

VIBRAZIONI TRASMESSE DAI CARRELLI ELEVATORI FRONTALI

A.Peretti^(1,2), F.Bonomini⁽²⁾, A.Pasqua di Bisceglie⁽³⁾, M.Tarabini⁽⁴⁾, G.Cappello⁽⁵⁾, M.Forcolin⁽⁶⁾, C.Campagnolo⁽⁷⁾, F.Campello⁽⁷⁾, C.Concini⁽⁷⁾, G.Lorenzon⁽⁷⁾, G.Orlando⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro, Università di Padova

⁽²⁾ Peretti e Associati, Padova

⁽³⁾ Dipartimento di Medicina Ambientale e Sanità Pubblica, Università di Padova

⁽⁴⁾ Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano

⁽⁵⁾ Aermec SpA, stabilimento di Bevilacqua (Verona)

⁽⁶⁾ Arneg SpA, stabilimento di Marsango (Padova)

⁽⁷⁾ Electrolux SpA, stabilimenti di Maniago, Porcia, Vallenoncello (Pordenone) e Susegana (Treviso)

1. PREMESSA

I carrelli elevatori frontali sono ampiamente impiegati negli stabilimenti industriali e nei magazzini per la movimentazione dei materiali e delle merci. In genere i lavoratori addetti a tali mezzi svolgono esclusivamente la mansione di carrellista, risultando così esposti a vibrazioni trasmesse al corpo intero in misura spesso quasi continua per l'intero turno di lavoro. Per questi motivi, sulla base di nostre precedenti esperienze [Cocheo et al. 1984, Peretti e Valsecchi 1984, Peretti et al. 2003], abbiamo svolto un'indagine, da un lato mirata alla valutazione delle vibrazioni di un numero elevato di carrelli (72) e del rischio cui sono esposti i conducenti e dall'altro finalizzata all'individuazione delle cause che determinano il rischio e degli interventi in grado di ridurlo. In questo lavoro sono riportati i risultati preliminari delle ricerche svolte in tali direzioni.

2. MATERIALI E METODI

2.1 AZIENDE

L'indagine è stata effettuata presso tre aziende di produzione di manufatti di largo consumo, particolarmente attente ai problemi in esame: Aermec (impianti di condizionamento dell'aria), Arneg (banchi frigo per negozi e supermercati), Electrolux (lavatrici, frigoriferi e altri elettrodomestici).

2.2 STRUMENTAZIONE

Sono stati impiegati due accelerometri triassiali di tipo *Integrated Circuit Piezoelectric* (ICP) prodotti dalla PCB Piezotronics: il primo inserito in un piatto semirigido di gomma (SEN 027-356B40, sensibilità nominale 10 mV/ms⁻²) è stato

adoperato per i rilievi sul piano del sedile, interposto tra il cuscino e i glutei del conducente; il secondo (356A02, sensibilità nominale 1 mV/ms^{-2}) è stato utilizzato per i rilievi sul basamento del sedile, fissato mediante magnete.

A titolo di completezza è stato rilevato anche il rumore impiegando uno o due microfoni MP 201 (diametro $1/2''$, sensibilità nominale 50 mV/Pa , per campo libero) muniti di preamplificatore MA 211, prodotti dalla BSWA Technology. Le misure sono state effettuate in corrispondenza di un orecchio o di ambedue gli orecchi dell'addetto.

I trasduttori di rilevazione delle vibrazioni e del rumore sono stati collegati al dispositivo di misura a otto canali Soundbook prodotto dalla Sinus Messtechnik, dotato dei filtri di ponderazione delle vibrazioni trasmesse al corpo intero (d per gli assi longitudinale e trasversale, k per l'asse verticale), secondo le indicazioni delle norme ISO 2631-1 (1997) e ISO 8041 (2005).

La calibratura delle linee di misura è stata eseguita mediante gli strumenti di riferimento 4294 e 4231 prodotti dalla Bruel Kjaer.

Nel caso delle vibrazioni, il dispositivo di misura è stato predisposto per rilevare, ogni secondo e per l'intera durata dei rilievi, i valori medi energetici (equivalenti) delle accelerazioni, sia ponderati in frequenza mediante i filtri d e k , che per bande di $1/3$ di ottava.

2.3 CARRELLI IN NORMALI CONDIZIONI DI LAVORO

Sono stati esaminati 72 carrelli elevatori frontali (2 a motore diesel e 70 elettrici), di portata compresa generalmente tra 1 e 2 t, prodotti da Cesab, Jungheinrich, Linde, OM-Pimespo, Still, Pieralisi, Pucci, in uso negli stabilimenti delle tre aziende in esame.

Per ciascun carrello è stato effettuato un rilievo di durata pari a circa 10 minuti nelle normali condizioni di lavoro, annotando con continuità le operazioni svolte e le aree attraversate.

2.4 EFFETTO DELLE CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE E DELLA VELOCITÀ DI MARCIA

Oltre ai rilievi in normali condizioni di lavoro, su un carrello elevatore frontale particolarmente diffuso (OM Pimespo E10N, motore elettrico, portata 1 t, sedile Grammer GS12, anno 2007) sono state svolte prove supplementari, volte a investigare l'effetto delle condizioni della pavimentazione e della velocità di marcia del carrello. I rilievi sono stati eseguiti facendo ripetere allo stesso carrellista il medesimo percorso a velocità controllata.

Le misure sono state effettuate su due tratti rettilinei rivestiti con lastre di calcestruzzo: il primo in discrete condizioni, il secondo in mediocri condizioni caratterizzato da discontinuità tra lastre adiacenti, tombini e riparazioni superficiali. Nel primo il carrello ha percorso il tratto in esame a tre velocità nominali costanti (10, 8 e 6 km/h), nel secondo a un'unica velocità nominale costante (10 km/h). La velocità media effettiva è stata valutata sulla base della lunghezza del tratto in esame (rispettivamente 75 e 38 m) e delle rilevazioni cronometriche. Per ogni condizione di misura sono stati effettuati 5-6 rilievi.

2.5 ELABORAZIONE DEI DATI

Ai sensi del D.Lgs. 81/2008 per la valutazione dell'esposizione è stato considerato il valore massimo della terna delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza, rilevate sui tre assi ortogonali e corrette per il coefficiente 1.4 nel caso delle vibrazioni sul piano orizzontale. Quest'ultima correzione è stata eseguita anche per la determinazione della somma vettoriale.

Sulla base della norma ISO 10326-1 (1992) è stato calcolato il valore SEAT (*Seat Effective Amplitude Transmissibility*), ossia il rapporto tra il valore dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza rilevato sul piano del sedile lungo l'asse verticale e il corrispondente valore rilevato sul basamento del sedile. Tale valore permette una stima complessiva, in tutto l'intervallo di frequenza in esame, dell'efficacia del sedile nel ridurre le vibrazioni (un valore inferiore a 1 indica un'attenuazione delle vibrazioni, un valore maggiore di 1 un'amplificazione). Il valore SEAT presenta però due limitazioni: dipende dal contenuto spettrale delle vibrazioni alla base del sedile ed è influenzato dai movimenti del conducente, non correlati alle accelerazioni presenti sul basamento del sedile.

È stata inoltre valutata la trasmissibilità delle vibrazioni attraverso il sedile in funzione della frequenza: essa si riferisce al rapporto tra le accelerazioni verticali rilevate sul piano del sedile e le corrispondenti accelerazioni determinate sul basamento. Tale curva, caratteristica del sedile, è indipendente dal mezzo nonché dalle condizioni oggetto della prova, ma rimane influenzata dai movimenti del conducente.

3. RISULTATI E OSSERVAZIONI

3.1 CARRELLI IN NORMALI CONDIZIONI DI LAVORO

Nelle figure 1-6 sono riportate le distribuzioni dei dati relativi ai 72 carrelli esaminati in normali condizioni di lavoro. Le figure 1-3 si riferiscono alle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza rilevate sugli assi longitudinale x , trasversale y e verticale z ; la figura 4 riguarda i valori massimi delle terme delle accelerazioni corrette; la figura 5 concerne le somme vettoriali delle accelerazioni; la figura 6 indica i valori SEAT. Si può osservare che i dati si distribuiscono su ampi intervalli; i valori massimi sono, infatti, superiori ai valori minimi di 2.5-4.6 volte.

Nella tabella 1 i dati relativi ai 72 carrelli sono confrontati con quelli riscontrati in precedenza [Peretti et al. 2003] relativi a 11 carrelli elettrici normalmente impiegati nei magazzini di due aziende ortofrutticole e di una casa editrice. Come si può osservare i valori delle accelerazioni rilevati nel 2003 sono leggermente più bassi di quelli riscontrati nel 2007, mentre i valori SEAT sono leggermente più alti.

Dalla presente indagine emerge che, mediamente, le accelerazioni longitudinali sono di poco più elevate di quelle trasversali; le accelerazioni verticali sono invece nettamente più elevate di quelle orizzontali, a causa dei sobbalzi del carrello su superfici non uniformi. Come già accennato, ai sensi del D.Lgs. 81/2008 l'esposizione è valutata sulla base del valore massimo delle accelerazioni corrette.

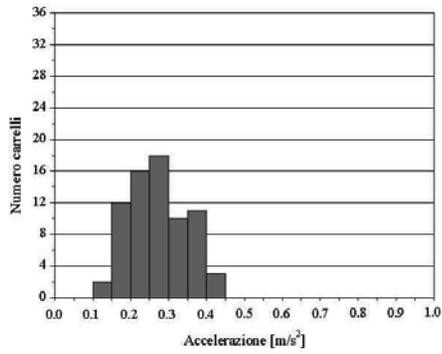


Fig. 1 - Distribuzione dei valori dell'accelerazione ponderata in frequenza sull'asse x

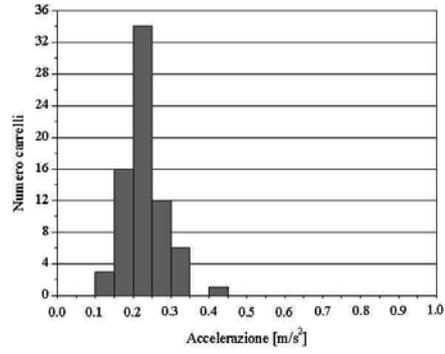


Fig. 2 - Distribuzione dei valori dell'accelerazione ponderata in frequenza sull'asse y

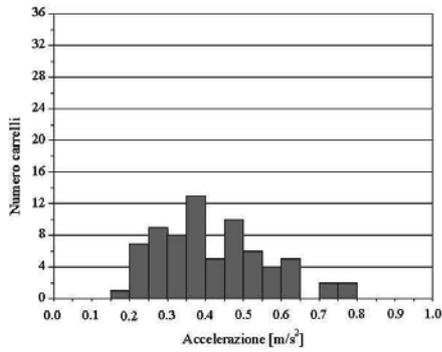


Fig. 3 - Distribuzione dei valori dell'accelerazione ponderata in frequenza sull'asse z

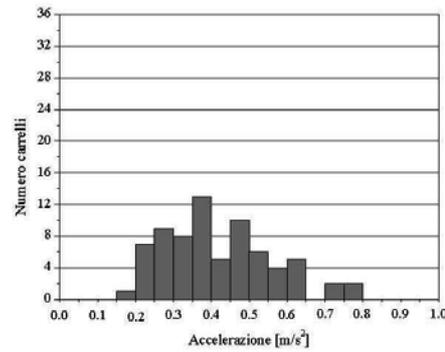


Fig. 4 - Distribuzione dei valori massimi delle terne delle accelerazioni ponderate in frequenza

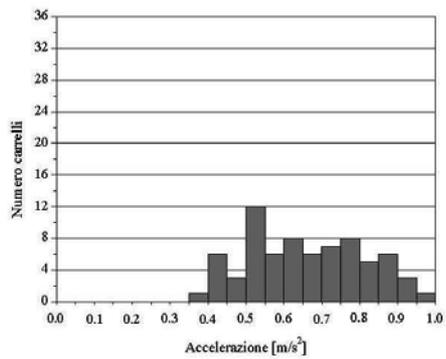


Fig. 5 - Distribuzione delle somme vettoriali delle accelerazioni ponderate in frequenza

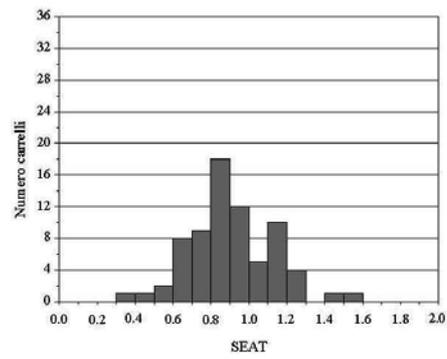


Fig. 6 - Distribuzione dei valori SEAT

Nella presente indagine le accelerazioni verticali determinano il rischio solo nel 57% dei casi; la correzione per il coefficiente 1.4 rende, infatti, le accelerazioni longitudinali quasi comparabili con quelle verticali nel determinare il rischio (40% dei casi); esigua invece l'importanza delle accelerazioni trasversali (determinanti il rischio solo nel 3% dei casi).

Considerando una durata di esposizione giornaliera di 5, 6, 7, 8 ore, l'esposizione normalizzata a 8 ore (A(8)) supera il valore di azione (0.5 m/s^2) rispettivamente nel 7, 18, 25 e 35 % dei casi; mai è superato il valore limite (1.0 m/s^2).

Gli spettri delle accelerazioni verticali sul basamento del sedile sono caratterizzati, nella quasi totalità dei casi, da un picco a una frequenza di 5 o 6.3 Hz (tali valori possono essere quindi considerati come le frequenze di risonanza dei carrelli); anche gli spettri sul piano del sedile evidenziano un comportamento simile. Le componenti degli spettri delle accelerazioni longitudinali e trasversali sono, in genere, dello stesso ordine di grandezza in tutto l'intervallo considerato (0.5-400 Hz).

Sulla base degli andamenti delle accelerazioni nel tempo e delle annotazioni registrate durante le prove, è emerso che il fattore che maggiormente condiziona le vibrazioni è la pavimentazione.

Considerando i valori SEAT, le vibrazioni sono amplificate dai sedili nel 29 % dei casi, sono attenuate nel 71%. A frequenze inferiori a 10-20 Hz i sedili incrementano le accelerazioni presenti sul basamento. Ciò può essere dovuto agli effetti combinati della risonanza del sedile e dei movimenti del carrellista. A frequenze superiori a 10-20 Hz i sedili attenuano in misura via crescente le vibrazioni presenti sul basamento. Il rumore cui sono esposti gli addetti dei carrelli elettrici dipende dalle aree in cui essi operano. Per i conducenti dei carrelli diesel il rumore può essere significativo: nel caso dei due carrelli esaminati i livelli sonori equivalenti sono risultati pari a 75-76 e 78-80 dB(A) a carrelli fermi con motore, rispettivamente, al minimo e a metà regime di giri, nonché pari a 80-83 dB(A) in condizioni operative.

Tabella 1: Carrelli in normali condizioni di lavoro esaminati nella presente indagine (72) e nel 2003 (11): sono riportati i valori medi e le deviazioni standard delle accelerazioni ponderate in frequenza riscontrati sul piano del sedile e dei SEAT

<i>N. carrelli</i>	<i>Asse x</i> [m/s^2]	<i>Asse y</i> [m/s^2]	<i>Asse z</i> [m/s^2]	<i>Max. terna</i> [m/s^2]	<i>Somma vett.</i> [m/s^2]	<i>SEAT</i>
72	0.27±0.07	0.23±0.05	0.42±0.14	0.45±0.13	0.66±0.15	0.91±0.22
11	0.18±0.02	0.17±0.03	0.37±0.12	0.39±0.09	0.52±0.08	0.98±0.18

3.2 EFFETTO DELLE CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE E DELLA VELOCITÀ DI MARCIA

L'analisi della ripetibilità dei valori delle accelerazioni rilevati sul carrello OM Pimespo E10N nel corso dei 5-6 rilievi effettuati nelle medesime condizioni controllate ha evidenziato una dispersione dei dati molto bassa (coefficiente di variazione compreso tra il 5 e il 7%). I valori delle accelerazioni verticali sono nettamente dominanti rispetto a quelli delle accelerazioni longitudinali e trasversali. Nelle tabelle 2 e 3 sono confrontati i dati rilevati nella presente indagine con quelli

riscontrati in precedenza [Peretti et al. 2003] relativi a 2 carrelli nuovi (Cesab Blitz 315 elettrico e Cesab Drago 180 diesel), anch'essi esaminati in condizioni controllate (3 rilievi per ciascuna prova). La tabella 2 si riferisce ai carrelli testati su superfici differenti, la tabella 3 ai carrelli testati a velocità di marcia diverse (le velocità dei carrelli Cesab sono nominali). Le figure 7-9 riportano gli esiti dell'analisi di regressione effettuata sui dati di tabella 3.

I risultati mostrano come la dipendenza delle vibrazioni dalle condizioni della pavimentazione sia rilevante. Passando da una superficie mediocre a una discreta le accelerazioni diminuiscono del 11-20%; passando da una superficie mediocre a una buona la riduzione è del 30-47%.

Anche la dipendenza delle vibrazioni dalla velocità di marcia è in genere considerevole; riducendosi la velocità, le accelerazioni diminuiscono in misura significativa. Considerando i singoli carrelli, la correlazione tra accelerazioni e velocità è evidente (coefficienti R compresi tra 0.899 e 0.992).

Nonostante il numero esiguo di prove in condizioni controllate, risulta chiara l'influenza della pavimentazione e della velocità sulle vibrazioni.

Tabella 2: Carrelli in condizioni controllate, su superfici differenti, esaminati nella presente indagine (OM) e nel 2003 (Cesab): sono riportati i valori medi delle accelerazioni ponderate in frequenza riscontrati sul piano del sedile

<i>Carrello</i>	<i>Velocità</i> [km/h]	<i>Percorso rettilineo</i>		<i>Asse z</i> [m/s ²]	<i>Somma vett.</i> [m/s ²]
		<i>superficie</i>	<i>condizioni</i>		
OM Pimespo E10N	9.5 - 9.7	lastre in calcestruzzo	mediocri	0.96	1.34
			discrete	0.85	1.07
Cesab Blitz 315	10	asfalto	mediocri	0.56	0.84
			buone	0.39	0.48
Cesab Drago 180	10	asfalto	mediocri	1.15	1.37
			buone	0.67	0.72

Tabella 3: Carrelli in condizioni controllate, a velocità di marcia diverse, esaminati nella presente indagine (OM) e nel 2003 (Cesab): sono riportati i valori medi delle accelerazioni ponderate in frequenza riscontrati sul piano del sedile

<i>Carrello</i>	<i>Percorso rettilineo</i>	<i>Velocità</i> [km/h]	<i>Asse z</i> [m/s ²]	<i>Somma vett.</i> [m/s ²]
OM Pimespo E10N	lastre in calcestruzzo in discrete condizioni	9.5	0.85	1.07
		8.1	0.81	1.01
		6.3	0.61	0.84
Cesab Blitz 315	asfaltato in buone condizioni	15	0.50	0.69
		10	0.47	0.62
		5	0.21	0.28
Cesab Drago 180	asfaltato in buone condizioni	18	1.25	1.36
		10	0.67	0.72
		5	0.46	0.55

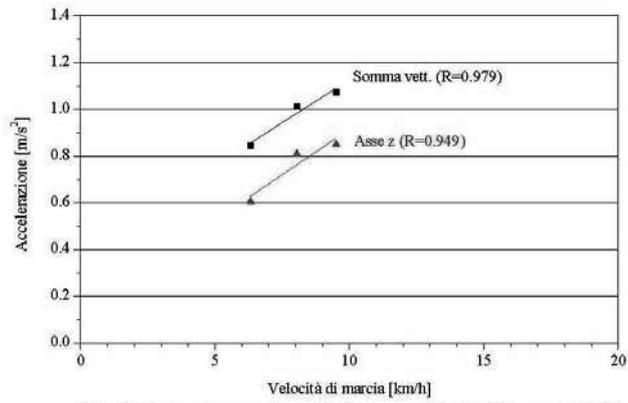


Fig. 7 - Rette di regressione relative al carrello OM Pimespo E10N

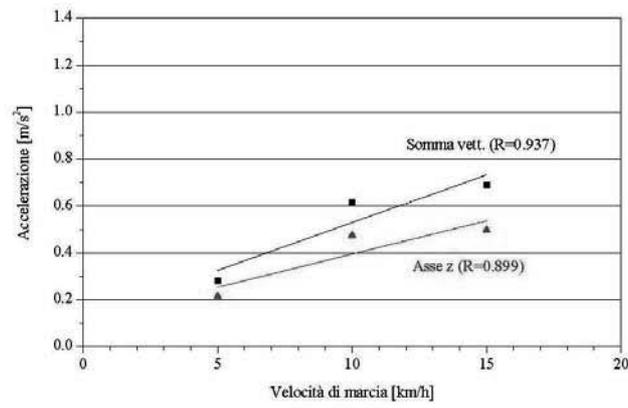


Fig. 8 - Rette di regressione relative al carrello Cesab Blitz 315

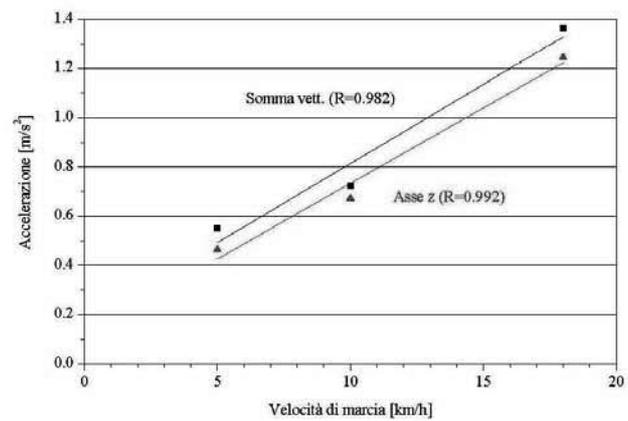


Fig. 9 - Rette di regressione relative al carrello Cesab Drago 180

4. CONCLUSIONI

Dall'indagine effettuata su un numero elevato di carrelli emerge che le vibrazioni possono costituire un rischio per i conducenti.

L'esame degli andamenti delle vibrazioni in funzione del tempo nel caso dei carrelli in normali condizioni di lavoro e le prove specifiche eseguite sui carrelli in condizioni controllate hanno evidenziato come le vibrazioni dipendano dalle condizioni della pavimentazione e dalla velocità di marcia: una superficie uniforme e una velocità contenuta dovrebbero garantire esposizioni alle vibrazioni inferiori al valore di azione.

La pavimentazione industriale è generalmente costituita da lastre in calcestruzzo, caratterizzate da giunti che tendono a deteriorarsi nel tempo; tra una lastra e l'altra vengono a crearsi, infatti, dei gradini che tendono a sbrecciarsi a causa del passaggio dei carrelli. Proprio tali gradini, insieme a crepe, fessure, riparazioni mal eseguite, tombini, ecc. sono la causa principale delle vibrazioni che si trasmettono al sedile del carrello. Ne deriva che una pavimentazione senza soluzioni di continuità, rivestita o impregnata con uno strato in resina epossidica o poliuretanica, può garantire uniformità della superficie e quindi contenuti valori di vibrazioni.

Un altro possibile intervento volto a diminuire le vibrazioni cui il carrellista è esposto riguarda la velocità massima, che può essere regolata sulla centralina elettronica del carrello: essa dovrebbe essere adeguata alla tipologia della superficie e comunque non risultare superiore a 10-12 km/h.

I risultati dell'indagine hanno mostrato come non sempre i sedili montati sui carrelli siano adeguati. Quasi in 1/3 dei casi le vibrazioni rilevate sul piano del sedile sono risultate superiori a quelle misurate sul basamento; in questa direzione, un'ottimizzazione nella progettazione del sistema di sospensione del sedile è sicuramente auspicabile. Nel 40% dei casi la direzione delle vibrazioni determinante il rischio è quella parallela alla direzione del moto; è verosimile che disaccoppiando meccanicamente il sedile dal telaio del carrello anche sul piano orizzontale si abbia una riduzione significativa dell'esposizione del conducente.

Sebbene nel presente articolo non siano stati effettuati studi per verificare la dipendenza fra vibrazioni e manutenzione, i sedili e le coperture delle ruote dovrebbero essere mantenuti in condizioni adeguate.

Infine il carrellista dovrebbe evitare operazioni particolarmente brusche (urti tra forche e pallet, ecc.) che incrementano le vibrazioni cui è esposto. A questo proposito la formazione e l'informazione assumono, come sempre, un ruolo decisivo.

BIBLIOGRAFIA

- Cocheo V., Valsecchi M., Peretti A., Coato F. *Chariots de manutention - Pollution chimique, bruit, vibrations*. Cahiers de notes documentaires: sécurité et hygiène du travail 115, 159-168, 1984
- International Standard ISO 10326-1. Mechanical vibration - Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration - Part 1: Basic requirements, 1992

- International Standard ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements, 1997
- International Standard ISO 8041. Human response to vibration - Measuring instrumentation, 2005
- Peretti A. e Valsecchi M. *Rischi da rumore e vibrazioni per i manovratori dei carrelli elevatori*. Atti del Convegno dell'Associazione Italiana di Acustica, Perugia 9-11 aprile 1984
- Peretti A., Bernardelli S., Barbieri G., Acquafresca L., Aquila M., Bernardini I., Biagi G., Gaddoni C., Malaguti S., Passeri G., Baiamonte M. *Vibrazioni prodotte da carrelli elevatori in condizioni controllate e di normale esercizio*. Atti del 21° Congresso Nazionale AIDII, Como 25-27 giugno 2003, 383-388