

VIBRAZIONI PRODOTTE DA MOTOCOLTIVATORI

A. Peretti (1), M. Peruzzi (2), M. Bellomi (3), A. Fiorio (3), L. Gaburro (3),
E. Azzaretto (4), L. Tronchin (5), A. Farina (6)

- (1) Istituto di Medicina del Lavoro, Università di Verona
- (2) SPISAL, ULSS 24, S. Bonifacio (Verona)
- (3) SPISAL, ULSS 27, Bovolone (Verona)
- (4) Laboratorio Agenti Fisici, Dip. Igiene Lavoro, ISPESL, Monteporzio Catone (Roma)
- (5) Istituto di Fisica Tecnica, Università di Bologna
- (6) Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Parma

1. Introduzione

I motocoltivatori sono piccole trattrici ad un solo asse a cui possono essere applicati diversi attrezzi (frese, barre falcianti, aratri, ecc.); tali macchine sono caratterizzate da un manubrio (stegole), le cui estremità vengono impugnate dall'operatore che segue a piedi e guida il mezzo. I motocoltivatori presentano notevoli vantaggi rispetto alle trattrici a due assi; in particolare, visibilità, manovrabilità, economia di impiego. Vengono utilizzati nel caso che la pendenza dei terreni, le condizioni di accesso o le scarse estensioni degli appezzamenti rendano inutilizzabile o antieconomico l'uso delle normali trattrici.

I motocoltivatori e le altre macchine con guida a stegole sostanzialmente analoghe (motoagricole, motofalciatrici, motozappe) hanno dato un contributo significativo allo sviluppo della meccanizzazione agricola del nostro Paese; si pensi che il parco complessivo di tali mezzi raggiunge circa 1.5 milioni di unità.

2. Materiali e metodi

Sono stati esaminati 6 motocoltivatori nuovi di fabbrica, dotati di motore monocilindrico a 4 tempi (tabella 1).

Le macchine sono state controllate in funzione a vuoto (a mezzo fermo) ed in lavorazione durante le operazioni di fresatura. In ambedue le condizioni, i motori sono stati posti ad un regime di rotazione pari a quello medio e le impugnature dei motocoltivatori sono state trattenute dall'addetto con entrambe le mani. Durante la lavorazione, l'addetto ha seguito a piedi il mezzo, assumendo la normale posizione operativa; la fresatura è stata effettuata sul medesimo terreno (di medio impasto) appena arato, predisponendo i motocoltivatori in prima marcia.

Nel corso della ricerca è stato impiegato un registratore a nastro magnetico digitale (DAT) Teac RD 200T e i seguenti strumenti della Bruel & Kjaer: un calibratore 4294, un accelerometro triassiale 4321, tre micro-accelerometri monoassiali 4374, sei amplificatori di carica 2635, un analizzatore digitale di frequenza in tempo reale 2131, uno strumento di misura delle vibrazioni 2511-WH0454 (dotato del filtro di ponderazione definito dalla ISO 5349 [1]), un analizzatore statistico di livello 4426, un registratore grafico di livello 2306

I rilievi delle vibrazioni sono stati effettuati sull'impugnatura destra. Come sistema di assi coordinati si è adottato un sistema solidale all'impugnatura (e alla macchina): l'asse longitudinale è stato denominato asse x , l'asse trasversale y , l'asse verticale z .

L'accelerometro triassiale è stato avvitato su un supporto a tre punti di appoggio appositamente realizzato [2]; l'insieme accelerometro-supporto è stato fissato sull'impugnatura mediante fascetta metallica.

I tre micro-accelerometri sono stati fissati su un supporto tipo Bruel & Kjaer UA 0894, a cui è stato applicato trasversalmente un ponte in alluminio dotato di sede per il terzo micro-accelerometro. L'estremità del supporto munita dei 3 micro-accelerometri è stata collocata il più possibile vicino all'accelerometro triassiale. Durante i rilievi, il supporto veniva coperto dal palmo della mano dell'addetto, la cui forza di prensione faceva aderire il supporto stesso all'impugnatura.

Gli accelerometri sono stati collegati agli amplificatori di carica a loro volta connessi al registratore DAT. I segnali attinenti le accelerazioni sono stati registrati contemporaneamente sulle piste del nastro.

Successivamente, i segnali registrati sono stati valutati mediante l'analizzatore digitale di frequenza. L'analisi in terzi di ottava delle accelerazioni è stata effettuata nell'intervallo 6.3-1250 Hz ed è stata eseguita in modo da ottenere i livelli medi in termini energetici delle accelerazioni (livelli equivalenti). I tempi di analisi (20-60 s nel caso delle macchine in funzione a vuoto, 60-130 s nel caso delle macchine in lavorazione) sono stati tali da fornire dati rappresentativi delle vibrazioni prodotte dalle macchine in esame. Le analisi dei segnali relativi alle stesse condizioni di prova sono state eseguite su registrazioni contenute esattamente nel medesimo tratto di nastro e quindi riferite al medesimo intervallo di tempo.

I valori delle componenti degli spettri sono stati moltiplicati per i fattori di ponderazione definiti dalla norma ISO 5349; successivamente i valori ponderati sono stati sommati in termini energetici al fine di determinare i valori delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza (*determinazione indiretta*).

Il tempo di latenza del fenomeno di Raynaud (durata dell'esposizione in anni necessaria per l'insorgenza dei sintomi vasospastici alle dita delle mani) è stato stimato in base alla relazione dose-effetto riportata nella ISO 5349.

Seguendo le indicazioni delle norme ISO 7916 [3] e ISO 7505 [4], i valori delle accelerazioni ponderate in frequenza rilevate sui tre assi sono stati elaborati al fine di determinare il valore complessivo delle accelerazioni.

Gli stessi segnali registrati su nastro sono stati esaminati mediante una seconda linea di misura (di tipo analogico) costituita dallo strumento di misura delle vibrazioni (munito della curva di ponderazione definita dalla ISO 5349), dall'analizzatore statistico (predisposto con la costante di tempo "fast") e dal registratore grafico. Tale linea ha consentito di rilevare direttamente il valore dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza (*determinazione diretta*).

3. Risultati

3.1 Spettri delle accelerazioni

Gli andamenti degli spettri ottenuti nel corso di ciascun rilievo relativi ai tre assi sono sostanzialmente analoghi tra loro (figura 1).

Durante il funzionamento a vuoto, gli spettri sono caratterizzati da una serie di picchi che compaiono a 20-25 Hz, a 40-50 Hz e, a volte, a 80-100 Hz. Durante la lavorazione, i picchi risultano meno netti rispetto ai precedenti e compaiono in genere alle stesse frequenze. Differenze sostanziali tra gli spettri rilevati durante il funzionamento a vuoto e durante la lavorazione si riscontrano solo alle basse frequenze (inferiori a 20-25 Hz), dove le componenti risultano molto contenute nel caso del funzionamento a vuoto e relativa-

mente elevate nel caso della lavorazione. Si può quindi concludere che le vibrazioni di frequenza "medio-alta" sono dovute al motore, mentre quelle di frequenza bassa sono dovute alla traslazione del mezzo e/o alle operazioni effettuate dalla fresa.

3.2 Fluttuazione del segnale ponderato in frequenza

La fluttuazione nel tempo del livello dell'accelerazione ponderata in frequenza determinato per via diretta (mediante accelerometro triassiale) è molto modesta nel caso dei motocoltivatori in funzione a vuoto, mentre è relativamente elevata nel caso dei motocoltivatori in lavorazione. I valori medi delle differenze tra i livelli L_1 e L_{99} e tra i livelli L_{10} e L_{90} sono rispettivamente: 2.0 dB (dev. std. 1.0 dB) e 1.2 dB (dev. std. 0.6 dB) nel caso del funzionamento a vuoto; 10.8 dB (dev. std. 2.5 dB) e 5.4 dB (dev. std. 1.4 dB) nel caso della lavorazione.

3.3 Valori delle accelerazioni ponderate in frequenza

Nella tabella 2 sono riportati i valori delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza rilevati per via indiretta (mediante accelerometro triassiale).

I valori delle accelerazioni complessive riscontrati durante il funzionamento a vuoto sono inferiori a quelli rilevati durante le operazioni di fresatura.

La differenza tra i valori delle accelerazioni prodotte dai diversi motocoltivatori va imputata a fattori costruttivi: ad esempio alla geometria delle stegole [5] e alla tipologia delle connessioni tra le stegole stesse e il motocoltivatore.

In genere le accelerazioni più elevate (determinanti il rischio ai sensi della ISO 5349) sono state riscontrate sugli assi y (5 casi su 12) e z (5 casi su 12). In lavorazione, i valori più elevati risultano compresi tra 2.2 e 5.1 m/s^2 . Tali valori, relativi come già detto a motocoltivatori nuovi di fabbrica, risultano inferiori a quelli (4.0-8.7 m/s^2) riportati in letteratura e relativi a motocoltivatori in esercizio da diversi anni [6].

3.4 Misura diretta e indiretta

I livelli delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza rilevati tramite accelerometro triassiale direttamente (mediante ponderazione del segnale) sono sempre superiori ai corrispondenti livelli rilevati indirettamente (mediante ponderazione degli spettri). Le differenze tra i due livelli sono abbastanza contenute. I valori medi delle differenze sono pari a: 1.0 dB (dev. std. 0.40 dB) nel caso del funzionamento a vuoto; 1.3 dB (dev. std. 0.35 dB) nel caso della lavorazione.

Va sottolineato che i valori delle differenze sono sempre positivi e prossimi tra loro (deviazioni standard basse) e che i valori delle differenze relativi ai motocoltivatori in funzione a vuoto sono sostanzialmente analoghi a quelli relativi ai motocoltivatori in lavorazione (pur in presenza di significative differenze spettrali, si veda il par. 3.1). Tali fatti fanno ritenere che le differenze (comunque modeste) siano dovute ad un errore di carattere sistematico, relativo ad esempio ad una diversa taratura delle due linee di misura.

3.5 Confronto tra le coppie di accelerometri-supporti

Generalmente (28 casi su 36), i valori delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza rilevati (per via indiretta) mediante accelerometro triassiale montato sul supporto a tre punti di appoggio sono risultati inferiori ai corrispondenti valori determinati mediante micro-accelerometri fissati sul supporto Bruel modificato.

Le differenze (in termini di valori relativi) tra i valori rilevati mediante accelerometro triassiale e i corrispondenti valori rilevati mediante micro-accelerometri variano da -4.5 dB a 2.1 dB. La differenza media (in termini di valori assoluti) è di 0.7 dB (dev. std. 0.7 dB)

per l'asse x , di 0.9 dB (dev. std. 0.8 dB) per l'asse y e 1.3 dB (dev. std. 1.1 dB) per l'asse z ; complessivamente la differenza media è pari a 1.0 dB (dev. std. 0.9 dB).

La differenza tra i valori rilevati mediante coppie accelerometri-supporti diverse è quindi abbastanza contenuta. Tale differenza va addebitata all'incertezza intrinseca della strumentazione e a errori di taratura (in alcuni casi certamente superiori a 0.5 dB); la differenza può essere dovuta anche al differente posizionamento degli accelerometri.

3.6 Valutazione del rischio

La durata necessaria (stimata in base alla ISO 5349) per l'insorgenza del fenomeno di Raynaud nel 10% dei soggetti (i più sensibili) esposti alle vibrazioni per 4 ore/giorno durante le normali lavorazioni di fresatura è pari a 10-13 anni nel caso dei motocoltivatori 2 (BCS) e 4 (Bertolini), a 7-9 anni nel caso dei motocoltivatori 1 (Pasquali) e 6 (Roteco), a 5-7 anni nel caso dei motocoltivatori 3 (Goldoni) e 5 (Grillo).

Se l'esposizione alle vibrazioni si limita a 30 minuti/giorno, la durata necessaria per l'insorgenza del fenomeno di Raynaud è superiore a 25 anni nel caso dei motocoltivatori 2 (BCS) e 4 (Bertolini), pari a 22-24 anni nel caso dei motocoltivatori 1 (Pasquali) e 6 (Roteco), a 16-19 anni nel caso dei motocoltivatori 3 (Goldoni) e 5 (Grillo).

4. Conclusioni

Le vibrazioni prodotte dai motocoltivatori, anche se inferiori a quelle di altre macchine agricole quali le motoseghe e i decespugliatori, possono costituire un rischio per gli operatori qualora l'impiego di questi mezzi sia consistente. E' necessario quindi uno sforzo progettuale da parte delle case costruttrici al fine di realizzare macchine maggiormente adeguate da un punto di vista igienistico.

Altri due risultati della ricerca appaiono interessanti.

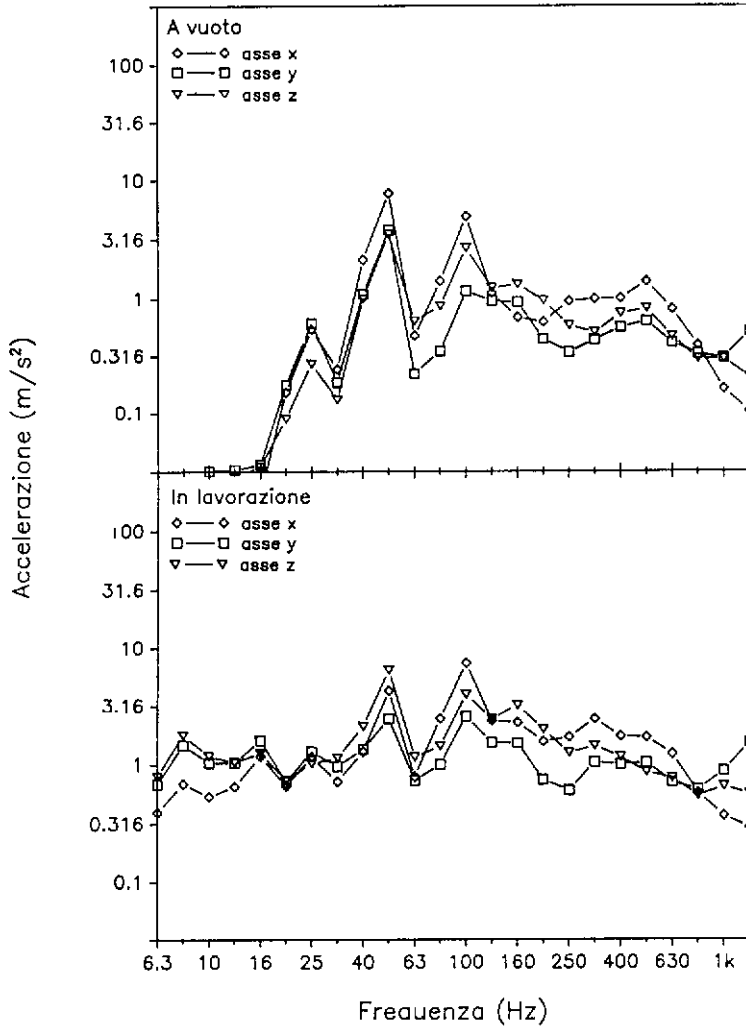
La differenza tra le accelerazioni ponderate in frequenza rilevate per via diretta (tramite ponderazione strumentale del segnale) e per via indiretta (tramite ponderazione numerica dello spettro) è contenuta. La differenza tra le accelerazioni rilevate mediante coppie di trasduttori-supporti diverse è anch'essa contenuta. I valori delle due differenze sono mediamente pari a circa 1 dB.

Questa ricerca è stata effettuata in collaborazione con il CNR e l'ISPESL.

Bibliografia

- 1] ISO 5349. Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assesment of human exposure to hand-transmitted vibration. 1986
- 2] Peretti A. Metodologie di rilevazione e di valutazione delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio da macchine agricole e forestali. Ricerca effettuata con il coordinamento dell'ing. E. Azzaretto nell'ambito della convenzione tra l'Università di Verona e l'ISPESL. 1992
- 3] ISO 7916. Forestry machinery - Portable brush saws - Measurement of hand transmitted vibration. 1989
- 4] ISO 7505. Forestry machinery - Chain saws - Measurement of hand transmitted vibration. 1986
- 5] Deboli R., Potecchi S. Aspetti vibratorii interessanti le stegole dei motocoltivatori. Atti del Convegno Nazionale "Rumore e vibrazioni. Valutazione, prevenzione, bonifica". Bologna-Modena, 377-384, 1990
- 6] Peretti A., Guarnieri A., Betta A. Vibrazioni prodotte da motocoltivatori, motofalciatrici, decespugliatori e trasmesse al sistema mano-braccio degli operatori agricoli: ri-

sultati dell'indagine condotta nella provincia autonoma di Trento. Atti del Seminario "Aspetti igienistici e di prevenzione del rischio da vibrazioni da macchine agricole". Trento, 1985



Motocoltivatore Pasquali 404
a medio regime di giri

Tabella 1 - Caratteristiche dei motocoltivatori esaminati

<i>n.</i>	<i>marca</i>	<i>modello</i>	<i>potenza</i> (CV)	<i>presa di forza</i> (giri/min)	<i>fresatrice</i> (cm)	<i>peso</i> (kg)
1	Pasquali	404	9	970	48-68	127
2	BCS	737	10	965	66	123
3	Goldoni	58A	8	790	70	146
4	Bertolini	406	9	973	60	120
5	Grillo	126	8	965	33-66	102
6	Roteco	360	10	750	66	145

Tabella 2 - Valori espressi in m/s^2 delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza rilevate sugli assi *x*, *y* e *z* e complessive (*c*), relativi all'impugnatura destra dei motocoltivatori in funzione a vuoto e in lavorazione

<i>n.</i>	<i>condizioni</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>c</i>
1	a vuoto	2.76	1.38	1.31	3.35
	in lavorazione	2.76	3.12	3.82	5.56
2	a vuoto	1.23	0.57	0.60	1.48
	in lavorazione	1.98	2.40	2.23	3.83
3	a vuoto	1.68	4.12	2.38	5.05
	in lavorazione	2.30	3.98	4.50	6.43
4	a vuoto	0.96	0.87	1.49	1.97
	in lavorazione	1.77	2.32	2.97	4.16
5	a vuoto	1.18	1.82	1.32	2.54
	in lavorazione	2.81	5.08	4.32	7.24
6	a vuoto	1.70	1.15	2.15	2.97
	in lavorazione	1.58	3.65	3.43	5.25