

MISURE SPERIMENTALI DI VIBRAZIONI GENERATE DA UNO SCUOTITORE PORTATILE.

V. Panaro, S.Pascuzzi, F.Santoro

Dipartimento Pro.Ge.S.A. Sezione Meccanica - Università degli Studi di Bari

RIASSUNTO

Nel settore delle macchine agricole, la emissione di rumore è accompagnata, nella maggior parte dei casi, da emissioni di vibrazioni che possono causare patologie per gli operatori.

Si sono rilevati i livelli di vibrazioni emessi da una macchina molto utilizzata per le operazioni di raccolta delle olive in Puglia, laddove l'utilizzo di una macchina scuotitrice tradizionale diventa anti-economico o, addirittura, risulta impedito per le ridotte dimensioni dei sestri di impianto e/o per l'accidentalità dei percorsi. La macchina presa in considerazione è uno scuotitore di piccole dimensioni portato a spalla dall'operatore, azionato da un motore ad accensione per scintilla, che genera vibrazioni monodirezionali alternative mediante un dispositivo biella-manovella.

I valori dell'accelerazione e equivalente ponderata riferita alle 8 ore di lavoro sono risultati i seguenti:

$A(8) = 25.6 \text{ m/s}^2$ (accelerometro disposto sull'impugnatura anteriore)

$A(8) = 11.6 \text{ m/s}^2$ (accelerometro disposto sull'impugnatura posteriore)

Considerata la natura avventizia dei lavoratori che generalmente utilizzano questo scuotitore portatile, risulta plausibile assumere per costoro una esposizione al rischio di un solo anno. Con questa ipotesi i suddetti valori sono al di sotto di quello limite (26.0 m/s^2), in corrispondenza del quale esiste il 10% di probabilità che si manifesti la sindrome di Raynaud.

Parole chiave: Scuotitori, vibrazioni, raccolta meccanica delle olive

1. INTRODUZIONE

L'importanza degli aspetti ergonomici e di prevenzione dei rischi correlati alla progettazione e all'utilizzo delle macchine agricole era poco avvertita in passato; solo da qualche decennio, con lo sviluppo della meccanizzazione, si è percepita la necessità di analizzare le diverse problematiche collegate al rischio di infortuni, all'affaticamento degli operatori ed alla insorgenza di malattie professionali [1,2,4].

In proposito occorre considerare che nel settore delle macchine agricole, la emissione di rumore è accompagnata, nella maggior parte dei casi, da emissioni di vibrazioni che possono causare patologie per gli operatori [3,5].

E' noto che l'esposizione umana a vibrazioni meccaniche può rappresentare un fattore di rischio rilevante per i lavoratori esposti. L'angiopatia e l'osteoartropatia da vibranti sono riconosciute come malattie professionali dalla Commissione dell'Unione Europea (90/326/EEC, Annex I, voci 505.01 e 505.02) e dalla legislazione del nostro Paese (D.P.R. 336/94: (i) voce 52 della tabella delle malattie professionali nell'industria; (ii) voce 27 della tabella delle malattie professionali nell'agricoltura, limitatamente alle lavorazioni forestali con uso di motoseghe portatili). Le sole osteoangioneurosi da vibranti costituiscono nel nostro Paese la quinta causa di malattia professionale indennizzata dall'INAIL. Tuttavia in Italia non esistono ancora disposizioni normative specifiche in materia di rischio da esposizione a vibrazioni, che definiscano una politica generale di prevenzione in termini di misure tecniche, organizzative e procedurali tese alla tutela dei lavoratori esposti a vibrazioni, analogamente a quanto prevede il D. Lgs. 277/91 in relazione all'esposizione lavorativa al rumore [6,7]. D'altra parte, l'obbligo di valutare il rischio e di attuare le appropriate misure di prevenzione, protezione e sorveglianza sanitaria, stabilito in generale per tutti i fattori di rischio dal D. Lgs. 626/94, vale anche per l'esposizione professionale alle vibrazioni. Va ricordato in proposito che per questo agente di rischio è ancora in vigore l'articolo 24 del D.P.R. 303/56 "Rumori e scuotimenti" che recita: "Nelle lavorazioni che producono scuotimenti, vibrazioni o rumori dannosi ai lavoratori, devono adottarsi i provvedimenti consigliati dalla tecnica per diminuirne l'intensità".

Il principale riferimento per la misurazione e la valutazione del rischio di esposizione professionale alle vibrazioni al sistema mano-braccio è costituito dallo standard ISO 5349 [12,13], che è anche norma europea sperimentale ENV 25349: 1992. Per quanto riguarda le vibrazioni al corpo intero, il riferimento tecnico per la misurazione e la valutazione del rischio di esposizione professionale è costituito dallo standard ISO 2631 [8,9,10,11].

I criteri valutativi definiti dallo standard internazionale ISO 5349, discussi nel seguito, rappresentano attualmente il quadro di riferimento principale ai fini della prevenzione del rischio da esposizione a vibrazioni mano-braccio, ed a questi è ancorata la normativa comunitaria in materia di prevenzione del rischio da esposizione a vibrazioni. L'esposizione a vibrazioni mano-braccio generate da utensili portatili e/o da manufatti impugnati e lavorati su macchinario fisso è associata ad un aumentato rischio di insorgenza di lesioni vascolari, neurologiche e muscolo-scheletriche a carico del sistema mano-braccio. L'insieme di tali lesioni è definito Sindrome da Vibrazioni Mano-Braccio.

Le metodiche valutative del rischio da esposizione a vibrazioni, si basano sulla misura del valore quadratico medio (r.m.s.) dell'accelerazione ponderata in frequenza, espresso in m/s^2 e rilevato lungo ciascuna delle tre componenti assiali del vettore accelerazione [12,13]:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_w^2(t) dt}$$

In proposito, la normativa ISO 5349 definisce: il sistema di assi cartesiani (**Figura 1**); la curva di ponderazione in frequenza W_h uguale per i tre assi di misura dell'accelerazione (**Figura 2**); il filtro di ponderazione "lineare" W_{lin} , (**Figura 3**).
 Da tali grafici emerge che l'intervallo di frequenze di interesse è $8 \div 1000$ Hz.
 Inoltre, due esposizioni quotidiane a vibrazioni - di entità a_{w1} ed a_{w2} e di durata rispettivamente T_1 e T_2 , risultano equivalenti, in relazione ai possibili rischi sulla salute, se risulta:

$$a_{w1} \cdot \sqrt{T_1} = a_{w2} \cdot \sqrt{T_2}$$

Sulla base di questa relazione che rappresenta il cosiddetto principio di eguale energia, viene quantificata l'esposizione a vibrazioni mano-braccio mediante la valutazione dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro (4 ore dalla ISO 5349: 1986), convenzionalmente denotata con il simbolo $A(8)$.

L'accelerazione equivalente, misurata in m/s^2 ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro si calcola mediante la seguente espressione:

$$A(8) = A_{(w)sum} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{8}}$$

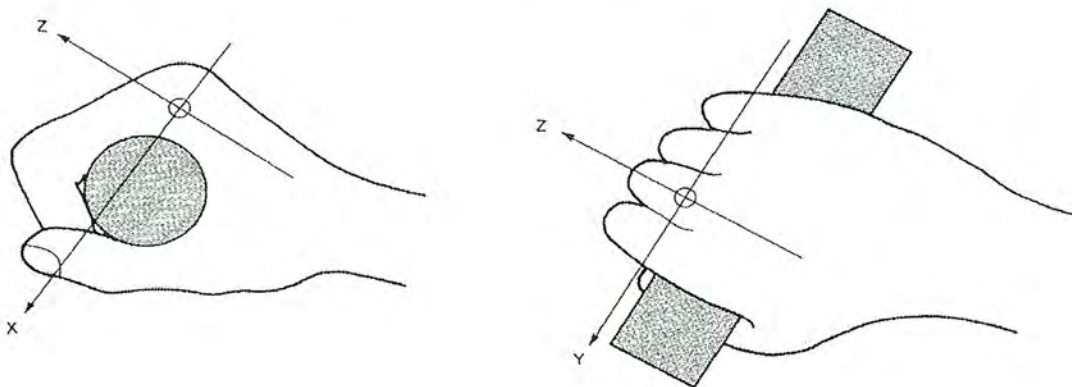
dove:

T_e : Durata complessiva giornaliera di esposizione a vibrazioni (ore)

$A_{(w)sum} : (a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2)^{1/2}$

a_{wi} : Valore r.m.s dell'accelerazione ponderata in frequenza (in m/s^2) lungo l'asse $i = x, y, z$.

Figura 1: Definizione degli assi di misura (ISO 5349)



Nel caso in cui il lavoratore sia esposto a differenti valori di vibrazioni, come nel caso di impiego di più utensili vibranti nell'arco della giornata lavorativa, l'esposizione quotidiana a vibrazioni $A(8)$, in m/s^2 , sarà ottenuta mediante l'espressione:

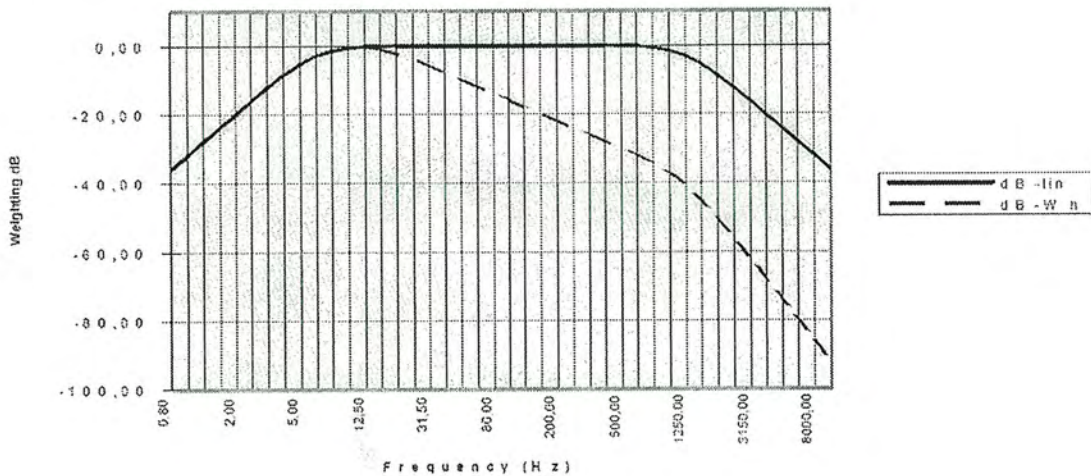
$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \sum_{i=1}^n A_{(w)sum,i}^2 \cdot T_i}$$

dove:

$A_{(w)sum,i}^2$: somma vettoriale dell'accelerazione ponderata in frequenza relativa all'operazione i-esima

T_i : Tempo di esposizione relativo alla operazione i-esima (ore)

Figura 2: Definizione curve di ponderazione Wlin e Wh (ISO 5349)



I criteri igienistici formulati nell'ambito degli attuali standard e linee guida si basano sulle previsioni di prevalenza del fenomeno di Raynaud, a seguito dell'esposizione a vibrazioni mano-braccio; tali criteri risultano sufficientemente cautelativi, anche ai fini della prevenzione di altri effetti patologici a carico degli arti superiori, associati all'esposizione a vibrazioni.

L'istogramma di Figura 3 riporta, in funzione degli anni di esposizione, i valori di esposizione a vibrazioni $A(8)$ che, allo stato attuale delle conoscenze, possono indurre il 10% di prevalenza del fenomeno di Raynaud.

Occorre ricordare, inoltre, che nella proposta di Direttiva UE 94/C230/03 il rischio da esposizione a vibrazioni mano-braccio viene valutato mediante l'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro e si introducono i limiti riportati in Tabella 1.

In questa tabella, il "livello di soglia" rappresenta il valore al di sotto del quale un'esposizione permanente e/o ripetitiva non ha conseguenze negative per la salute del soggetto esposto; il "livello d'azione" è, invece, il valore di esposizione al di sopra del quale è necessario attuare specifiche misure di tutela per i soggetti esposti.

Figura 3: Valori di esposizione a vibrazioni A(8) che possono indurre il 10% di prevalenza del fenomeno di Raynaud, in funzione degli anni di esposizione.

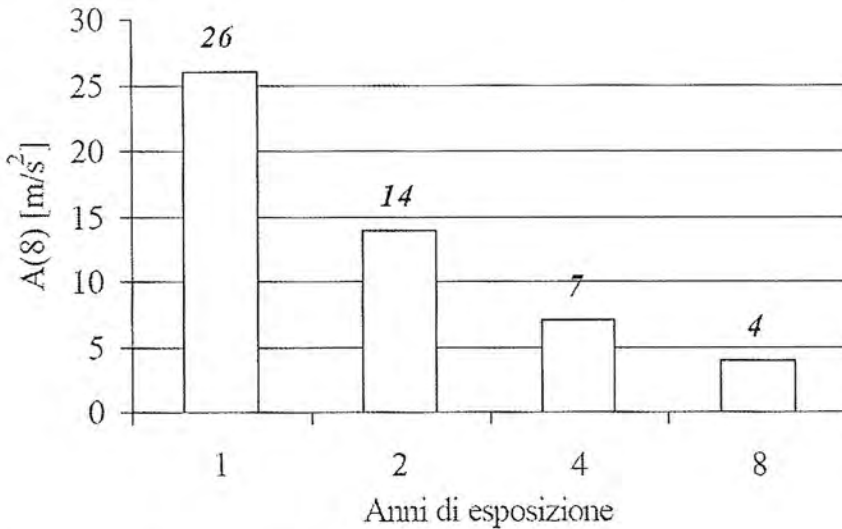


Tabella 1: Livelli di rischio previsti dalla proposta di direttiva UE 94/C230/03 per l'esposizione alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio

Livello di soglia	$A(8) = 1 \text{ m/s}^2$
Livello di azione	$A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$
Valore limite	$A(8) = 5 \text{ m/s}^2$
Livello di rischio rilevante	$a_{w \text{ eq}} = 20 \text{ m/s}^2$

Tali misure includono la formazione dei lavoratori sul rischio specifico, l'attuazione di interventi mirati alla riduzione del rischio, il controllo sanitario periodico dei soggetti esposti.

Il "valore limite" rappresenta il livello di esposizione il cui superamento è vietato, in quanto comporta un rischio inaccettabile per il soggetto che vi sia esposto in assenza di dispositivi di protezione.

Esposizioni a vibrazioni di livello superiore a 20 m/s^2 , anche se di brevissima durata, sono vietate; tale valore rappresenta il "livello di rischio rilevante".

Partendo dalle suddette considerazioni, il Dipartimento di Progettazione e Gestione dei Sistemi Agro-Zootecnici (Sezione Meccanica) dell'Università degli Studi di Bari, che da anni si occupa di tematiche di ricerca inerenti alla filiera olearia, nell'ambito di una Ricerca Cofinanziata dal MIUR, ha organizzato una prima serie di rilievi strumentali mirati alla determinazione dei livelli di esposizione degli operatori alle vibrazioni durante la fase di scuotitura per la raccolta delle olive. Nel caso specifico è stato utilizzato uno scuotitore di piccole dimensioni portato a spalla dall'operatore, che rappresenta un attrezzo largamente usato in alcune zone della Puglia, laddove l'utilizzo di una macchina scuotitrice tradizionale diventa antieconomico o, addirittura, ne viene impedito per le ridotte dimensioni dei sestri di impianto e/o per l'accidentalità dei percorsi. Questi attrezzi sono azionati da un

motore ad accensione per scintilla di limitata potenza che genera vibrazioni monodirezionali alternative mediante un dispositivo biella-manovella. I rilievi dei livelli di vibrazione sono stati effettuati presso un'azienda olivicola, in agro di Bitonto (BA), rappresentativa delle aziende olivicole del Nord barese, sia dal punto di vista dell'estensione sia del cultivar ("Ogliarola").

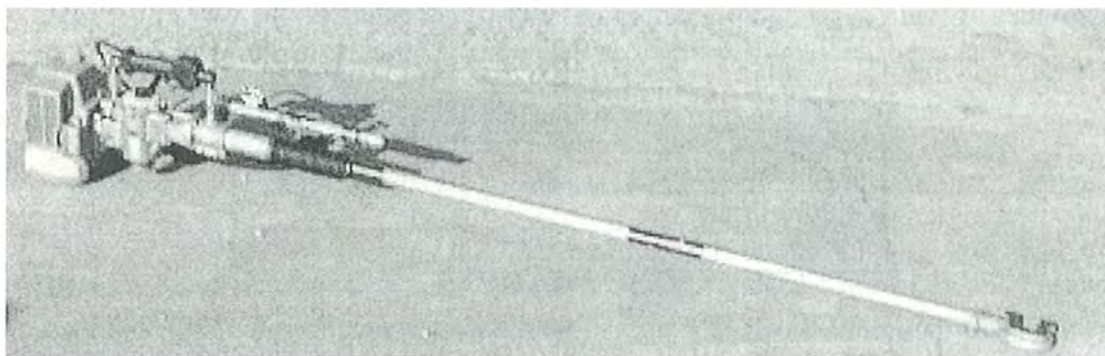
Nella presente nota si riportano i risultati di tale indagine.

2. MATERIALI E METODI

Si è proceduto ad effettuare rilievi strumentali di vibrazioni durante la fase di scuotitura su uno scuotitore portato a spalla prodotto dalla Ditta IRRIMAC modello "Vibrotek AM 520"; avente massa totale di circa 12 kg e funzionante con un motore due tempi di 1.5 kW.

Tale motore induce un moto alternativo in un'asta in lega leggera allungabile fino a tre metri, alla cui sommità è presente un gancio, rivestito di gomma, che consente la presa dei rami di ridotte dimensioni (circa 50 mm).

Foto 1: Macchina scuotitrice portatile.



Ci si è riferiti alla normativa UNI ISO 7916 [14], riguardante l'impiego e le modalità di test delle motoseghe; questa scelta si è resa necessaria dal momento che non esiste una specifica normativa sull'uso e sulle procedure di verifica degli apparecchi per la scuotitura dei rami.

Pertanto, è stata realizzata una catena di misure così composta:

- 1 accelerometro triassiale Brüel & Kjær 4326;
- 1 amplificatore di carica;
- 1 fonometro Brüel & Kjær 2231;
- 1 analizzatore in frequenza in bande di 1 ottava e 1/3 di ottava Brüel & Kjær 2143 bicanale;
- 1 registratore dati Herm DAT digitale ad 8 canali, collegato al fonometro;
- 1 calibratore Brüel & Kjær 4294, con frequenza di campionamento di 159,2 Hz, segnale in uscita di 10 m/s² e tempo di calibrazione di 103 s.

Si è proceduto dapprima ad effettuare sullo scuotitore portatile una verifica delle unzionalità del carburatore e del dispositivo di accensione secondo le istruzioni del costruttore; quindi il motore è stato preriscaldato per circa due ore, in modo da non avere irregolarità nel regime di rotazione.

Il serbatoio del combustibile, infine, della capacità di 2.5 litri, allo scopo di simulare le condizioni operative medie, è stato riempito per metà (circa 1.3 litri).

Le prove di vibrazione indotte nel sistema mano-braccio del conduttore dello scuotitore portatile, sono consistite nel posizionamento dell'accelerometro triassiale Brüel & Kjær 4326 sia sull'impugnatura anteriore sia su quella posteriore dello scuotitore; questo sensore è stato fissato alle suddette impugnature, secondo quanto prescritto dalla normativa UNI ISO 7916, mediante resine epossidiche bicomponenti e fascette di fissaggio in nylon.

I dati rilevati dal sensore venivano inviati alla scheda di acquisizione accelerometrica triassiale Brüel & Kjær 2522.

Le accelerazioni equivalenti ($a_{h,w}$) sulle impugnature anteriore e posteriore sono state misurate in tre condizioni operative: al regime minimo del motore (circa 1.100 giri/min), in fase di scuotimento (regime variabile) e al massimo regime (circa 6.000 giri/min); per ciascuno dei suddetti regimi, prima di effettuare i rilievi, si è proceduto alla calibrazione degli strumenti.

I valori di vibrazioni ottenuti sono stati ponderati utilizzando il filtro di ponderazione richiesto dalla normativa UNI ISO 7916.

3. RISULTATI OTTENUTI

I valori massimi di accelerazione, riscontrati con l'accelerometro disposto sull'impugnatura anteriore sullo scuotitore portatile, si sono avuti sempre in direzione dell'asse x ovvero nella direzione verticale; questo in qualsiasi condizione di funzionamento della macchina (**Tabella 2**).

Tabella 2: Risultati dei rilievi di vibrazione condotti con l'accelerometro disposto sull'impugnatura anteriore dello scuotitore portatile

Descrizione prova	Asse X			Asse Y			Asse Z			Comp. a_{eq} m/s ²
	a_{eq} m/s ²	Max m/s ²	Freq. Hz	a_{eq} m/s ²	Max m/s ²	Freq. Hz	a_{eq} m/s ²	Max m/s ²	Freq. Hz	
Regime minimo (a vuoto)	3,21	2,09	31,5	0,90	0,42	31,5	2,77	1,34	31,5	4,3
Regime Massimo (a vuoto)	51,4	36,3	50	29,7	27,2	50	33,1	27,2	50	68,0
Regime in Condizioni operative	32,8	28,7	31,5	9,31	7,48	31,5	1,18	0,72	31,5	34,1

Disponendo l'accelerometro sull'impugnatura posteriore, invece, la massima accelerazione si è avuta in direzione dell'asse x verticale in condizioni di funzionamento a vuoto con motore al minimo; per altro verso, in direzione dell'asse y trasversale alla macchina si sono riscontrati i valori più elevati di accelerazione nelle condizioni di funzionamento: 1. regime massimo (a vuoto) e 2 condizioni operative (**Tabella 3**).

Tabella 3: Risultati dei rilievi di vibrazione condotti con l'accelerometro disposto sull'impugnatura posteriore dello scuotitore portatile

Descrizione prova	Asse X			Asse Y			Asse Z			Comp.
	a_{eq}	Max	Freq.	a_{eq}	Max	Freq.	a_{eq}	Max	Freq.	a_{eq}
	m/s ²	m/s ²	Hz	m/s ²	m/s ²	Hz	m/s ²	m/s ²	Hz	m/s ²
Regime minimo (a vuoto)	3,41	2,24	31,5	1,75	1,17	31,5	1,12	0,49	16	4,0
Regime massimo (a vuoto)	6,98	3,84	160	19,6	18,1	50	7,01	3,97	50	21,9
Regime in condizioni operative	8,05	6,07	31,5	12,0	8,30	31,5	5,3	4,0	31,5	15,4

Nelle condizioni operative, inoltre, i valori ottenuti componendo vettorialmente le accelerazioni relative alle tre direzioni risultano di 34,1 m/s² con l'accelerometro disposto sull'impugnatura anteriore; di 15,4 m/s² con l'accelerometro montato sull'impugnatura posteriore.

4. CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

I risultati delle prove effettuate, da considerarsi introduttive per questa tipologia di macchina, evidenziano differenti accelerazioni nelle tre direzioni ortogonali. Al fine della valutazione degli effetti dannosi sul sistema mano-braccio indotti dall'attrezzatura in esame, si è assunto un tempo di effettiva esposizione giornaliero alle vibrazioni di 4.30 ore. Questo valore è stato ottenuto considerando un tempo di lavoro giornaliero di 8.00 ore e stimando i tempi di inattività dovuti alle fasi di avviamento dell'attrezzo e di rifornimento carburante; si quindi tenuto conto per un verso che il funzionamento dello scuotitore avviene a regime di minimo, durante lo spostamento dell'operatore da un albero all'altro, e, per altro verso, che la fase di scuotitura vera e propria ha una durata estremamente ridotta rispetto al tempo di utilizzo dell'attrezzo.

Sulla base di quanto esposto, i valori dell'accelerazione equivalente ponderata riferita alle 8 ore di lavoro risultano i seguenti:

$$A(8) = 25.6 \text{ m/s}^2 \text{ (accelerometro disposto sull'impugnatura anteriore)}$$

$$A(8) = 11.6 \text{ m/s}^2 \text{ (accelerometro disposto sull'impugnatura posteriore)}$$

Considerata la natura avventizia dei lavoratori che generalmente utilizzano questo scuotitore portatile, risulta plausibile assumere per costoro una esposizione al rischio di un solo anno. Con questa ipotesi i suddetti valori sono al di sotto di quello limite (26.0 m/s²), in corrispondenza del quale esiste il 10% di probabilità che si manifesti la sindrome di Raynaud.

Nonostante ciò, occorre evidenziare che durante le prove si sono prodotti livelli di accelerazione notevolmente alti e, in taluni condizioni, superiori ai valori limite; questa verifica ha fatto emergere la necessità di realizzare ulteriori approfondimenti, in termini di misure di accelerazioni, da realizzarsi su scuotitori della stessa tipologia di quello provato, ma provenienti da aziende concorrenti.

Questo studio comparativo consentirebbe di valutare eventuali anomalie strutturali di siffatti attrezzi e, principalmente, di mettere a punto dei criteri progettuali utili per le Ditte costruttrici in modo che queste, nel rispetto delle loro esigenze di produttività e competitività, immettano sul mercato macchine scuotitrici portatili più confortevoli per gli operatori.

BIBLIOGRAFIA

- [1] CONSORTI S.B., MONARCA D., CECCHINI M. "Rumore: esperienze di valutazione, prevenzione e bonifica in ambiente agricolo", Atti del convegno nazionale "Rumore e vibrazioni", Modena, ottobre 1994.
- [2] COSA M. et AL. "Rumore e vibrazioni. Effetti, valutazioni e criteri di difesa", Rimini, 1990.
- [3] CYRÍL M. HARRIS "Manuale di controllo del rumore", Tecniche Nuove, Milano, 1989.
- [4] ENAMA "La Sicurezza delle macchine agricole". In "L'agrotecnico oggi", novembre 2000.
- [5] THOMSON T. W. "Vibrazioni meccaniche", Tamburini Editore, 1974.
- [6] D. Lgs. 15 agosto 1991, n.277; D. Lgs. 19 settembre 1994, n.626 e successive modificazioni ed integrazioni.
- [7] Direttiva 98/37/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 giugno 1998 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine
- [8] ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements.
- [9] ISO 2631-2:2003 Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz).
- [10] ISO 2631-4:2001 Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems.
- [11] ISO 2631-5:2004 Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks.

- [12] ISO 5349-1:2001 Mechanical vibration -- Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration -- Part 1: General requirements.
- [13] 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.
- [14] ISO 7916:1989 Forestry machinery -- Portable brush-saws -- Measurement of hand-transmitted vibration.