

ANALISI DEI TEMPI DI ESPOSIZIONE ALLE VIBRAZIONI DEGLI OPERATORI AGRO-FORESTALI

Calvo A.¹, Deboli R.²

1. Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale - Via Leonardo da Vinci, 44 - 10095 GRUGLIASCO (Torino), Tel +39 0116708592, Fax +39 0116708591, angela.calvo@unito.it
2. Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra (Unità staccata di Torino) - Strada delle Cacce, 73 - 10135 Torino, Tel +39 0113977242, Fax +39 0113489218; r.deboli@imamoter.cnr.it

Riassunto

Attualmente in Italia non esistono ancora normative specifiche in materia di rischio da esposizione ad attrezzi e macchine vibranti. La Direttiva Europea 2002/44/CE, che dovrà essere recepita dagli stati membri dell'UE entro il 6 luglio 2005, rappresenta il primo passo per garantire l'attuazione di specifiche misure di tutela ai fini della prevenzione del rischio da esposizione a vibrazioni nei luoghi di lavoro, imponendo un limite giornaliero di esposizione. Per questo motivo, è importante la scelta delle attrezzature, dei procedimenti e dei metodi di lavoro. E' quindi d'uopo eseguire una serie di rilievi in cantieri agro-forestali per verificare la portata della Direttiva e la sua collocazione all'interno della realtà italiana.

Obiettivo del lavoro è quindi da un lato l'analisi sia dei livelli di vibrazione che interessano gli operatori agro-forestali quando utilizzano diversi tipi di macchine e attrezzature (trattrici, motoseghe, motocoltivatori, decespugliatori, etc.), sia dei tempi di esposizione degli operatori stessi.

Parole chiave: vibrazioni, sicurezza; tempi di esposizione.

Summary

Nowadays specific standards concerning the risk due to the vibration exposure to vibrating tools do not yet exist in Italy. The European Directive 2002/44/CE, which will be acknowledged before the 6th of July 2005, will be the first step to activate a specific policy of preventive and safeguard measures concerning this risk factor, imposing a daily exposure limit. For this reason the choice of both the tools, the procedures and the work organization is important. It is therefore necessary to do a sequence of surveys in the forestry yards to verify the impact of the Directive and its application in the Italian situation.

Aim of the work is therefore the analysis of the vibration level interesting the agro-forestry workers when they use different type of tools and machineries (tractors, chainsaws, motor hoes, brush cutters, etc.) as well as their exposure times to the vibration during the day.

Key words: vibration, safety, exposure times

1. INTRODUZIONE

Tutte le attività lavorative che prevedono l'utilizzo di macchinari possono essere considerate a rischio per quanto riguarda la trasmissione di vibrazioni all'operatore incaricato del loro utilizzo. A seconda della tipologia del macchinario e del tipo di attività, le vibrazioni trasmesse sono divise in quelle dirette al corpo intero e quelle dirette al sistema mano-braccio.

In generale vanno considerati esposti a vibrazioni trasmesse al corpo intero tutti quei lavoratori che prestino la loro abituale attività alla guida o comunque a bordo di automezzi e macchinari. Il fronte vibratorio colpisce tutto il corpo dell'operatore, attraverso il sedile e/o la piattaforma della cabina.

Le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio sono invece da addebitarsi a lavorazioni in cui si impugnano utensili vibranti o materiali sottoposti a vibrazioni o impatti. La trasmissione è generalmente causata dal contatto delle mani con l'impugnatura di utensili manuali o di macchinari condotti a mano.

Per quanto riguarda l'esposizione al corpo intero, molti studi sono stati condotti negli ultimi decenni sull'effetto dannoso derivante dall'uso di macchine e attrezzature le cui vibrazioni, nel medio e lungo termine, possono causare danni irreversibili agli utilizzatori, ma non si sono ottenuti risultati degni di nota anche se, a livello di malattie professionali, le conseguenze sono dimostrabili (Bovenzi, 1994; Griffin, 1990).

Studi epidemiologici, infatti, hanno dimostrato che i conducenti e gli operatori che lavorano in posizione assisa in un macchinario mobile (trattori agricoli e forestali, gru, autocarri ecc.) sono più soggetti a sviluppare lombalgie e sciatalgie prima di altre categorie di lavoratori. La frequente esposizione a vibrazioni e urti ripetuti per mesi o anni possono inoltre provocare lesioni alle vertebre e ai dischi intervertebrali. Le vibrazioni generate da macchine e attrezzature possono causare anche un aumento del rischio di insorgenza di disturbi e lesioni a carico del rachide lombare.

E' altresì noto che le lavorazioni in cui si impugnano utensili vibranti o materiali sottoposti a vibrazioni o impatti, possono indurre un insieme di disturbi agli arti superiori (Bovenzi, 1999). I primi sintomi possono comparire dopo soli pochi mesi, o dopo pochi anni, in base al soggetto e all'ampiezza della vibrazione applicata alla mano. L'esposizione prolungata alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio è associata ad un aumento dei sintomi e delle patologie connesse al sistema vascolare, neurologico e osteoarticolare degli arti superiori (Colombini et al, 2004): l'insieme dei sintomi è detta sindrome da vibrazione mano-braccio (HAV).

La Direttiva 2002/44 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002, che dovrà essere recepita entro il 6 luglio 2005, sulla esposizione professionale alle vibrazioni meccaniche, attiverà una politica specifica di prevenzione e di tutela riguardo questo fattore di rischio.

Essa è composta da 16 articoli e 2 allegati tecnici. Il primo, vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio, fa riferimento alla ISO 5349-1 (2001); il secondo, vibrazioni trasmesse al corpo intero, alla ISO 2631-1 (1997).

La presente Direttiva fissa le prescrizioni minime in materia di protezione dei lavori contro i rischi per la salute e la sicurezza che derivano, o possono derivare, dall'esposizione a vibrazioni meccaniche.

In questo documento sono fissati i valori limite¹ e i valori di esposizione che fanno scattare l'azione², opportunamente divisi a seconda del tipo di vibrazioni.

Per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio:

- il valore limite giornaliero di esposizione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a 5 m/s^2 ;
- il valore giornaliero che fa scattare l'azione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a $2,5 \text{ m/s}^2$.

L'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio è valutato o misurato in base alle disposizioni della norma ISO 5349-1 (2001).

Per le vibrazioni trasmesse al corpo intero:

(1) *valore limite: rappresenta il livello di esposizione il cui superamento è vietato e deve essere prevenuto, in quanto esso comporta un rischio inaccettabile per un soggetto che vi sia esposto in assenza di dispositivi di protezione.*

(2) *valore che fa scattare l'azione: rappresenta quel valore di esposizione a partire dal quale devono essere attuate specifiche misure di tutela per i soggetti esposti.*

- il valore limite giornaliero di esposizione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a $1,15 \text{ m/s}^2$;
- il valore giornaliero di esposizione che fa scattare l'azione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a $0,5 \text{ m/s}^2$.

L'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni trasmesse al corpo intero è valutato o misurato in base alle disposizioni della norma ISO 2631-1 (1997).

Nell'osservare gli obblighi della Direttiva, è il datore di lavoro che identifica, giudica e misura i livelli di vibrazioni meccaniche cui i lavoratori sono esposti al fine di valutare e stimare i rischi.

Nel documento del CEN³/TC 231/WG2, Technical Report n. WI 64 (del 16 febbraio 2005), futura linea guida per l'applicazione della Direttiva 2002/44, si invitano dunque i datori di lavoro a misurare i livelli di esposizione degli operatori in campo, al di là dei valori riportati dai costruttori nei libretti di uso e manutenzione delle macchine. Il documento ricorda infatti che i dati di targa dichiarati dal Costruttore sono stati ottenuti tramite procedure di laboratorio, e chiede ai datori di lavoro di verificarne la corrispondenza nell'utilizzo delle macchine nelle reali condizioni di impiego.

In altre parole, per calcolare la corretta esposizione degli operatori alle vibrazioni, non è più sufficiente misurare i livelli di vibrazione sui sedili e sulle impugnature delle macchine, ma occorre ampliare questa informazione con i tempi di reale esposizione degli operatori alle sorgenti vibratorie, tenendo conto di tutte le macchine e attrezzature utilizzate nell'arco delle 8 ore lavorative. Per avere una reale esposizione alle vibrazioni di un operatore, occorre, quindi, individuare tutte le operazioni e le attrezzature fonti di esposizione alle vibrazioni, in modo tale da avere una mappatura completa dell'informazione.

Poiché non è sempre possibile disporre di rilievi puntuali, il documento sopra citato, oltre a fornire indicazioni per il calcolo della reale esposizione degli operatori alle vibrazioni mano-braccio nell'arco della giornata (calcolo di $A(8)$), riporta i tempi di utilizzo giornaliero tipici di alcune attrezzature (motoseghe, motocoltivatori, decespugliatori, martelli pneumatici, etc.), nonché una suddivisione dei tempi in funzione del numero di giri del motore (sulla base delle operazioni da effettuare, ad esempio). Lo stesso testo riporta anche una tabella sui tempi *consigliati* di utilizzo delle attrezzature, in modo tale da non incorrere nel rischio di eccedere i valori limite e i valori che fanno scattare l'azione.

Purtroppo però, alcune indagini condotte sui tempi di utilizzo di alcune attrezzature (le motoseghe in ambito forestale) hanno evidenziato come questi valori siano diversi da quelli registrati in campo (Calvo et al., 2004).

Inoltre il suddetto documento è valido per l'esposizione dei soggetti alle vibrazioni mano-braccio, mentre nulla è ancora disponibile per le vibrazioni corpo intero.

Per i motivi sopra esposti, nonché per valutare l'applicabilità ai cantieri italiani della Direttiva, è stato realizzato uno studio mirato a quantificare le dosi di vibrazioni trasmesse giornalmente agli operai impiegati nel settore forestale e vivaistico.

Inoltre, lo studio mira a capire come variano le dosi di vibrazioni assunte dall'operatore al variare dell'ambiente di lavoro e, nel medesimo ambiente, che rapporto c'è tra vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio e vibrazioni trasmesse al corpo intero. Sempre in riferimento allo stesso ambiente di lavoro, è stato interessante confrontare le dosi assunte da addetti diversi (cioè con diverso mansionario).

Infine è stato possibile capire la gestione dei cantieri, per valutare l'esposizione alle vibrazioni degli operatori nei diversi giorni della settimana lavorativa.

³CEN: Comitato Europeo di Normazione

2. METODOLOGIA DI INDAGINE

Si è inteso operare svolgendo i rilievi in modo attento e coerente, adottando come ambiente di prova quello sul quale si svolgono realmente le operazioni, utilizzando come campioni per le analisi i macchinari e le attrezzature impiegate abitualmente e adottando per le misure una strumentazione tecnicamente avanzata.

Si è lavorato in due cantieri pubblici forestali della Valle d'Aosta e in un vivaio gestito dalla stessa Regione. Sono stati scelti i cantieri di questa regione per svariati motivi: innanzi tutto, nella particolare realtà valdostana la gestione e le utilizzazioni del patrimonio boschivo sono a carico quasi esclusivo delle squadre regionali, quindi i cantieri visionati risultano essere rappresentativi delle lavorazioni svolte nell'area in questione. Inoltre, il lavoro forestale e in vivaio è ben organizzato, i cantieri analizzati dispongono di una buona varietà di macchine e i responsabili delle squadre sono particolarmente interessati a conoscere i livelli vibrazionali cui sono sottoposti giornalmente gli operai.

Per poter valutare il rischio da esposizione è stato necessario:

- identificare le fasi lavorative comportanti l'esposizione a vibrazioni;
- rilevare i tempi di esposizione effettivi associati a ciascuna fase;
- individuare i macchinari e gli utensili utilizzati;
- misurare direttamente i livelli di vibrazione a cui i lavoratori sono sottoposti in ciascuna fase operativa.

Con la collaborazione dell'Istituto IMAMOTER-CNR di Torino, sono stati realizzati dei rilievi per valutare le emissioni vibrazionali e sono stati misurati gli effettivi tempi di reale utilizzo delle attrezzature presenti nei cantieri esaminati.

I dati raccolti sono stati divisi in due categorie: vibrazioni trasmesse al corpo intero e vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.

Per quanto riguarda il rilievo delle vibrazioni emesse dalle macchine, tutte le prove sono state eseguite secondo quanto previsto dalle norme vigenti in materia.

Particolare attenzione è stata riposta durante la fase di acquisizione dei dati e nella verifica dei dati stessi, poiché è indispensabile evitare di raccogliere campioni palesemente distorti. Inoltre, il lavoro ha richiesto un'attenta analisi delle norme in questione, delle condizioni operative e dei computi metrici da eseguire.

2.1 MACCHINE E ATTREZZATURE ESAMINATE

Durante la fase di raccolta dati si sono misurati diversi tipi di macchinari.

La tabella 1 fornisce un elenco delle caratteristiche delle macchine esaminate, della modalità di impiego e sul tempo d'utilizzo di ogni macchinario al fine di poter correttamente calcolare la dose giornaliera di vibrazione al corpo intero trasmessa ai lavoratori.

Tab. 1. Modalità di impiego e tempi di utilizzo dei macchinari responsabili della trasmissione di vibrazioni al corpo intero.

Macchina	Operazione	Utilizzo
Trattore SAME (43 kW) Trattore VALPADANA (53 kW)	Trasporti vari, fresatura, aratura, diserbo, scavi, pulizia, semina, erpicatura	Tutti i giorni, per un tempo variabile a seconda della lavorazione.
Trattore BCS (61 kW) + badile oleodinamico + braccio idraulico	Rizollatura, sradicamento piante, spostamenti e trasporti vari in vivaio	Tutti i giorni, per un tempo variabile a seconda della lavorazione.
Trattore CARRARO (57 kW) + verricello	Esbosco e carico in bosco	6 ore al giorno durante l'operazione di esbosco.

La tabella 2, come quella precedente, fornisce un elenco delle attrezzature responsabili della trasmissione delle vibrazioni al sistema mano-braccio esaminate, focalizzando l'attenzione sul tipo d'impiego e sul tempo di utilizzo di ogni attrezzo. Anche in questo caso i tempi di uso delle attrezzature sono indispensabili al fine di calcolare il valore giornaliero di vibrazioni al sistema mano-braccio subite dall'operatore.

Tab. 2. Modalità di impiego e tempi di utilizzo degli attrezzi responsabili della trasmissione delle vibrazioni al sistema mano-braccio.

Attrezzatura	Operazione	Utilizzo
Motosega HUSQUARNA 372 xp (4,6 kW)	Taglio, sistemazione tronchi (esbosco)	3-4 ore al giorno durante l'operazione di esbosco
Motosega STIHL 064 (4,8 kW)	Taglio sramatura e depezzatura in bosco	3-4 ore al giorno, nei giorni in cui si svolge questo lavoro
Motosega STIHL 044 (3,8 kW)	Taglio, sramatura e depezzatura in vivaio	3-4 ore al giorno, nei giorni in cui si svolge questo lavoro
Tosaerba HONDA (4,1 kW)	Taglio erba in vivaio	4 ore al giorno per 3 giorni al mese da aprile a settembre
Tosasiipi STIHL (0,95 kW)	Taglio siepi in vivaio	3-4 ore al giorno per 3 giorni all'anno
Atomizzatore STIHL (2,6 kW)	Diserbo in vivaio	1 ora al giorno ogni 10-15 giorni da aprile a settembre
Decespugliatore STIHL a filo (0,95 kW)	Taglio erba in vivaio	4 ore al giorno per 10 giorni al mese da aprile a settembre
Decespugliatore STIHL forestale (1,9 kW)	Taglio arbusti e siepi	3-4 ore quando serve
Deceppatrice artigianale	Bonifica terreno	30' quando serve
Minitrasportatore MESSERSI (4 kW)	Trasporto in vivaio	2 ore al giorno tutto l'anno
Motocoltivatore BERTOLINI (9 kW)	Lavorazione terreno in vivaio	1-2 ore a settimana per tutto l'anno
Mototrivella EFCO (1,3 kW)	Posizionamento piante e tronchi in vivaio	10 buchi ogni 10-15 giorni, 30 minuti a settimana nel periodo in cui si svolge questo lavoro.

I tempi di utilizzo per ogni attrezzatura riportati in tabella 2 sono stati acquisiti tramite rilievi nell'arco di un'intera stagione lavorativa per le attrezzature utilizzate in bosco (motoseghe), mentre per gli strumenti usati in vivaio sono stati prelevati dal mansionario. Al fine di ottenere tempi reali di esposizione nelle diverse fasi operative e a diverso regime di giri del motore, durante l'acquisizione delle informazioni si sono distinti i tempi in cui l'attrezzatura era a contatto dell'operatore durante i tempi morti (regime minimo), prima e durante la fase di abbattimento, sramatura e depezzatura (scorporando regime massimo di giri del motore da fase di taglio).

2.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la misura delle vibrazioni trasmesse al corpo umano sono state impiegate due distinte tipologie di strumentazione.

La prima utilizza un accelerometro triassiale collegato ad un misuratore di vibrazioni

per il corpo umano, (che rileva il valore efficace -r.m.s.- dell'accelerazione), impiegato per le misure delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.

La seconda utilizza tre accelerometri monoassiali con rispettivi preamplificatori di carica a loro volta collegate a un misuratore di vibrazioni, impiegati per le misure delle vibrazioni trasmesse al corpo intero.

2.2.1 SISTEMA MANO-BRACCIO

La strumentazione per il calcolo delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio era composta da un misuratore di vibrazioni per il corpo umano ed un accelerometro triassiale.

Il misuratore di vibrazioni per il corpo della ditta Larson Davis, modello HVM100, si presenta come uno strumento versatile per le misure di esposizione alle vibrazioni sia del corpo intero (esposizione da mezzi di trasporto e movimentazione), che del segmento mano-braccio (esposizione da uso di utensili vibranti).

Il tutto in conformità con la norma internazionale di riferimento ISO 8041-1/90 relativa alla strumentazione di misura per le vibrazioni sul corpo umano.

Questo strumento pilota trasduttori accelerometri triassiali, disponendo di tre canali di ingresso, selezionabili secondo le modalità ICPR (Integrate Current Preamplifier), di carica e in tensione ed una serie di adattatori di ingresso che lo rendono capace di interfacciarsi a qualunque tipo di trasduttore di vibrazioni monoassiale o triassiale.

Nel nostro caso è stato impiegato con un accelerometro triassiale con preamplificatore di carica integrato, che permette di misurare le vibrazioni lungo i tre assi (x, y, z) simultaneamente.

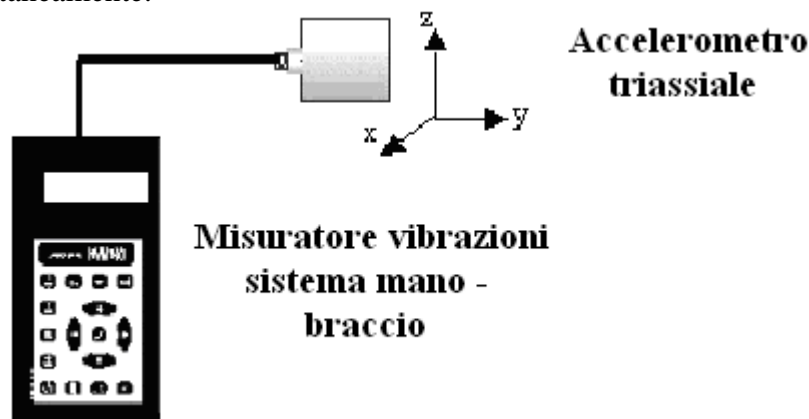


Fig. 1. Schema dell'apparecchiatura utilizzata per la misura delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.

Il misuratore di vibrazioni fornisce i valori di accelerazione ($a_{hw,x}$, $a_{hw,y}$ e $a_{hw,z}$) lungo i tre assi perpendicolari tra loro, dopo di che fornisce il valore dell'accelerazione equivalente a_{hw} , da utilizzare in sede di calcolo.

$$a_{hw} = \sqrt{a_{hw,x}^2 + a_{hw,y}^2 + a_{hw,z}^2} \quad [\text{ms}^{-2}] \quad (1)$$

La misura dell'accelerazione ponderata è stata eseguita pesando in frequenza ciascuna componente dell'accelerazione in banda di un terzo d'ottava per mezzo del filtro di ponderazione Wh (per tener conto della diversa incidenza che le varie frequenze hanno sul corpo umano, vengono utilizzati i filtri di ponderazione), conformemente alle caratteristiche riportate nei prospetti delle norme utilizzate.

Il tempo di acquisizione di ogni prova è stato di 10-15 secondi e la posizione dei

trasduttori e il loro orientamento sono stati scelti tenendo conto delle proposte previste nelle norme.

L'accelerometro è stato fissato alle impugnature (anteriori e posteriori) degli attrezzi (figura 2) e collegato all'HVM, che è stato fissato alla cintola dell'operatore. In questo modo egli era libero di svolgere la sua mansione senza impedimenti, mentre i dati così ricavati risultavano essere veritieri e rappresentativi.



Fig. 2. Esempio di fissaggio degli accelerometri all'impugnatura dell'atomizzatore spalleggiato.

2.2.2 CORPO INTERO

La strumentazione per il calcolo delle vibrazioni trasmesse al corpo intero era composta da tre accelerometri monoassiali, tre preamplificatori di carica e da un misuratore di vibrazioni (lo stesso descritto prima).

Gli accelerometri usati sono stati quelli della ditta Brüel&Kjær modello 4371, con una sensibilità di 10 pC/g ed una massa complessiva di 11g. Questi sono inseriti all'interno di una struttura in gomma fissati a un disco di alluminio e orientati lungo i tre assi di riferimento per le misure sul corpo intero.

La struttura sagomata in gomma ha un diametro di 25 cm e uno spessore di 1,2 cm. Questo strumento viene posizionato tra il sedile e il corpo del conducente in modo da captare le vibrazioni trasmesse all'operatore lungo i tre assi.

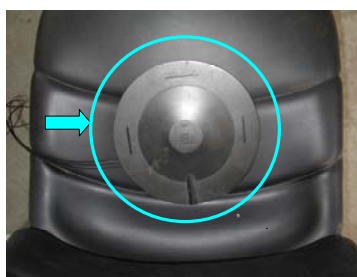


Fig. 3. Strumentazione utilizzata per il rilievo delle vibrazioni trasmesse al corpo intero.

Anche in questo caso, come per le misure al sistema mano braccio, il misuratore di vibrazioni fornisce il valore dell'accelerazione lungo i tre assi ($a_{v,x}$, $a_{v,y}$ e $a_{v,z}$) e il valore dell'accelerazione equivalente (a_v), da utilizzare poi in sede di calcolo.

La misura dell'accelerazione ponderata è stata eseguita pesando in frequenza ciascuna

componente dell'accelerazione in banda di un terzo d'ottava per mezzo dei filtri di ponderazione Wk (riferito all'asse z) e Wd (riferito agli assi x e y). La pesatura in frequenza si è basata sui filtri di ponderazione conformi alle caratteristiche riportate nei prospetti delle norme.

Tutti e due i tipi di strumentazioni precedentemente descritte sono stati calibrati prima e dopo aver eseguito le misure; questa operazione è stata svolta per evitare errori di campionamento dovuti soprattutto alle condizioni lavorative e al luogo di lavoro. La calibrazione è stata eseguita per mezzo di un calibratore accelerometrico, della ditta Brüel&Kjær modello 4294, che genera un livello di 10 m/s^2 alla frequenza di 160 Hz.

2.3 CALCOLO DEI VALORI GIORNALIERI DI VIBRAZIONI ASSUNTE ($A(8)$)

Le proposte di calcolo dei tempi delle esposizioni elaborate dal CEN, forniscono un aiuto e delle semplificazioni per affrontare e risolvere il problema della valutazione delle vibrazioni a cui sono sottoposti i lavoratori.

Nel nostro caso, però, si sono calcolati esattamente i tempi di esposizione alle vibrazioni per ciascuna fase operativa di ciascuna macchina, al fine di non disporre solo di una stima di esposizione giornaliera, ma di un dato veritiero, corrispondente al mansionario di ciascun operatore.

2.3.1 SISTEMA MANO-BRACCIO

Dai livelli di vibrazione misurati, per ogni macchina è stato innanzitutto necessario calcolare la media aritmetica delle accelerazioni per ogni impugnatura e per ogni condizione operativa a_{hwi} .

Si è calcolato poi il valore di a_{hweq} :

$$a_{hweq} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{hwi}^2 T_i} \quad [\text{ms}^{-2}] \quad (2)$$

dove:

a_{hwi} rappresenta l'accelerazione misurata in funzione della i -ma condizione operativa (riassumibile in: minimo, massimo e fase di lavoro);

T_i è il tempo di utilizzo dell'attrezzatura nella i -ma condizione operativa;

T rappresenta il numero totale di minuti di effettivo contatto con la sorgente vibratoria.

Una volta calcolato il valore di a_{hweq} è stato poi possibile ricavare il valore di $A(8)$ riferito all'attrezzatura in questione, cioè il valore giornaliero di vibrazioni assunte dall'operatore nell'uso dell'attrezzo esaminato.

$$A(8) = a_{hweq} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [\text{ms}^{-2}] \quad (3)$$

dove T_0 sono le 8 ore di lavoro giornaliere.

2.3.2 CORPO INTERO

Per i trattori esaminati sono state realizzate delle tabelle riassuntive i tempi effettivi di utilizzo giornaliero T_i (espressi in minuti) di ciascun mezzo in base all'attività e al tipo di operazione svolta, calcolando alla fine la durata totale dell'esposizione T riferita a ciascuna macchina.

Per ciascun veicolo è stata poi redatta la tabella riassuntiva dei valori di a_{vi} forniti dal misuratore di vibrazioni, in relazione al tipo di lavorazione.

Partendo da questi dati, è stato possibile calcolare il valore di accelerazione percepito in un dato momento dall'operatore sulla macchina (a_{veq}):

$$a_{veq} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{vi}^2 T_i} \quad [\text{ms}^{-2}] \quad (4)$$

Conoscendo i livelli di a_{veq} è stato poi possibile ricavare il valore di $A(8)$, cioè il valore di accelerazione assorbito dal corpo dell'operatore dalla macchina considerata, in riferimento alle otto ore lavorative (T_0):

$$A(8) = a_{veq} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [\text{ms}^{-2}] \quad (5)$$

3. RISULTATI OTTENUTI

La tabella 3 contiene i risultati delle misure dei livelli di vibrazioni trasmesse al corpo intero effettuate sui macchinari presenti nei tre cantieri forestali analizzati, tenendo conto che il trattore Carraro viene utilizzato in bosco mentre i trattori BCS, Same e Valpadana sono utilizzati in vivaio.

Tab. 3. Livelli di accelerazione equivalente e livelli giornalieri di esposizione alle vibrazioni corpo intero nell'utilizzo di ciascuna macchina.

TRATTORE	a_{veq} m/s ²	A(8) m/s ²
BCS	0,646	0,228
Same	0,742	0,262
Valpadana	0,609	0,215
Carraro	1,139	0,901

Come si può notare, l'unico valore da tenere sotto controllo è quello del Carraro; il motivo è da addebitarsi non tanto al mezzo in sè, ma alle lavorazioni in bosco dove questa macchina è utilizzata. L'operazione in bosco, infatti, si presenta critica per diverse cause: l'ambiente di lavoro, che in bosco si presenta irregolare ed imprevedibile, con buche e sassi; inoltre, c'è anche da considerare il ritmo serrato e la tipologia della lavorazione.

Tutti gli altri dati sono al di sotto del valore che fa scattare l'azione.

La tabella 4 contiene invece i risultati delle misure dei livelli di vibrazioni trasmesse al sistema mano braccio effettuate sulle attrezzature presenti nei cantieri analizzati: tra queste, le motoseghe Husqvarna e Stihl 064 sono usate in bosco, mentre tutte le altre vengono utilizzate in vivaio.

Quando il tipo di attrezzatura (e, di conseguenza, la norma) lo prevede, i risultati sono divisi per impugnatura (Dx: destra, Sx: sinistra).

Interpretando questi risultati, si nota che le attrezzature il cui utilizzo preveda elevati regimi di rotazione dei motori siano tendenzialmente dannose per la salute dell'operaio.

Dalla tabella emerge che per alcune macchine (motoseghe e tosasiepi) vengono superati i valori limite, per cui il datore di lavoro dovrà intervenire al fine di ridurre le vibrazioni che giornalmente mettono a rischio la salute del personale, limitando la durata di esposizione, organizzando turni di lavoro più funzionali, modernizzando il parco macchine o sostituendo i sistemi antivibranti delle stesse.

Anche se al di sotto del valore limite giornaliero, molte attrezzature sono posizionate al

di sopra del valore che fa scattare l'azione (minitrasportatore, motocoltivatore, mototrivella e decespugliatore a filo) e, in alcuni casi, non sono molto distanti dal valore limite stesso: anche in questo caso il datore di lavoro dovrà provvedere a monitorare questi dati, in quanto i lavoratori sono esposti in modo critico.

Solo l'impiego dell'atomizzatore, della deceppatrice e del tosaerba non sono da considerarsi pericolosi per la salute dell'operatore.

Tab. 4. Livelli di accelerazione equivalente e livelli giornalieri di esposizione alle vibrazioni mano-braccio nell'utilizzo di ciascuna attrezzatura.

Attrezzatura	Impugnatura	a_{hweq} m/s ²	A(8) m/s ²
Atomizzatore	Dx	3,517	1,2
Deceppatrice	Dx	9,735	2,4
	Sx	9,023	2,3
Decespugliatore forestale	Dx	6,209	4,1
	Sx	7,011	4,6
Motosega Husquarna	Dx	6,289	4,3
	Sx	7,597	5,2
Tosasiapi	Dx	7,384	4,9
	Sx	8,551	5,7
Tosaerba	Dx	4,010	2,8
	Sx	3,000	2,1
Motosega Stihl 064	Dx	9,146	6,2
	Sx	7,501	5,1
Motosega Stihl 044	Dx	8,669	5,9
	Sx	5,286	3,6
Mototrivella	Dx	17,995	4,5
	Sx	18,075	4,5
Motocoltivatore	Dx	8,028	4,0
	Sx	9,436	4,7
Minitrasportatore	Dx	7,680	3,8
	Sx	8,370	4,2
Decespugliatore a filo	Dx	5,752	4,1

4. CONCLUSIONI

I dati che compaiono nell'ultima colonna della tabella 3 e della tabella 4 sono stati ottenuti dalle formule (3) e (5). I tempi inseriti nelle formule suddette sono stati in parte da noi effettivamente misurati nei luoghi di lavoro e in parte dedotti dal mansionario degli addetti.

Per alcune macchine si ha che l'esposizione giornaliera supera il valore che fa scattare l'azione, per altre si supera addirittura il valore limite.

In questa fase iniziale di studio dell'applicazione della Direttiva 2002/44 emerge il problema che i datori di lavoro si troveranno ad affrontare.

Infatti, pur disponendo di macchine e attrezzature sottoposte a continue messe a punto e verifiche in modo che la loro funzionalità sia sempre ottimale, i livelli di esposizione sono risultati a volte elevati. Questo fatto evidenzia le restrizioni della Direttiva.

Si dovrà quindi intervenire al fine di ridurre le vibrazioni che giornalmente mettono a rischio la salute del personale.

Per riscontrare un calo della dose di vibrazioni al disotto della soglia di attenzione nelle attività che superano il valore giornaliero che fa scattare l'azione, potrebbe essere sufficiente equipaggiare le trattrici con sedili nuovi, sostituire i sistemi antivibranti delle macchine portate, utilizzare dispositivi di protezione individuale efficaci e dare una corretta formazione ai dipendenti su un corretto utilizzo delle attrezzature.

Invece, per quanto riguarda i valori che eccedono il limite imposto dalla Direttiva questi accorgimenti rischiano di non essere sufficienti. Sarà quindi indispensabile modernizzare il parco macchine e limitare la durata di esposizione, organizzando turni di lavoro più funzionali e programmando pause più frequenti durante le attività.

Bibliografia

Bovenzi M. (1994). *Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress*. Applied Ergonomics, 25(4): 231-241

Bovenzi M. (1999). *La sindrome da vibrazioni mano-braccio: (I) quadri clinici, relazione esposizione-risposta, limiti di esposizione*. Medicina del Lavoro 1999a; 90: 547-555

Bovenzi M. (1999). *La sindrome da vibrazioni mano-braccio: (II) aspetti diagnostici e criteri di idoneità*. Medicina del Lavoro 1999b; 90: 643-649

Calvo A., Deboli R., Paletto G., Preti C. (2004). *Noise and vibration of chainsaws: a study to test the results repeatability*. Proceedings of the 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise), Prague 22-25 august 2004, Paper n. 171

Calvo A., Deboli R. (2004). *The vibration aspects: operator's safety as requested by new directives*. Resource (ASAE), vol. 11, n. 7

CEN/TC 231/WG2 (2005). Technical Report n. WI 64: *Guideline for the assessment of exposure to hand-transmitted vibration based on information provided by manufacturers of machinery*. Doc. 427, February 2005

Colombini D., Occhipinti E. (2004). *Risultati della valutazione del rischio e del danno in gruppi di lavoratori esposti, in diversi comparti lavorativi, a movimenti e sforzi ripetuti degli arti superiori*. Medicina del Lavoro: 95,3, 233-246

Direttiva Europea 2002/44 del 25 luglio 2002 "sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni)", pubblicata sulla G.U.C.E. L 177 del 6 luglio 2002

Griffin M.J. (1990). *Handbook of human vibration*. Academic Press, London

ISO 2631-1:1997. *Mechanical vibration and shock – Evolution of human exposure to whole-body vibration*

ISO 5349-2 (2001). *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2; Practical guidance for measurement at the workplace*

UNI ISO 7505 (1989). *Macchine forestali – Motoseghe a catena portatili. Misura delle vibrazioni trasmesse alle mani*

Ringraziamenti

Si ringraziano il dott. Christian Preti ed il p.a. Giuseppe Paletto dell'Istituto IMAMOTER-CNR di Torino per la collaborazione nel rilievo ed elaborazione dati. Si

ringrazia altresì la preziosa collaborazione degli addetti del Dipartimento Risorse Naturali della Regione Valle d'Aosta.