

VIBRAZIONI PRODOTTE DA AVVITATORI PNEUMATICI

A. Peretti (1), G. Bosco (2), L. Casolo (2), A. Farina (3)

(1) Istituto di Medicina del Lavoro, Università di Verona

(2) Fiam Utensili Pneumatici, Vicenza

(3) Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Parma

1. Introduzione

Come è noto, gli avvitatori pneumatici trovano largo impiego nell'assemblaggio di molteplici prodotti industriali (autoveicoli, elettrodomestici, mobili, serramenti, ecc.). Questi attrezzi, al pari di altre macchine portatili, sono soggetti alla Direttiva 392 della CEE [1] che prescrive ai costruttori di riportare nel libretto di istruzioni d'uso i valori delle vibrazioni presenti sull'impugnatura qualora gli stessi valori siano superiori a 2.5 m/s^2 . E' stata quindi svolta una ricerca mirata da un lato alla definizione dei metodi di misura e dall'altro alla determinazione delle caratteristiche delle vibrazioni.

2. Materiali e metodi

2.1 Avvitatori esaminati e condizioni operative

Sono stati esaminati quattro avvitatori pneumatici Fiam nuovi di fabbrica, di potenza pari a 250 W, generalmente impiegati per avvitare e svitare viti, bulloni e dadi di diametro massimo pari a 6 mm (tabella 1).

Le impugnature degli avvitatori diritti sono rivestite con una guaina in materiale plastico, quelle degli avvitatori a pistola non sono rivestite. Per quanto riguarda il tipo di frizione di cui sono dotati gli avvitatori, va osservato che la frizione ad arresto aria e la frizione a salterelli comportano, una volta raggiunta la coppia di serraggio prestabilita, rispettivamente, l'arresto automatico dell'aria di alimentazione e lo slittamento della frizione.

I rilievi delle vibrazioni hanno riguardato sei condizioni operative: funzionamento a vuoto, funzionamento su vite serrata (solo per gli avvitatori con frizione a salterelli), avvitamento con giunzione elastica, svitamento con giunzione elastica, avvitamento con giunzione rigida, svitamento con giunzione rigida.

La prova di funzionamento a vuoto è stata eseguita dall'addetto impugnando l'attrezzo in posizione verticale e premendo la chiave dello stesso (dotato di avviamento a spinta) contro la superficie del tavolo da lavoro rivestita in gomma.

Nel caso dell'avvitamento e dello svitamento sono stati esaminati 10 interventi per ogni condizione operativa. Gli interventi sono stati eseguiti, sempre dal medesimo addetto e con le stesse modalità operative, impiegando una vite metrica M8 con testa a brugola e un blocco metallico filettato trattenuto da una morsa. Le giunzioni elastica e rigida sono state realizzate interponendo tra vite e blocco, rispettivamente, 11 molle a tazza

(contrapposte) e 2 rondelle in acciaio temperato.

Sugli stessi quattro avvitatori e nelle medesime condizioni adottate durante le misure delle vibrazioni sono stati controllati i valori della coppia di serraggio a termine dell'avvitamento; per i due attrezzi muniti di frizione ad arresto aria sono stati rilevati anche il numero di giri effettuato dalla vite e la durata dell'intervento di avvitamento (tabella 2).

Durante i rilievi gli avvitatori sono stati collegati ad una linea pneumatica caratterizzata da una pressione di 6.3 bar.

2.2 Strumentazione e metodi di misura

Per l'effettuazione dei rilievi sono stati impiegati un registratore a nastro magnetico digitale (DAT) Teac RD100 e i seguenti strumenti della Bruel & Kjaer: un calibratore 4294, un supporto DH 0529, tre accelerometri 4374, tre amplificatori di carica 2635, un analizzatore digitale di frequenza 2131, uno strumento di misura delle vibrazioni 2511-WH0454 (dotato del filtro di ponderazione definito dalla ISO 5349 [2]) un analizzatore statistico di livello 4426, un registratore grafico di livello 2306.

Sul supporto DH 0529, originariamente predisposto per accogliere solo due accelerometri 4374, è stato rigidamente fissato un elemento metallico a forma di ponte (affiancato alle sedi previste per i due accelerometri) su cui è stato avvitato un terzo accelerometro 4374; gli assi dei tre accelerometri, una volta montati sul supporto, risultano tra loro ortogonali. Il supporto è stato fissato sull'impugnatura degli avvitatori mediante fascette in materiale plastico; durante i rilievi l'addetto serrava con la mano destra sia il supporto che l'impugnatura dell'avvitatore.

Gli accelerometri sono stati collegati ai tre amplificatori di carica a loro volta connessi al registratore a nastro magnetico. I segnali attinenti le accelerazioni sono stati registrati contemporaneamente sulle tre 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 per le prove di funzionamento a vuoto e su vite serrata (20-60 secondi) sono stati tali da fornire dati rappresentativi delle vibrazioni presenti sull'impugnatura degli attrezzi. Nel caso degli interventi di avvitamento e svitamento, i tempi di analisi sono stati pari a 4 secondi (per i tempi effettivi degli interventi si veda la tabella 2). Le analisi dei segnali attinenti i tre assi sono state eseguite su registrazioni contenute nel medesimo tratto di nastro e quindi relative 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.

I valori ottenuti sono stati controllati con una seconda linea di misura (posta in parallelo alla prima) costituita dallo strumento di misura delle vibrazioni munito del filtro di ponderazione, dall'analizzatore statistico e dal registratore grafico.

Gli assi coordinati sono stati definiti assumendo come riferimento l'impugnatura degli attrezzi. Nel caso degli avvitatori dritti, l'asse parallelo all'impugnatura e all'asse dell'albero dell'utensile è stato denominato asse x ; gli assi ortogonali all'impugnatura e all'asse dell'albero dell'utensile, assi y e z . Nel caso degli avvitatori a pistola, l'asse parallelo all'impugnatura e ortogonale all'asse dell'albero dell'utensile, asse x ; l'asse ortogonale all'impugnatura e all'asse dell'albero dell'utensile, asse y ; l'asse ortogonale all'impugnatura e parallelo all'asse dell'albero dell'utensile, asse z . Va osservato che nel caso degli avvitatori a pistola l'asse dell'impugnatura e l'asse dell'albero dell'utensile non sono esattamente ortogonali tra loro.

2.3 Controllo dell'assenza del fenomeno del DC-shift

Per macchine utensili a movimento percussorio la norma ISO 8662-1 [3] raccomanda l'uso di filtri meccanici passa-basso al fine di evitare errori di misura dovuti al fenomeno del "DC-shift" che determina un incremento dei valori misurati delle accelerazioni di bassa frequenza.

Dato che le vibrazioni relative agli interventi di avvvitamento e svitamento presentano caratteristiche impulsive (rispettivamente a fine ed inizio intervento) si è controllato che i segnali analizzati non venissero modificati dal fenomeno del "DC-shift".

A tale scopo si è impiegato un blocchetto metallico con base dotata di tre punti di appoggio. Su un lato del blocchetto è stato avvvitato l'accelerometro Bruel Kjaer 4370 con interposto il filtro meccanico passa-basso Bruel Kjaer UA 0553 (che nel caso in esame riduce le componenti di frequenza superiore a 5 kHz); sul lato opposto è stato avvvitato un secondo accelerometro 4370 senza interposizione del filtro. Per verificare l'identità di risposta tra gli accelerometri 4370 e 4374 (questi ultimi utilizzati nelle prove illustrate nel paragrafo 2.2) è stato avvvitato sul blocchetto anche un accelerometro 4374.

Il blocchetto è stato fissato all'impugnatura mediante fascette in materiale plastico in modo che l'asse dei tre accelerometri corrispondesse all'asse su cui sono state rilevate le vibrazioni maggiori (asse y , ortogonale all'impugnatura). Durante i rilievi l'addetto serrava nella mano sia il blocchetto che l'impugnatura. Nel corso di queste prove sono stati esaminati 5 interventi di avvvitamento e 5 interventi di svitamento.

Va osservato che la massa del blocchetto, dei tre accelerometri e del filtro (complessivamente 190 g) supera notevolmente i limiti fissati dalla ISO 8662-1 (50 g e il 5% della massa dell'attrezzo). I dati raccolti in queste prove, se da un lato possono essere impiegati in termini relativi per il controllo dell'assenza del fenomeno del DC-shift (mediante confronto degli spettri), dall'altro non possono essere utilizzati in termini assoluti per valutare le vibrazioni presenti sull'impugnatura degli attrezzi (la massa dell'insieme blocchetto-accelerometri-filtro influenza infatti in misura significativa le vibrazioni).

3. Risultati

3.1 Caratteristiche degli spettri

Per ciascuna condizione operativa, gli andamenti degli spettri relativi ai tre assi sono in genere sostanzialmente analoghi tra loro. I livelli delle componenti sull'asse y sono generalmente più elevati dei livelli delle corrispondenti componenti sugli assi x e z .

L'andamento degli spettri riscontrati sui quattro avvvitatori è di tipo ascendente.

Gli spettri degli avvvitatori in funzione a vuoto sono caratterizzati da un picco a 16 Hz: nettissimo nel caso degli avvvitatori dritti, poco netto nel caso degli avvvitatori a pistola.

Se si considerano gli avvvitatori con frizione a salterelli (giunzione sia elastica che rigida), gli spettri relativi al funzionamento su vite serrata e agli interventi di avvvitamento sono in genere sostanzialmente analoghi tra loro e presentano picchi a 160 e 315 Hz (SCS6R) e a 125 e 250 Hz (CS6PR).

3.2 Valori delle accelerazioni ponderate in frequenza

Come si è detto sono stati esaminati 10 interventi di avvvitamento e 10 di svitamento con giunzioni sia elastica che rigida. La dispersione dei valori delle accelerazioni ponderate in frequenza intorno ai valori medi è in genere sufficientemente contenuta. Su un totale di 48 casi, i coefficienti di variazione (rapporti tra le deviazioni standard e i valori medi) sono inferiori al 15% in 29 casi, compresi tra il 15 e il 30 % in 18 casi e superiori al 30% in un solo caso (tabella 3).

Può essere interessante osservare che tale dispersione può essere ancor più contenuta se si impone all'addetto di operare esattamente nello stesso modo durante gli interventi. In

una serie limitata di rilievi (6 casi anziché i 48 precedenti) effettuati per prova mantenendo assolutamente costanti le condizioni operative, tutti i coefficienti di variazione sono risultati inferiori al 15%.

I valori medi più elevati relativi agli interventi di avvitamento e svitamento si riferiscono nella totalità dei casi (16) all'asse y , ortogonale all'impugnatura. Dato che questi valori risultano determinanti in termini igienistici, nel prosieguo del paragrafo si farà riferimento solo a tali valori.

Tra avvitamento e svitamento nelle stesse condizioni operative (medesimo tipo di giunzione, elastica o rigida) è in genere (6 casi su 8) l'avvitamento a determinare un rischio maggiore per l'operatore addetto. Fanno eccezione gli avvitatori CS6RA e CS6PRA, ambedue con frizione ad arresto aria, nel caso della giunzione elastica.

Se consideriamo l'avvitamento, i valori più elevati si riferiscono in genere (3 casi su 4) alla giunzione rigida. Fa eccezione l'avvitatore SCS6R.

Si può quindi concludere che avvitamento e giunzione rigida sono generalmente i parametri operativi che comportano maggiori vibrazioni in termini igienistici.

In tutte le condizioni di lavoro (avvitamento e svitamento, giunzioni elastica e rigida) l'avvitatore con frizione ad arresto aria e l'avvitatore con frizione a salterelli che presentano le vibrazioni più elevate sono quelli con impugnatura diritta.

In tutte le condizioni di lavoro (avvitamento e svitamento, giunzioni elastica e rigida) l'avvitatore diritto e l'avvitatore a pistola che presentano le vibrazioni più elevate sono quelli con frizione a salterelli.

Si può quindi concludere che impugnatura diritta e frizione a salterelli sono i parametri costruttivi che comportano maggiori vibrazioni in termini igienistici.

I valori medi più elevati riscontrati sui quattro avvitatori sono pari a 6.77 m/s^2 (SCS6R, diritto, frizione a salterelli), 4.86 m/s^2 (CS6RA, diritto, frizione ad arresto aria), 2.39 m/s^2 (CS6PR, a pistola, frizione a salterelli), 2.18 m/s^2 (CS6PRA, a pistola, frizione ad arresto aria).

3.3 Assenza del fenomeno del DC-shift

Gli spettri relativi all'asse y rilevati mediante l'accelerometro 4370 con interposizione del filtro meccanico UA 0553 e mediante l'accelerometro 4370 senza interposizione del filtro sono, per ogni condizione operativa esaminata, sostanzialmente analoghi tra loro. La stessa cosa dicasi per i corrispondenti valori delle accelerazioni ponderate in frequenza (tabella 4).

Il fenomeno del DC-shift è quindi assente. Tale fatto convalida la metodologia di rilevazione delle vibrazioni impiegata nella presente indagine e i dati illustrati nel paragrafo 3.2.

Gli spettri e i valori relativi ai due accelerometri 4370 sono inoltre sostanzialmente analoghi ai corrispondenti spettri e valori ottenuti con l'accelerometro 4374 (per i valori si veda ancora la tabella 4).

4. Conclusioni

Dai dati acquisiti nell'ambito della ricerca emerge che le vibrazioni più elevate si presentano sull'asse y , ortogonale all'impugnatura. Per quanto riguarda i parametri operativi si è osservato che gli interventi di svitamento determinano vibrazioni minori rispetto agli interventi di avvitamento. Per quanto riguarda il tipo di giunzione tra la vite e la sua sede, si è evidenziato che la giunzione elastica comporta vibrazioni minori rispetto alla giunzione rigida. Per quanto riguarda infine i parametri costruttivi si è rilevato che gli avvitatori dotati di impugnatura a pistola e frizione ad arresto aria comportano vibrazioni minori rispetto agli avvitatori muniti di impugnatura diritta e frizione a salterelli.

Le vibrazioni trasmesse dagli avvitatori a pistola sono inferiori al valore soglia di 2.5 m/s², oltre il quale la direttiva 392 della CEE richiede la menzione (sul libretto di istruzioni d'uso) del valore delle vibrazioni rilevato sugli attrezzi. Gli avvitatori diritti presentano invece vibrazioni nettamente superiori, comprese tra 5 e 7 m/s².

Come è noto, il rischio da vibrazioni è determinato non solo dal valore dell'accelerazione ponderata in frequenza ma anche dalla durata dell'esposizione. Nel caso degli avvitatori la durata dell'intervento di avvitamento o di svitamento è piccola, mentre la pausa tra un intervento e il successivo è prevedibilmente più lunga o molto più lunga: la durata dell'esposizione giornaliera alle vibrazioni sarà pertanto modesta. Per quanto ora detto e tenendo conto dell'entità delle vibrazioni rilevate si può ritenere che l'impiego degli avvitatori a pistola non costituisca un rischio per i lavoratori addetti. Il rischio legato all'uso degli avvitatori diritti può invece essere significativo.

Bibliografia

- 1] Direttiva 392 del Consiglio delle Comunità Europee concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine. 1989
- 2] ISO 5349 - Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration. 1986
- 3] ISO 8662-1 - Hand-held portable power tools - Measurement of vibrations at the handle. Part 1: General. 1988

Tabella 1 - Caratteristiche degli avvitatori Fiam

| modello | impugnatura | frizione | coppia di serraggio | | velocità a vuoto (giri/min) | peso (kg) | dimensioni | | |
|---------|-------------|--------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------|------------|-----------|-----------|
| | | | giunzione elastica (Nm) | giunzione rigida (Nm) | | | φ (mm) | l (mm) | h (mm) |
| CS6RA | diritta | arresto aria | 4.0-9.0 | 2.0-8.5 | 1000 | 0.82 | 40 | 240 | |
| SCS6R | diritta | a salterelli | 1.5-9.5 | 1.5-9.3 | 1000 | 0.75 | 40 | 225 | - |
| CS6PR | a pistola | a salterelli | 1.5-9.5 | 1.5-9.3 | 950 | 0.90 | 38 | 200 | 139 |
| CS6PRA | a pistola | arresto aria | 3.5-8.5 | 2.5-8.0 | 950 | 0.97 | 38 | 214 | 139 |

Tabella 2 - Valore della coppia di serraggio, numero di giri della vite e durata dell'intervento di avvitamento relativi agli avvitatori in esame

| modello | giunzione elastica | | | giunzione rigida | | |
|---------|--------------------|------|---------------|------------------|------|---------------|
| | coppia (Nm) | giri | durata (s) | coppia (Nm) | giri | durata (s) |
| CS6RA | 2.9 | 2.1 | 1.4 | 3.4 | 2.4 | 0.6 |
| SCS6R | 3.9 | - | - | 4.2 | - | - |
| CS6PR | 6.0 | - | - | 6.3 | - | - |
| CS6PRA | 4.4 | 3.5 | 0.7 | 5.9 | 1.3 | 0.6 |

Tabella 3 - Valori medi (\bar{X}) delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza espressi in m/s^2 e rapporti tra le deviazioni standard e i valori medi (V)

| avvitatore | condizione operativa | giunzione | asse x | | asse y | | asse z | |
|------------|-----------------------------|-----------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | | | \bar{X} | V | \bar{X} | V | \bar{X} | V |
| CS6RA | in funzione a vuoto | - | 0.51 | - | 1.60 | - | 0.75 | - |
| | avvitamento | elastica | 0.68 | 0.14 | 1.61 | 0.10 | 0.69 | 0.11 |
| | svitamento | elastica | 0.72 | 0.08 | 2.30 | 0.10 | 0.89 | 0.12 |
| | avvitamento | rigida | 1.78 | 0.14 | 4.86 | 0.05 | 1.24 | 0.11 |
| | svitamento | rigida | 1.00 | 0.08 | 1.61 | 0.15 | 0.84 | 0.13 |
| SCS6R | in funzione a vuoto | - | 0.59 | - | 1.33 | - | 1.04 | - |
| | in funzione su vite serrata | - | 4.22 | - | 12.45 | - | 2.85 | - |
| | avvitamento | elastica | 1.92 | 0.09 | 6.77 | 0.06 | 1.22 | 0.10 |
| | svitamento | elastica | 0.93 | 0.14 | 2.62 | 0.12 | 0.83 | 0.18 |
| | avvitamento | rigida | 1.84 | 0.07 | 6.33 | 0.08 | 1.25 | 0.12 |
| | svitamento | rigida | 0.79 | 0.18 | 1.83 | 0.17 | 0.62 | 0.12 |
| CS6PR | in funzione a vuoto | - | 0.24 | - | 0.74 | - | 0.23 | - |
| | in funzione su vite serrata | - | 3.85 | - | 4.52 | - | 3.59 | - |
| | avvitamento | elastica | 1.63 | 0.13 | 2.35 | 0.16 | 1.15 | 0.13 |
| | svitamento | elastica | 0.65 | 0.22 | 1.10 | 0.26 | 0.35 | 0.13 |
| | avvitamento | rigida | 1.66 | 0.20 | 2.39 | 0.20 | 1.11 | 0.12 |
| | svitamento | rigida | 0.40 | 0.18 | 0.84 | 0.17 | 0.31 | 0.11 |
| CS6PRA | in funzione a vuoto | - | 0.30 | - | 0.69 | - | 0.15 | - |
| | avvitamento | elastica | 0.58 | 0.24 | 0.79 | 0.19 | 0.34 | 0.11 |
| | svitamento | elastica | 0.39 | 0.18 | 0.87 | 0.13 | 0.25 | 0.46 |
| | avvitamento | rigida | 1.07 | 0.30 | 2.18 | 0.22 | 1.24 | 0.16 |
| | svitamento | rigida | 0.32 | 0.09 | 0.59 | 0.08 | 0.24 | 0.25 |

Tabella 4 - Dati relativi all'asse y: confronto tra i valori delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza rilevati con l'accelerometro 4370 con interposizione del filtro meccanico (A), con l'accelerometro 4370 senza interposizione del filtro (B) e con l'accelerometro 4374 (C); i valori sono espressi in m/s^2

| avvitatore | condizione operativa | giunzione | A | B | C |
|------------|-----------------------------|-----------|------|------|------|
| CS6RA | avvitamento | rigida | 3.23 | 3.55 | 3.43 |
| SCS6R | in funzione a vuoto | - | 0.68 | 0.68 | 0.56 |
| | in funzione su vite serrata | - | 4.62 | 4.62 | 5.13 |
| | avvitamento | elastica | 2.81 | 2.84 | 2.98 |
| | svitamento | elastica | 1.39 | 1.47 | 1.44 |
| | avvitamento | rigida | 2.88 | 2.89 | 3.13 |
| | svitamento | rigida | 1.20 | 1.21 | 1.14 |
| CS6PRA | in funzione a vuoto | - | 0.25 | 0.26 | 0.25 |
| | avvitamento | elastica | 1.03 | 1.11 | 1.30 |
| | svitamento | elastica | 0.91 | 1.00 | 1.19 |
| | avvitamento | rigida | 1.28 | 1.06 | 1.08 |
| | svitamento | rigida | 0.45 | 0.48 | 0.47 |