

MISURE DI VIBRAZIONI AL CORPO INTERO IN ALCUNE LAVORAZIONI DI CANTIERISTICA STRADALE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER GLI ADDETTI

A. Bianconi*

* INAIL - Direzione Regionale Umbria - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

RIASSUNTO

Alcune attività lavorative svolte nei cantieri stradali espongono gli addetti a vibrazioni e scuotimenti a tutto il corpo (Whole Body Vibration), in particolare quelle attività che comportano la conduzione di macchine operatrici ed autocarri.

L'esposizione alle vibrazioni, nel lungo periodo, può contribuire all'insorgenza di disturbi muscolo-scheletrici e patologie croniche, in particolare a carico del rachide lombare.

La presente ricerca vuole approfondire la conoscenza del comparto ed evidenziare l'effettivo livello di rischio dovuto all'esposizione alle vibrazioni. Al tempo stesso, i risultati delle misure, possono costituire un supporto per coloro che vogliono valutare tale rischio in attività similari.

SUMMARY

Some working activities related to road building sites or maintenance expose the workers to vibrations and shakings of the whole body, in particular those activities that involve driving of working machines and lorries. The exposure to the vibrations could contribute to the insurgence of low back muscle-skeletal pain or chronic pathologies. This research wants to improve the knowledge in this field and to point out the effective level of risk due to the exposure to the vibrations. Moreover, the data and calculation could create support for those who want to estimate such risk in similar activities.

1. INTRODUZIONE

La protezione dei lavoratori dalle vibrazioni è un argomento affrontato già da alcuni anni a livello Comunitario ed infine giunto all'emanazione della Direttiva 2002/44/CE. La Direttiva fornisce le prescrizioni minime di sicurezza e di salute per i lavoratori relativamente a tale rischio ed indica due distinti limiti di esposizione.

- Il valore giornaliero che fa scattare l'azione, ovvero quel valore di esposizione che se superato, obbliga il datore di lavoro ad intraprendere misure tecniche ed organizzative necessarie per ridurre al minimo l'esposizione alle vibrazioni e ad attivare una sorveglianza sanitaria adeguata.
- Il valore limite di esposizione giornaliero, cioè quel limite che in ogni caso non deve essere superato, contrariamente, il datore di lavoro deve immediatamente adottare misure per riportare l'esposizione a valori inferiori.

L'Allegato B della Direttiva prescrive di valutare il rischio attraverso il metodo del "valore giornaliero di esposizione" $A(8)$ oppure attraverso il "valore della dose di vibrazioni" VDV sulla base della Norma ISO 2631-1 del 1997. I valori cambiano in funzione del metodo di indagine utilizzato, come visibile in Tabella 1.

Tabella 1

	Metodo \Rightarrow	$A(8)$	VDV
\Downarrow Limiti		[m/s ²]	[m/s ^{1,75}]
Valore giornaliero che fa scattare l'azione		0,50	9,1
Valore limite di esposizione giornaliero		1,15	21,0

Il valore limite di esposizione giornaliero di 1,15 m/s² è ritenuto eccessivamente elevato da molti studiosi e la comunità scientifica sembra convergere verso un valore maggiormente cautelativo pari a 0,90 m/s².

2. MATERIALI E METODI

Il livello di accelerazione che il mezzo trasmette al lavoratore, è stato determinato con specifiche misure svolte nelle reali condizioni operative.

Le misure sono state eseguite con uno strumento conforme alla ISO 2631-1 e dotato di accelerometro triassiale. Il peso del solo accelerometro è di 10.5 grammi e le dimensioni sono di 14x14x14 millimetri.

Per lo svolgimento delle misure, quando il conducente operava seduto, l'accelerometro è stato posizionato fra il sedile e l'operatore impiegando l'apposito disco adattatore in gomma.

Quando il lavoratore conduceva il mezzo stando in piedi, l'accelerometro è stato fissato sul pavimento del mezzo.

Il tratto di cavo che collega l'accelerometro allo strumento è stato fissato alla macchina tramite nastro adesivo per evitare interferenze triboelettriche dovute alle oscillazioni.

I tempi di esposizione degli addetti alle sorgenti di vibrazioni sono stati determinati tramite interviste e tramite misure dirette.

Le misure memorizzate dallo strumento sono state trasferite al personal computer per l'analisi. L'elaborazione dei dati è stata effettuata con un software specifico fornito a corredo dello strumento e con un foglio di calcolo appositamente strutturato per automatizzare i calcoli ripetitivi. Da ogni misura si sono ottenute le seguenti grandezze:

t [sec] durata della misura;

a_{wx}, a_{wy}, a_{wz} [m/s²] valore quadratico medio ponderato delle accelerazioni riferito ai tre assi ortogonali;

a_{wsum} [m/s²] valore risultante delle accelerazioni ponderate, dato dalla somma vettoriale delle tre componenti assiali ponderate secondo la seguente equazione:

$$a_{wsum} = \left((1.4 a_{wx})^2 + (1.4 a_{wy})^2 + (1.0 a_{wz})^2 \right)^{1/2} \quad (\text{ISO 2631-1/1997 eq. 9})$$

δ	[m/s ²] deviazione standard di a_{wsum} durante la misura. Indica quanto i valori istantanei si discostano dal valore quadratico medio riportato.
a_{wmax}	[m/s ²] valore equivalente dell'accelerazione ponderata riferito all'asse più sollecitato. è stato calcolato con la seguente equazione:
$a_{wmax} = \max (1.4 a_{wx}; 1.4 a_{wy}; 1.0 a_{wz})$	(Direttiva 2002/44/CE all.B)
a_{px}, a_{py}, a_{pz}	[m/s ²] valore di picco delle accelerazioni riferito ai tre assi ortogonali.
F_{Cx}, F_{Cy}, F_{Cz}	[adim.] fattore di cresta, rapporto fra il valore di picco e l'accelerazione ponderata di ogni asse. (ISO 2631-1/1997 par. 6.2.1)
VDV_x, VDV_y, VDV_z	[m/s ^{1.75}] Vibration Dose Value, dose della vibrazione calcolata, per ogni asse e per la durata della misura, con il metodo della "quarta potenza" ovvero:

$$VDV_x = \left\{ \int_0^t (1.4 a_{wx}(t))^4 dt \right\}^{1/4} \quad VDV_y = \left\{ \int_0^t (1.4 a_{wy}(t))^4 dt \right\}^{1/4} \quad VDV_z = \left\{ \int_0^t (a_{wz}(t))^4 dt \right\}^{1/4}$$

Il VDV è stato calcolato secondo la ISO 2631-1/1997 (eq. 5), con la differenza che per gli assi x e y le accelerazioni a_w sono moltiplicate per 1.4 come indicato dalla Direttiva 2002/44/CE (all.B).

Questo indice, in sostituzione di $A(8)$, rappresenta meglio il rischio quando la vibrazione è caratterizzata da elevati picchi, in particolare la Norma ISO 2631-1/1997 ne raccomanda l'uso quando il Fattore di Cresta F_c è maggiore di 9. La Direttiva 2002/44/CE (all. B) consente l'impiego di entrambi i metodi indipendentemente dal valore del fattore di cresta F_c .

Leq	[dB(A)] Livello equivalente continuo del rumore emesso dal mezzo nella posizione occupata dal lavoratore, valutato sulla base dell'art.39 del Dlgs.277/1991.
-------	--

3. RISULTATI

Sono state misurate varie lavorazioni di costruzione e manutenzione stradale, i risultati sono stati riassunti in schede aventi la seguente impostazione (vedi Figura 1): nella parte alta si trovano descritte le caratteristiche del mezzo in esame e la sua immagine; nella parte subito sottostante viene riassunta la modalità con cui si è svolta la misura. Nella parte bassa una prima tabella mostra i valori misurati dallo strumento e la seconda riporta i risultati ottenuti dall'elaborazione.

Con l'elaborazione dei dati si è voluto determinare il livello di esposizione dei lavoratori in funzione del tempo di utilizzo del mezzo (espresso in ore/giorno). In particolare, ipotizzando un tempo di utilizzo pari a 1, 2, 3, ... 10 ore, è stata calcolata la corrispondente esposizione gior-

naliera alle vibrazioni determinata con il metodo base definito A(8), la dose di vibrazioni determinata con il metodo VDV ed infine l'esposizione al rumore Lep,d .

Metodo base A(8), l'esposizione giornaliera alle vibrazioni normalizzata su otto ore è stata calcolata con la seguente espressione:

$$A(8) = a_{wmax} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (\text{ISO 2631-1/1997 all.B eq. B.1})$$

Il significato di a_{wmax} è noto, T è il tempo netto effettivo di esposizione alla vibrazione (1, 2, ... 10 ore), T_0 è il tempo di riferimento (otto ore).

Metodo della quarta potenza VDV (totale), la dose di vibrazioni riferita al tempo di esposizione del lavoratore è stata calcolata con la seguente espressione:

$$VDV(totale) = \sqrt[n]{n VDV^4} \quad (\text{ISO 2631-1/1997 eq. 6})$$

Dove, VDV è il valore misurato sull'asse più sollecitato e relativo alla durata della misura, n è il numero di volte che occorre moltiplicare la durata della misura per arrivare a coprire un tempo finito pari a 1, 2, 3, ... 10 ore, ovvero:

$$n = \frac{T}{t}$$

dove: T è il tempo netto effettivo di esposizione alla vibrazione (1, 2, 3, ... 10 ore) e t è la durata della misura (convertita anch'essa in ore).

Lep,d livello di esposizione personale giornaliero al rumore, normalizzato su otto ore, determinato secondo quanto indicato nel Dlgs.277/1991 art. 39.

Con i valori di $A(8)$, VDV (totale) e Lep,d inseriti nelle schede è immediato determinare l'esposizione alle vibrazioni dei lavoratori, noto il tempo reale di utilizzo del mezzo (vedi Figura 1). Infine, per un confronto immediato fra le lavorazioni ed i mezzi esaminati, i risultati globali delle misure sono stati sintetizzati nella Tabella 2. Detta tabella mostra i valori dell'accelerazione misurata a_{wmax} , la dose VDV riferita a 4 ore di utilizzo del mezzo e, nell'ultima colonna il fattore di cresta Fc . Questo ulteriore dato è importante perché la Norma ISO 2631-1/1997 (cap. 6.3 e all. B cap. B 3.2) consiglia di utilizzare il metodo VDV , in sostituzione del metodo base A(8), quando il fattore di cresta Fc supera il valore 9 sull'asse maggiormente sollecitato. Confrontando le grandezze a_{wmax} o VDV è immediatamente possibile determinare quali mezzi e quali lavorazioni sono più severe per gli addetti.

4. CONCLUSIONI

Esaminando le schede con i risultati delle misure ed i dati riassuntivi (Tabella 2), è possibile notare che alcune lavorazioni espongono gli addetti a livelli di vibrazione molto elevati e portano al superamento del livello di azione anche per tempi di utilizzo relativamente brevi.

In generale, si registrano valori molto elevati per le macchine movimento terra ed in particolare per gli escavatori, soprattutto quando sono attrezzati con il martello demolitore.

Per questi mezzi si ha il superamento del livello di azione ($A(8)$ e VDV) già con poche ore di utilizzo, mentre, specie nello scavo di gallerie, l'uso è usualmente protratto per tutto il turno lavorativo.

Il fattore di cresta F_c è sempre superiore a 9, pertanto è preferibile usare il metodo del VDV per la valutazione del rischio.

Per gli autocarri, si rilevano valori estremamente variegati in funzione dell'età del mezzo, del numero di assi, del tipo di percorso effettuato e delle condizioni di carico, con ciò è difficile generalizzare. A grandi linee, si riscontra che i mezzi più recenti danno valori sensibilmente inferiori a quelli di mezzi analoghi ma più vecchi di 5 o più anni.

Frequentemente, un uso protratto per quattro o più ore/giorno comporta il superamento del limite di azione, mentre in nessun caso si è avuto il superamento del limite giornaliero.

Per alcune macchine operatrici, come l'asfaltatrice e la perforatrice, i valori risultano estremamente bassi: il livello di esposizione non raggiunge il limite di azione e pertanto è possibile escludere il rischio.

Esaminando nel complesso i risultati delle misure, si nota che oltre il 72% delle lavorazioni danno luogo ad un'accelerazione a_{wmax} superiore a 0.5 m/s^2 ed oltre il 21% danno luogo ad un'accelerazione a_{wmax} superiore a 0.9 m/s^2 .

E' utile ricordare che l'utilizzo di un mezzo con a_{wmax} uguale a 0.9 m/s^2 per 2-3 ore, già comporta un'esposizione $A(8)$ superiore al limite di azione.

Ragionando in termini di VDV , si riscontra che oltre il 63% delle lavorazioni, se svolte per più di 4 ore, conducono al superamento del limite di azione, ovvero dei $9.1 \text{ m/s}^{1.75}$.

Nel 51.5% delle misure svolte, il fattore di cresta F_c è risultato superiore a 9, pertanto in questi casi è auspicabile l'uso del metodo VDV , per la stima del rischio, in sostituzione del metodo base $A(8)$.

In conclusione, per determinare il rischio specifico di ogni lavoratore soggetto alle vibrazioni è indispensabile acquisire con precisione i tempi di utilizzo dei mezzi ed i livelli di accelerazione emessa. Se il lavoratore, come spesso accade, utilizza vari mezzi occorre procedere al calcolo analitico considerando tutti i contributi dovuti alle esposizioni parziali.


Rapporto di misura										
Categoria:	Macchine movimento terra					<p style="text-align: center;">Foto</p> 				
Tipologia :	Pala gommata									
Marca/modello:	Caterpillar 988									
Utensile/dotazioni:	Pala									
Alimentazione:	Diesel									
Potenza:	nd									
Peso:	nd									
Età:	18 anni (1986)									
Posizione operatore:	Seduto									
Tipo sedile:	Ammortizzato a molla									
Condizioni di prova										
Lavorazione:	Caricamento e spostamento roccia frantumata in cantiere									
Fondo stradale:	Strada sterrata di cantiere									
Velocità del mezzo:	< 10 km/h									
Tempo di utilizzo giornaliero:	6 - 8 ore/giorno									
Asse	Durata mis. [sec]	Ponderati aw [m/s ²]	awsum [m/s ²]	δ [m/s ²]	awmax [m/s ²]	Picchi ap [m/s ²]	Fattori di cresta Fc	VDV [m/s ^{1,75}]	Rumore Leq [dB(A)]	
X	456	0,72	1,60	0,62	1,08	4,1	5,7	5,9	85	
Y		0,77				4,0	5,1	6,0		
Z		0,62				6,7	10,8	3,5		
Ore ⇨	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A(8)	0,38	0,54	0,66	0,77	0,86	0,94	1,01	1,08	1,15	1,21
VDV	10,0	11,9	13,2	14,2	15,0	15,7	16,3	16,8	17,3	17,8
Leq,d	76,0	79,0	80,7	82,0	83,0	83,8	84,4	85,0	85,5	86,0

Figura 1

Tabella 2

Mezzo	Tipologia	Lavorazione	a_{wmax}	VDV (4h)	Fc (max)
Bitelli BB 660	Asfaltatrice	Asfaltatura	0,09	1,3	34,2
Iveco Eurotrakker	Autoarticolato	Percorso carico	0,67	9,4	8,4
Iveco Eurotrakker	Autoarticolato	Percorso scarico	0,58	8,9	8,4
Fiat 300 PC	Autocarro	Percorso 20 km/h	0,40	5,9	8,0
Fiat 300 PC	Autocarro	Percorso 50 km/h	0,81	9,9	8,7
Iveco Eurotrakker	Autocarro	Percorso scarico	0,79	11,2	8,8
Iveco Eurotrakker	Autocarro	Percorso carico	0,45	6,5	13,3
Volvo FM 12	Autocarro	Percorso carico	0,51	7,5	7,8
Volvo FM 12	Autocarro	Percorso scarico	0,50	7,0	7,6
Piccini 1000BG	Dumper	Spostamenti in cantiere	0,87	12,2	7,5
Benati 3.28	Escavatore	Scavo con martello	0,98	13,0	11,0
Bobcat X 320	Escavatore	Caricamento inerti	0,66	9,6	29,6
Bobcat X 320	Escavatore	Scavo con benna	0,51	9,5	27,3
Caterpillar 330 B LN	Escavatore	Scavo con martello	1,19	15,3	8,6
Fiat Hitachi FH 220 E	Escavatore	Scavo con martello	0,48	7,1	10,3
Fiat Hitachi FH 330 EL3	Escavatore	Scavo con martello	1,43	18,7	14,6
Komatsu PC138US	Escavatore	Scavo con martello	1,13	13,8	14,0
Komatsu PC138US	Escavatore	Raschiatura fronte di scavo	1,15	17,7	22,2
Komatsu PC138US	Escavatore	Caricamento inerti	0,65	9,7	10,1
Bitelli SF 200 L	Fresatrice	Fresatura asfalto	0,62	6,9	4,5
Suzuki Samurai 1300	Fuoristrada	Percorso sterrato	0,64	8,6	7,3
Merlo Roto 33.16KS	Gru oleodinamica	Spostamenti in cantiere	0,63	10,0	15,7
Champion Grader 720 A VHP	Livellatrice	Livellamento inerti	0,57	9,5	13,8
Bobcat 763 H	Pala gommata	Spazzolatura sede stradale	0,69	11	8,8
Cat 938 G	Pala gommata	Caricamento inerti	0,80	11,3	8,5
Caterpillar 910	Pala gommata	Caricamento inerti	0,96	12,8	8,9
Caterpillar 988	Pala gommata	Caricamento inerti	1,08	14,2	10,8
Casagrande PG175	Perforatrice	Perforazioni fronte di scavo	0,26	5,8	45,0
Bomag BW 120 AD3	Rullo compressore	Rullatura asfalto	0,36	6,4	10,5
Dynapac CA 302	Rullo compressore	Rullatura rilevato sterrato	0,73	9,7	14,9
Fiat Allis FA 100	Ruspa	Splateamento	0,83	12,8	8,8
Same 1000 4A1	Trattore agricolo	Falcatura banchina stradale	0,44	11,2	10,6
Same 1000 4A1	Trattore agricolo	Percorso su asfalto	0,42	7,5	6,9

BIBLIOGRAFIA

Decreto Legislativo 15/8/1991, n. 277: Protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, in G.U. supplemento ordinario del 27/8/1991.

DIRETTIVA EUROPEA 2002/44/CE: Prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni), in G.U. Comunità europee n. L177 del 06/07/2002.

NORMA ISO 8041/A1-98: Risposta degli individui alle vibrazioni, strumenti di misura.

NORMA ISO 2631-97: Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni al corpo intero.

ISPESL: Linee guida per la valutazione del rischio da vibrazioni negli ambienti di lavoro, www.ispesl.it.