

IL RISCHIO DA WBV IN ATTIVITÀ DI SCAVO IN GALLERIE STRADALI: MONITORAGGIO MEDIANTE TELEMISURE BASATE SU TECNOLOGIA WIRELESS

*I. Cadeddu**, *V. Dentoni***, *G. Massacci***, *P. Mura**, *V. Presicci**

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

** Università di Cagliari

RIASSUNTO

È noto che il monitoraggio di parametri accelerometrici originati in particolare da mezzi di movimento terra (pale meccaniche, escavatori, dumper, trattori agricoli, etc.) risulta di notevole difficoltà. Infatti solitamente questi mezzi non consentono la presenza a bordo di persone diverse dallo stesso conducente. Tuttavia un monitoraggio efficace e corretto di tutte le informazioni di interesse non può prescindere dal governo in tempo reale della strumentazione di misura. In questo lavoro viene illustrata una tecnica di misura, basata sulla remotizzazione del governo della strumentazione imbarcata sul mezzo, mediante collegamento radio. Ciò consente al tecnico che effettua il monitoraggio di poter condurre da terra, in posizione di sicurezza, tutte le operazioni necessarie ad acquisire i dati numerici di interesse ed in particolare di verificare la correttezza del settaggio strumentale impostato, verifica indispensabile alla validazione della misura stessa.

SUMMARY

Monitoring of accelerometric parameters due to earthmoving machinery (loaders, excavators, dumpers, agricultural tractors, etc.) is known to be very hard. Indeed this machinery don't usually allows non authorized personnel but the driver. However an efficient and correct monitoring of all pertinent information does need measurement instrumentation real time control. In this paper an on board instrumentation remote control based measurement technique by radio link is shown. This allow the technician that follows the monitoring to be able to control from a safe position all the operations needed to acquire the data and to assess the instrumental setting correctness, absolutely necessary for the actual measurement validation.

1. INTRODUZIONE

Le vibrazioni meccaniche rappresentano un importante fattore di rischio in ambito lavorativo. L'esposizione a tale fattore di rischio può derivare da una ampia varietà di processi ed attività lavorative, svolte nell'industria, nell'agricoltura e anche nel settore dei servizi. Le occasioni di esposizione a vibrazioni meccaniche in ambito lavorativo sono numerosissime potendo andare dai mezzi di trasporto, alle macchine movimento terra, alle macchine agricole, agli utensili portatili alle macchine da banco. Una eccessiva esposizione al rischio suddetto può causare importanti disturbi ed alterazioni soprattutto a carico degli arti superiori e della colonna vertebrale.



Secondo l'art.4.2 della direttiva 44/2002/CE "il livello di esposizione alle vibrazioni meccaniche può essere valutato mediante l'osservazione delle condizioni di lavoro particolari e il riferimento ad appropriate informazioni sulla probabile entità delle vibrazioni per le attrezzature o i tipi di attrezzature in particolari condizioni d'uso, incluse le informazioni fornite dal costruttore delle attrezzature." Questo modo di valutare l'esposizione alle vibrazioni non richiede necessariamente l'impiego di attrezzature specifiche e il campionamento sul campo, diversamente da quanto specificatamente prescritto dalla vigente normativa per il rischio rumore.

Risulta pertanto di significativa utilità la disponibilità di dati di letteratura che analizzino le varie configurazioni di esposizione.

In questo contesto il presente lavoro intende fornire un contributo in termini di conoscenza dei parametri di interesse in attività lavorative caratterizzate in particolare da significativi livelli di esposizione a WBV, tenendo conto anche della oggettiva carenza di specifici riferimenti normativi che consentano ai costruttori di dichiarare i livelli di emissione di vibrazioni.

A tal fine si è ritenuto di condurre l'attività di campionamento su cantieri per la realizzazione di infrastrutture stradali; in particolare sono stati operati numerosi rilievi durante le attività di realizzazione di gallerie stradali, con l'obiettivo di caratterizzare l'esposizione a WBV durante le specifiche fasi lavorative, per le quali, a fronte di un prolungato tempo di esposizione, non sono disponibili sufficienti dati di letteratura.



2. RIFERIMENTI NORMATIVI IN AMBITO INTERNAZIONALE E COMUNITARIO

La citata Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25/06/2002, stabilisce con l'art.3 i valori giornalieri di esposizione a WBV limite e di azione in termini di:

- $A(8)$ =accelerazione ponderata lungo l'asse dominante continua equivalente su 8 ore;
- VDV=valore della dose di vibrazioni;

a scelta dello stato membro, secondo la tabella che segue:

parametro	Valore di azione	Valore limite
$A(8)$	0,5 m/s^2	1,15 m/s^2
VDV	9,1 $m/s^{1,75}$	21 $m/s^{1,75}$

Per la definizione di tali grandezze viene fatto espressamente riferimento alla Norma ISO 2631-1 del 1997, che assume quale principale descrittore del rischio specifico il valore efficace della accelerazione pesata in frequenza:

$$a_{wv} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

La ponderazione in frequenza è assegnata mediante curve di pesatura che dipendono dall'effetto che si vuole indagare (salute, comfort o percezione), dalla posizione del soggetto (seduto, in piedi o disteso) e dalla direzione considerata.

Per quanto concerne gli effetti delle WBV sulla salute di soggetti **normalmente sani** in posizione assisa, la Norma ISO 2631 prevede la valutazione delle accelerazioni pesate per ciascun asse

sulla superficie che sostiene la persona (*seat surface*). La valutazione della vibrazione sarà fatta in riferimento:

- alla più elevata delle tre accelerazioni $1,4a_{wx}$, $1,4a_{wy}$ e a_{wz} , dove i coefficienti 1,4 tengono conto della diversa sensibilità del corpo umano alle accelerazioni lungo gli assi xy rispetto all'asse z;

$$a_{wv} = \max(1,4a_{wx}; 1,4a_{wy}; a_{wz})$$

- al tempo di guida giornaliero T_e , dai quali si calcola il descrittore del rischio A(8):

$$A(8) = a_{wv} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{8}}$$

3. MATERIALI E METODI

Attualmente le strumentazioni accelerometriche di interesse igienistico sono sostanzialmente riconducibili a due classi:

- strumenti "palmari", in grado di fornire tutte le grandezze stabilite dalla normativa suddetta ma che generalmente non consentono di analizzare il fenomeno nel dominio della frequenza;
- strumenti solitamente asserviti ad un personal computer in grado di registrare, documentare ed analizzare il fenomeno sia nel dominio del tempo che della frequenza.

I primi non richiedono la presenza del valutatore durante la misura, limitandosi egli alle semplici operazioni di avvio ed arresto della misura. Queste caratteristiche consentono una grande facilità di impiego particolarmente utili su macchine in cui non vi può essere la presenza a bordo di persone diverse dal conducente.

Tuttavia questa modalità di rilievo non consente di "marcare" le diverse fasi lavorative, valutare la corretta impostazione della gamma dinamica, e soprattutto non consente di analizzare il fenomeno con il dettaglio consentito dai sistemi asserviti a personal computer.

In questa fase di implementazione degli studi sulle caratteristiche dei fenomeni vibratorii di interesse risulta di grande importanza la conoscenza integrale del fenomeno stesso. In particolare il rilievo e la registrazione dei valori istantanei di accelerazione e della analisi spettrale, prima della ponderazione, assume grande valenza sia per gli aspetti che attengono la costruzione e quindi la progettazione della macchina stessa, sia per mettere in evidenza le condizioni operative della macchina che corrispondono a maggiori rischi per la salute.

Nel caso specifico, al fine di superare le limitazioni conseguenti all'utilizzo di sistemi asserviti a PC che non consentono rilievi con valutatore a bordo del mezzo, si è implementata detta tecnica mediante l'utilizzo di due personal notebook in collegamento radio reciproco, uno facente parte integrante della catena di misura a bordo del mezzo, e l'altro a disposizione del valutatore per la configurazione dei parametri di



acquisizione, in posizione di sicurezza ad una distanza di qualche decina di metri. La catena di misura imbarcata sui mezzi è pertanto costituita da un disco di materiale semirigido all'interno del quale viene fissato un trasduttore triassiale di tipo ICP con sensibilità 10 mV/g e range dinamico 500g collegato all'unità di condizionamento, di acquisizione ed analisi spettrale prodotto dalla 01dB che a sua volta è collegata e alimentata dal notebook. I tre segnali elettrici in uscita dal trasduttore assumono valori compresi in un range dinamico variabile da una misura all'altra. Poiché il corrispondente range dinamico dell'unità di analisi è limitato, è necessario adeguare asse per asse la dinamica della catena di misura alla dinamica del fenomeno reale. Un supero delle soglie consentite costituisce un sovraccarico/sottocarico che può invalidare la misura. Solo il costante monitoraggio dei valori in acquisizione garantisce l'assenza di errori dovuti alla inadeguatezza della dinamica impostata. Il sistema di acquisizione permette contemporaneamente, la memorizzazione della storia temporale spettrale dell'accelerazione rms lineare e dell'accelerazione rms ponderata in frequenza. È possibile anche registrare l'andamento temporale dell'accelerazione lineare, con frequenza di campionamento adeguata, in forma di file rielaborabili con specifici software di calcolo (MATLAB).



La figura precedente rappresenta la schermata video dalla quale dal notebook posto a terra in condizioni di sicurezza il valutatore può governare i parametri in acquisizione sul computer remoto posto direttamente a bordo della macchina oggetto del campionamento. In particolare da questa interfaccia può essere effettuata l'impostazione iniziale della strumentazione, avviata la misura, possono essere marcate le singole fasi lavorative, visualizzati i risultati parziali della misura e in generale controllato il corretto svolgimento della stessa, e adattata se necessario la dinamica, senza interruzione della attività lavorativa. La remotizzazione della interfaccia è stata possibile configurando il notebook a bordo del mezzo in modalità *server* e quello a terra in modalità *client* secondo lo standard definito dal software Netmeeting (remote desktop) che si appoggia su un collegamento radio di tipo punto-punto stabilito fra i due pc mediante due dispositivi di interfaccia LAN in tecnologia wireless. La banda utilizzata (2,4GHZ) e le potenze in radiofrequenza (10mW) rientrano fra quelle consentite per l'uso senza autorizzazione in Italia.

4. DESCRIZIONE DEL CICLO LAVORATIVO PER LA ESECUZIONE DELLE GALLERIE

L'avanzamento del fronte di scavo può avvenire con impiego di esplosivo o mediante escavatore equipaggiato con martellone a seconda del grado di fratturazione della roccia. Qualora la roccia non sia eccessivamente fratturata con il carro di perforazione (jumbo) si realizzano i fori che vengono caricati con l'esplosivo. Una volta brillate le cariche (volata) e ricambiata l'aria mediante l'impianto di ventilazione (sfumo) si provvede, previo controllo da parte del fochino delle condizioni del fronte di avanzamento, all'operazione di disaggio con escavatore dei volumi di roccia instabili. Il materiale abbattuto viene ammassato da un escavatore e successivamente caricato con una pala meccanica sugli autoribaltabili per essere trasferito all'esterno (smarino). È questa l'operazione maggiormente significativa ai fini della valutazione delle vibrazioni al corpo intero dei conducenti dei mezzi a causa della prolungata durata di esecuzione (alcune ore).

Il ciclo si conclude con la eventuale posa delle centine, catene e/o bullonature, con la posa di uno strato di cemento fibrorinforzato a spruzzo (spritz beton), del rivestimento definitivo a mezzo di carro porta casseforme e getto di calcestruzzo.



5. PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

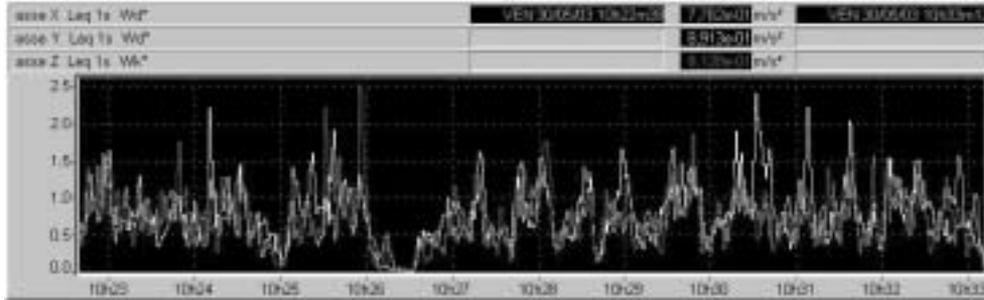
Le informazioni raccolte per ciascun rilievo sono state organizzate in schede, in cui sono riportati i dati salienti ai fini della caratterizzazione del fenomeno vibratorio.

Ad esempio a si riportano una di tali schede, i relativi valori di accelerazione globali

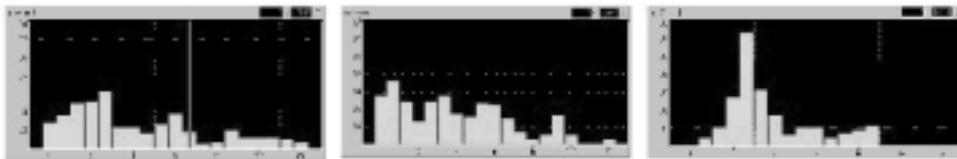
	a_v [m/s ²]	$1,4a_w$ [m/s ²]
Asse X	0,776	1,087
Asse Y	0,891	1,248
Asse Z	0,813	

Fase lavorativa	Carico su dumper di inerti di origine granitica di media pezzatura (0,5+1m) in galleria	
Durata misura	Inizio	10.21
	Fine	10.31
Automezzo	Pala meccanica gommata	Caterpillar 950G
	Capacità volumetrica [m ³]	
	Massa [Kg]	18000
	Potenza max [Kw]	146
	Velocità	1
Dati operatore	Età	32
	Peso [Kg]	75
	Altezza [cm]	172
	Arteanità mansione	13
Condizioni pista	Buona	
Note	Sedile KAB 315 tarato per 85 Kg Telaio della pala sncdato	

e il relativo andamento nel dominio del tempo delle accelerazioni ponderate:



Viene riportato infine l'andamento dello spettro non ponderato nel dominio della frequenza per i tre assi in forma grafica:



Di seguito si riporta la tabella riepilogativa delle misure effettuate in galleria e annessi cantieri:

costruttore	modello	tipo	note	fase lavorativa	XY		Z			
					rw	k*rw	rw	k*rw		
Caterpillar	320HS	escavatore	cingolato	benza	sistemazione rilevato	0,56	0,73	0,31	0,44	0,64
Fiat Hitachi	FW 150W2	escavatore	gommato	benza	sistemazione rilevato	0,46	0,65	0,33	0,46	0,68
Bomag	BW 211D-3	rullo vibrante			rullatura rilevato	0,20	0,29	0,16	0,22	0,18
Linkbelt		batipala			infilazione pali di fondazione	0,046	0,06	0,07	0,09	0,20
Caterpillar	330C	escavatore	cingolato	benza	sbancamento superficiale	0,24	0,33	0,22	0,31	0,51
Caterpillar	330C	escavatore	cingolato	benza	carico dump	0,35	0,49	0,19	0,26	0,51
Perini	DP366C3	dump			movimentazione inerti (ciclo)	0,53	0,74	0,51	0,72	0,40
Caterpillar	D8M3L	pala	cingolata	benza	stesa terreno vegetale	0,46	0,63	0,36	0,51	0,70
Caterpillar	320C	escavatore	cingolato	benza	posa condotte in l. vegetale	0,39	0,55	0,20	0,27	0,26
Caterpillar	320HLN	escavatore	cingolato	benza	posa condotte in l. roccioso	0,73	1,03	0,20	0,28	0,65
Caterpillar	215LC	escavatore	cingolato	benza	posa condotte in l. vegetale	0,35	0,49	0,23	0,31	0,50
Caterpillar	320HLN	escavatore	cingolato	benza	posa condotte in l. vegetale	0,23	0,33	0,13	0,18	0,23
Caterpillar	225DLG	escavatore	cingolato	benza	taglio di rilevato	0,36	0,50	0,26	0,36	0,36
Perini	DP218S	dump			movimentazione inerti (ciclo)	0,18	0,25	0,26	0,36	0,58
Caterpillar	950C	pala	gommata	benza	Mes. mat. pos. da smantio	0,72	1,01	0,66	0,92	0,11
Fiat Iveco	330F26	dump			Movimentazione inerti (ciclo)	0,18	0,26	0,34	0,48	0,29
Fiat Iveco	330F26	dump		lato passivo	movimentazione inerti (ciclo)	0,16	0,22	0,30	0,42	0,35
Bentli	TMT321	escavatore	cingolato	spirofossi	Pulizia di fossi	0,32	0,45	0,30	0,41	0,56
Caterpillar	950G	pala	cingolata	benza	smantio in galleria	0,78	1,09	0,89	1,25	0,81
Caterpillar	325B	escavatore	cingolato	benza	smantio e disaggio in gall.	0,89	1,25	0,51	0,71	1,14
Fiat Iveco	330F26	dump			smantio in galleria (ciclo)	0,15	0,21	0,29	0,40	0,40
Fiat Hitachi	FH330H3	escavatore	cingolato	maniflore	abbattimento fronte galleria	0,56	0,78	0,38	0,53	1,04
Caterpillar	964F	pala	gommata	benza	smantio in galleria	0,46	0,65	0,37	0,51	0,44
Fiat Iveco	330F26	dump			smantio in galleria (ciclo)	0,39	0,55	0,56	0,79	0,68

6. CONCLUSIONI

L'analisi dei dati riportati in tabella permette di escludere sicuramente l'esposizione significativa a rischio di WBV per gli operatori addetti al rullo vibrante, contrariamente a quanto potrebbe suggerire l'esperienza comune, mentre mette in evidenza un rischio non trascurabile per gli addetti all'escavatore equipaggiato con martellone impiegato per abbattere il materiale sul fronte di avanzamento ($T_{lim}=3,1$ ore).

Si mette in evidenza inoltre che non sempre le accelerazioni trasmesse lungo l'asse verticale ossia lungo l'asse del rachide sono quelle a maggior rischio per la salute, ma alcune operazioni, come l'attività di smarino a mezzo di escavatore cingolato sono caratterizzate dalla dominanza di valori accelerometrici lungo gli assi trasversali alla colonna vertebrale stessa ($1,25m/s^2$).

I valori di accelerazione sono caratterizzati, a parità di macchina, da ampi valori di oscillazione in relazione alle singole fasi operative. La caratterizzazione del rischio pertanto non potrà prescindere dalla conoscenza in dettaglio dei singoli valori accelerometrici anche se si dovesse optare la scelta normativa di non effettuare misurazioni dirette da parte dei datori di lavoro. In questo senso il presente lavoro vuole essere anche un contributo per la valutazione del rischio da vibrazioni al corpo intero indirizzato ai Responsabili dei Servizi di Prevenzione e Protezione e ai Datori di lavoro.

BIBLOGRAFIA

ISO 2631-1 (1997), *Mechanical vibration and shock -Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements*, International Organization for Standardization, Geneva.

DIRETTIVA 2002/44/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni) (sedicesima direttiva particolare ai sensi dell'art.16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE , GUCE 6.7.2002 L 177, Brussels.

BS 6841 (1987), *Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock*, British Standard Institution, London

ISPESL (2000), *Linee guida per la valutazione del rischio da vibrazioni negli ambienti di lavoro*, dBA 2000, Modena.