

## PREVENZIONE DEL RISCHIO WBV E INDENNIZZO ASSICURATIVO NEL SETTORE DEGLI AUTOTRASPORTI: UNO STUDIO PRELIMINARE

*E. Siciliano\**, *U. Caselli\**, *P. Desiderio\**, *L. Nori\**, *A. Rossi\**, *G. Visciotti\**

\* INAIL - Direzione Regionale Abruzzo - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

### RIASSUNTO

Come è noto, nel territorio italiano, per motivi geografici e scelte politiche, il trasporto delle merci avviene prevalentemente per via stradale. L'importanza del settore degli autotrasporti è pertanto notevole, e significativo è il numero degli addetti esposti al rischio di rachipatia derivante dalle vibrazioni trasmesse dal posto di guida; ciò soprattutto nella conduzione di mezzi pesanti, in considerazione delle elevate percorrenze e quindi cospicue tempistiche di esposizione. Gli studi epidemiologici presenti in letteratura suggeriscono una maggiore prevalenza di rachipatie negli esposti a vibrazioni al corpo intero in genere, e degli autisti di camion in particolare, rispetto ai gruppi di controllo. Tuttavia, quantunque il potenziale rischio professionale sia significativo, i dati di vibrazioni relativi a veicoli da trasporto pesante, disponibili per una analisi quantitativa del rischio a scopi prevenzionali o di indennizzo assicurativo, sono attualmente scarsi e poco omogenei.

### SUMMARY

In Italy, due to political planning and geographical setup, freight transportation is mainly carried out by road. For this reason the transportation vehicles business is of substantial importance, and numerous workers are exposed to back disorders due to vibrations transmitted by the driver's seat; this is particularly relevant when driving heavy trucks for long distances, since exposure times tend to be significant. Epidemiological studies suggest a higher prevalence of back disorders in cohorts of professionally exposed drivers compared to controls. Nevertheless, compared to the magnitude of the potential hazards, there are few available data related to exposure to vibrations while driving heavy vehicles. Such data, at present relatively heterogeneous, would be much useful to prevent vibrations hazards and assess compensation claims filed by workers.

### 1. INTRODUZIONE

In questo studio verrà prevalentemente esaminato il settore degli autotrasporti pesanti a lunga percorrenza, poiché, a causa della coesistenza di fattori meccanici e delle lunghe tempistiche di guida, l'esposizione giornaliera o settimanale risulta essere di solito maggiore rispetto ad altre tipologie di autotrasporti su strada. La definizione di "mezzi pesanti" non è univoca. Tuttavia, è possibile collocare il limite nell'intervallo che va da 7.5 a 12 tonnellate di massa totale autorizzata. Il primo valore è stato utilizzato come soglia dall'ente previdenziale tedesco (HBVG) in studi specifici di settore [1]; il secondo valore è relativo al punto c), articolo 47 del nuovo codice della strada, che classifica gli autoveicoli utilizzando 2 soglie di massa: 3.5 e 12 tonnellate.

Secondo la definizione adottata in questo studio, tra i veicoli pesanti rientrano sicuramente i trattori con semirimorchio, gli autocarri con rimorchio e gli autotelai cabinati a 3 e 4 assi (senza rimorchio) presenti nel mercato italiano; nella categoria sono infine compresi i cabinati a soli due assi, purchè di massa autorizzata superiore a 7.5 tonnellate. Un aspetto di considerevole importanza consiste nella convenzione di misura del valore di accelerazione da confrontare con i valori di soglia della normativa; in letteratura vengono, com'è noto, utilizzate le seguenti quantità:

$$A_{Wsum} = [(1.4a_{wx})^2 + (1.4a_{wy})^2 + a_{wz}^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$A_w = \max(1.4a_{wx}, 1.4a_{wy}, a_{wz}) \quad (2)$$

dove le  $k_{a_{wi}}$  sono le componenti cartesiane delle accelerazioni ponderate in frequenza modificate dai rispettivi fattori moltiplicativi. La (1), somma vettoriale delle  $k_{a_{wi}}$ , risulta in un valore di accelerazione maggiore rispetto alla (2), ma è quest'ultima che viene suggerita dalla ISO 2631-1: 1997 come indicativa degli effetti sulla salute, mentre l'utilizzo della (1) viene consigliato unicamente ai fini della valutazione del disagio. Quando non siano noti i valori delle singole componenti, il passaggio dalla (1) alla (2) e viceversa non è possibile. In questo lavoro le considerazioni legate alla prevenzione e all'analisi del rischio verranno effettuate basandosi sulla relazione (2), come peraltro previsto dalla normativa CE/24/2002, quantunque la carenza di dati completi riduca l'analisi allo studio della componente di solito maggiormente significativa, cioè quella parallela all'asse del sedile ( $a_{wz}$ ).

## 2. MATERIALI E METODI

E' stata eseguita una ricerca in letteratura tecnica sulle misurazioni già effettuate al sedile guida di autoveicoli da trasporto. Una rassegna piuttosto completa della letteratura è stata elaborata da Mabbot et al. dell'ATSB (Australian Transport Safety Bureau); dall'analisi di 6 diversi studi di settore vengono individuate le caratteristiche dell'intervallo di esposizione relativo alla guida di autoveicoli da trasporto pesanti. Tale intervallo varia da 0.42 a 2.1  $ms^{-2}$ , con media pari a 0.72  $ms^{-2}$  sull'asse verticale; la media equivale alla media del valore medio dei 3 lavori considerati più significativi. Tali risultati sono all'incirca congruenti con i valori ricavati da altri studi del settore. L'HBGV, in misurazioni eseguite su autocarri di portata massima superiore a 7.5 tonnellate, riferisce che "oltre il 50% delle misurazioni supera il livello di 0.5  $ms^{-2}$ " (i singoli dati non sono riportati). Il Vägverket svedese ha riportato oltre 100 misurazioni di vibrazioni rilevate al sedile (componente verticale) di due camion (Volvo F12 6X2 e Scania 144G) con rimorchio per il trasporto di legname. I valori sono compresi nell'intervallo 0.35 - 1.80  $ms^{-2}$  circa, e mostrano una buona correlazione con l'indice di ruvidità della strada (IRI - International Roughness Index). Le misurazioni eseguite in Italia e pubblicate sono piuttosto scarse; il database Ispesl riporta 5 misurazioni su "camion cassonati". Il valore medio e la deviazione standard, tuttavia, sono espressi in  $A_{Wsum}$ . Nessun altro dettaglio è noto sulle misurazioni: nè il modello dei mezzi, nè se si tratti di diversi mezzi o di misurazioni eseguite sullo stesso veicolo (la deviazione standard è piuttosto bassa). Inoltre, la tipologia del mezzo non è specificata e l'illustrazione allegata al database è di incerta interpretazione. Comunque, il valore medio di  $A_{Wsum}$  pari a 1.0  $ms^{-2}$  sarebbe perfettamente compatibile con una  $A_z$  di 0.72,  $A_x$  e  $A_y$  pari a 0.4 e 0.3  $ms^{-2}$  rispettivamente (la componente prevalente viene dichiarata essere quella  $A_z$ ; i valori degli altri assi sono stati arbitrariamente ipotizzati).

### 3. RISULTATI

Quantunque i dati reperibili nella letteratura tecnica internazionale siano piuttosto disomogenei, con dettagli relativi alle misurazioni spesso non reperibili, in linea generale non appaiono essere in grave discordanza tra di loro. Con unità di misura in  $\text{ms}^{-2}$ , utilizzando il valore medio di 0.72, il minimo di 0.42 e il massimo di 2.1 per l'asse maggiormente significativo (asse verticale), si è tentato di ricostruire una funzione di distribuzione teorica che si adattasse a tali valori (range suggerito dall'ATSB). Sono stati esaminati a tale scopo delle funzioni asimmetriche di uso piuttosto comune: lognormale, beta, triangolare, valori estremi e Weibull. Il risultato migliore, ottenuto con la tecnica dell'iper cubo latino (variante del metodo Montecarlo) con 300 000 iterazioni, è stato conseguito con una distribuzione di Weibull con media 0.72, minimo 0.42, Massimo 2.1; tali parametri della distribuzione pertanto coincidono con i valori suggeriti dall'ATSB. La distribuzione è illustrata in figura 1.

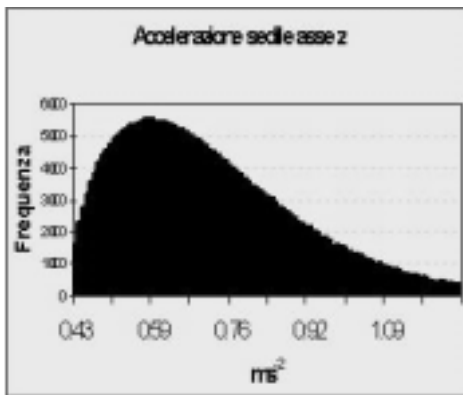


Figura 1: Distribuzione delle vibrazioni al sedile di camion pesanti

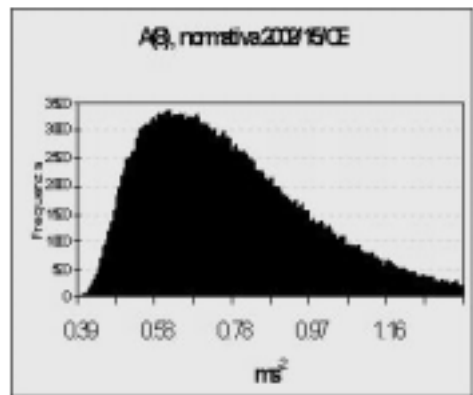


Figura 2: Distribuzione della dose di vibrazioni A(8) secondo la vigente normativa

Alcuni parametri statistici della distribuzione sono i seguenti (unità di misura in  $\text{ms}^{-2}$ ): media 0.72, dev.standard 0.20, 5° perc. 0.47, 10° perc. 0.50, 50° perc. 0.68, 90° perc. 1.00, 95° perc. 1.11. Si pone in rilievo che, nel 95% dei casi, il livello di vibrazioni è contenuto entro il valore di 1.1; valori maggiori sono pertanto imputabili ad eventi anomali (difetti meccanici, modelli molto vecchi e con scarsa manutenzione, pronunciata asperità del fondo stradale).

Il valore di A(8) o dose giornaliera di esposizione, da comparare direttamente con i livelli di soglia previsti dalla normativa, richiede la conoscenza della tempistica di esposizione. I periodi di guida e di riposo dei conducenti di autocarro sono, a partire dal 1985 (regolamenti CEE 3820/85 e 3821/85; direttiva 2002/15/CEE) rigidamente regolati e controllati tramite cronotachigrafo. Nelle consegne con lunga percorrenza i tempi di guida effettivi vengono a coincidere, per motivi di produttività, con i tempi massimi ammessi dalla normativa. Secondo il regolamento CEE 3820/85, il tempo massimo di guida mediato su un periodo di due settimane consecutive è pari a 45 ore per settimana, ossia 9 ore al giorno, seguendo la convenzione delle cinque giornate lavorative settimanali. Pertanto la quantità di 9 ore è quella da utilizzare per la misura dell'esposizione a vibrazioni mediata nell'arco del mese o dell'anno. Il tempo massimo settimanale di guida di varia da 34 a 56 ore (una settimana lavorativa di 56 ore deve esse-

re compensata da una di 34 ore); ciò corrisponde a una media giornaliera variabile da 6.9 a 11.1 ore di guida al giorno (seguendo sempre la convenzione delle cinque giornate lavorative settimanali; la variabilità settimanale dei tempi di guida è importante ai fini della valutazione del rischio, poiché la CE/2002/44 ammette che, per compensare gli effetti dannosi di giornate con prolungata esposizione a vibrazioni, il confronto con i livelli di soglia possa essere effettuato sulla base della tempistica media settimanale). A partire dal 23 marzo 2002 è entrata in vigore la direttiva 2002/15/CEE, che si discosta di poco dal regolamento del 1985, prevedendo una durata massima media settimanale di 48 ore (9.3 ore di media giornaliera), con un massimo di 60 ore (media giornaliera 12 ore) se la media di 48 ore non viene sorpassata per un periodo di 4 mesi. La situazione antecedentemente al 1985 non viene esaminata nel dettaglio in questo lavoro, poiché i dati di letteratura riferiti alle misure accelerometriche sono scarsamente rappresentativi delle condizioni dei mezzi prima degli anni '80-'90; le normative, a partire dal vecchio codice della strada del 1959 (art. 124 DPR 393/59), inizialmente prevedevano l'obbligo del doppio conducente, con tempistica di guida media per conducente di 9 ore (al massimo 18 ore totali di guida ogni 24 ore), mutata poi dai vari aggiornamenti e integrazioni emanati nel tempo. È da porre in rilievo che, durante la doppia guida, l'autista a disposizione è spesso soggetto a vibrazioni, anche se provenienti dal sedile del passeggero (non esistono dati a proposito).

La fase finale della modellazione probabilistica proposta in questo lavoro è consistita nel ricavare le funzioni di distribuzione relative all'esposizione media mensile o annuale e all'esposizione settimanale. A tale proposito è stata utilizzata la nota formula:

$$A(8) = \sqrt{\frac{a^2 * t}{T}}$$

Dove le variabili assumono le caratteristiche illustrate in tabella 1

Tabella 1

*Caratteristiche delle variabili usate per simulare la funzione dose di vibrazioni A(8)*

<b>A(8), dose media giornaliera</b>		
Normative	accelerazione	tempo
2002/15/CEE	Weibull (0.4, 0.335, 1.53)	Triangolare (6.6, 9.3, 12)
CEE 3820/85	Weibull (0.4, 0.335, 1.53)	Triangolare (6.9, 9, 11.1)

<b>A(40), dose media settimanale</b>		
Normative	accelerazione	tempo
2002/15/CEE	Weibull (0.4, 0.335, 1.53)	Costante = 45
CEE 3820/85	Weibull (0.4, 0.335, 1.53)	Costante = 48

In figura 2 è illustrata la distribuzione relativa al secondo caso, dose media settimanale rappresentativa dell'esposizione media mensile/annuale per la normativa 2002/15/CEE. In tabella 2 sono messi a confronto alcuni parametri statistici relativi ai due precedenti casi. Si nota come le distribuzioni relative alle normative siano, ai fini dell'analisi del rischio, quasi identiche, per cui le normative del 1985 e del 2002 possono essere a tutti i fini pratici unificate.

La fase successiva dell'analisi del rischio è consistita nell'effettuare simulazioni simili alle precedenti, ma con tempistica mantenuta costante e variabile, con intervalli di un'ora, da 4 a 14 ore. In tale maniera è possibile quantificare il rischio relativo alla guida di autocarri pesanti ma con percorrenze relativamente brevi o medie oppure per una stima orientativa del rischio lavorativo relativa al periodo pre-1985, quando sussista il sospetto di tempistiche di guida maggiori di quelle previste dalle normative. Il risultato dell'analisi, nella forma di grafico di funzioni cumulative di probabilità, è illustrato in figura 3. Nella tabella 3 sono riportati, per ogni tempistica di guida, il valore medio di A(8) e le probabilità che i livelli di azione e limite della CEE/2002/24 vengano superati. Si nota che il livello di azione viene raggiunto, come valore medio, già a partire da 4 ore di guida (con il 54% di probabilità di superamento). A 8 ore di guida il livello di azione viene superato nell'88% dei casi e, a partire dalle 12 ore, nel 100% dei casi. Il livello limite non viene mai raggiunto come valore medio, con probabilità di superamento nulla fino a 5 ore di guida, minima fino a 8-9 ore e pari al 20% per 14 ore di guida effettiva. È necessario porre in rilievo che l'analisi effettuata si riferisce esclusivamente all'asse z, poiché sono scarsi i dati disponibili relativi alle componenti  $a_x$  e  $a_y$  dell'accelerazione. Quantunque di norma l'asse z risulti essere quello con i maggiori livelli di accelerazione, talora può verificarsi il caso che  $(a_x, a_y) * 1.4 > a_z$ , con risultante sottostima dell'esposizione conseguente all'analisi effettuata in questo lavoro. Le condizioni meccaniche nelle quali possono essere generate componenti  $a_x$  e  $a_y$  di una certa entità sono descritte nel dettaglio nei riferimenti bibliografici [Sweatman e MacFarlane, 2000] e [Vägverket, Road Engineering Division, 2000]. I dati di vibrazione rilevati da Cann e Salmoni in 104 rilievi su camion pesanti utilizzati in Canada ma non in Europa (Peterbuilt, Freightliner e International) sono risultati in valori medi piuttosto bassi delle componenti  $a_x$  e  $a_y$ , pari a circa  $0.19 \text{ ms}^{-2}$  per entrambe (comunicazione personale). Nello studio di Sweatman e MacFarlane, in 4 camion pesanti su 8 i rilievi hanno mostrato componenti  $a_x$  maggiori di  $a_z$  (ma 3 di questi veicoli presentavano problemi di guida).

Tabella 2

Paragone tra la distribuzione di A(8) secondo la 2002/15/CE e la CEE/3820/85

	2002/15/CEE	CEE 3820/85
Media	0.78	0.76
Deviazione standard	0.22	0.22
Percentile 50%	0.74	0.72
Percentile 90%	1.08	1.06
Percentile 95%	1.20	1.11
Percentile 97.5 %	1.31	1.21
Prob. Superamento livello limite	7 %	6%

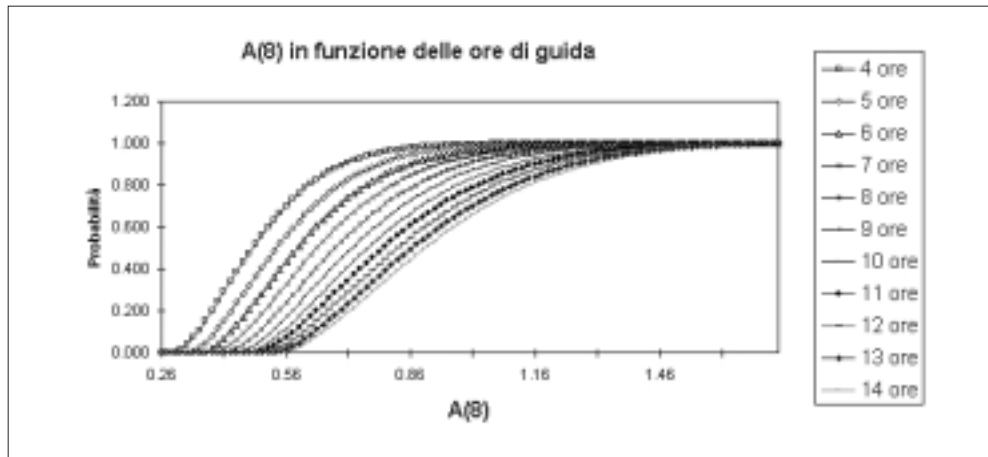


Figura 3: Funzioni cumulative di A(8) per varie tempistiche di guida

Tabella 3

Medie e probabilità di superamento delle funzioni del grafico di Figura 3

Normativa CEE/44/2002: probabilità di superamento livelli di soglia			
Ore di guida effettiva	A(8) medio	Livello di azione 0.5 ms <sup>-2</sup>	Livello limite 1.15 ms <sup>-2</sup>
4 ore	0.51	54%	0%
5 ore	0.57	59%	0%
6 ore	0.63	68%	1%
7 ore	0.68	81%	2%
8 ore	0.72	88%	4%
9 ore	0.77	94%	6%
10 ore	0.81	97%	8%
11 ore	0.85	99%	11%
12 ore	0.88	100%	14%
13 ore	0.92	100%	17%
14 ore	0.95	100%	20%

#### 4. CONCLUSIONI

L'analisi del rischio effettuata si riferisce alle vibrazioni impartite al corpo intero (componente secondo l'asse verticale) nella guida di camion pesanti per lunghe percorrenze. I dati ottenuti possono essere rappresentativi per il periodo 1985 - attuale. La funzione di distribuzione rela-

tiva alla componente verticale delle accelerazioni ponderate in frequenza mostra un ampio intervallo di variazione ( $0.42 - 2.1 \text{ ms}^{-2}$ ), che però si restringe se si eliminano i valori estremi ( $0.47 - 1.11 \text{ ms}^{-2}$  per l'intervallo che va dal 5° al 95° percentile). I valori più bassi si riferiscono a mezzi di recente immatricolazione, con buona manutenzione e con configurazione meccanica e condizioni di guida ottimali. Essendo nota la tempistica massima di guida (fissata per legge e coincidente, per motivi economici, con la tempistica effettiva su lunghe percorrenze), è stato possibile costruire una funzione della "dose" di vibrazioni A(8). Ne risulta che, mediamente e per tutta la popolazione rappresentata dai dati utilizzati, l'esposizione di un autista si pone in posizione intermedia tra il livello di azione ( $0.5 \text{ ms}^{-2}$ ) e il livello limite ( $1.15 \text{ ms}^{-2}$ ) della CEE/44/2002. La probabilità di superamento del livello limite risulta essere non elevata, pari al 6-7%. Secondo l'elaborazione statistica svolta, pertanto, il rischio professionale da vibrazioni nella guida di camion pesanti per il trasporto merci, mediamente e genericamente parlando, può essere considerato non trascurabile, pur non raggiungendo livelli elevati e considerati sicuramente pericolosi per la salute. È da segnalare il caso della guida con doppio conducente; i turni di lavoro prevedono al proposito attualmente un periodo minimo di 8 ore nel quale entrambi gli autisti riposano con veicolo fermo, per ogni 30 ore di guida. Pertanto, mediamente, ogni settimana i conducenti potrebbero al limite trascorrere sul sedile (di guida o del passeggero) un periodo giornaliero pari a 17.6 ore (la valutazione del rischio è complicata dall'assenza di dati di vibrazione relativi al sedile del passeggero). Ai fini della valutazione del rischio a scopi di indennizzo assicurativo, il dato suggerisce una situazione piuttosto indeterminata, non essendo il livello di vibrazioni decisamente pericoloso secondo la CEE/44/2002, ma potendo, in determinate situazioni e in presenza di fattori aggravanti, contribuire alla genesi di tecnopatie a carico del rachide. È necessario tuttavia raccogliere dati specifici riferiti ai modelli di camion maggiormente utilizzati nel territorio italiano e in percorsi che seguano i maggiori assi autostradali del territorio nazionale. In tale modo sarà possibile restringere l'intervallo di variazione della dose di vibrazioni, a scopo preventivo. A scopo di indennizzo assicurativo, nondimeno, in previsione delle difficoltà pratiche presenti nei rilievi in modelli ormai obsoleti e poco utilizzati se non fuori circolazione, il presente lavoro rimane un utile strumento per la stima del rischio lavorativo per l'intervallo temporale che va dal 1985 al 2000 circa.

## BIBLIOGRAFIA

HAUPTVERBAND DER GEWERBLICHEN BERUFGENOSSENSCHAFTEN (HVGB): Schwingungseinwirkung an arbeitsplätzen von kraftfahrern auf lastkraftwagen bis 7.5 t zul. Gesamtgewicht. BIA report 3/2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: Mechanical Vibration and shock - *Evaluation of human exposure to whole-body vibration* Part 1: General requirements. ISO 2631-1:1997.

MABBOT ET AL.: Heavy vehicle seat vibration and driver fatigue. Department of transports and regional services. Australian transport safety bureau Report No. CR 203, July 2001.

PADDAN ET AL.: Whole-body vibration: evaluation of some common sources of exposure in Great Britain. Health & safety executive books, contract research report 235/1999. ISBN 0-7176-2481-1.

SWEATMAN & MCFARLANE: Investigation into the specification of heavy trucks and consequent effects on truck dynamics and drivers: final report, Federal Office of Road Safety, Australia, 2000.

BURDORF & SWUSTE: The effect of seat suspension on exposure to whole-body vibration of professional drivers. Ann. Occup. Hyg. Vol 37,(1),pp.45-55,1993.

HAUPTVERBAND DER GEWERBLICHEN BERUFGENOSSENSCHAFTEN (HVGB): Schwingungsbelastung der fahrer von lastkraftwagen. BIA report Nr BIA4054,1994.

VÄGVERKET, ROAD ENGINEERING DIVISION: Whole-body vibrations when riding on rough roads, a shocking study. Publication 2000:31E, Borlänge, Sweden, 2000.