

VIBRAZIONI PRODOTTE DA AVVITATORI AD IMPULSO: DETERMINAZIONE DELL'ESPOSIZIONE MEDIANTE IL "SEL"

A. Peretti (1), M. Gravino (1), P. Apostoli (2), G. Alessandro (2), A. Farina (3)

(1) Peretti e Associati sas, Padova

(2) Cattedra di Medicina del Lavoro, Università di Brescia

(3) Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Parma

PREMESSA

L'assemblaggio di molteplici prodotti industriali (autoveicoli, elettrodomestici, ecc.) viene attualmente eseguito mediante avvitatori pneumatici o elettrici. Tra questi vanno menzionati gli avvitatori ad impulso caratterizzati da elevati valori di velocità e di coppia che consentono di avvitare e svitare con rapidità viti e dadi anche di dimensioni relativamente grandi.

Nel caso di queste macchine utensili portatili caratterizzate da interventi brevi e di durata variabile, la determinazione dell'esposizione a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio può risultare complessa a causa della difficoltà di definire la durata dell'esposizione. Siamo quindi ricorsi ad una procedura non usuale, basata sulla valutazione dell'accelerazione media riferita ad un singolo intervento e ad una durata standard di 1 secondo.

MATERIALI E METODI

Avvitatori e lavorazioni

Presso una ditta produttrice di manufatti in polietilene sono stati esaminati due avvitatori pneumatici ad impulso con impugnatura a forma di pistola, realizzati da un'azienda molto nota nel settore.

Il primo avvitatore viene impiegato per avvitare e svitare le viti che tengono fissati tra loro gli stampi metallici utilizzati per la produzione dei manufatti. Il secondo avvitatore, di maggiori dimensioni, viene impiegato per avvitare le viti che uniscono i diversi elementi dei manufatti. Le caratteristiche dei due attrezzi sono riportate nella tabella 1.

Agli stampi si alternano complessivamente 20 lavoratori. Ognuno di essi è impegnato per 4-7 ore al giorno ed effettua 600-1050 interventi di avvitatura e altrettanti di svitatura, impiegando il primo avvitatore.

All'assemblaggio dei manufatti si alternano complessivamente 15 lavoratrici. Ognuna di esse è impegnata per 2-4 ore al giorno ed effettua 300-600 interventi di avvitatura, impiegando per metà delle viti il primo avvitatore, per l'altra metà il secondo.

Tabella 1 - Caratteristiche degli avvitatori

coppia di serraggio	campo di	velocità a	massa	attacco
---------------------	----------	------------	-------	---------

	massima (Nm)	coppia (Nm)	vuoto (rpm)	(kg)	quadro (in)
primo avvitatore	542	54-271	7000	2.6	1/2
secondo avvitatore	1360	271-813	5500	5.3	3/4

Misura delle vibrazioni

Come sistema di assi coordinati si è adottato un sistema solidale agli avvitatori. Sulla base della norma ISO 5349 [1] si è assunto come asse z , l'asse parallelo all'asse dell'utensile; come asse y , l'asse parallelo all'asse dell'impugnatura; come asse x , l'asse perpendicolare all'asse dell'utensile e all'asse dell'impugnatura.

Le vibrazioni sono state rilevate mediante due micro-accelerometri Bruel Kjaer 4374 fissati su un supporto Bruel Kjaer UA 0894; a quest'ultimo era applicato trasversalmente un ponte in alluminio dotato di sede per un micro-accelerometro, al fine di rilevare le vibrazioni sul terzo asse.

Il supporto è stato fissato sull'impugnatura mediante fascetta in materiale plastico. Dato che le impugnature degli avvitatori sono rivestite con una guaina vibro-assorbente (commercializzata nel nostro Paese per ridurre le vibrazioni sulle impugnature delle macchine utensili portatili), i rilievi sono stati effettuati ponendo il supporto sopra la guaina. Per individuare le proprietà vibro-assorbenti della guaina, nel caso del secondo avvitatore sono stati eseguiti alcuni rilievi ponendo il supporto sull'impugnatura non rivestita.

I due micro-accelerometri sono stati collegati a due amplificatori di carica Bruel Kjaer 2635, a loro volta collegati ai due canali dell'analizzatore digitale di frequenza in tempo reale Larson Davis 2900. La catena di misura è stata calibrata mediante la sorgente di riferimento Bruel Kjaer 4294.

Gli avvitatori sono stati esaminati durante il loro funzionamento a vuoto e durante le normali lavorazioni di avvitatura e svitatura (comprendenti da 2 a 12 interventi consecutivi). La durata dei rilievi è stata pari a 10-50 secondi.

Sono stati rilevati (per terzi di ottava) i livelli equivalenti delle accelerazioni nell'intervallo 6.3-1250 Hz. Le componenti di tale intervallo, ponderate in frequenza secondo le indicazioni della norma ISO 5349, sono state sommate tra loro quadraticamente al fine di determinare il livello equivalente dell'accelerazione ponderata in frequenza.

Determinazione dell'esposizione

In analogia con quanto avviene nel caso del rumore, per valutare l'esposizione alle vibrazioni è necessario determinare la dose, data dal quadrato dell'accelerazione per il tempo di esposizione. A tale risultato si perviene considerando il livello equivalente dell'accelerazione ponderata in frequenza a cui l'addetto è esposto e la durata dell'esposizione giornaliera. Nel caso di interventi brevi e di durata variabile (quali quelli che si verificano durante l'avvitatura e la svitatura), la durata dell'esposizione non è in genere nota a priori e può essere di difficile valutazione; si possono così ottenere valori di dose poco accurati.

Di solito è invece nota la quantità giornaliera di interventi (ad esempio di viti utilizzate). In tal caso riteniamo sia più conveniente determinare la dose media di un singolo intervento e moltiplicare quindi tale dose per il numero degli interventi giornalieri.

Nel corso della presente ricerca, i livelli rilevati durante le normali lavorazioni di avvitatura o svitatura, relativi ad una determinata durata di misura ed a un determinato numero di interventi, sono stati elaborati al fine di ottenere la dose media relativa ad un singolo intervento. Per esprimere tale dose in termini di accelerazione, indipendentemente dalla durata dell'intervento, abbiamo normalizzato questa durata ad 1 secondo,

mantenendo costante la dose stessa. Il livello dell'accelerazione che ne risulta, mutuando un termine impiegato in acustica, è stato denominato *SEL* (da *Single Event Noise Exposure Level*)

$$1) \quad SEL = 10 \log \frac{t \left(10^{0.1 L_{eq,w,t}} \right)}{n}$$

dove t è la durata effettiva di misura (espressa in secondi), $L_{eq,w,t}$ il livello equivalente dell'accelerazione ponderata in frequenza (espresso in dB) riferito a t , n il numero di interventi effettuati nel corso della misura.

Il *SEL*, oltre a rendere più agevole (se non più accurata) la determinazione dell'esposizione, consente di caratterizzare con un unico valore gli interventi della macchina utensile e quindi, sotto definite modalità operative, la macchina stessa. Tale grandezza potrebbe quindi essere considerata dagli enti di normazione nell'ambito della definizione dei metodi di misura finalizzati alla certificazione di alcune macchine.

Per la determinazione dell'esposizione si è fatto riferimento al *SEL* medio (\overline{SEL}), ottenuto considerando la dose complessiva ossia pesando i singoli *SEL* in funzione del numero di interventi a cui si riferiscono

$$2) \quad \overline{SEL} = 10 \log \frac{\sum n_i \left(10^{0.1 SEL_i} \right)}{\sum n_i}$$

dove SEL_i e n_i sono, rispettivamente, il *SEL* e il numero di interventi dell' i -esimo rilievo.

Seguendo la norma ISO 5349 si è calcolata l'accelerazione ponderata in frequenza, riferita all'asse dominante (caratterizzato dalle vibrazioni più elevate) e ad una durata standard di esposizione giornaliera pari a 4 ore ($a_{w,4h}$)

$$3) \quad a_{w,4h} = \left[\frac{10^{(\overline{SEL}-120)/10} n_g}{14400} \right]^{0.5}$$

dove n_g è il numero di interventi effettuati giornalmente (il valore 14400 corrisponde alla durata di 4 ore espressa in secondi).

Seguendo la proposta di direttiva europea [2] si è calcolata l'accelerazione ponderata in frequenza complessiva (somma quadratica delle accelerazioni rilevate sui tre assi), riferita ad una durata standard di esposizione giornaliera pari a 8 ore ($a_{w,c,8h}$)

$$4) \quad a_{w,c,8h} = \left[\frac{\left(10^{(\overline{SEL}_x-120)/10} + 10^{(\overline{SEL}_y-120)/10} + 10^{(\overline{SEL}_z-120)/10} \right) n_g}{28800} \right]^{0.5}$$

dove \overline{SEL}_x , \overline{SEL}_y , \overline{SEL}_z sono i *SEL* medi relativi ai tre assi (il valore 28800 corrisponde alla durata di 8 ore espressa in secondi).

RISULTATI

Gli *spettri* rilevati sui tre assi durante il funzionamento a vuoto sono caratterizzati da un picco a 63-80 Hz e da componenti elevate oltre i 125-160 Hz.

Durante l'avvitatura o la svitatura gli spettri sono:

- nel caso dell'asse *x*, ascendenti o sostanzialmente piatti sino a 160 Hz e poi ascendenti;
- nel caso dell'asse *y*, ascendenti sino a 500-800 Hz e poi discendenti;
- nel caso dell'asse *z*, ascendenti sino a 400-500 Hz e poi discendenti o sostanzialmente piatti.

Gli spettri delle accelerazioni rilevate sul secondo avvitatore sprovvisto di guaina vibro-assorbente sono sostanzialmente analoghi a quelli rilevati sullo stesso avvitatore munito di guaina. La riduzione delle accelerazioni si manifesta solo per frequenze pari o superiori a 1000 Hz e quindi non ha effetti in termini di riduzione del rischio (fig. 1).

L'*analisi statistica* dei livelli delle accelerazioni evidenzia una fluttuazione di tutte le componenti in terzi di ottava:

- molto contenuta nel caso del funzionamento a vuoto (l'avvitatore è continuamente in funzione ed è impugnato e mantenuto fermo dall'addetto);
- estremamente ampia (talvolta anche oltre 40 dB) nel caso delle lavorazioni di avvitatura e svitatura (l'avvitatore è in funzione solo durante gli interventi e non tra un intervento e il successivo; è inoltre impugnato dall'addetto che lo muove durante la lavorazione).

Nella figura 2 è riportato l'*andamento nel tempo* dei livelli dell'accelerazione ponderata in frequenza durante due interventi consecutivi di avvitatura.

Nella tabella 2 sono riportati i *livelli delle accelerazioni* ($L_{eq,w}$) riscontrati sugli avvitatori in funzionamento a vuoto. Nella tabella 3 sono riportati i *SEL* medi relativi alle lavorazioni di avvitatura e svitatura (calcolati in base alla relazione 2).

Tabella 2 - Livelli delle accelerazioni espressi in dB riscontrati sugli avvitatori in funzionamento a vuoto

	asse <i>x</i>	asse <i>y</i>	asse <i>z</i>
primo avvitatore (rivestito)	108.5	98.7	126.1
secondo avvitatore (rivestito)	126.0	138.8	139.7
secondo avvitatore (non rivestito)	-	138.4	138.7

Tabella 3 - *SEL* medi e deviazioni standard espressi in dB riscontrati sugli avvitatori durante le lavorazioni (tra parentesi viene riportato il numero di interventi di avvitatura o svitatura a cui si riferiscono le medie e le deviazioni standard)

	asse <i>x</i>	asse <i>y</i>	asse <i>z</i>
primo avvitatore (rivestito)			
avvitatura	129.5 ± 1.3 (21)	133.6 ± 10.7 (24)	138.5 ± 4.9 (45)
svitatura	125.7 ± 0.8 (20)	131.9 ± 0.6 (22)	135.9 ± 1.1 (42)

secondo avvitatore (rivest.) avvitatura	137.0 ± 0.7 (14)	136.7 ± 1.0 (14)	142.6 ± 1.1 (28)
secondo avvitatore (non riv.) avvitatura	-	136.5 ± 0.6 (20)	141.3 ± 1.0 (20)

Dalle tabelle 2 e 3 emerge che le vibrazioni del primo avvitatore durante il funzionamento a vuoto sono notevolmente inferiori a quelle presenti durante la lavorazione; nel caso del secondo avvitatore, invece, le vibrazioni a vuoto sono dello stesso ordine di grandezza di quelle rilevate in lavorazione (i *SEL* sono confrontabili con i livelli se si ammette che la durata degli interventi sia pari ad 1 secondo).

Considerando le deviazioni standard, la variabilità dei dati è molto contenuta in 9 casi su 11. Negli altri due casi le elevate deviazioni vanno addebitate ad alcuni interventi anomali di avvitatura.

Sia nel caso del primo che del secondo avvitatore, le vibrazioni maggiori si presentano sull'asse *z*, parallelo all'asse dell'utensile.

Il rivestimento del secondo avvitatore non comporta una riduzione significativa delle vibrazioni.

Considerando il numero minimo e massimo di interventi effettuati giornalmente dai lavoratori, emerge che l'accelerazione ponderata in frequenza riferita all'asse dominante e ad una durata di 4 ore (calcolata in base alla relazione 3) è pari a 2.1-2.8 m/s^2 nel caso degli addetti agli stampi e pari a 1.6-2.3 m/s^2 nel caso delle addette all'assemblaggio. Sulla base della norma ISO 5349 si può prevedere che la sindrome vasospastica alle dita delle mani (fenomeno di Raynaud) si manifesti dopo 10.6-14.0 anni nel 10% degli addetti agli stampi e dopo oltre 23 anni nel 50%. Nel caso delle addette all'assemblaggio è prevedibile che la sindrome si manifesti dopo 13.1-18.6 anni nel 10% delle lavoratrici e dopo oltre 25 anni nel 50%.

Sempre considerando il numero minimo e massimo di interventi effettuati giornalmente dai lavoratori, emerge che l'accelerazione ponderata in frequenza complessiva riferita ad una durata di 8 ore (calcolata in base alla relazione 4) è pari a 1.8-2.4 m/s^2 nel caso degli addetti agli stampi e a 1.4-2.0 m/s^2 nel caso delle addette all'assemblaggio. Sulla base della proposta di direttiva europea si può osservare che tutti i valori sopraindicati superano il "livello di soglia" ossia il livello a cui si deve tendere (1.0 m/s^2), ma risultano tutti inferiori al "livello di azione" ossia al livello oltre il quale vanno attuati i provvedimenti definiti dalla stessa proposta (2.5 m/s^2).

CONCLUSIONI

Nel caso in cui l'esposizione sia caratterizzata da eventi brevi e di durata variabile ma la cui quantità complessiva giornaliera sia nota, risulta molto conveniente normalizzare i dati rilevati valutando la dose media relativa ad un singolo evento. Moltiplicando tale dose per il numero di eventi si otterrà l'esposizione giornaliera. Tale metodo viene applicato nel campo del rumore facendo uso del *SEL* (da *Single Event Noise Exposure Level*), ma può essere vantaggiosamente impiegato anche nel settore delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.

Bibliografia

- [1] *Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assesment of human exposure to hand- transmitted vibration*. ISO 5349 (1986)
- [2] *Proposta di direttiva del Consiglio sulle norme minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici*. Gazzetta ufficiale della Comunità europea n. C 77 del 18/3/93