

## **ANALISI DEGLI EFFETTI DEL DETERIORAMENTO TEMPORALE E MECCANICO SUI LIVELLI DI VIBRAZIONE EMESSI DA ATTREZZATURE PORTATILI USATE IN AGRICOLTURA**

Danilo Monarca, Massimo Cecchini, Roberto Bedini, Andrea Colantoni

Università degli Studi della Tuscia – Facoltà di Agraria – Dipartimento Gemini, Viterbo

### **1 - PREMESSA**

Il Decreto legislativo n. 81 del 9 aprile 2008 definisce al Titolo VIII - Agenti fisici le metodologie di valutazione del livello di esposizione a vibrazioni, eventualmente considerando le informazioni del livello di emissione delle attrezzature di lavoro, fornite dai fabbricanti [4].

Tali valori risultano essere determinati in condizioni di misura standardizzate, con riferimento a normative tecniche specifiche, relative (in alcuni casi) alla tipologia di macchina prodotta.

Durante la campagna di misure è stato riscontrato una carenza dal punto di vista normativo, in quanto i livelli di emissione per le vibrazioni dichiarati dal costruttore sono stati misurati con riferimento a norme tecniche oggi abrogate e non rinnovate. Una buona manutenzione ed un corretto utilizzo possono mantenere i livelli di vibrazione nei parametri definiti dalla normativa vigente; viceversa un utilizzo eccessivo, senza una corretta manutenzione, può influenzare negativamente la solidità strutturale della macchina con conseguente incremento delle vibrazioni.

Obiettivo della nostra ricerca è determinare la variazione delle accelerazioni trasmesse al sistema mano-braccio, emesse da alcune attrezzature portatili utilizzate in agricoltura, confrontando tali misure con quelle dichiarate dal costruttore, nel rispetto delle normative tecniche già utilizzate dalle case costruttrici.

I valori sono rilevati su macchine usate delle quali è nota la “storia” di impiego.

La nostra ricerca vuole determinare, quindi, per attrezzature portatili come le motoseghe, l’influenza del deterioramento temporale e meccanico, dovuto ad un loro utilizzo nel tempo, sul livello di vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.

I risultati delle prove hanno evidenziato una effettiva influenza del deterioramento temporale e meccanico sulle emissioni degli agenti fisici sopra descritti.

## 2 - MATERIALI E METODI

### 2.1 - STRUMENTAZIONI

Nella determinazione delle emissioni di vibrazioni per le motoseghe, si è fatto riferimento alla norma tecnica UNI ISO 7505 “Macchine forestali – Motoseghe a catena portatili – Misura delle vibrazioni trasmesse alle mani”.

La strumentazione utilizzata per l’effettuazione dei test è la seguente:

- accelerometro triassiale Deltatron® della Brüel & Kjær modello 4506;
- interfaccia a 3 canali per vibrazioni umane Brüel & Kjær modello 1700;
- fonometro integratore Brüel & Kjær modello Investigator 2260.

Prima di effettuare le misure è stata effettuata la calibratura della strumentazione tramite un generatore di vibrazione sinusoidale (calibratore eccitatore Brüel & Kjær modello 4294), in grado di fornire una accelerazione di picco di  $10 \text{ m/s}^2$  RMS alla frequenza di 159,2 Hz [2].

Durante ciascuna serie di misurazioni, il calibratore eccitatore è stato applicato all’accelerometro per verificare la calibrazione dell’intero sistema di misurazione su tutti e tre gli assi ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ) dell’accelerometro.

Gli accelerometri sono stati serrati a un supporto di montaggio leggero. Il supporto è stato fissato alle superfici vibranti mediante fascette monouso ben serrate.

Le accelerazioni equivalenti ( $a_{hw}$ ) sulle impugnature destra e sinistra sono state misurate, come prescritto dalla UNI ISO 7505, al regime minimo, in fase di taglio e al massimo a vuoto.

I valori ottenuti dalla catena di misura delle vibrazioni sono stati ponderati utilizzando il filtro di ponderazione richiesto dalla normativa stessa.

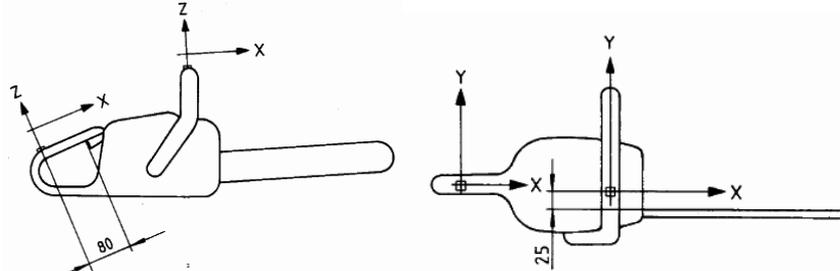
Particolare attenzione è stata posta durante le operazioni di fissaggio degli accelerometri sulle impugnature, per rispettare le direzioni imposte dalla normativa.



**Figura 1:** Accelerometro triassiale Brüel & Kjær Deltatron® 4506; interfaccia a 3 canali per vibrazioni umane Brüel & Kjær 1700; fonometro integratore Brüel & Kjær Investigator 2260.

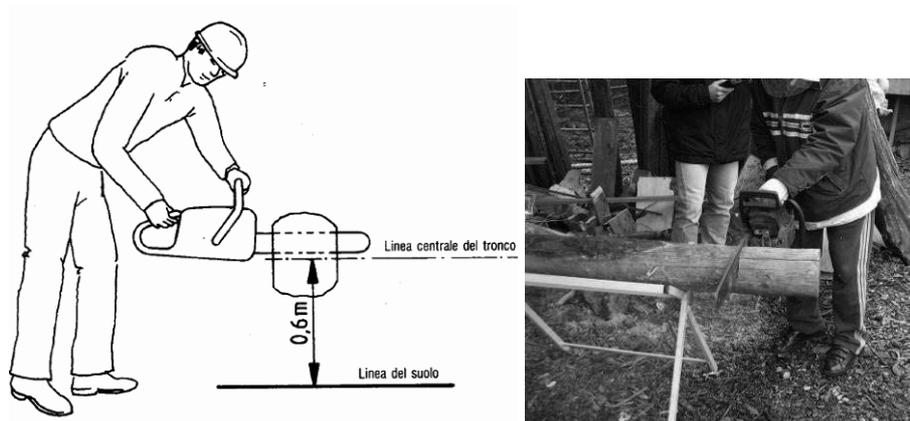
Le diverse direzioni di misura e le posizioni degli accelerometri sono indicate in Figura 2: il centro di gravità degli accelerometri deve essere posizionato ad una

distanza minima di 20 mm dal contorno definito da una sezione trasversale secondo le direzioni  $z$  e  $y$  per l'impugnatura posteriore e le direzioni  $z$  e  $x$  per l'impugnatura anteriore [3].



**Figura 2:** Posizione dell'accelerometro [1]

## 2.2 - DESCRIZIONE DELLE OPERAZIONI



**Figura 3:** Posizione della motosega a catena durante il taglio [1]

La motosega a catena è stata usata in posizione illustrata in Figura 3. Il tronco è stato posizionato orizzontalmente e fissato su un cavalletto rigido con il suo asse centrale a 0,6 m circa dal suolo.

Durante le prove l'operatore impugnava la motosega in modo normale, sufficiente per mantenere un buon controllo e compatibile con un suo uso prolungato. Il ciclo operativo per il rilevamento strumentale delle vibrazioni emesse, è stato costituito dalle seguenti operazioni:

- motore al minimo;
- taglio (pieno carico);
- velocità massima.

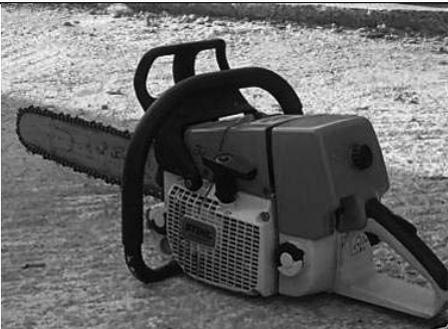
Questa sequenza è stata ripetuta cinque volte per ogni motosega analizzata, ed i risultati dei test sono riassunti nelle tabelle riportate al paragrafo successivo.

- *Minimo* Al minimo, la motosega era tenuta con ambedue le mani nella posizione normalmente usata fra due tagli. La catena doveva restare immobile.
- *Taglio* Durante il taglio (pieno carico) sono state tagliate sezioni trasversali all'asse del tronco con la farfalla completamente aperta; la barra era tenuta in posizione orizzontale e perpendicolare all'asse del tronco per tutta la durata delle prove; la frequenza di rotazione del motore veniva controllata e si doveva evitare il contatto tra la macchina ed il tronco.
- *Massima velocità a vuoto* Alla massima velocità a vuoto, la motosega era tenuta con ambedue le mani nella posizione normalmente usata fra due tagli. La frequenza di rotazione è stata maggiore del 133% a quella corrispondente alla massima potenza della macchina. Per le prove è stato utilizzato un tronco sano, ben conformato, proveniente da un albero abbattuto di recente in provincia di Viterbo; il taglio è stato effettuato presso delle porzioni del tronchetto esenti da nodi.

### 3 - RISULTATI

I risultati delle prove sono riassunti nelle tabelle seguenti, nelle quali si riportano anche alcuni dati tecnici delle macchine in prova, l'anno di immatricolazione e le accelerazioni alle impugnature dichiarate dai costruttori.

**Tabella 1:** Dati tecnici e rilevamenti delle vibrazioni emesse

<b>ATTREZZATURA N.1</b>						
Motosega a catena						
<b>MODELLO</b>						
STHIL MS 460						
<b>CILINDRATA (cm<sup>3</sup>)</b>						
76,5						
<b>POTENZA kW</b>						
4,4						
<b>MISURE</b>	<b>IMPUGNATURA ANTERIORE</b>			<b>ACCELERAZIONE EQUIVALENTE (a<sub>h,w</sub>) m/s<sup>2</sup></b>		
				<b>IMPUGNATURA POSTERIORE</b>		
	<b>Minimo</b>	<b>Pieno carico</b>	<b>V<sub>max</sub></b>	<b>Minimo</b>	<b>Pieno carico</b>	<b>V<sub>max</sub></b>
<b>1</b>	8,2	3,7	1,9	5,5	4,3	2,8
<b>2</b>	7,8	3,5	2,3	5,8	4,2	3,0
<b>3</b>	8,5	3,8	2,0	5,4	3,9	3,1
<b>4</b>	8,2	4,1	1,7	5,2	3,7	2,7
<b>5</b>	7,7	4,0	1,9	5,5	4,3	2,8
<b>a<sub>h,w</sub> (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>4,62</b>			<b>4,15</b>		
<b>ANNO DI IMMATRICOLAZIONE</b>	<b>2006</b>					
<b>VIBRAZIONI DICHIARATE DA COSTRUTTORE</b>	<b>4,1 m/s<sup>2</sup></b>					

**Tabella 2:** Dati tecnici e rilevamenti delle vibrazioni emesse

<b>ATTREZZATURA N.2</b>						
Motosega a catena						
<b>MODELLO</b>						
JONSERED 625II						
<b>CILINDRATA (cm<sup>3</sup>)</b>						
62,3						
<b>POTENZA kW</b>	3,2					
<b>MISURE</b>	<b>IMPUGNATURA ANTERIORE</b>			<b>ACCELERAZIONE EQUIVALENTE (a<sub>h,w</sub>) m/s<sup>2</sup></b>		
	<b>IMPUGNATURA POSTERIORE</b>					
	<b>Minimo</b>	<b>Pieno carico</b>	<b>V<sub>max</sub></b>	<b>Minimo</b>	<b>Pieno carico</b>	<b>V<sub>max</sub></b>
<b>1</b>	1,21	8,36	5,34	2,15	6,21	3,22
<b>2</b>	1,19	8,41	5,37	2,19	4,20	3,20
<b>3</b>	1,20	8,38	5,33	2,17	3,90	3,17
<b>4</b>	1,17	8,34	5,29	2,15	3,70	3,25
<b>5</b>	1,23	8,37	5,32	2,20	4,30	3,24
<b>a<sub>h,w</sub> (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>8,36</b>			<b>7,32</b>		
<b>IMMATRICOLAZIONE</b>	<b>2005</b>					
<b>VIBRAZIONI DICHIARATE DA COSTRUTTORE</b>	<b>6,1 m/s<sup>2</sup></b>					

**Tabella 3:** Dati tecnici e rilevamenti delle vibrazioni emesse

<b>ATTREZZATURA N.3</b>						
Motosega a catena						
<b>MODELLO</b>						
STHIL MS 660						
<b>CILINDRATA (cm<sup>3</sup>)</b>						
50,2						
<b>POTENZA kW</b>	2,6					
<b>MISURE</b>	<b>IMPUGNATURA ANTERIORE</b>			<b>ACCELERAZIONE EQUIVALENTE (a<sub>h,w</sub>) m/s<sup>2</sup></b>		
	<b>IMPUGNATURA POSTERIORE</b>					
	<b>Minimo</b>	<b>Pieno carico</b>	<b>V<sub>max</sub></b>	<b>Minimo</b>	<b>Pieno carico</b>	<b>V<sub>max</sub></b>
<b>1</b>	4,8	1,5	4,9	9,5	6,8	7,3
<b>2</b>	5,2	1,6	5,3	10,3	7,2	7,6
<b>3</b>	5,0	1,4	5,2	11,2	7,0	7,0
<b>4</b>	4,7	1,7	5,0	9,9	6,9	6,7
<b>5</b>	5,4	1,5	5,1	9,7	7,3	7,2
<b>a<sub>h,w</sub> (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>3,89</b>			<b>7,67</b>		
<b>IMMATRICOLAZIONE</b>	<b>2006</b>					
<b>VIBRAZIONI DICHIARATE DA COSTRUTTORE</b>	<b>4,4 m/s<sup>2</sup></b>					

**Tabella 4:** Dati tecnici e rilevamenti delle vibrazioni emesse

<b>ATTREZZATURA N.4</b>						
Motosega a catena						
<b>MODELLO</b>						
ECHO CS-4400						
<b>CILINDRATA (cm<sup>3</sup>)</b>						
43,5						
<b>POTENZA kW</b>						
2,2						
<b>MISURE</b>	<b>IMPUGNATURA ANTERIORE</b>			<b>ACCELERAZIONE EQUIVALENTE (a<sub>h,w</sub>) m/s<sup>2</sup></b>		
				<b>IMPUGNATURA POSTERIORE</b>		
	<b>Minimo</b>	<b>Pieno carico</b>	<b>V<sub>max</sub></b>	<b>Minimo</b>	<b>Pieno carico</b>	<b>V<sub>max</sub></b>
<b>1</b>	6,6	11,6	7,2	7,6	10,10	7,7
<b>2</b>	7,0	10,3	7,7	7,9	12,0	8,0
<b>3</b>	6,5	12	6,9	7,3	10,8	7,6
<b>4</b>	5,8	11,7	7,8	8,1	10,0	7,9
<b>5</b>	6,4	12,3	8,0	7,5	10,4	8,1
<b>a<sub>h,w</sub> (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>8,48</b>			<b>8,67</b>		
<b>IMMATRICOLAZIONE</b>	<b>2005</b>					
<b>VIBRAZIONI DICHIARATE DA COSTRUTTORE</b>	<b>11,1 m/s<sup>2</sup></b>					



#### 4 - CONCLUSIONI

I materiali hanno una elasticità variabile in funzione dello stato di aggregazione proprio di ogni singola parte che li compone. In linea generale, una perturbazione esterna al materiale determina un moto oscillatorio, rispetto alla situazione di equilibrio, producendo le vibrazioni meccaniche.

Bisogna anche considerare, le perturbazioni interne derivate dallo stato funzionale e di assemblaggio dei singoli componenti e materiali che costituiscono l' attrezzatura. Quest'ultime possono incidere negativamente sul totale delle vibrazioni percepite dal lavoratore, in quanto possono sommarsi alle vibrazioni tipicamente create dall'attività lavorativa propria della macchina.

La normativa, comunitaria e nazionale, prevede una valutazione delle vibrazioni prodotte dalla macchina, soprattutto in fase progettuale, cercando di ridurle attraverso sistemi tecnici atti ad intervenire direttamente sulle parti meccaniche anche mediante sistemi antivibranti (es. smorzatori o impugnature antivibrazioni).

Un utilizzo continuo e costante dell'attrezzatura comporta inesorabilmente una riduzione della capacità di tali sistemi di smorzare le vibrazioni prodotte dalla macchina.

Il nostro studio è mirato a verificare l'influenza del deterioramento dell'attrezzatura sulle prestazioni della stessa, determinando il valore di emissione delle vibrazioni dopo un certo periodo di utilizzo. Considerando i valori dichiarati dalle case costruttrici trascritti sui comuni libretti d'uso e manutenzione, e facendo riferimento

all'anno di acquisto delle macchine in esame, si è rilevato un incremento effettivo del livello di vibrazioni rispetto a quanto dichiarato dai costruttori (macchina nuova). In particolare per le STHIL MS 660, STHIL MS 460 e JONSERED 625II, si ha un evidente superamento dei valori dichiarati, con un aumento in media del 41% circa dei livelli di vibrazione. Queste ultime macchine, tutte di recente produzione e utilizzate da solo 2-3 anni, sono state utilizzate, a differenza della ECHO CS-4400, per un numero annuo di ore di lavoro molto elevato. La ECHO CS-4400, pur presentando valori di emissione elevati, non evidenzia un peggioramento prestazionale nel tempo: addirittura i valori rilevati sulla macchina in esame risultano inferiori a quelli dichiarati dal costruttore. Occorre tuttavia evidenziare che la macchina in prova è stata impiegata per un numero di ore molto ridotto.

In conclusione emergono, dal presente lavoro, alcune osservazioni.

In primis si può affermare che i valori di vibrazione dichiarati dalle case costruttrici, in conformità alla direttiva macchine, possono essere utili termini di riferimento per comprendere orientativamente i livelli di esposizione dei lavoratori addetti all'uso.

Tali valori potrebbero, però, sottovalutare la gravosità di determinate attività, condotte non sempre in condizioni simili a quelle delle prove standard di riferimento, e inoltre non tengono conto dello stato d'uso della macchina.

Ad ogni modo, solo le misurazioni effettuate presso la postazione di lavoro consentono una definizione accurata del livello di vibrazioni generato da un macchinario o un utensile.

Quanto sopra giustifica il nuovo approccio legislativo in materia di valutazione del rischio da vibrazioni [4] rispetto al precedente D.Lgs. 187/2005 (abrogato) il quale dava priorità alla valutazione con riferimento ad accelerazioni ricavate da banche dati accreditate rispetto alla valutazione con misure dirette.

Risulta inoltre evidente l'importanza della manutenzione del macchinario al fine di garantire il mantenimento delle prestazioni dello stesso, anche in riferimento alle vibrazioni trasmesse all'operatore.

Vale la pena, infine, sottolineare l'importanza della formazione e dell'addestramento del personale addetto all'uso di macchine che trasmettono vibrazioni al sistema mano-braccio: gli obiettivi di tali interventi formativi sono soprattutto quelli di far apprendere le corrette modalità di impiego della macchina, come ad esempio la giusta postura, la corretta forza di prensione da adottare, le pause di lavoro ecc.

## **5 - BIBLIOGRAFIA**

- [1] UNI ISO 7505:1989 Macchine forestali motoseghe a catena portatili. Misura delle vibrazioni trasmesse alle mani.
- [2] UNI EN ISO 5349-1:2004 Vibrazioni meccaniche - Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano - Parte 1: Requisiti generali
- [3] UNI EN ISO 5349-2:2004 Vibrazioni meccaniche - Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano - Parte 2: Guida pratica per la misurazione al posto di lavoro.

[4] Decreto legislativo n. 81 del 9 aprile 2008 - Titolo VIII Agenti fisici.

*L'apporto degli autori al presente lavoro è da ritenersi paritario.*