

A. Peretti¹, F. Bonomini², A. Pasqua di Bisceglie³

Carrelli elevatori: vibrazioni, esposizione dei conducenti, interventi di riduzione del rischio

¹ Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro, Università di Padova - Ospedale Giustiniano, Padova

² Ingegnere, libero professionista, Padova

³ Medico del Lavoro, libero professionista, Padova

RIASSUNTO. Le vibrazioni trasmesse al corpo intero possono costituire un rischio per la salute degli addetti ai carrelli elevatori. È stata quindi svolta una ricerca sulle vibrazioni presenti su una quantità elevata di mezzi (131), mirata a individuare le caratteristiche delle vibrazioni e le esposizioni dei carrellisti. Particolare attenzione è stata posta sui sedili, sulla velocità di marcia e sulle irregolarità della superficie su cui i carrelli traslano, fattori questi che possono influire in misura notevole sulle vibrazioni. Il lavoro si conclude con una panoramica degli interventi da porre in atto per ridurre il rischio.

Parole chiave: carrelli elevatori, vibrazioni, sedili.

ABSTRACT. *FORKLIFTS: VIBRATIONS, DRIVERS EXPOSURE, INTERVENTIONS TO REDUCE RISK. Whole-body vibrations may be a health risk to forklifts drivers. Thus, a research on the vibrations occurring on a high amount of forklifts (131) has been carried out in order to identify the characteristics of vibrations and the exposure of the drivers. Particular attention has been paid to the seats, to the travel speed and to the irregularities of the surface on which forklifts move: these factors can affect vibrations greatly. The paper closes with an overview of interventions to implement for reducing the risk.*

Key words: *forklifts, vibrations, seat.*

1. Premessa

I carrelli elevatori sono ampiamente impiegati negli stabilimenti industriali e nei magazzini per la movimentazione dei materiali e delle merci. In genere i conducenti svolgono esclusivamente la mansione di carrellista, risultando così esposti a vibrazioni spesso in misura quasi continua per l'intero turno di lavoro.

È noto che ad una esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero prolungata nel tempo è associato un maggiore rischio di insorgenza di disturbi e lesioni a carico del rachide, in particolare del tratto lombosacrale. Infatti i dati epidemiologici attualmente disponibili depongono per una maggiore occorrenza di lombalgie, alterazioni degenerative precoci della colonna vertebrale, discopatie o ernie discali lombari e/o lombosacrali nei soggetti professionalmente esposti a vibrazioni rispetto ai controlli.

Anche per i carrellisti la maggior parte degli studi riportano come predominanti i sintomi riferiti al rachide lombare, mentre pochi evidenziano effetti su altri tratti della colonna vertebrale, come quello attinente le articolazioni cervicali (1). Nei carrellisti le prevalenze di disturbi o patologie a carico del rachide lombare risultano statisticamente significative rispetto ai gruppi di controllo (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) e crescono all'aumentare degli anni di esposizione alle vibrazioni (2, 4, 6).

Tuttavia il ruolo delle vibrazioni nell'eziopatogenesi delle alterazioni del rachide nei conducenti dei mezzi di trasporto e delle macchine semoventi non è ancora completamente chiarito; infatti solo pochi studi riportano i valori delle accelerazioni con la conseguenza che le relazioni dose-risposta si basano su dati insufficienti (9). Inoltre la guida dei carrelli elevatori comporta non solo l'esposizione a vibrazioni, ma anche a fattori di stress ergonomico, quali ad esempio la postura assisa prolungata con mani e piedi impegnati sui dispositivi di guida, l'assenza di pause, nonché i movimenti incongrui e ripetuti del tronco e del collo (rotazione e flessione) in particolare durante la retromarcia (2, 6, 7). Da uno studio recente emerge che le posture inadeguate si riferiscono più frequentemente al mantenimento del tronco in flessione laterale e per tempi minori del collo in flessione sagittale o laterale (10).

Accanto a questi fattori che sono strettamente legati alla guida dei carrelli, alcune caratteristiche individuali qua-

li età, BMI, abitudine al fumo, aspetti costituzionali, familiarità, nonché fattori di natura psicosociale o pregressi traumatismi sono riconosciuti come variabili predittive della comparsa di disturbi al rachide, in particolare di lombalgia. A proposito dell'età, va evidenziato che, all'aumentare della stessa, la differenza tra la prevalenza dei disturbi a carico del rachide nei carrellisti e nei controlli tende a ridursi, anche per il fatto che i lavoratori con mal di schiena abbandonano le attività lavorative che presuppongono esposizione alle vibrazioni (3).

Alla luce di quanto riportato, è stata svolta un'indagine mirata alla valutazione delle accelerazioni su una quantità rilevante di carrelli, finalizzata all'individuazione dei fattori che influenzano le vibrazioni e degli interventi in grado di ridurre il rischio. Alcuni di questi dati sono già stati pubblicati (11, 12, 13), anche sulla base di pregresse esperienze (14, 15).

2. Materiali e metodi

La ricerca è stata effettuata presso 14 aziende (stabilimenti di lavorazione di lamiere e coils, nonché di produzione di lastre di marmo, banchi frigoriferi, elettrodomestici, impianti di condizionamento, sacchi in carta, compounds in materiale plastico).

Sono stati esaminati 131 carrelli (97 elevatori frontali, 16 commissionatori, 7 da traino, 4 laterali, 3 a montante retrattile, 3 stocicatori, 1 transpallet), di cui 125 a motore elettrico e 6 diesel, 114 dotati di sedile e 17 di pedana per la guida in piedi, di massa sino a 5 t e immatricolati tra il 1971 e il 2009.

Le vibrazioni sono state rilevate tramite due accelerometri triassiali ICP prodotti dalla PCB Piezotronics di sensibilità nominale pari a 10 e 1 mV/ms⁻². Nel caso dei carrelli dotati di sedile, il primo accelerometro inserito in un piatto semirigido di gomma è stato adoperato per i rilievi sul piano del sedile (interposto tra il piano e i glutei del conducente); il secondo accelerometro è stato utilizzato per i rilievi sul basamento del sedile, fissato mediante magneti. Nel caso dei carrelli dotati di pedana, i due accelerometri sono stati fissati sulla stessa pedana tramite magneti ai lati dei piedi del conducente oppure uno sulla pedana e l'altro sul telaio del carrello in prossimità della pedana stessa.

A titolo di completezza è stato rilevato anche il rumore mediante 2 microfoni di diametro pari a 1/2" (sensibilità nominale 50 mV/Pa) prodotti dalla BSWA Technology, fissati su un telaietto in filo di ferro indossato dall'addetto e posti a circa 10 cm da ciascun orecchio.

I trasduttori sono stati collegati al dispositivo di misura a 8 canali Soundbook prodotto dalla Sinus Messtechnik, dotato dei filtri di ponderazione delle vibrazioni trasmesse al corpo intero (filtro *d* per gli assi longitudinale *x* e trasversale *y*, filtro *k* per l'asse verticale *z*) definiti dalle norme ISO 2631-1 (16) e ISO 8041 (17), al fine di determinare i valori dell'accelerazione ponderata in frequenza. Il dispositivo di misura è stato collegato ad una webcam in modo che, a posteriori, i risultati delle misure nel corso del loro evolversi potessero essere correlati alle attività dei carrelli e ai percorsi effettuati.

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

3. Risultati

3.1 Carrelli nelle normali condizioni di lavoro

Su ciascun carrello è stato effettuato un rilievo di durata pari a circa 10 minuti nelle normali condizioni di lavoro, seguendo in bicicletta il mezzo e annotando le operazioni svolte e le aree attraversate.

Le distribuzioni dei valori dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riscontrati sui 131 carrelli sono riportate nella Figura 1. Le accelerazioni trasversali sono relativamente basse; leggermente maggiori quelle longitudinali spesso a causa degli urti tra le forche e i

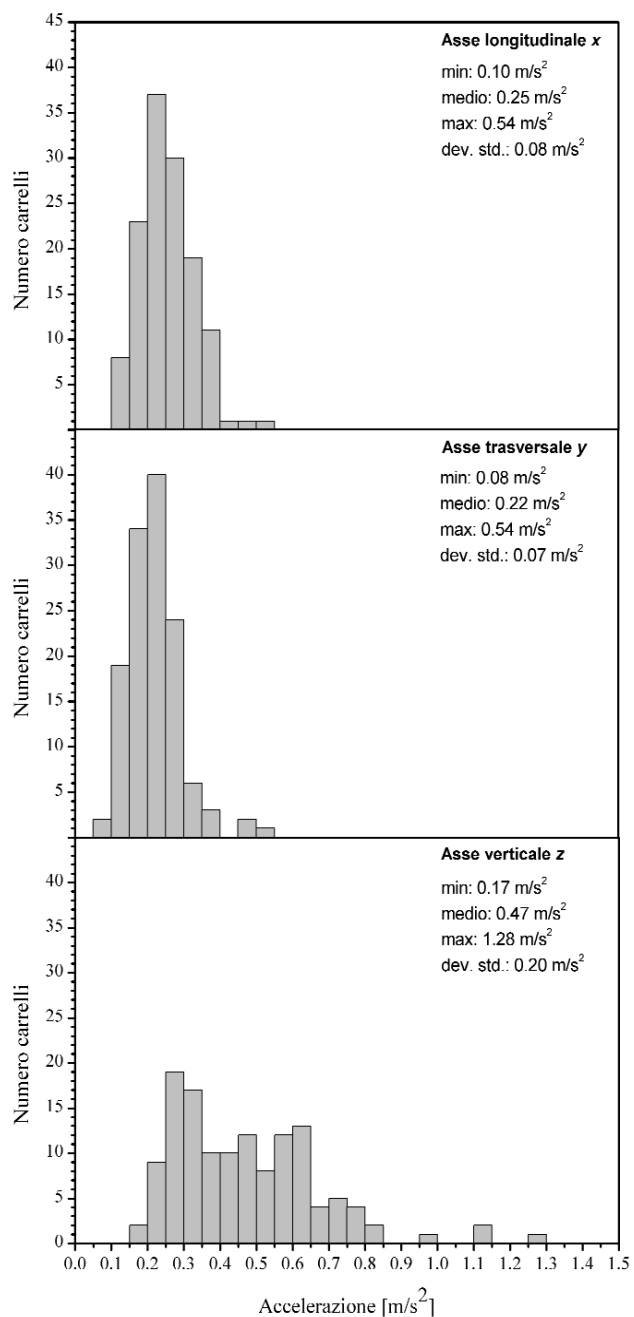


Figura 1. Distribuzione dei valori dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza rilevati sul piano del sedile o sulla pedana di appoggio dei piedi dei 131 carrelli esaminati in normali condizioni di lavoro

pallet. Nettamente più elevate le accelerazioni verticali determinate dai sobbalzi del carrello in corrispondenza delle asperità superficiali. L'intervallo entro cui si distribuiscono i valori è ampio nel caso degli assi trasversale e longitudinale, molto più ampio nel caso dell'asse verticale: il valore massimo supera il valore minimo, rispettivamente, di 2,3, 3,2 e 6,1 volte.

Sulla base degli andamenti delle accelerazioni nel tempo, delle annotazioni registrate durante le prove e del filmato sincronizzato con le misure, si è osservato che le vibrazioni sono maggiormente influenzate dalla non uniformità della superficie su cui i carrelli traslano: picchi evidenti di accelerazione si presentano infatti in occasione del passaggio dei carrelli sulle irregolarità superficiali. È quindi la superficie (in genere asfaltata all'esterno degli stabilimenti, in lastre di calcestruzzo all'interno), insieme alla velocità di traslazione e alle modalità di lavoro, a determinare la variabilità dei valori riscontrati.

I valori delle accelerazioni suddivisi per tipologia di carrello sono riportati nella Tabella I; in essa è indicato anche il vettore somma secondo la già citata norma ISO 2631-1. Dalla tabella emerge che i transpallet, i carrelli da traino e i commissionatori sono caratterizzati dalle vibrazioni verticali più elevate, a causa spesso del diametro contenuto e del rivestimento rigido delle ruote (generalmente in Vulkollan).

I dati riscontrati sono dello stesso ordine di grandezza di quelli riportati in letteratura. Nel caso dell'accelerazione ponderata in frequenza verticale: 0,44 e 0,59 m/s^2 valori medi relativi a 7 carrelli piccoli e 17 grandi (3), 0,5 - 1,0 m/s^2 intervallo dei valori medi di 67 carrelli industriali e portuali (18), $0,37 \pm 0,12 m/s^2$ relativi a 11 carrelli (15), $0,75 \pm 0,20 m/s^2$ relativi a 5 carrelli (19). Nel caso del vettore somma: 0,80 e 0,79 m/s^2 valori medi relativi a 7 carrelli piccoli e 17 grandi (3), $0,52 \pm 0,08 m/s^2$ relativi a 11 carrelli (15), $0,81 \pm 0,34 m/s^2$ e $0,80 \pm 0,28 m/s^2$ relativi a 2 gruppi di carrelli per un totale di 203 rilievi (20).

Rispetto ai valori sopra indicati, Malchaire et al. (21) riportano valori dell'accelerazione ponderata in frequenza verticale più elevati ($1,59 \pm 0,67 m/s^2$) nel caso di 5 carrelli esaminati in numerose condizioni per un totale di 480 rilievi.

Ai sensi del D.Lgs. 81/2008 per la valutazione dell'esposizione giornaliera normalizzata a 8 ore [A(8)] è sta-

to considerato il valore massimo della terna delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza, dopo aver moltiplicato per il coefficiente 1,4 le accelerazioni longitudinali e trasversali al fine di tener conto della maggiore sensibilità del corpo umano sul piano orizzontale. Se prima della correzione il valore più alto della terna si riscontra sugli assi verticale, longitudinale e trasversale, rispettivamente, nel 92, 7 e 1% dei casi, dopo la correzione il valore più alto si rileva sugli assi verticale, longitudinale e trasversale, rispettivamente, nel 70, 25, e 5% dei casi. La correzione rende quindi significative le accelerazioni orizzontali.

Il valore massimo della terna corretta costituisce l'esposizione giornaliera normalizzata a 8 ore nel caso di 8 ore/giorno di esposizione alle vibrazioni; per durate di esposizione differenti, l'esposizione va calcolata in base alla relazione $A(8) = (a^2 t / 8)^{0,5}$. Nella Figura 2 sono riportate le distribuzioni di A(8) nel caso di una durata di esposizione pari a 8, 6, 4 ore/giorno. Dalla suddivisione percentuale dei dati nelle tre fasce ($< 0,5 m/s^2$, $0,5 - 1,0 m/s^2$, $> 1,0 m/s^2$), emerge che A(8) supera il valore di azione definito dal D.Lgs. 81/2008 nel 44, 30, 12% dei casi per esposizioni, rispettivamente, di 8, 6, 4 ore/giorno. Si può pertanto concludere che la mansione di carrellista è contraddistinta dal rischio vibrazioni.

Le vibrazioni di 114 carrelli si trasmettono agli addetti attraverso il sedile. Sulla base della norma ISO 10326-1 (22) 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, 0,5-400 Hz) dell'efficacia del sedile: un valore inferiore a 1 indica un'attenuazione delle vibrazioni, mentre un valore superiore a 1 indica un'amplificazione. Il valore SEAT presenta però due criticità: dipende dal contenuto spettrale delle vibrazioni riscontrate sul basamento del sedile (e quindi dipende dalle condizioni di prova e dal mezzo) ed è influenzato dai movimenti del conducente (che determinano accelerazioni sul piano del sedile non correlate alle accelerazioni trasmesse dal basamento).

Nella Figura 3 è riportata la distribuzione dei valori SEAT. Si può osservare che nel 71% dei casi il sedile at-

Tabella I. Valori medi e deviazioni standard espressi in m/s^2 delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza rilevate sul piano del sedile o sulla pedana di appoggio dei piedi, riguardanti le diverse tipologie di carrello

Tipo di carrello	N.	Asse longitudinale x	Asse trasversale y	Asse verticale z	Vettore somma
elevatori frontali	97	$0,26 \pm 0,07$	$0,23 \pm 0,06$	$0,42 \pm 0,17$	$0,66 \pm 0,17$
commissionatori	16	$0,23 \pm 0,11$	$0,18 \pm 0,11$	$0,60 \pm 0,22$	$0,75 \pm 0,23$
da traino	7	$0,24 \pm 0,12$	$0,20 \pm 0,10$	$0,76 \pm 0,28$	$0,89 \pm 0,29$
lateral	4	$0,20 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,05$	$0,38 \pm 0,12$	$0,56 \pm 0,11$
a montante retrattile	3	$0,23 \pm 0,09$	$0,20 \pm 0,10$	$0,56 \pm 0,19$	$0,71 \pm 0,24$
stocicatori	3	$0,22 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,03$	$0,52 \pm 0,19$	$0,65 \pm 0,18$
transpallet	1	0,37	0,24	0,77	0,99

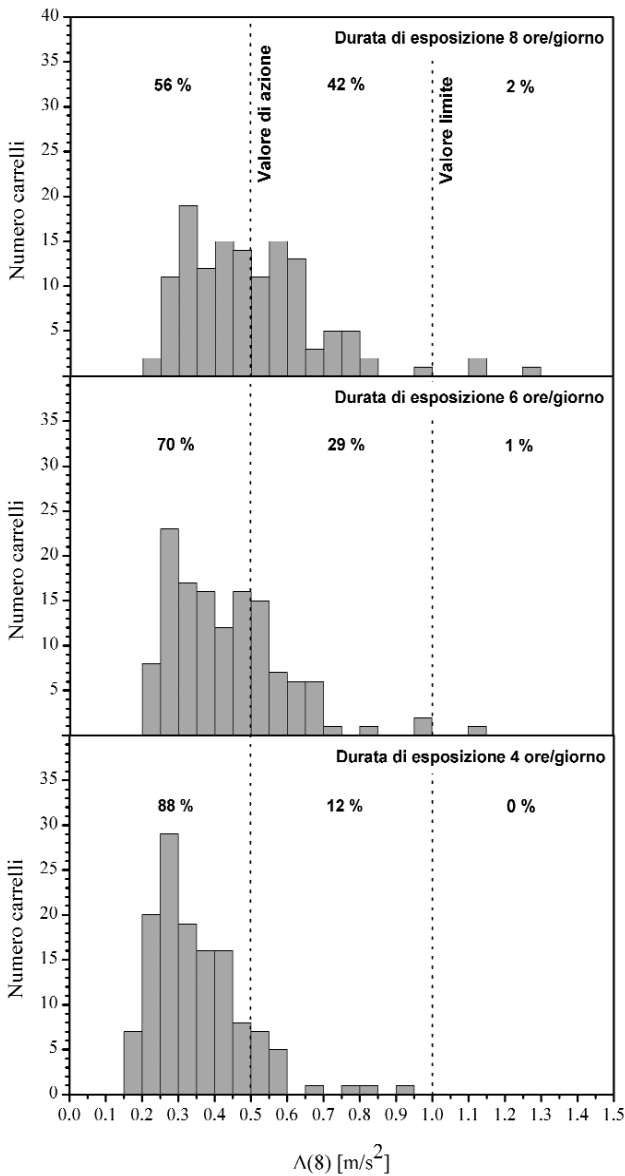


Figura 2. Distribuzione delle esposizioni giornaliere normalizzate a 8 ore [A(8)] nel caso di una durata di esposizione pari a 8, 6, 4 ore/giorno relative ai 131 carrelli esaminati in normali condizioni di lavoro

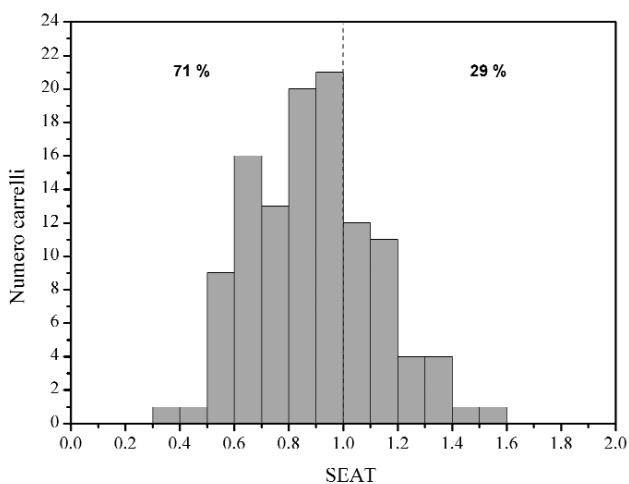


Figura 3. Distribuzione dei valori SEAT relativi ai 114 carrelli dotati di sedile esaminati in normali condizioni di lavoro

tenua le vibrazioni (sino a ridurle a meno della metà), mentre le amplifica nel 29% dei casi (sino a incrementarle a più di una volta e mezza).

Per quanto riguarda la caratterizzazione in frequenza delle vibrazioni, lo spettro delle accelerazioni verticali sul basamento del sedile evidenzia un netto picco centrato nella maggior parte dei casi a 6.3 Hz; in un numero inferiore di casi questo picco interessa anche le frequenze adiacenti (5, 8 e 10 Hz). Queste frequenze possono quindi essere considerate le frequenze di risonanza del carrello.

Sul piano del sedile il picco nella maggior parte dei casi permane a 6.3 Hz; in un numero inferiore di casi il picco si estende anche alle frequenze minori (4 e 5 Hz).

La trasmissibilità delle vibrazioni attraverso il sedile può essere valutata in termini più approfonditi rispetto al valore SEAT dividendo, frequenza per frequenza, le accelerazioni verticali rilevate sul piano del sedile per le corrispondenti accelerazioni riscontrate sul basamento. La curva che si ottiene è caratteristica del sedile, ossia è indipendente dalle condizioni di prova e dal mezzo, ma rimane influenzata dai movimenti del conducente.

Dalla ricerca emerge che generalmente il sedile dei carrelli determina un'amplificazione a 2.5 - 4 Hz. Per valori superiori a 4 - 6.3 Hz il sedile attenua le vibrazioni in misura via via crescente, anche se in numerosi casi è presente un secondo picco di amplificazione a 16 o 20 Hz.

In Figura 4 sono riportati a titolo di esempio i due spettri delle accelerazioni verticali e la curva di trasmissibilità relativi ad un carrello frontale in normali condizioni di lavoro.

Le vibrazioni di 17 carrelli (12 commissionatori, 3 stocicatori, 2 da traino) si trasmettono agli addetti in piedi attraverso la pedana. Su quest'ultima nella maggior parte dei casi si è riscontrato lungo l'asse verticale un picco di frequenza 10, 12.5 o 16 Hz.

Per quanto riguarda il rumore, nel caso dei carrelli elettrici esso non dipende dal motore, bensì dalle aree in cui i carrelli operano; i livelli minimo, mediano e massimo dei 125 carrelli esaminati sono pari, rispettivamente, a 66.2, 77.9 e 85.6 dB(A).

Nel caso dei carrelli diesel, il rumore determinato dal motore può essere significativo: su 6 carrelli fermi sono stati riscontrati livelli sonori equivalenti compresi tra 65.0 e 77.4 dB(A) al minimo regime di giri e tra 78.7 e 80.2 dB(A) a metà regime di giri. I livelli minimo, mediano e massimo dei 6 carrelli in condizioni operative sono pari, rispettivamente, a 76.9, 83.6 e 86.0 dB(A).

In ambedue le tipologie di carrello non vi è significativa differenza tra i livelli rilevati in corrispondenza dell'orecchio destro e dell'orecchio sinistro.

3.2 Carrelli in condizioni controllate

Su un carrello frontale di modello particolarmente diffuso (I), immatricolato l'anno precedente le prove, con motore elettrico e portata massima 1 t, sono stati svolti alcuni rilievi volti a investigare l'influenza sulle vibrazioni da parte della velocità di traslazione e delle condizioni della superficie. Le misure sono state effettuate a carrello scarico su due percorsi rettilinei rivestiti con lastre di calcestruzzo a velocità nominale costante: il primo in discrete

condizioni a 6, 8 e 10 km/h, il secondo in mediocri condizioni (con discontinuità tra lastre adiacenti, tombini e riparazioni superficiali) a 10 km/h. La velocità media effettiva è stata valutata sulla base della lunghezza dei due percorsi e delle rilevazioni cronometriche. Per ogni condizione di misura sono stati effettuati 5 rilievi ponendo alla guida del carrello lo stesso conducente.

I valori delle accelerazioni equivalenti ponderate in frequenza, riferiti alla stessa posizione, al medesimo asse e alle identiche condizioni di misura, sono sostanzialmente analoghi tra loro. Come in condizioni di lavoro, anche in condizioni controllate i valori delle accelerazioni verticali sono predominanti rispetto a quelli delle accelerazioni longitudinali e trasversali.

Nella Figura 5 è riportata la retta di regressione relativa ai valori dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza rilevati sul piano del sedile lungo l'asse vertica-

le a diverse velocità di traslazione. La correlazione tra la velocità di traslazione e i valori dell'accelerazione è buona (R^2 pari a 0.88).

Per quanto riguarda la dipendenza delle vibrazioni dall'omogeneità della superficie, a 10 km/h il valore medio dell'accelerazione verticale rilevata sul piano del sedile, passando da condizioni discrete a condizioni mediocri, si alza del 13% (da 0.85 a 0.96 m/s^2).

I risultati dei rilievi sono convalidati da quelli ottenuti in precedenza (15) su due carrelli frontali nuovi anch'essi di modello molto diffuso, uno con motore diesel e portata massima 1.8 t (II), l'altro con motore elettrico e portata massima 1.5 t (III). Le prove a diverse velocità nominali di traslazione sono state svolte con carico di massa pari al 60% di quella massima, su un percorso rettilineo asfaltato in buone condizioni superficiali; i rilievi sono stati effettuati anche a velocità elevata (15 - 18 km/h). La correlazione tra la velocità di traslazione e i valori dell'accelerazione è buona (R^2 pari a 0.98 e a 0.80, cfr. Fig. 5). Rispetto ai valori dell'accelerazione riscontrati sul carrello I, quelli rilevati sui carrelli II e III sono più bassi per diversi motivi legati al tipo e alle condizioni della superficie, al carico trasportato, ecc.

Si può osservare che anche nel caso dei carrelli II e III, rilievi ripetuti nella stessa posizione, sul medesimo asse, in identiche condizioni di misura, hanno fornito valori sostanzialmente analoghi tra loro e che i valori delle accelerazioni verticali sono predominanti rispetto a quelli delle accelerazioni orizzontali.

Pure nel caso dei carrelli II e III è stata esaminata la dipendenza delle vibrazioni dall'omogeneità della superficie: a 10 km/h il valore medio dell'accelerazione verticale rilevata sul piano del sedile, passando da un percorso rettilineo asfaltato in condizioni buone ad un percorso rettilineo asfaltato in condizioni mediocri (con buche e avvallamenti), sale del 72% (da 0.67 a 1.15 m/s^2) nel caso del carrello II e del 18% (da 0.47 a 0.56 m/s^2) nel caso del carrello III.

A termine si può sottolineare che prove nelle stesse condizioni controllate consentono di confrontare tra loro mezzi differenti e di giungere ad una loro graduatoria.

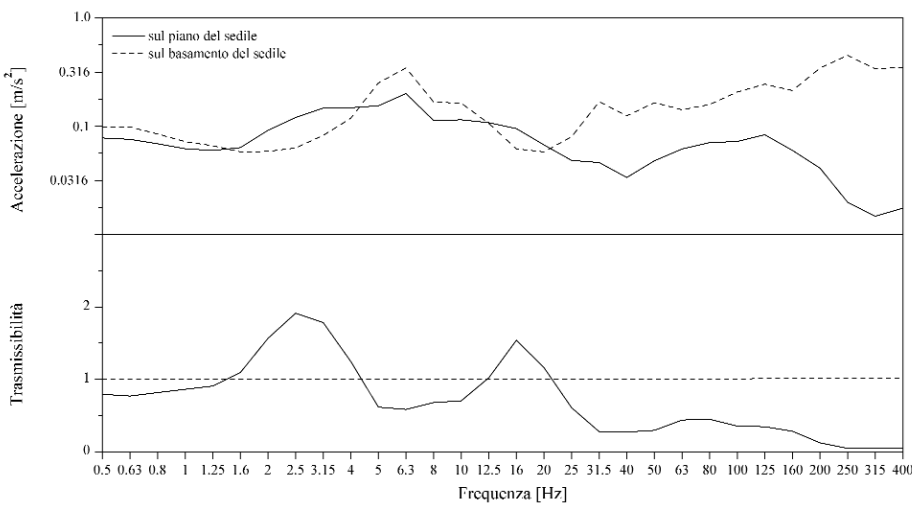


Figura 4. Spettri delle accelerazioni verticali (in alto) e curva di trasmissibilità delle vibrazioni attraverso il sedile (in basso) di un carrello frontale esaminato in normali condizioni di lavoro

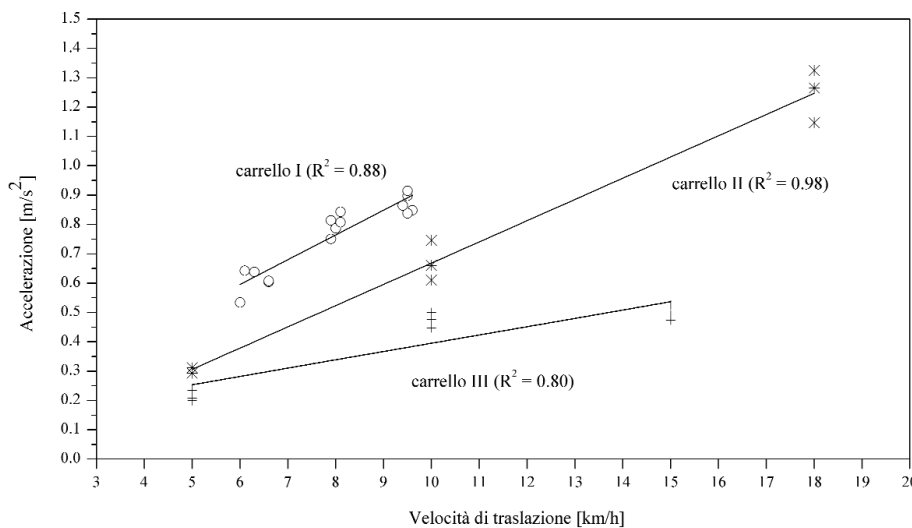


Figura 5. Rette di regressione relative ai valori dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza rilevata sul piano del sedile lungo l'asse verticale dei carrelli esaminati a diverse velocità di traslazione: carrello I, elettrico, scarico, su lastre di calcestruzzo in condizioni discrete; carrello II, diesel, carico, su asfalto in condizioni buone; carrello III, elettrico, carico, su asfalto in condizioni buone

4. Discussione

Si è visto che gli addetti ai carrelli elevatori accusano disturbi al rachide lombare e che questi ultimi possono essere determinati dalle vibrazioni trasmesse dai mezzi. D'altra parte le accelerazioni riscontrate sui sedili dei carrelli assumono in diversi casi valori rilevanti. È necessario quindi individuare i fattori che determinano i rischi al fine di contenerne gli effetti.

Innanzitutto vanno considerati i carrelli. Saint-Eve e Donati (23) sottolineano che la tipologia del carrello andrebbe scelta con cura in funzione dei compiti che essi saranno destinati a svolgere.

Per quanto riguarda le ruote, i due ricercatori osservano che le ruote piene assicurano maggiore stabilità e garantiscono maggiore sicurezza rispetto ai pneumatici non subendo forature: tra le ruote in gomma piena e dura (*cushion*) e le ruote in gomma piena con interno morbido e battistrada duro (superelastiche), sono da preferire queste ultime in quanto determinano vibrazioni minori, anche se vibrazioni ancora più basse sarebbero associate alle ruote a camera d'aria (pneumatiche).

Saint-Eve e Donati (23) evidenziano che i carrelli, al pari di altre macchine semoventi, sono sprovvisti di sospensioni per motivi legati alla loro operatività: la cabina dell'operatore su cui è montato il sedile potrebbe però essere non rigidamente vincolata al telaio del mezzo, ma posta su adeguati supporti antivibranti.

Per quanto riguarda il sedile, gli stessi Saint-Eve e Donati (23) sottolineano che esso agisce solo sulle vibrazioni verticali e andrebbe scelto sulla base del carico del carrello, in considerazione delle frequenze di risonanza (4 - 6 Hz nel caso di portate tra 1 e 5 t, 2 - 3 Hz nel caso di portate superiori a 10 t); alcune aziende (Grammer, Isringhausen, Sears, ecc.) producono validi sedili per carrelli, ma non forniscono indicazioni tecniche sufficienti. Rebelle (24) studia i tamponi di fine corsa da fissare alla base del sedile: i tamponi progettati risultano molto più efficienti nel ridurre i picchi di accelerazione rispetto a quelli d'uso comune. Tsujimura et al. (25), in riferimento ai carrelli portuali realizzati prima dell'anno 2000, rilevano che i sedili non attenuano le vibrazioni verticali nell'intervallo di frequenza in cui esse sono più lesive; inoltre sottolineano che negli ultimi dieci anni carrelli e sedili non hanno subito migliorie per quanto riguarda le vibrazioni e che in genere le sospensioni dei sedili non sono oggetto di manutenzione, né vengono riparate. Recentemente l'INRS (26) ha pubblicato una scheda pratica molto utile sui sedili dei carrelli.

L'indagine qui presentata ha dimostrato 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; misurazioni di questo tipo potrebbero quindi essere condotte dai tecnici igienisti per valutare l'adeguatezza o meno dei sedili nelle aziende in cui essi operano. In qualsiasi caso un'ottimizzazione nella progettazione del sistema di sospensione del sedile è sicuramente auspicabile. Si è visto che in 1/4 dei casi la direzione delle vibrazioni de-

terminante il rischio è quella longitudinale, parallela alla direzione del moto; è verosimile che disaccoppiando meccanicamente il sedile dal telaio del carrello anche sul piano orizzontale si ottenga una riduzione delle vibrazioni a cui il conducente è esposto. In questo caso potrebbero però sorgere nuovi problemi associati alla guidabilità del mezzo in particolare durante le fasi di accelerazione e decelerazione.

Per quanto riguarda più generalmente la postura, Saint-Eve e Donati (23) evidenziano che essa è caratterizzata dalla posizione assisa prolungata del carrellista e da uno spazio generalmente limitato in particolare in altezza. Il posto di guida non è confortevole: la visibilità in avanti è ridotta a causa delle guide per le forche e a causa del carico per cui spesso il carrellista deve inclinarsi di lato; per questo motivo viene talvolta preferita la marcia indietro, anche se essa comporta la rotazione del busto. I sedili sono spesso degradati (imbottitura lacerata, regolazioni non funzionanti, giochi tra i diversi elementi, ecc.). Il sedile risulta a volte inadeguato: schienale troppo poco alto per offrire sostegno alla schiena, profilo non avvolgente, assenza di regolazioni in altezza e di inclinazione dello schienale, cuscini lombari inesistenti, rivestimento dell'imbottitura scivoloso. Alcune di queste osservazioni vengono riprese da Donati e Patel (27) che, sulla base delle indicazioni degli addetti in uno studio svolto in laboratorio, sottolineano che i piani dei sedili sono generalmente considerati poco profondi, scarsamente morbidi e troppo poco inclinati all'indietro. Gli schienali sono troppo piatti. Piani dei sedili e schienali dovrebbero essere dotati di supporti laterali maggiormente pronunciati in modo da garantire una migliore postura. La possibilità di inclinare lo schienale viene reputata importante.

Infine alcune annotazioni sul carico e sul motore. Secondo Saint-Eve e Donati (23) il carico influenza le vibrazioni: i grandi carrelli con portata superiore a 10 t sono caratterizzati da accelerazioni pari alla metà di quelle dei carrelli più piccoli con portata inferiore a 2 t. Secondo gli stessi autori i carrelli a motore elettrico determinano vibrazioni meno elevate rispetto a quelli a combustione interna perché permettono una guida più dolce. A questo proposito va osservato che il funzionamento del motore diesel è caratterizzato da vibrazioni significative.

Per quanto riguarda le condizioni di lavoro, nel presente lavoro si è dimostrata l'importanza della velocità di marcia e della disuniformità della superficie nell'influenzare le vibrazioni.

Saint-Eve e Donati (23) notano che un carrello senza carico opera generalmente a maggiore velocità con la conseguenza che le vibrazioni sono più elevate. Sottolineano inoltre che la superficie svolge un ruolo determinante in particolare nel caso di carrelli con portata inferiore a 2 t; essendo privi di sospensioni e dotati di ruote di diametro contenuto, essi sobbalzano in corrispondenza delle irregolarità superficiali.

La velocità di traslazione dovrebbe quindi essere limitata: indagini sulla correlazione tra velocità e vibrazioni, quali quelle effettuate nell'ambito della presente ricerca, potrebbero essere vantaggiosamente svolte nelle effettive condizioni in cui carrelli operano (superfici, carico, ecc.)

al fine di individuare la velocità massima (in sostanza, la velocità che determina un'esposizione pari a 0.5 m/s^2). Questa potrebbe essere impostata sulla centralina dei carrelli, in modo che non possa essere superata.

La pavimentazione industriale è generalmente costituita da lastre di calcestruzzo, caratterizzate da giunti che tendono a deteriorarsi nel tempo; tra una lastra e l'altra vengono a crearsi, infatti, dei gradini che si sbrecciano 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 (già in opera in alcune aziende), rivestita o impregnata con uno strato in resina epossidica o poliuretana, può garantire uniformità della superficie e quindi bassi valori di vibrazioni.

Il manto asfaltato dei piazzali degli stabilimenti dovrebbe essere tenuto in ottime condizioni, mediante continua manutenzione e frequenti rifacimenti. Particolare attenzione andrebbe posta in corrispondenza dei portoni, laddove l'alternanza tra le due tipologie di superfici (asfalto, lastre) crea generalmente un evidente scalino.

Gli autori di questo lavoro credono fermamente sulla efficacia di questi interventi: una superficie uniforme e una velocità contenuta potrebbero garantire esposizioni alle vibrazioni inferiori al valore di azione. In letteratura appaiono indicazioni contraddittorie. Hulshof et al. (20) hanno valutato l'efficacia di un programma finalizzato a ridurre il rischio da vibrazioni nei carrellisti mediante misurazioni delle stesse, formazione dei lavoratori e dei loro superiori e diversi interventi (scelta del tipo di carrello più adatto per le operazioni da svolgere, adeguatezza e manutenzione del sedile, impiego di ruote congrue, riduzione della velocità di marcia, livellamento delle superfici di traslazione). Sulla base delle misure delle vibrazioni effettuate prima e dopo l'attuazione (anche se parziale) del programma, gli autori evidenziano però scarsi successi. Diversamente, il programma di riduzione del rischio da vibrazioni elaborato da Shinozaki et al. (5) sembra abbia sortito esiti senz'altro migliori. Gli autori confrontano la prevalenza dei sintomi a carico del rachide lombare in un gruppo di carrellisti prima e dopo l'attuazione di interventi quali l'uso di abbigliamento adeguato e di supporti lombari, l'esecuzione di esercizi fisici nonché l'adozione di sedili dotati di sospensioni e di ruote pneumatiche. Le prevalenze risultano pari a 63, 56 e 33%, rispettivamente, all'inizio dello studio, dopo 12 mesi dagli interventi personali e dopo ulteriori 9 mesi durante i quali sono stati messi in atto anche gli interventi sui carrelli (nei controlli le prevalenze raggiungevano il 32% all'inizio dello studio e il 22% dopo 12 mesi dagli interventi personali).

5. Conclusioni

Le vibrazioni trasmesse dai carrelli elevatori possono costituire un rischio per gli addetti: tutti i soggetti interessati dovrebbero quindi affrontare questo problema con maggiore concretezza, svolgendo la propria parte.

I produttori dei carrelli e dei relativi accessori (sedili, ruote, ecc.) dovrebbero effettuare maggiore attività di ricerca e proporre soluzioni innovative. Le case che realizzano sedili dovrebbero fornire maggiori dettagli tecnici sui loro prodotti (curva di trasmissibilità delle vibrazioni, ecc.).

I datori di lavoro dovrebbero scegliere i carrelli che offrono le migliori garanzie in termini igienistici, considerando le caratteristiche e le esigenze della propria azienda; dovrebbero inoltre garantirne la manutenzione in particolare dei sedili; le ruote usurate andrebbero sostituite. La pavimentazione all'interno e all'esterno degli stabilimenti dovrebbe essere continua e comunque esente da irregolarità; anche la pavimentazione dovrebbe essere oggetto di attenta manutenzione.

I tecnici igienisti dovrebbero abbandonare procedure volte a valutazioni del rischio fini a sé stesse; dovrebbero invece porsi l'obiettivo di individuare i problemi e di offrire soluzioni. L'adeguatezza dei sedili e la velocità massima da impostare sulla centralina dei mezzi possono essere valutate strumentalmente. Indagini effettuate ponendo i carrelli sugli stessi percorsi in condizioni controllate possono consentire il confronto degli stessi; l'ottenimento di una graduatoria può risultare molto utile prima dell'acquisto di nuovi mezzi da parte dell'azienda.

I medici competenti dovrebbero evidenziare i disturbi a carico del rachide dei carrellisti o un loro eventuale peggioramento, in modo che i tecnici possano prestare maggiore attenzione ai mezzi utilizzati e alle aree di lavoro attraversate da questi addetti.

È noto che il rapporto tra tecnici igienisti e medici competenti è, nella realtà degli stabilimenti industriali, pressoché inesistente (28); esso dovrebbe invece costituire le fondamenta per una nuova strategia di prevenzione, non più fondata sull'adempimento burocratico delle diverse disposizioni di legge, ma su interventi concreti.

Il Servizio di Prevenzione e Protezione potrebbe, non solo coordinare le diverse attività inerenti la prevenzione, recependo le istanze e le osservazioni dei lavoratori, ma anche giocare un ruolo importante nel realizzare una proficua interazione tra tecnici e medici.

Infine la formazione e l'informazione che assumono, come sempre, un ruolo decisivo. I carrellisti dovrebbero maturare comportamenti che consentano di garantire sicurezza per sé, gli altri carrellisti e i lavoratori a terra. Essi dovrebbero operare in modo da ridurre le vibrazioni a cui sono esposti, evitando urti violenti tra forche e pallet, nonché velocità elevate in particolare in corrispondenza di aree caratterizzate da irregolarità superficiali.

Bibliografia

- 1) Druzhinin VN., Tarasova LA, Chesalin PV. Osteoarticular function in lift truck operators. *Med Tr Prom Ekol* 1995; (4): 4-7.
- 2) Brendstrup T, Biering-Sørensen F. Effect of forklift truck driving on low-back trouble. *Scand J of Work, Environ & Health* 1987; 13: 445-452.
- 3) Boshuizen HC, Bongers PM, Hulshof CTJ. Self-reported back pain in fork-lift truck and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Spine* 1992 Jan; 17(1): 59-65.

- 4) Bovenzi M, Hulshof CTJ. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *Int Arch Occup Environ Health* 1999; 72: 351-65.
- 5) Shinozaki T, Yano E, Murata K. Intervention for prevention of low back pain in Japanese forklift workers. *Am J Ind Med* 2001; 40: 141-44.
- 6) Bovenzi M, Pinto I, Stacchini N. Low back pain in port machinery operators. *Journal of Sound and vibration* 2002, 253(1): 3-20.
- 7) Waters T, Genaidy A, Deddens J, Barriera-Viruet H. Lower back disorders among forklift operators: an emerging occupational health problem? *Am J Ind Med* 2005; 47: 333-40.
- 8) Waters T, Genaidy A, Barriera Viruet H, Makola M. The impact of operating heavy equipment vehicles on lower back disorders. *Ergonomics* 2008; 51(5): 602-36.
- 9) Wikström BO, Kjellberg A, Landström U. Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: a review. *Intern J of Industrial Ergonomics* 1994; 14: 273-92.
- 10) Raffler N, Hermanns I, Sayn D, Göres B, Ellegast R, Rissler J. Assessing combined exposures of whole-body vibration and awkward posture-further results from application of a simultaneous field measurement methodology. *Ind Health* 2010; 48(5): 638-44.
- 11) Peretti A, Bonomini F, Pasqua di Bisceglie A, Tarabini M, Cappello G, Forcolin M, Campagnolo C, Campello F, Concini C, Lorenzon G, Orlando G. Vibrazioni trasmesse dai carrelli elevatori frontali. Atti 26° Congresso Nazionale Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII), Siena 25-27 giugno 2008.
- 12) Peretti A, Bonomini F, Pedrielli F, Pasqua di Bisceglie A. Assessment of exposure to whole-body vibration of forklift trucks. Proceedings 8th International Scientific Conference, International Occupational Hygiene Association (IOHA). Roma 28 settembre - 2 ottobre 2010.
- 13) Peretti A, Pedrielli F, Pasqua di Bisceglie A, Bonomini F. Esposizione dei carrellisti a vibrazioni trasmesse a tutto il corpo. Atti 73° Congresso Nazionale Società Italiana di Medicina del Lavoro e Igiene Industriale (SIMLII), Roma 1-4 dicembre 2010. *G Ital Med Lav Erg* 2010; 32:4, Suppl 2: 175-76.
- 14) Cocheo V, Valsecchi M, Peretti A, Coato F. Chariots de manutention: - Pollution chimique, bruit, vibrations. Cahiers de notes documentaires: sécurité et hygiène du travail 1984; 115: 159-68.
- 15) 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 21° Congresso Nazionale Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII), Como 25-27 giugno 2003, 383-8.
- 16) International Standard ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements, 1997.
- 17) International Standard ISO 8041. Human response to vibration - Measuring instrumentation, 2005.
- 18) Danière P, Boulanger P, Donati P, Galmiche JP. Environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite des chariots élévateurs. Cahiers de notes documentaires 1992; 148, 3: 345-58.
- 19) Dupéry M, Fabin C, Le Corre E, Montachamp E, Montéléon P-Y, Nicolazzo P, Petitfour R, Vilaine C, Wargon C. Vibrations, chariots automoteurs et engin de chantier: enquêtes épidémiologique, ergonomique et métrologique. INRS, Documents pour le Médecin du Travail 2011; 126, 2: 261-74.
- 20) Hulshof CTJ, Verbeek JHAM, Braam ITJ, Bovenzi M, van Dijk FJH. Evaluation of an occupational health intervention programme on whole-body vibration in forklift truck drivers: a controlled trial. *Occup Environ Med* 2006; 63: 461-8.
- 21) Malchaire J, Piette A, Mullier I. Vibration exposure on fork-lift trucks. *Ann occup Hyg* 1996; 40, 1: 79-91.
- 22) International Standard ISO 10326-1. Mechanical vibration - Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration - Part 1: Basic requirements, 1992.
- 23) Saint-Eve P, Donati P. Prévention des risques dorso-lombaires liés à la conduite de chariots élévateurs. INRS 1993, DMT 54 TC 45: 141-8.
- 24) Rebelle J. Optimisation des caractéristiques de butées de fin de course de sièges à suspension. Cahiers de notes documentaires 2004; 194: 23-38.
- 25) Tsujimura H, Taoda K, Nishiyama K. Evaluation of forklift trucks operated in dockyards for reducing exposure to whole-body vibration. *Sangyo Eiseigaku Zasshi* 2005; 47 (2): 55-66.
- 26) INRS. Le sièges à suspension pour chariots élévateurs. INRS 2010, Fiche pratique de sécurité, ED 42.
- 27) Donati P, Patel JA. Subjective assessment of fork-lift truck seats under laboratory conditions. *Applied Ergonomics* 1999, 30: 295-309.
- 28) Peretti A, Merluzzi F, Pasqua di Bisceglie A, Bartolucci GB. Rumore negli ambienti di lavoro: interazione tra tecnico consulente e medico competente. *Giornale degli Igienisti Industriali* 2009; 34: 2.

Richiesta estratti: *Alessandro Peretti, via Ivrea 1/4, 35142 Padova, Italy*