 5349 per la misurazione delle vibrazioni mano-braccio, l'articolo n° 202 conferma i valori limite stabiliti dalla Direttiva Europea 2002/44/CE e l'articolo n° 203 impone al datore di lavoro l'obbligo

di ridurre il rischio adottando misure preventive come l'acquisto di attrezzature meno dannose, migliorando e valorizzando la formazione dei dipendenti e organizzando il lavoro in modo tale da minimizzare l'esposizione. Inoltre, il D.Lgs. 81/2008 prevede la sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti a vibrazioni superiori al valore d'azione ($2,5 \text{ m/s}^2$), la quale deve essere periodica e svolta da un medico competente, con l'obiettivo di monitorare l'insorgenza di patologie legate all'esposizione da vibrazioni e prendere provvedimenti in caso di anomalie.

- Le norme tecniche come la UNI EN ISO 5349, la quale che descrive i metodi di misurazione e valutazione delle vibrazioni mano-braccio, ed è fondamentale per garantire che le misurazioni effettuate siano accurate e rappresentative del rischio reale.

La normativa, quindi, fissa un valore di esposizione che fa scattare l'azione, al sopra del quale i datori di lavoro devono controllare i rischi derivanti dalle vibrazioni mano-braccio cui sono esposti i loro dipendenti, e un valore limite di esposizione che non deve essere superato. Si specifica inoltre che anche i livelli d'esposizione inferiori al livello d'azione non escludono il rischio da lesioni o traumi indotti dalle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio, soprattutto se coincidono con importanti cofattori di rischio come lo sforzo muscolare, le basse temperature o in presenza di soggetti suscettibili al rischio. È anche da considerare che la normativa impone ai datori di lavoro, in sede di valutazione del rischio, di ridurre per quanto possibile o eliminare i rischi associati alle vibrazioni trasmesse all'arto superiore, anche se non sono superati i valori d'azione. Mentre se avviene il superamento di quest'ultimi valori implica l'obbligo di attuazione di ulteriori specifiche misure di prevenzione per i lavoratori esposti.

Per quanto riguarda questo lavoro di tesi la normativa tecnica più utilizzata è stata la UNI EN ISO 5349, la quale fornisce una guida alla misurazione e alla valutazione delle vibrazioni trasmesse alla mano sul posto di lavoro. Inoltre, descrive le precauzioni da prendere per effettuare misurazioni rappresentative delle vibrazioni e per determinare l'esposizione giornaliera a ciascuna operazione, per calcolare il

valore complessivo di vibrazione riferita a un periodo di otto ore secondo il principio dell'uguale energia. Questa norma si applica a tutte le situazioni nelle quali le persone sono esposte alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio da macchine portatili o guidate manualmente, manufatti in lavorazione vibranti, o dispositivi di comando di macchine mobili o fisse.⁶

1.4. L'impatto delle vibrazioni sui lavoratori

Prendendo in considerazione un articolo che esamina i disturbi muscoloscheletrici (DMS) che affliggono gli operatori forestali esposti a vibrazioni mano-braccio derivanti dall'utilizzo di motoseghe, in un campione di 65 operatori forestali rispetto a 31 lavoratori di controllo non esposti a vibrazioni il focus principale è sulla prevalenza di dolori persistenti al collo e agli arti superiori, sindromi muscolo-tendinee e la sindrome del tunnel carpale (CTS). Lo studio mira a identificare il legame tra l'esposizione a vibrazioni e l'insorgenza di disturbi muscoloscheletrici, valutando anche le funzioni degli arti superiori tramite misurazioni cliniche e test ergonomici.

Lo studio esaminato prende in considerazione 65 operatori forestali che utilizzavano motoseghe e 31 lavoratori di manutenzione non esposti a vibrazioni come gruppo di controllo. La valutazione clinica è stata condotta tramite interviste, esami neurologici e ortopedici, con particolare attenzione alla misurazione della forza di presa, della circonferenza delle articolazioni delle dita e del polso, e all'ampiezza dei movimenti delle articolazioni. Per quantificare l'esposizione alle vibrazioni, sono state effettuate misurazioni con accelerometri sulle motoseghe utilizzate, e l'esposizione giornaliera è stata calcolata seguendo lo standard ISO 5349. La media di esposizione giornaliera alle vibrazioni è risultata di $7,2 \text{ m/s}^2$ con una durata lavorativa media di 11,3 anni.

I risultati dello studio mostrano una prevalenza significativamente più alta di dolore persistente e sindromi muscolo-tendinee negli operatori forestali rispetto al gruppo di controllo. Complessivamente, il 72,3% degli operatori forestali ha riportato dolore persistente al collo o agli arti superiori rispetto al 38,7% del gruppo di controllo. Le

patologie più frequenti includono tendiniti (38,4% dei lavoratori forestali contro il 6,4% del gruppo di controllo), epicondilite e tenosinovite. Inoltre, la prevalenza della sindrome del tunnel carpale era del 38,4% negli operatori esposti a vibrazioni, mentre era assente o molto bassa nel gruppo di controllo. Si può notare che l'aumento dell'esposizione alle vibrazioni era correlato all'incremento della gravità e della prevalenza dei disturbi. In particolare, l'esposizione a vibrazioni superiori a $7,5 \text{ m/s}^2$ era associata a un aumento del rischio di dolori al collo, polsi e mani, così come di sindromi muscolo-tendinee multiple.

L'esposizione prolungata alle vibrazioni è stata identificata come un fattore determinante per lo sviluppo di disturbi muscoloscheletrici, specialmente in combinazione con fattori ergonomici quali posture scorrette e sforzi ripetuti. Gli operatori forestali, rispetto ai lavoratori di controllo, soffrono maggiormente di riduzione della forza muscolare e della mobilità articolare, in particolare nelle mani e nei polsi e le analisi evidenziano che le vibrazioni aumentano lo stress biomeccanico e possono portare a cambiamenti patologici nelle strutture muscoloscheletriche del sistema mano-braccio, come dimostrato dalla ridotta ampiezza di movimento negli operatori esposti.

In conclusione, lo studio dimostra una correlazione dose-risposta tra l'esposizione alle vibrazioni e lo sviluppo di DMS, suggerendo che le vibrazioni, insieme a fattori ergonomici, sono un contributo rilevante allo sviluppo di patologie negli operatori forestali.⁷

1.5. La realtà dei dipendenti regionali

Il personale dipendente della Regione Friuli Venezia Giulia rappresenta una componente fondamentale per l'attuazione delle politiche pubbliche e per il funzionamento degli apparati amministrativi. Nel quadro organizzativo complessivo, la Regione si avvale di un organico che conta un totale di 3554 dipendenti. Questo insieme di risorse umane è distribuito tra le diverse direzioni ed enti, ciascuno dei quali ricopre un ruolo essenziale per garantire l'efficienza e l'efficacia delle attività regionali.

Un'articolazione di particolare rilievo è costituita dal Corpo Forestale Regionale, che è rappresentato da 250 unità tra il personale complessivo. All'interno di questo gruppo, un numero significativo di agenti è specificamente formato per l'uso di strumenti tecnici e complessi, come le motoseghe, per affrontare operazioni forestali e di emergenza.

I dipendenti del Corpo Forestale Regionale del Friuli Venezia Giulia costituiscono una sottosezione specializzata nell'ambito della tutela forestale. Questo corpo ha la responsabilità di proteggere il territorio da fenomeni quali incendi boschivi, dissesti idrogeologici e altre emergenze naturali che minacciano l'equilibrio ecologico della regione. La distribuzione del personale forestale è organizzata in base a criteri geografici e contano un totale di ventotto stazioni forestali su tutto il territorio regionale. Le principali aree di competenza del corpo forestale comprendono la gestione delle foreste, la sorveglianza della fauna selvatica, il controllo dei parchi naturali e la prevenzione degli incendi. Queste attività richiedono una conoscenza approfondita della morfologia del territorio e delle risorse naturali, oltre che delle normative vigenti in materia di tutela ambientale.

Un aspetto fondamentale nella preparazione dei membri del Corpo Forestale Regionale è rappresentato dalla formazione continua e specifica, orientata a fornire competenze tecniche avanzate per la gestione delle emergenze e l'uso di attrezzature forestali specialistiche. In particolare, 158 dipendenti del Corpo Forestale sono formati per l'utilizzo della motosega, uno strumento cruciale nelle operazioni di taglio e rimozione di alberi e vegetazione in contesti di emergenza e manutenzione ordinaria.

L'utilizzo della motosega in ambiente forestale richiede una formazione rigorosa non solo per garantire l'efficienza operativa, ma anche per prevenire infortuni, spesso frequenti in ambienti di lavoro caratterizzati da condizioni difficili e imprevedibili. La formazione si concentra su aspetti pratici e teorici, come le tecniche di taglio sicuro, la manutenzione delle attrezzature e la gestione del rischio durante le operazioni in aree impervie o a rischio idrogeologico.

La formazione per l'uso della motosega è di primaria importanza per il personale forestale, specialmente in una regione come il Friuli Venezia Giulia, caratterizzata da un'ampia estensione di aree boschive. La motosega è utilizzata non solo per interventi ordinari di manutenzione del verde pubblico e delle foreste, ma anche in situazioni di emergenza, come il recupero di alberi caduti a seguito di tempeste o frane. Secondo i dati, su un totale di 250 membri del Corpo Forestale Regionale, 158 sono stati formati per l'uso della motosega, il che rappresenta il 63% del personale. Questo alto livello di formazione dimostra quanto sia considerata cruciale la capacità di manovrare strumenti pesanti e pericolosi in contesti critici, dove rapidità e precisione sono essenziali per garantire l'incolumità delle persone e la protezione dell'ambiente.

La formazione per l'uso della motosega si articola in diverse fasi, che includono la conoscenza delle norme di sicurezza, l'uso corretto dei dispositivi di protezione individuale (DPI) e le tecniche avanzate di taglio. Inoltre, ai membri del corpo forestale vengono insegnate modalità di intervento specifiche in situazioni di emergenza, come il taglio di alberi pericolanti o la rimozione di ostacoli che impediscono l'accesso a vie di comunicazione in caso di calamità naturali.

In un contesto dove la sicurezza degli operatori e l'efficacia degli interventi sono prioritarie, la preparazione e l'addestramento per l'uso di strumenti come la motosega diventano imprescindibili per affrontare con competenza e tempestività le sfide del lavoro forestale.

2. Scopo della tesi

Attraverso il lavoro presentato in questa tesi, si è voluto costruire un progetto volto ad evidenziare il tema del rischio da vibrazioni mano-braccio associato all'utilizzo di attrezzature forestali, in particolare motoseghe, decespugliatori e soffiatori, sperimentando insieme al Servizio Prevenzione e Protezione della Regione Friuli Venezia Giulia e al Corpo Forestale Regionale con un approccio innovativo al rischio.

In particolare, le attrezzature che producono vibrazioni mano-braccio utilizzate più spesso dagli operatori del Corpo Forestale Regionale, sono state individuate per costruttore e modello e soggette a una giornata di prove per misurare la quantità di vibrazioni emesse durante il loro utilizzo sul campo al fine di migliorare l'attività svolta dagli operai forestali in situazioni di emergenza, aumentare l'informazione dei dipendenti diffondendo una conoscenza ottimale e duratura ottenendo così una maggiore sensibilizzazione da parte degli stessi sul rischio da vibrazioni e classificare le attrezzature in base al livello di vibrazioni che emettono in rapporto alla loro efficienza sul campo.

Il lavoro di tesi si propone perciò molteplici scopi:

- Valutazione mirata del rischio da esposizione a vibrazioni mano-braccio per gli operatori del Corpo Forestale Regionale
- Ottimizzazione della prevenzione del rischio vibrazioni e, di conseguenza, del Documento di Valutazione dei Rischi Vibrazioni
- Classificazione delle attrezzature utilizzate dagli operatori forestali e calcolo del tempo massimo di utilizzo per stare sotto al livello massimo di esposizione giornaliero;
- Miglioramento dell'attività pratica svolta durante il turno di lavoro, in modo da garantire un maggior comfort dell'operaio;

La realizzazione degli obiettivi sopra indicati si tradurrebbe così in un minor rischio da parte dei lavoratori del Corpo Forestale Regionale di avere disturbi vascolari, osteoarticolari e muscolari, contribuendo anche ad abbassare l'incidenza dei casi

di malattie professionali associate per chi utilizza questo tipo di attrezzature da diversi anni.

L'obiettivo primario resta comunque quello di introdurre una procedura nella quale tutte le attrezzature, presenti nell'inventario del Corpo Forestale Regionale che producono vibrazioni, vengono classificate e suddivise per marca, modello e alimentazione in modo da creare una lista con tutte le attrezzature e per ognuna di esse sia calcolato il tempo massimo di utilizzo per stare sotto al livello d'azione giornaliero di esposizione ($A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$) e al valore limite giornaliero di esposizione ($A(8) = 5 \text{ m/s}^2$).

Il grado di miglioramento osservato potrebbe fornire importanti indicazioni sia per suggerire eventuali modifiche da apportare in futuro, sia per i lavoratori stessi, che vengono meglio informati sulle attrezzature che utilizzano, potendo scegliere più facilmente quella più adatta al lavoro e conoscendo il tempo massimo di impiego.

3. Materiali e metodi

Il presente capitolo descrive in dettaglio i materiali utilizzati e le metodologie adottate nel corso della ricerca, delle misurazioni e dell'elaborazione dei dati. Un'adeguata rappresentazione di questa sezione è fondamentale per garantire la replicabilità dei metodi, permettendo di riprodurre le stesse condizioni di studio e di verificare i risultati ottenuti.

Tra tutti i dipendenti del Corpo Forestale Regionale addetti all'uso di motoseghe, decespugliatori e altri utensili che emettono vibrazioni, sono stati individuati cinque operatori, i quali sono stati esaminati durante l'utilizzo di un gruppo attrezzature selezionate, più specificatamente otto modelli di motoseghe diverse, di cui due ad alimentazione elettrica e le restanti a miscela, un decespugliatore a zaino alimentato a miscela e un soffiatore a zaino anch'esso alimentato a miscela. La tipologia di attrezzatura presa più in considerazione durante la sessione di misurazione è stata quella delle motoseghe, poiché è la categoria di strumenti del

Corpo Forestale Regionale con più alta varietà di modelli, dalle più comuni e utilizzabili ogni giorno a quelle professionali utilizzate solo in specifiche operazioni. Inoltre, per simulare le tecniche di taglio utilizzate solitamente dal personale forestale, sono serviti diversi tronchi di tipologia di legno diverso con diametri differenti tra di loro e dei supporti sui quali appoggiarli per poter effettuare i tagli con diverse angolazioni. Nella fattispecie le tipologie di legno scelte erano il legno di abete, castagno, faggio, pino e olmo, con diametri variabili dai dieci ai cinquanta centimetri.

3.1. L'accelerometro

Per le misure delle vibrazioni mano-braccio emesse dalle attrezzature è stato utilizzato un accelerometro Svantek messo a disposizione dall'Università degli Studi di Trieste. L'analizzatore di vibrazioni multicanale per corpo intero e mano-braccio SV106D, utilizzato per le misure, soddisfa i requisiti della norma ISO 8041-1:2017 ed è la scelta ideale per le misurazioni secondo ISO 2631-1,2 e 5, ISO 5349 e la direttiva 2002/44/CE. Questo accelerometro di dimensioni tascabili consente di misurare simultaneamente con due accelerometri triassiali; infatti, è dotato di due ingressi per sensori di tipo IEPE o MEMS per effettuare misurazioni rilevando sia i valori delle vibrazioni mano-braccio che di quelle a corpo intero. Il lavoro presentato in questa tesi pone il focus sulle vibrazioni mano-braccio; quindi, è stato utilizzato solo un ingresso per il sensore specifico. Con questo strumento sono disponibili i risultati RMS, Picco, Picco-Picco, VDV, MTVV o dose come A(8), e utilizzando la potenza di calcolo del suo processore digitale, SV106D può eseguire analisi in tempo reale in 1/1 o 1/3 di ottava simultaneamente alla modalità misuratore. Il sensore triassiale che si attacca all'accelerometro, utilizzato durante le misure (SV105D), è specifico per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio; infatti, si tratta di una fascetta elastica di gomma dotata di un sensore, fatta apposta per essere stretta attorno alla mano in modo da posizionare il sensore sul palmo dove il lavoratore impugna l'utensile manuale. Inoltre, l'accelerometro viene

fornito con 3 diverse tipologie di sensore (dal più concavo al più piatto) per garantire il grip perfetto sulle diverse forme di impugnature di attrezzature vibranti.

I dati della time history vengono registrati nella microSD i quali possono essere successivamente scaricati su PC tramite l'interfaccia USB, sul programma di analisi "Supervisor". Supervisor è il pacchetto software per PC che supporta l'intera famiglia di strumenti Svantek dedicati al rumore e alle vibrazioni in ambienti di lavoro. Tale software consente l'organizzazione dei dati al momento del download e fornisce un database strutturato in cartelle ed etichette dei file in base a utenti, mansioni e compiti.

3.2. Protocollo di misura

Ai sensi del D.Lgs. 81/2008, Appendice XXXV parte A, sia la misura dell'accelerazione associata alle vibrazioni trasmesse al sistema mano braccio (HAV) che il successivo calcolo dei descrittori di esposizione, devono essere eseguiti in accordo con quanto prescritto dagli standard ISO 5349-1 e 2. Quindi, come in questo lavoro di tesi, se si procede alla misurazione dell'esposizione a vibrazioni è molto importante tener conto dei seguenti aspetti:

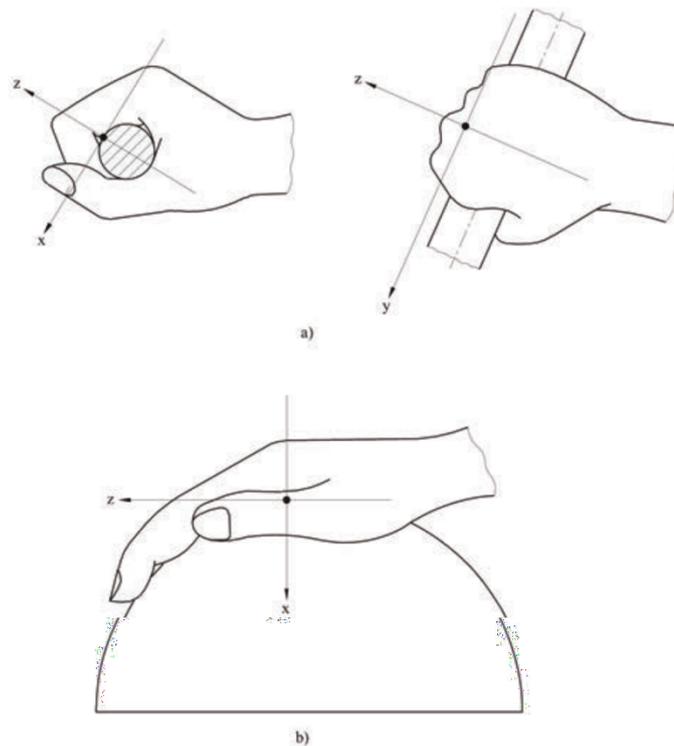
- I metodi utilizzati possono includere la campionatura, purché sia rappresentativa dell'esposizione di un lavoratore alle vibrazioni meccaniche considerate; i metodi e le apparecchiature utilizzati devono essere adattati alle caratteristiche delle vibrazioni da misurare, ai fattori ambientali e alle caratteristiche dell'apparecchio di misurazione, conformemente alla norma UNI EN ISO 5349-2;
- La strumentazione deve essere conforme alle specifiche dettate dalla norma UNI EN ISO 8041-1;
- Nel caso di attrezzature che devono essere tenute con due mani, la misurazione è eseguita su ciascuna delle due mani e l'esposizione è determinata facendo riferimento al più alto dei due valori;
- Gli accelerometri devono essere saldamente posizionati e la loro presenza non deve influire sulla modalità di lavorazione e di prensione del lavoratore;

- I cavi degli accelerometri non devono essere sforzati, né essere lasciati liberi di oscillare, per evitare errori di segnale. Pertanto, è necessario fissare i cavi con le apposite fascette adesive

Le misure da effettuare devono essere precedute da un'indagine finalizzata allo studio della situazione di lavoro in condizioni tipiche, delle mansioni dei lavoratori, delle postazioni di misura e dei macchinari utilizzati per le diverse lavorazioni. Successivamente i rilievi vengono eseguiti relativamente ad un sistema di riferimento cartesiano 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 dall'avambraccio (rappresenta la vibrazione che si verifica parallelamente alle ossa del dorso della mano)
- Asse y parallelo al palmo della mano ed ortogonale all'asse z (rappresenta la vibrazione che attraversa le nocche da sinistra a destra)

Figura 2: Sistema di coordinate per la mano per il posizionamento dei trasduttori



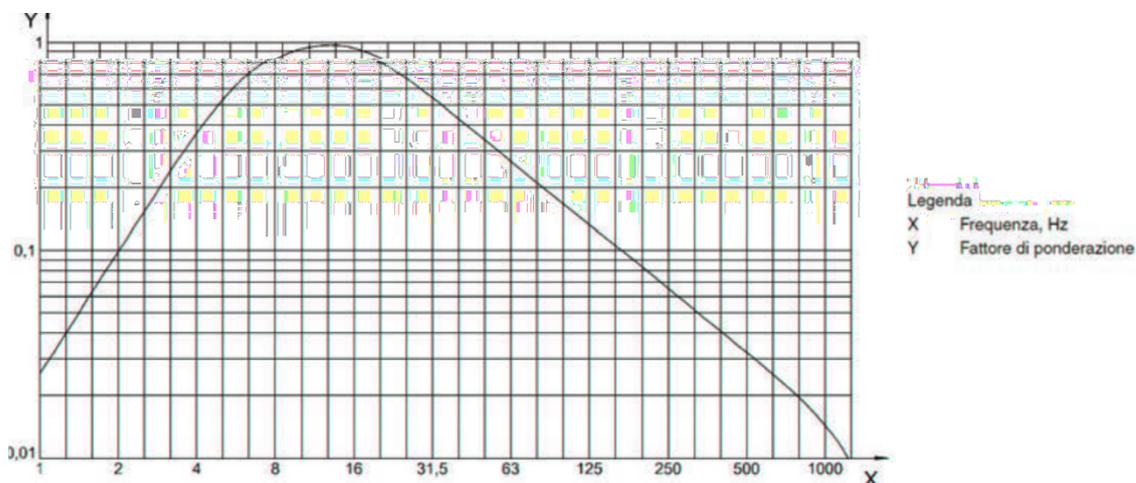
Il metodo di calcolo previsto dalla norma UNI EN ISO 5349 parti 1 e 2, si basa sulle misure delle tre accelerazioni assiali (ovvero ciascuna relativa ad un singolo asse x, y, z come sopra definiti e mostrati nella figura precedente) ponderate in frequenza a_{hwl} (l=x, y, z). Tale valore si può calcolare secondo la seguente formula:

$$a_{hwl} = \sqrt{\left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{hwl}^2(t) dt \right]} \quad \text{m/s}^2$$

a_{hwl} rappresenta il valore r.m.s. su un tempo T dell'accelerazione istantanea su un singolo asse l, ponderata in frequenza, ed è espressa in m/s^2 .

La misurazione di a_{hwl} richiede l'applicazione di una ponderazione in frequenza, necessaria per considerare la diversa sensibilità del corpo umano alle vibrazioni a frequenze differenti. Questo processo è simile a quello utilizzato in acustica con la curva di ponderazione A, che tiene conto della sensibilità uditiva. In particolare, alle frequenze in cui il sistema mano-braccio è più sensibile viene attribuita una ponderazione maggiore, mentre una ponderazione minore è assegnata alle frequenze a cui il sistema risulta meno sensibile. La curva di ponderazione in frequenza adottata per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio è la curva Wh, definita dalla norma UNI EN ISO 5349-1. Come mostrato nella figura seguente, la massima sensibilità si verifica nell'intervallo di frequenza compreso tra 8 e 16 Hz.

Figura 3: Curva di ponderazione Wh



Come mostrato nella Figura 2, l'origine del sistema di riferimento è situata all'altezza della prima falange del dito medio. Si consiglia, per quanto possibile, di posizionare il sensore di accelerazione in quella specifica area. Considerando che gli assi del sensore devono essere orientati in modo coerente con quanto indicato nella Figura 2, e che la curva di ponderazione in frequenza è identica per tutti e tre gli assi, oltre al fatto che il descrittore della vibrazione corrisponde al modulo del vettore accelerazione, l'orientamento preciso del sensore nello spazio non risulta influente.³

3.3. Rilevazione strumentale

Un'altra parte fondamentale delle metodologie adoperate per questo lavoro di tesi è la rilevazione strumentale, indicata nelle linee guide dell'Inail, la quale indica il numero di misure da effettuare, la loro durata e il calcolo dell'esposizione giornaliera.

Per le misurazioni effettuate su un singolo soggetto, è raccomandato di eseguire almeno tre misurazioni. Questo permette sia di soddisfare i requisiti indicati nella sezione 5.4.1 della norma UNI EN ISO 5349-2 (che richiede almeno tre misurazioni), sia di determinare in modo chiaro il valore di esposizione su periodi brevi. Il risultato della misurazione dovrà essere ricavato nelle condizioni operative che comportano la massima esposizione reale durante il lavoro.

Nel caso si voglia ottenere un dato rappresentativo per un gruppo di persone che svolgono la stessa attività utilizzando lo stesso utensile (definito gruppo omogeneo), è consigliabile eseguire le misurazioni su tre soggetti diversi, in linea con quanto richiesto al punto 7.3 della norma UNI EN ISO 5349-2. Questo approccio permette anche di mantenere un'analogia con la procedura prevista per il rumore nella sezione 9.3 della norma UNI EN ISO 9612 (dove si raccomanda di effettuare misurazioni in momenti diversi o su diversi lavoratori di un gruppo per tener conto delle variazioni reali del livello di rumore).

È importante notare che, nel caso delle vibrazioni, molto più che per il rumore, le caratteristiche individuali, come le differenze antropometriche e le tecniche operative, possono influenzare significativamente i risultati delle misurazioni. Pertanto, se lo stesso utensile o veicolo viene utilizzato da più persone, è necessario ripetere le misurazioni su più soggetti e più volte su ciascuno di essi. Per garantire l'univocità nella determinazione del valore di esposizione su periodi brevi, che dipende strettamente dal numero di misurazioni effettuate, si raccomanda di eseguire tre misurazioni per ogni soggetto su un numero di soggetti pari ad almeno $1/3$ del gruppo omogeneo, arrotondato per eccesso (ad esempio, 2 soggetti per gruppi fino a 6, 3 soggetti per gruppi fino a 9, e così via).

La sezione 5.4.1 della UNI EN ISO 5349-2 raccomanda che la durata complessiva delle misurazioni, cioè la somma delle durate delle singole misurazioni, non sia inferiore a 1 minuto. Considerando il requisito di eseguire $N = 3$ misurazioni, come indicato nel punto precedente, si suggerisce che ciascuna misurazione abbia una durata minima di 20 secondi e, per quanto possibile, mantenga la stessa durata in tutte le misurazioni effettuate nelle stesse condizioni operative. La durata consigliata di 20 secondi è leggermente superiore rispetto a quella di 12 secondi indicata dalla UNI EN 1032 per le misurazioni finalizzate alla dichiarazione delle vibrazioni secondo la direttiva macchine, che riguardano condizioni operative più stabili.

In molti utensili, le vibrazioni che interessano la mano includono contributi provenienti da tutte e tre le direzioni di misurazione. Pertanto, la valutazione dell'esposizione alle vibrazioni deve essere effettuata utilizzando una grandezza che combini i risultati ottenuti lungo ciascuno dei tre assi. Per semplificare, la normativa tecnica presume che i contributi lungo le tre direzioni siano di pari rilevanza. Di conseguenza, come descrittore viene adottato il valore totale della vibrazione, a_{hv} , definito come la somma quadratica delle accelerazioni sui tre assi.

Il valore medio del totale della vibrazione a_{hv} si ottiene combinando quadraticamente, tramite la seguente equazione della UNI EN ISO 5349-1:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

L'approccio alternativo, che consiste nel calcolare prima il valore totale della vibrazione per ciascuna misurazione e poi ottenere la media quadratica dei vari valori totali, ponderati in base ai rispettivi tempi di misurazione, porta allo stesso risultato finale. In linea con quanto precedentemente indicato, la stessa curva di ponderazione W_h (Figura 3) viene applicata a tutte e tre le accelerazioni lungo gli assi.

Per il calcolo dell'esposizione giornaliera alle vibrazioni, si adotta il principio di egual energia, secondo cui due esposizioni quotidiane, caratterizzate da valori totali di vibrazione a_{hv1} e a_{hv2} e da durate T_1 e T_2 , sono considerate equivalenti in termini di potenziali rischi per la salute se si verifica la seguente condizione:

$$a_{hv1} \sqrt{T_1} = a_{hv2} \sqrt{T_2}$$

In base al principio menzionato, l'esposizione alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio viene quantificata tramite il "valore totale di vibrazione ponderato in frequenza per un periodo di riferimento di 8 ore", indicato con il simbolo $A(8)$ e comunemente denominato esposizione giornaliera alle vibrazioni. Nel caso in cui durante la giornata lavorativa venga svolta solo un'operazione che comporta un'esposizione significativa alle vibrazioni, la quantità $A(8)$ viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T_e}{8}} \quad \text{m/s}^2$$

dove:

- a_{nv} è il valore totale di vibrazione definito precedentemente;
- T_e è la durata complessiva giornaliera dell'esposizione a vibrazioni (in ore).

L'esposizione su periodi brevi invece, deve essere stimata in base alle condizioni operative reali di massima esposizione. Pertanto, per qualsiasi attività, l'esposizione su periodi brevi viene quantificata utilizzando il valore più elevato registrato di a_{nv} . Il valore da impiegare nella valutazione del rischio è il più alto tra quelli ottenuti per le diverse attività svolte durante la giornata lavorativa. Nei gruppi omogenei, a ciascun lavoratore viene assegnato il valore massimo misurato sui soggetti campionati.³

3.4. Analisi dati condotte post-misure

I dati raccolti dalle misurazioni sui dipendenti del Corpo Forestale Regionale sono stati elaborati tramite vari software di analisi statistica e calcolo. Dopo essere stati acquisiti dalla memoria interna dell'accelerometro Svantek 106D, i dati sono stati trasferiti al software di analisi "Supervisor" della Svantek. Questo programma consente di gestire le misurazioni creando sessioni di analisi per ogni specifico scenario di rilevazione. Una volta importati i dati, il software restituisce all'utente diversi parametri fondamentali, come i grafici che mostrano l'andamento dei valori istantanei delle vibrazioni in funzione del tempo, i valori delle vibrazioni su tutti e tre gli assi cartesiani, le medie relative a ciascun asse e il calcolo automatico dell'esposizione giornaliera alle vibrazioni, basato sul tempo di utilizzo delle attrezzature su una giornata lavorativa standard di otto ore. Questo permette di ottenere una visione dettagliata e completa dei livelli di esposizione. Inoltre, "Supervisor" consente di associare a ciascuna sessione di misurazione ulteriori dettagli rilevanti, come il tipo di attrezzatura utilizzata (ad esempio una motosega specifica), l'ubicazione, l'operatore che ha eseguito l'attività e il tipo di lavorazione svolta. Questo sistema di catalogazione facilita in seguito la possibilità di filtrare e confrontare le sessioni di analisi in base a criteri specifici. Per esempio,

selezionando dal menu l'utensile "motosega 1", il software mostrerà tutte le sessioni di misurazione associate a tale strumento, consentendo all'utente di sviluppare una valutazione precisa per ogni attrezzatura, tenendo conto di fattori come la frequenza d'uso e le condizioni operative. Allo stesso modo, selezionando un singolo operatore, è possibile confrontare le diverse sessioni relative a quell'utente, permettendo di valutare il rischio in base all'utilizzo di differenti utensili e in diverse ubicazioni operative. Questo approccio analitico consente di ottenere un quadro chiaro e dettagliato dell'esposizione alle vibrazioni, garantendo una gestione più efficiente dei rischi legati al lavoro.

Nel caso di questo lavoro di tesi, gli scenari di misurazione sono stati studiati singolarmente, ovvero le sessioni di analisi sono state create e suddivise secondo il criterio di corrispondenza di utente, utensile, tipologia di taglio, tipologia di legno e alimentazione dell'utensile. Dal software di analisi, quindi, sono state ricavate le sessioni, ognuna delle quali per uno scenario di misurazione diverso, caratterizzate dal produttore e modello dell'utensile, il tipo di alimentazione, il tipo di legno tagliato e il suo diametro e l'esposizione giornaliera calcolata sulle otto ore lavorative.

I dati estratti dal software di analisi sono stati successivamente elaborati in un foglio Excel, dove sono stati filtrati e selezionati per ottenere una rappresentazione più chiara e immediata dei risultati. Nella fattispecie i valori presi in considerazione sono stati: il tipo di strumento, marca e modello dello stesso, il tipo di alimentazione, il tipo di legno, il diametro del tronco e l'esposizione giornaliera calcolata sulle otto ore lavorative (calcolo già svolto dal software di analisi Supervisor).

Inoltre, per una valutazione più accurata è stato pensato di applicare una formula matematica per ogni tipologia e modello di utensile, la quale, in funzione del valore dell'esposizione giornaliera ricavato dal software di analisi, restituisce per le attrezzature che superano il valore limite di esposizione ($(A(8) = 5 \text{ m/s}^2)$), il tempo massimo di utilizzo dello specifico strumento sulle otto ore di turno per evitare il superamento di tale valore. Invece per quanto riguarda le attrezzature che

prevedono già l'obbligo di sorveglianza sanitaria, superando il valore di soglia, ma rientrano nel valore limite di esposizione giornaliera ($2,5 \text{ m/s}^2 < A(8) < 5 \text{ m/s}^2$) è stata applicata una formula simile, la quale restituisce il tempo massimo di utilizzo per ognuna di queste attrezzature per evitare il superamento del valore di soglia e quindi evitando la sorveglianza sanitaria.

I dati sono stati anche elaborati su Jamovi, un software gratuito e open-source per l'analisi statistica. È pensato per offrire un'interfaccia intuitiva e user-friendly, simile a un foglio di calcolo, che consente agli utenti di condurre analisi statistiche senza bisogno di scrivere codice complesso. Jamovi è particolarmente apprezzato nel campo dell'istruzione e della ricerca perché combina potenza e semplicità. È basato su R, un linguaggio di programmazione ampiamente utilizzato per la statistica, e consente di eseguire analisi come t-test, ANOVA, regressione, correlazione, analisi fattoriale, e tante altre. Alcune caratteristiche chiave di Jamovi sono:

- Non richiede di conoscere il linguaggio di programmazione, rendendolo più accessibile rispetto ad altri strumenti come R.
- Chiunque può contribuire al suo sviluppo, il che garantisce trasparenza e flessibilità.
- Può essere esteso tramite moduli, che aggiungono funzionalità avanzate. Molti di questi moduli sono sviluppati dalla comunità.
- Le analisi possono essere facilmente salvate, condivise e riprodotte, il che è fondamentale nella ricerca scientifica.

4. Risultati

Le misurazioni hanno evidenziato significative differenze nei livelli di vibrazioni emesse dai diversi modelli di attrezzature. Le motoseghe, in particolare, si sono dimostrate le attrezzature che generano i più alti livelli di vibrazioni, con i modelli a miscela che producono valori di accelerazione nettamente superiori rispetto a quelli elettrici e in certi casi superando anche il valore limite secondo la normativa vigente. I decespugliatori e i soffiatori, pur essendo meno impattanti, hanno comunque mostrato valori di vibrazioni che si avvicinano al limite di esposizione giornaliero e in determinate condizioni operative superandolo.

Le vibrazioni mano-braccio misurate durante le operazioni di taglio con la motosega hanno variato in funzione del tipo di legno e delle dimensioni dei tronchi. Ad esempio, il taglio di tronchi di maggior diametro ha prodotto vibrazioni più elevate, probabilmente a causa della maggiore resistenza opposta dalla materia legnosa. Anche il tipo di legno ha influito sul valore delle vibrazioni prodotte dalle motoseghe, a causa della diversa densità e durezza dei tronchi. Inoltre, è stata riscontrata una differenza significativa tra i valori di vibrazioni dichiarati dalla banca dati del portale agenti fisici e quelli rilevati durante le misurazioni sul campo. In alcuni casi, le vibrazioni effettive sono risultate superiori ai valori indicati dalla banca dati, sottolineando la necessità di un monitoraggio continuo in condizioni operative reali.

4.1. Risultati delle misure effettuate

La tabella ricavata dall'analisi dei dati su Excel mostra una comparazione relativa all'esposizione giornaliera alle vibrazioni mano-braccio espressa in m/s^2 (indicato come A(8) derivante dall'uso di motoseghe, differenziate per modello, tipo di alimentazione, tipo di legno su cui lavorano e diametro del tronco. Di seguito, l'analisi dei diversi aspetti della tabella.

Tabella 2: Esposizione giornaliera a vibrazioni mano-braccio derivante dall'uso di motoseghe

STRUMENTO	MODELLO	ALIMENTAZIONE	TIPO LEGNO	DIAMETRO (cm)	ESPOSIZIONE GIORNALIERA A(8) (m/s ²)
Motosega	Stihl MSA 161T	Elettrica	Abete	30	1,062
Motosega	Husquarna t535i XP	Elettrica	Pino	20	1,62
Motosega	Husquarna t535i XP	Elettrica	Pino	20	1,877
Motosega	Husquarna t535i XP	Elettrica	Pino	20	1,89
Motosega	Husquarna t535i XP	Elettrica	Pino	20	2,073
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Pino	15	2,6
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Pino	15	3,037
Motosega	Stihl MS 260 C	Scoppio	Pino	15	3,188
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Olmo	15	3,346
Motosega	Stihl MS 200T	Scoppio	Abete	30	3,369
Motosega	Stihl MS 260 C	Scoppio	Pino	15	3,565
Motosega	Stihl MS 260 C	Scoppio	Pino	15	4,004
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Faggio	40	4,375
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Castagno	40	4,571
Motosega	Stihl MS 170	Scoppio	Abete	50	4,825
Motosega	Stihl MS 200	Scoppio	Abete	50	5,194
Motosega	Stihl 036	Scoppio	Pino	15	5,669
Motosega	Stihl 036	Scoppio	Pino	15	5,848
Motosega	Stihl 036	Scoppio	Faggio	20	6,383
Motosega	Stihl 036	Scoppio	Faggio	20	6,894
Motosega	Stihl 036	Scoppio	Faggio	20	6,998

La tabella è strutturata in modo da confrontare i valori di vibrazioni dei diversi modelli di motoseghe, appartenenti a due marche leader nel settore delle attrezzature forestali, Stihl e Husqvarna. Le motoseghe sono alimentate sia elettricamente (colore verde nella terza colonna della tabella), quindi i modelli più ecologici e potenzialmente meno rumorosi e vibranti, che a scoppio (colore rossiccio nella terza colonna della tabella), quindi alimentate a miscela e genericamente più potenti ma anche più rumorose e vibranti e con maggiore impatto ambientale. Si notano inoltre diversi tipi di legno, come abete, pino, faggio, olmo e castagno, che potrebbero influire sull'esposizione alle vibrazioni in base alla durezza e alla lavorabilità del legno.

Dai risultati ottenuti si evidenzia che i modelli alimentati elettricamente presentano valori di esposizione giornaliera inferiori, che vanno da 1,062 a 2,073 m/s^2 . In particolare, la Stihl MSA 161T ha il valore più basso (1,062), indicativo di un'esposizione ridotta rispetto a quelle a scoppio. Questo suggerisce che le motoseghe elettriche siano preferibili per ridurre l'esposizione a vibrazioni mano-braccio e possibilmente anche per ridurre l'inquinamento acustico in ambienti di lavoro. Bensì come confermato dagli operatori del corpo forestale, le motoseghe ad alimentazione elettrica non sempre sono comode e adatte al taglio da effettuare, poiché hanno una potenza ridotta, come anche la barra di guida. Quindi, anche se i modelli alimentati a scoppio presentano valori significativamente più alti di esposizione alle vibrazioni, partendo da 2,6 m/s^2 fino a 6,998 m/s^2 , potrebbero in alcuni casi essere nettamente migliori a quelli alimentati elettricamente. L'aumento dell'esposizione, inoltre, è evidente con il crescere del diametro del tronco e del tipo di legno lavorato. Ad esempio, per quanto riguarda il taglio con la Stihl 036 su faggio con diametro di 20 cm, l'esposizione è massima (6,998 m/s^2).

Il tipo di legno sembra influire moderatamente sull'esposizione giornaliera. Il faggio appare associato ai livelli di esposizione più alti, probabilmente a causa della sua durezza, mentre l'abete sembra essere associato a livelli più bassi. L'olmo e il castagno mostrano valori intermedi.

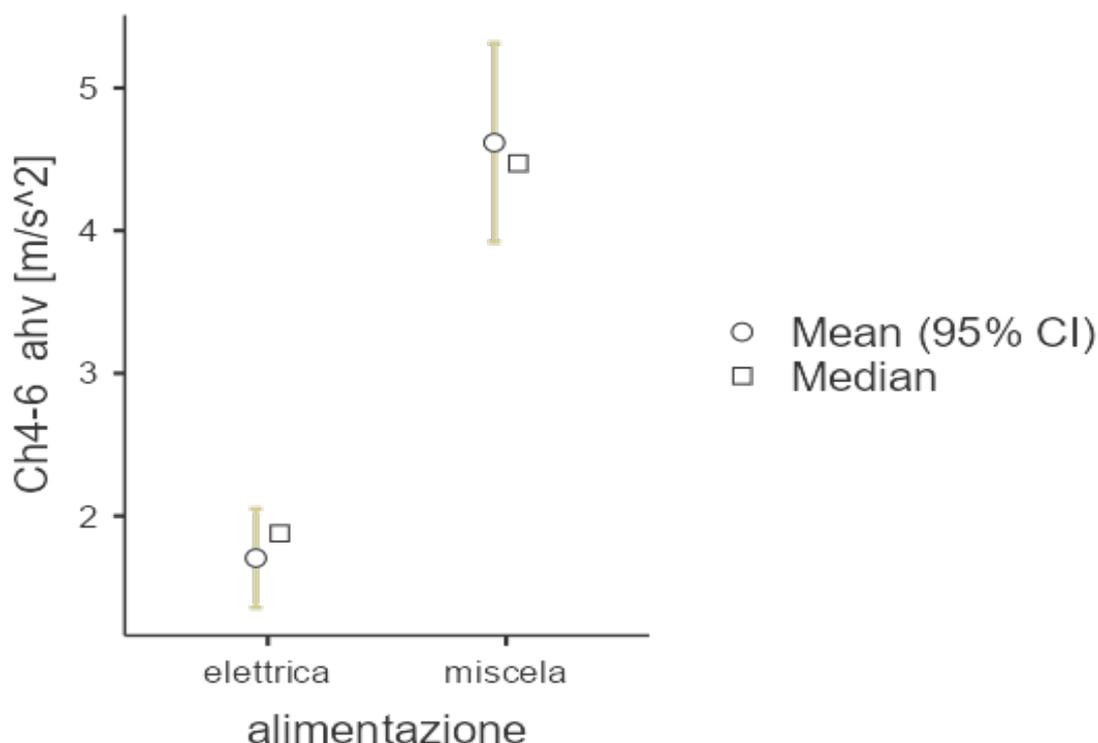
Anche il diametro del tronco è direttamente proporzionale all'esposizione. Per esempio, lavorare su tronchi di 40 cm (Stihl MS 261 C) comporta un'esposizione più elevata (tra 4,375 e 4,571 m^2/s^2), mentre tronchi più piccoli (15 cm) comportano esposizioni minori. Di seguito le misure effettuate con la motosega Stihl MS 261 C che evidenziano il rapporto tra il diametro del legno e le vibrazioni emesse:

Tabella 3: Valori di vibrazioni emesse da motosega Stihl MS 261 C

STRUMENTO	MODELLO	ALIMENTAZIONE	TIPO LEGNO	DIAMETRO (cm)	ESPOSIZIONE GIORNALIERA A(8) (m/s^2)
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Pino	15	2,6
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Pino	15	3,037
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Olmo	15	3,346
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Faggio	40	4,375
Motosega	Stihl MS 261 C	Scoppio	Castagno	40	4,571

Ritornando alla differenza tra le motoseghe alimentate elettricamente e quelle a scoppio, il grafico a box plot successivamente rappresentato, illustra un confronto tra le vibrazioni emesse da motoseghe con alimentazione elettrica e a miscela (scoppio), in termini di accelerazione delle vibrazioni ponderate al sistema mano-braccio (indicato come Ch4-6 ahv [m/s^2]). Sull'asse delle ordinate è riportato il livello di vibrazioni (in m/s^2), mentre sull'asse delle ascisse viene indicato il tipo di alimentazione. Il grafico a box plot viene utilizzato per rappresentare la distribuzione di un insieme di dati, mettendo in evidenza la loro dispersione e la presenza di eventuali valori anomali. La sua particolarità risiede nella capacità di riassumere diversi aspetti fondamentali della distribuzione dei dati in modo compatto e visivamente chiaro.

Figura 4: Grafico box plot, differenza tra alimentazione elettrica e a scoppio



Nel grafico sono presenti due tipi di indicatori: un cerchio per la media delle vibrazioni con il relativo intervallo di confidenza al 95% (mostrato tramite barre verticali), e un quadrato per la mediana delle vibrazioni. Questi valori consentono di esaminare sia la tendenza centrale dei dati che la loro variabilità.

Le motoseghe elettriche presentano un livello di vibrazioni significativamente più basso, con una media che si attesta intorno ai 2 m/s². La mediana è molto vicina al valore medio, suggerendo una distribuzione dei dati piuttosto simmetrica e stabile, confermata anche dal ristretto intervallo di confidenza. Questo indica che le vibrazioni delle motoseghe elettriche sono relativamente omogenee e contenute. Al contrario, le motoseghe a miscela mostrano un livello di vibrazioni notevolmente più elevato, con una media vicina ai 5 m/s², circa il doppio rispetto a quelle elettriche. Anche in questo caso, la mediana è vicina alla media, suggerendo una distribuzione relativamente equilibrata. Tuttavia, l'intervallo di confidenza è molto più ampio rispetto alle motoseghe elettriche, suggerendo una maggiore variabilità tra i modelli o le condizioni operative delle motoseghe a miscela.

Le motoseghe elettriche, quindi, producono vibrazioni molto inferiori e più consistenti rispetto a quelle a miscela, il che potrebbe tradursi in una minore esposizione dell'operatore a rischi legati alle vibrazioni, come la sindrome del tunnel carpale. Le motoseghe a miscela, sebbene più potenti, generano livelli di vibrazioni più elevati e variabili, richiedendo quindi maggiori precauzioni per l'operatore.

4.2. Comparazione tra i risultati e i valori dichiarati dal Portale Agenti Fisici

I valori dell'esposizione giornaliera per ogni strumento ricavati dalla giornata di misurazione, sono stati anche paragonati ai valori dichiarati nella banca dati del "Portale Agenti Fisici", che comprendono i dati dichiarati dal costruttore e in certi casi anche i valori misurati sul campo. Non sono stati ricavati i dati da paragonare per tutti gli utensili, poiché sul portale non sono presenti schede per i modelli di motoseghe più vecchi e altri modelli specifici.

Per quanto riguarda le motoseghe elettriche l'unica presente nella banca dati è la Stihl MSA 161 T per la quale il costruttore dichiara un livello di esposizione a vibrazioni pari a 2.2 m/s^2 , che rispetto al valore emerso dalle misure è quasi il doppio, poiché si è riscontrato un valore poco superiore a 1 m/s^2 .⁸

I modelli di motoseghe a scoppio presenti nella banca dati del portale, invece, sono la Stihl MS 261 C e la Stihl MS 200. Nel primo caso viene indicato solo il valore dichiarato dal costruttore, ovvero $3,5 \text{ m/s}^2$, che non varia molto dai valori riscontrati dopo le misurazioni, infatti tagliando di tipi diversi di legno i valori trovati oscillano da poco sopra i $2,5 \text{ m/s}^2$ fino ai $4,5 \text{ m/s}^2$ prodotti dal taglio di un castagno da 40 centimetri di diametro.⁹

Nel caso della Stihl MS 200 il valore dichiarato dal costruttore equivale a $3,1 \text{ m/s}^2$, quando il valore trovato dalle misurazioni si aggira attorno ai 5 m/s^2 superando nettamente il valore dichiarato. Bensì nella banca dati del portale, oltre al valore del costruttore, vengono anche citati due dati riscontrati da misurazioni sul campo che corrispondono per il primo a $4,4 \text{ m/s}^2$ mentre il secondo a $6,5 \text{ m/s}^2$, superando

anche il valore limite di esposizione giornaliero. Da ciò si può dedurre che anche se il valore dichiarato è circa di 3 m/s^2 , sul campo durante le operazioni di taglio in condizioni normali, i valori per questo modello di motosega possono superare di molto quelli dichiarati dal costruttore fino a raddoppiarsi. Questa differenza può essere dovuta dal tipo di legno tagliato (troppo duro per una motosega di dimensioni ridotte) o dall'usura della catena.¹⁰

Sul Portale Agenti Fisici sono presenti anche i valori dichiarati dal costruttore per il soffiatore SB 03 Cifarelli e per il decespugliatore Stihl FR 450, i quali sono stati soggetti con le motoseghe alla giornata di misurazioni. Per il soffiatore il valore d'esposizione ricavato dalle misurazioni sul campo equivale a $1,9 \text{ m/s}^2$, quando nella banca dati il valore dichiarato è di $3,5 \text{ m/s}^2$ ¹¹, mentre nel caso del decespugliatore si è riscontrato un valore pari a 7 m/s^2 durante le misurazioni con il valore dichiarato nella banca dati di $3,5 \text{ m/s}^2$. Come per la motosega MS 200 però, il valore misurato sul campo presente nella banca dati, è di $6,3 \text{ m/s}^2$, nettamente maggiore di quello dichiarato dal costruttore.¹² I valori del decespugliatore possono variare di tanto in base alle condizioni di lavoro, poiché vanno considerati i lavori in pendenza e l'ampiezza di oscillazione dello strumento.

4.3. Tempo massimo di utilizzo

Dai risultati ottenuti si è giunti ad una tabella che indica i livelli di esposizione giornaliera alle vibrazioni mano-braccio per i diversi strumenti utilizzati, indicati in termini di accelerazione equivalente (m/s^2). Gli strumenti sono suddivisi in tre categorie: decespugliatori, motoseghe e soffiatori. Per ciascuno strumento, vengono indicati il modello, il livello di esposizione giornaliera, e due valori di tempo massimo di utilizzo: uno per non superare il valore limite di esposizione (5 m/s^2) e l'altro per non superare il valore d'azione o di soglia ($2,5 \text{ m/s}^2$). I tempi massimi di utilizzo sono stati ricavati da una formula matematica, la quale inserendo il valore di vibrazioni prodotte dallo strumento, restituiva i due valori in unità di ore e minuti.

AREA SCIENZE DELLA VITA E DELLA SALUTE
TECNICHE DELLA PREVENZIONE NELL'AMBIENTE E NEI LUOGHI DI LAVORO

Tabella 4: Tempi massimi di utilizzo per ogni strumento

Strumento	Modello	Esposizione Giornaliera [m/s ²]	Tempo massimo di utilizzo per non superare il valore limite di esposizione	Tempo massimo di utilizzo per non superare il valore d'azione
DECESPUGLIATORE	Stihl FR450	7,06	4 ore e 0 minuti	1 ore e 0 minuti
MOTOSEGA	Husqarna t535i XP	1,86	/	/
	Stihl 036	6,36	4 ore e 54 minuti	1 ore e 18 minuti
	Stihl MS 170	4,83	/	2 ore e 12 minuti
	Stihl MS 200	5,19	7 ore e 24 minuti	1 ore e 54 minuti
	Stihl MS 200 T	3,37	/	4 ore e 36 minuti
	Stihl MS 260 C	3,59		4 ore e 0 minuti
	Stihl MS 261 C	3,59		4 ore e 0 minuti
	Stihl MSA 161 T	1,06		/
	SOFFIATORE	Cifarelli SB 03		

I colori nella tabella evidenziano i livelli di esposizione: il rosso indica il superamento del valore limite dell'esposizione giornaliera a vibrazioni mano-braccio, il giallo le attrezzature con valori inferiori al limite ma superiori al valore di soglia quindi soggetti a valutazione del rischio specifico e il verde un'esposizione inferiore al valore d'azione.

Per quanto riguarda i decespugliatori, il modello Stihl FR 450 presenta il livello di esposizione giornaliera più alto con $7,06 \text{ m/s}^2$. Il tempo massimo di utilizzo per non superare il valore limite di esposizione è di 4 ore esatte, mentre per non superare il valore d'azione è di 1 ora.

Passando alle motoseghe, il modello Stihl 036 ha un livello di esposizione giornaliera di $6,36 \text{ m/s}^2$. Il tempo massimo di utilizzo per questo modello è di 4 ore e 54 minuti per non superare il valore limite di esposizione, mentre il tempo massimo per non superare il valore d'azione è di 1 ora e 18 minuti. Il modello Stihl MS 170 ha un livello di esposizione giornaliera di $4,83 \text{ m/s}^2$ e non ha un tempo massimo indicato per non superare il valore limite di esposizione, ma il tempo massimo per non superare il valore d'azione è di 2 ore e 12 minuti. La motosega Stihl MS 200 ha un'esposizione giornaliera di $5,19 \text{ m/s}^2$, con un tempo massimo di 7 ore e 24 minuti per non superare il limite di esposizione e di 1 ora e 54 minuti per non superare il valore d'azione.

Altri modelli di motoseghe mostrano esposizioni variabili. Il modello Stihl MS 200 T ha un'esposizione di $3,37 \text{ m/s}^2$ e un tempo massimo di 4 ore e 36 minuti per non superare il valore d'azione, ma non ci sono indicazioni per il tempo limite di esposizione. Il modello Stihl MS 260 C ha un'esposizione giornaliera di $3,59 \text{ m/s}^2$ e un tempo massimo di utilizzo di 4 ore per non superare il valore d'azione. Anche il modello Stihl MS 261 C ha un livello di esposizione simile ($3,59 \text{ m/s}^2$), senza un tempo limite indicato per l'esposizione ma con un tempo massimo di 4 ore per non superare il valore d'azione. La motosega Stihl MSA 161 T (alimentazione elettrica), con un'esposizione di $1,06 \text{ m/s}^2$, è nella fascia verde e non riporta alcun tempo massimo di utilizzo, come la Husqvarna 535i XP, che ha un livello di esposizione giornaliera pari a $1,86 \text{ m/s}^2$, che rientrando nella fascia verde, indica un rischio molto minore e trascurabile rispetto agli altri modelli.

Infine, tra i soffiatori, il modello Cifarelli SB 03 ha un'esposizione giornaliera di $1,9 \text{ m/s}^2$. Anche questo rientra nella fascia verde, segnalando un basso rischio di esposizione, e non riporta alcun tempo massimo di utilizzo.

5. Discussione

I risultati ottenuti dalle misurazioni sul campo hanno permesso di identificare una serie di criticità legate all'esposizione dei lavoratori del Corpo Forestale Regionale alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio durante l'utilizzo di attrezzature come motoseghe, decespugliatori e soffiatori. Le rilevazioni effettuate con l'accelerometro, confrontate con i valori dichiarati dai costruttori dalle banche dati ufficiali (Portale Agenti Fisici), hanno evidenziato che, in molte circostanze, le vibrazioni effettive si discostano parzialmente dai livelli indicati dalle specifiche tecniche.

Il confronto tra i vari modelli di attrezzature ha mostrato che le motoseghe alimentate a miscela producono vibrazioni sensibilmente più elevate rispetto a quelle elettriche. Tuttavia, nonostante quest'ultimo tipo di attrezzatura presenti livelli di esposizione giornaliera inferiori, la potenza ridotta e la scarsa idoneità per operazioni complesse fanno sì che i modelli a miscela siano ancora largamente preferiti per le operazioni forestali. Tale compromesso tra sicurezza e performance rispecchia la complessità delle decisioni operative, dove la prevenzione dai rischi professionali viene a volte sacrificata in funzione dell'efficienza lavorativa.

Un ulteriore elemento di discussione è rappresentato dall'influenza del tipo di legno e del diametro dei tronchi sul livello di vibrazioni misurate. I risultati suggeriscono che lavorare con tronchi di grandi dimensioni o con essenze legnose particolarmente dure, come il faggio, aumenti l'intensità delle vibrazioni trasmesse agli operatori. Questo conferma come la valutazione del rischio non possa essere standardizzata esclusivamente sul tipo di attrezzatura, ma debba necessariamente tenere conto delle condizioni specifiche del lavoro e del materiale lavorato. L'eterogeneità delle condizioni operative, infatti, si riflette in una variabilità delle esposizioni giornaliere, che rende imprescindibile un approccio personalizzato nella valutazione del rischio vibrazionale.

I risultati ottenuti suggeriscono che, oltre alle normative vigenti, sia cruciale adottare misure correttive locali, come la riduzione dei tempi di utilizzo giornaliero

per determinate attrezzature, l'introduzione di pause frequenti o l'aggiornamento periodico delle macchine con modelli più efficienti dal punto di vista della sicurezza.

Risulta indispensabile l'implementazione di un sistema di misurazione regolare e specifico per ogni singola attrezzatura e operazione lavorativa. Questo approccio non solo migliorerebbe la precisione della valutazione del rischio, ma consentirebbe anche l'adozione di misure preventive più mirate, riducendo l'incidenza delle malattie professionali legate alle vibrazioni.

6. Conclusioni

In conclusione, il lavoro di tesi svolto ha evidenziato che l'esposizione alle vibrazioni mano-braccio nel contesto del Corpo Forestale Regionale è un fattore di rischio che merita un monitoraggio costante e puntuale.

Le attrezzature forestali alimentate a miscela, nonostante le loro elevate prestazioni operative, presentano livelli di vibrazioni critici, Le attrezzature elettriche, pur essendo meno impattanti in termini di vibrazioni, non sono sempre adeguate alle operazioni più intensive. L'introduzione di specifiche misure organizzative e formative, come l'alternanza di attrezzature diverse, la rotazione dei lavoratori e l'ottimizzazione delle tecniche di taglio concorrono nel ridurre al minimo l'esposizione.

In prospettiva, questo lavoro fornisce un importante contributo per l'implementazione di misure preventive efficaci nel settore forestale, proponendo un modello di monitoraggio continuo delle vibrazioni che può essere esteso anche ad altri contesti lavorativi caratterizzati da esposizioni simili. Inoltre, l'approccio metodologico seguito, basato sull'analisi combinata delle misurazioni sul campo e dei dati teorici, rappresenta una solida base per future ricerche finalizzate alla riduzione del rischio vibrazionale nei luoghi di lavoro.

7. Bibliografia e Sitografia

1. Valutazione Rischio Vibrazioni INAIL
<https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-pubb-valutazione-rischio-vibrazioni.pdf>
2. D.Lgs.81/08
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2008/04/30/008G0104/sg>
3. Portale Agenti Fisici Linea Guida INAIL
https://www.portaleagentifisici.it/filemanager/userfiles/wbv/ValutazioneRischioVibrazioni_2019_corretto.pdf.pdf?lg=IT
4. PuntoSicuro - Vibrazioni
<https://www.puntosicuro.it/rischio-vibrazioni-C-38/le-vibrazioni-mano-braccio-definizione-misure-di-prevenzione-attuabili-AR-18870/>
5. INAIL Vibrazioni
<https://www.inail.it/cs/internet/attivita/prevenzione-e-sicurezza/conoscere-il-rischio/agenti-fisici/vibrazioni.html?id1=2443085352079#anchor>
6. UNI EN ISO 5349-2:2015
<https://store.uni.com/uni-en-iso-5349-2-2015>
7. Bovenzi M, Zadini A, Franzinelli A, Borgogni F. Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to hand-arm vibration. *Ergonomics*. 1991;34(5):547-562. doi: 10.1080/00140139108967336
8. Banca Dati Vibrazioni Mano-braccio
https://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_list_macchinari_avanzata.php?lg=IT&cc=157&mo=msa161t&ti=All&ta=All&max_mi=&max_di=&max_peso=&max_potenza=&ord=max_misurato&advancedSearch=
9. Banca Dati Vibrazioni Mano-braccio
https://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_list_macchinari_avanzata.php?lg=IT&cc=157&mo=ms261c&ti=All&ta=All&max_mi=&max_di=&max_peso=&max_potenza=&ord=max_misurato&advancedSearch=
10. Banca Dati Vibrazioni Mano-braccio
https://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_list_macchinari_avanzata.php?lg=IT&cc=157&mo=ms+200&ti=All&ta=All&max_mi=&max_di=&max_peso=&max_potenza=&ord=max_misurato&advancedSearch=

11. Banca Dati Vibrazioni Mano-braccio

https://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_list_macchinari_avanzata.php?lg=IT&cc=574&mo=sb+03&ti=All&ta=All&max_mi=&max_di=&max_peso=&max_potenza=&ord=max_misurato&advancedSearch=

12. Banca Dati Vibrazioni Mano-braccio

https://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_list_macchinari_avanzata.php?lg=IT&cc=157&mo=fr+450&ti=All&ta=All&max_mi=&max_di=&max_peso=&max_potenza=&ord=max_misurato&advancedSearch=