

## **EFFICACIA E CERTIFICAZIONE DEI SEDILI PER TRATTORI AGRICOLI: DATI DI LABORATORIO E VALUTAZIONI SUL CAMPO**

**Enrico Marchetti<sup>1</sup>, Federica Morgia<sup>1</sup>, Angelo Tirabasso<sup>1</sup>, Marco Pirozzi<sup>2</sup>,  
Andrea Catarinozzi<sup>2</sup>, Raoul Di Giovanni<sup>1</sup>, Alessandro Lunghi<sup>1</sup>,  
Christian Preti<sup>3</sup>, Roberto Deboli<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>: ISPESL – DIL;

<sup>2</sup>: ISPESL – DTS;

<sup>3</sup>: CNR – IMAMOTER.

### **1. INTRODUZIONE**

I lavoratori del settore agricolo che operano con i trattori sono particolarmente esposti alle vibrazioni al corpo intero. Allo stato attuale, per ridurre i livelli di vibrazione al corpo intero che raggiungono il conducente, si utilizzano diversi sistemi definiti passivi (essendo complesso ridurre “l'intensità” delle vibrazioni prodotte dalle sorgenti), e che possono essere catalogati come segue:

- cabine ‘isolate’ rispetto al telaio portante della macchina attraverso l’uso di elementi antivibranti (silent-blocks) costituiti da una parte elastomerica e da una o più parti metalliche di supporto;
- sospensione dell’asse anteriore utilizzando sospensioni del tipo a molla con ammortizzatore idraulico o pneumatico;
- sospensione completa della struttura portante della macchina dagli organi di propulsione utilizzando anche per l’asse posteriore le soluzioni adottate per l’asse anteriore (soluzione utilizzata molto raramente);
- sospensione parziale o totale della cabina mediante l’uso di sospensioni idrauliche o pneumatiche,
- sedili dotati di un sistema di sospensione che può essere di tipo meccanico, idraulico o pneumatico;
- combinazione di tali sistemi.

In particolare il sedile dotato di sospensione media tutte le interazioni tra uomo e trattore ed è potenzialmente in grado di ridurre in modo significativo le vibrazioni a cui il guidatore è esposto. Il presente lavoro, che prosegue quello iniziato e pubblicato sugli atti del dBA nel 2006 ([1]), limitandosi però ai sedili dei trattori agricoli ed alla loro certificazione, e quello presentato sugli atti del Convegno Nazionale III, V e VI Sezione A.I.I.A 2007 ([4]), vuole studiare i possibili interventi per migliorare i test di certificazione delle sospensioni meccaniche dei sedili. Per tale motivo sono stati effettuati test di certificazione secondo le norme tecniche vigenti, valutando il comportamento di sedili mediante misure eseguite sia in laboratorio, con l’uso del banco prova vibrante in dotazione all’IMAMOTER di Torino, sia sul campo con l’ausilio del trattore agricolo di proprietà dell’ISPESL.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 PROVE SU CAMPO

Le prove sul campo sono state effettuate utilizzando i sedili e le sospensioni messi a disposizione dell'ISPEL da alcuni costruttori; questi sedili sono stati montati sul trattore a ruote Claas modello Celtis 456 in dotazione all'ISPEL avente una massa di 4670 kg e provati su un percorso standardizzato a due diverse velocità di marcia specificate in Tabella 3.

E' stato possibile valutare il comportamento delle seguenti configurazioni sedile-sospensione:

1. sedile A - sospensione meccanica A
2. sedile B - sospensione meccanica B
3. sedile C - sospensione meccanica C
4. sedile C - sospensione meccanica D
5. sedile B - sospensione pneumatica A
6. sedile C - sospensione pneumatica B
7. sedile C - sospensione pneumatica C

Le grandezze misurate sono state le accelerazioni sul pianale e sul sedile del trattore (Figura 1 e Figura 2). In questo modo si è potuta valutare la trasmissibilità della vibrazione lungo l'asse  $z$ , come rapporto tra i valori quadratici medi (root mean square – *r.m.s.*) delle accelerazioni ponderate in frequenza rilevate sul sedile ( $a_{wS}$ ) e sul pianale ( $a_{wB}$ ) (Equazione 1).

$$T_z = \frac{a_{wS}}{a_{wB}} \quad \text{Eq. 1}$$



**Figura 1** - Accelerometro posto sul pianale del trattore in prossimità dell'ancoraggio del sedile.



**Figura 2** - Accelerometro posto sul sedile del trattore.

I valori *r.m.s.* delle accelerazioni sono stati calcolati attraverso l'analisi in bande di 1/3 d'ottava, come indicato nella norma tecnica ISO 2631-1 del 2007 ([3]) richiamata dal D.Lgs. 81/08, e attraverso analisi con Fast Fourier Transform (F.F.T.). In entrambi i casi, la banda di frequenza di interesse è stata quella compresa tra 0,5 e 80 Hz.

Per le misure delle grandezze d'interesse sono state utilizzate due diverse catene di misura, costituite da:

- sistema di acquisizione ed analisi a 32 canali OR38 della Oros, accelerometro triassiale AP2081 della AP Technology da pianale (posizionato in prossimità della zona di ancoraggio del sedile), accelerometro 356B41 della PCB da sedile;
- sistema di acquisizione ed analisi a 4 canali SVAN 948 della Svantek, accelerometro monoassiale 3220B della Dytran da pianale (posizionato in prossimità della zona di ancoraggio del sedile), accelerometro triassiale 3023M2 della Dytran da sedile.

## 2.2 PROVE IN LABORATORIO

Le prove sono state eseguite presso il laboratorio dell'Istituto IMAMOTER del CNR di Torino, utilizzando il banco prova per vibrazioni ivi presente. Il banco è realizzato tramite una piattaforma metallica incernierata al pavimento ad un estremo. L'altro estremo è sorretto da un martinetto elettroidraulico pilotato tramite segnali in tensione da - 10 a + 10 volt; il martinetto idraulico del banco è controllato in spostamento tramite un trasduttore di posizione interno di tipo LVDT; forza di spinta di 25 kN; lo spostamento massimo picco-picco è di 200 mm; il campo di frequenza riproducibile va da 0.001 a 100 Hz.

Le misure di laboratorio sono state eseguite attenendosi alle indicazioni date dalla Direttiva Europea 78/764/CEE ([2]), relativa all'omologazione dei sedili per trattori agricoli o forestali a ruote, sollecitando i sedili con valori di accelerazione compresi tra 1,6 e 1,8  $m/s^2$  (valori limiti di riferimento per trattori di categoria A - classe II).

Sono stati quindi acquisiti i segnali di accelerazione lungo l'asse *z* in prossimità dell'ancoraggio del sedile al banco (Figura 3) e lungo i tre assi ortogonali *x*, *y*, *z* sul sedile.



**Figura 3** - Banco prova del CNR-IMAMOTER di Torino: accelerometro posto a livello dell'ancoraggio del sedile al banco di prova.

Le prove sono state ripetute per due operatori A e B la cui massa è stata incrementata con zavorre inferiori a 5 kg per raggiungere rispettivamente le massa richieste di  $59\pm 1$  kg e  $98\pm 5$  kg. I segnali registrati sono stati utilizzati per calcolare il rapporto tra i valori delle accelerazioni sul sedile e sul punto di fissaggio al banco del sedile stesso, ricavando così la trasmissibilità. Il rapporto  $V$  tra i valori di accelerazione è calcolato secondo l'Equazione 2:

$$V = \frac{a_{wS}}{a_{wB}} \quad \text{Eq. 2}$$

La Direttiva Europea 764/78 prescrive, inoltre, il calcolo delle accelerazioni di vibrazioni ponderate, corrette con il valore di riferimento  $a_{wB}^*$  che, per trattori di categoria A - classe II, è pari a  $1,5 \text{ m/s}^2$ , secondo la formula descritta nell'Equazione 3:

$$a_{wS}^* = \frac{a_{wB}^*}{a_{wB}} a_{wS} \quad \text{Eq. 3}$$

I test di prova sono stati eseguiti su alcune delle configurazioni sedile-sospensione caratterizzate su campo, quali:

2. Sedile B - sospensione meccanica B
3. Sedile C – sospensione meccanica C
4. Sedile C – sospensione meccanica D
7. Sedile C – sospensione pneumatica C

Per le misure delle accelerazioni è stato utilizzato il sistema di acquisizione ed analisi a 32 canali OR38 della Oros con accelerometro triassiale AP2081 della AP Technology da pianale (posizionato in prossimità della zona di ancoraggio del sedile al banco) ed accelerometro 356B41 della PCB da sedile.

### 3. RISULTATI

#### 3.1 PROVE SU CAMPO

Nella pagina seguente (Tabella 1 e Tabella 2) si riportano i risultati ottenuti dalle misure effettuate su campo, ricavati dal calcolo dei valori *r.m.s.* delle accelerazioni ponderate in frequenza lungo i tre assi ortogonali  $x$ ,  $y$ ,  $z$  sul sedile e lungo l'asse  $z_p$  in prossimità dell'ancoraggio del sedile al pianale del trattore.

Per quanto riguarda i valori *r.m.s.* delle accelerazioni calcolati per le singole bande di frequenza in 1/3 ottava, dai dati a disposizione si evince un'uniformità dell'andamento della trasmissibilità in frequenza per i due diversi sistemi di sospensione esaminati (meccanico e pneumatico). Pertanto, sono stati presi in considerazione i valori medi di trasmissibilità, in ogni banda di 1/3 ottava, per le cinque configurazioni con sospensione meccanica e le due configurazioni con sospensione pneumatica.

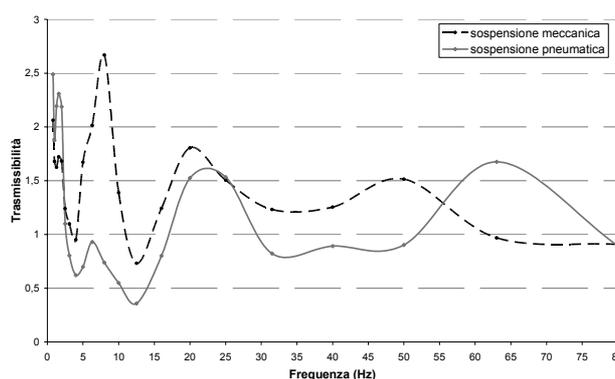
**Tabella 1:** Valori r.m.s. ( $a_w$ ) delle accelerazioni ponderate e trasmissibilità lungo l'asse z in 2<sup>a</sup> veloce su terreno con percorso standardizzato per i diversi sedili regolati conformemente alla massa del conducente (75 kg).

ASSE	1	2	3	4	5	6	7
x	0,73	0,55	0,54	0,55	0,56	0,52	0,54
y	1,08	1,09	1,01	0,99	0,95	1,04	0,89
z	1,60	1,29	1,36	1,31	1,18	0,90	0,93
$z_p$	1,08	1,06	1,10	1,04	1,15	1,03	0,95
$T_z$	<b>1,48</b>	<b>1,22</b>	<b>1,24</b>	<b>1,26</b>	<b>1,03</b>	<b>0,87</b>	<b>0,98</b>

**Tabella 2:** Valori r.m.s. ( $a_w$ ) delle accelerazioni ponderate e trasmissibilità lungo l'asse z in 3<sup>a</sup> veloce su terreno con percorso standardizzato per i diversi sedili regolati conformemente alla massa del conducente (75 kg).

ASSE	1	2	3	4	5	6	7
x	1,05	0,57	0,72	0,68	0,78	0,62	0,74
y	1,15	1,02	1,11	0,93	0,91	1,05	1,01
z	2,27	1,25	1,53	1,47	1,82	1,02	1,12
$z_p$	1,66	1,18	1,24	1,12	1,66	1,36	1,21
$T_z$	<b>1,37</b>	<b>1,06</b>	<b>1,23</b>	<b>1,31</b>	<b>1,10</b>	<b>0,75</b>	<b>0,93</b>

In Figura 4 si riportano gli andamenti in frequenza delle trasmissibilità medie lungo l'asse z.



**Figura 4** – Andamenti in frequenza dei valori medi di trasmissibilità lungo l'asse z per i due sistemi di sospensione (meccanica e pneumatica).

Inoltre sono stati calcolati i valori r.m.s. delle accelerazioni ponderate in frequenza dei due sistemi di tipo pneumatico anche con regolazione rigida, al fine di valutare, a parità di massa del conducente, l'influenza del settaggio sulla trasmissibilità. In Tabella 3 si riporta il confronto tra i valori di trasmissibilità per le due diverse regolazioni e nelle due velocità di marcia.

**Tabella 3:** Valori di trasmissibilità  $T_z$  di due sedili con sospensione pneumatica al variare della velocità di marcia e della regolazione per due diversi sistemi sedile-sospensione.

SEDILE	Trasmissibilità in 2 <sup>a</sup> veloce		Trasmissibilità in 3 <sup>a</sup> veloce	
	Regolato	Rigido	Regolato	Rigido
6	0,87	1,56	0,75	1,31
7	0,98	1,61	0,93	1,42

### 3.2 PROVE IN LABORATORIO

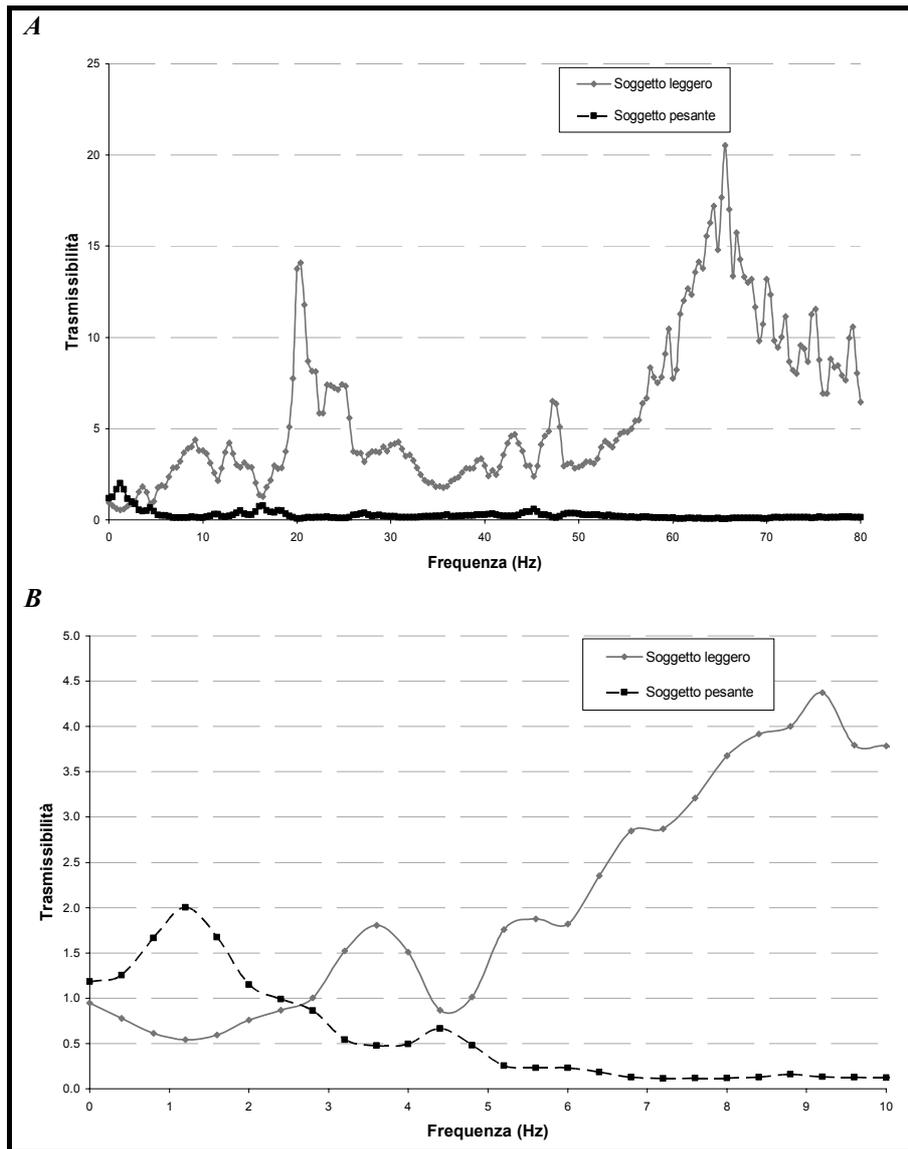
La Direttiva Europea 78/764/CEE prescrive lo svolgimento di test di omologazione su sedili di trattori agricoli ed illustra le modalità di esecuzione delle prove. Ai fini di questo lavoro sono stati eseguiti i test relativi alle prove su banco descritte nella citata direttiva. L'ancoraggio dei diversi sistemi sospensione-sedile al banco di prova è avvenuto come richiesto dalla 78/764. In particolare sono state riprodotte sul banco di prova le sollecitazioni relative alla certificazione di sedili per trattori di categoria A - classe II.

Nella Tabella 4 sono riportati i valori  $a_{ws}^*$ ,  $a_{wb}^*$  e  $V$  per i due operatori con massa differente, per ogni sistema sospensione-sedile e per le diverse regolazioni del sedile testate (sedile regolato all'altezza minima della sospensione corrispondente alla minima rigidità della stessa, sedile regolato all'altezza massima della sospensione corrispondente alla massima rigidità, sedile regolato ad altezza media e sedile regolato automaticamente alla massa dell'operatore).

**Tabella 4:** Valori di  $a_{wb}^*$ ,  $a_{ws}^*$  e  $V$  calcolati per i sistemi sedile-sospensione testati secondo la 78/764/CEE per i due soggetti e con diverse regolazioni.

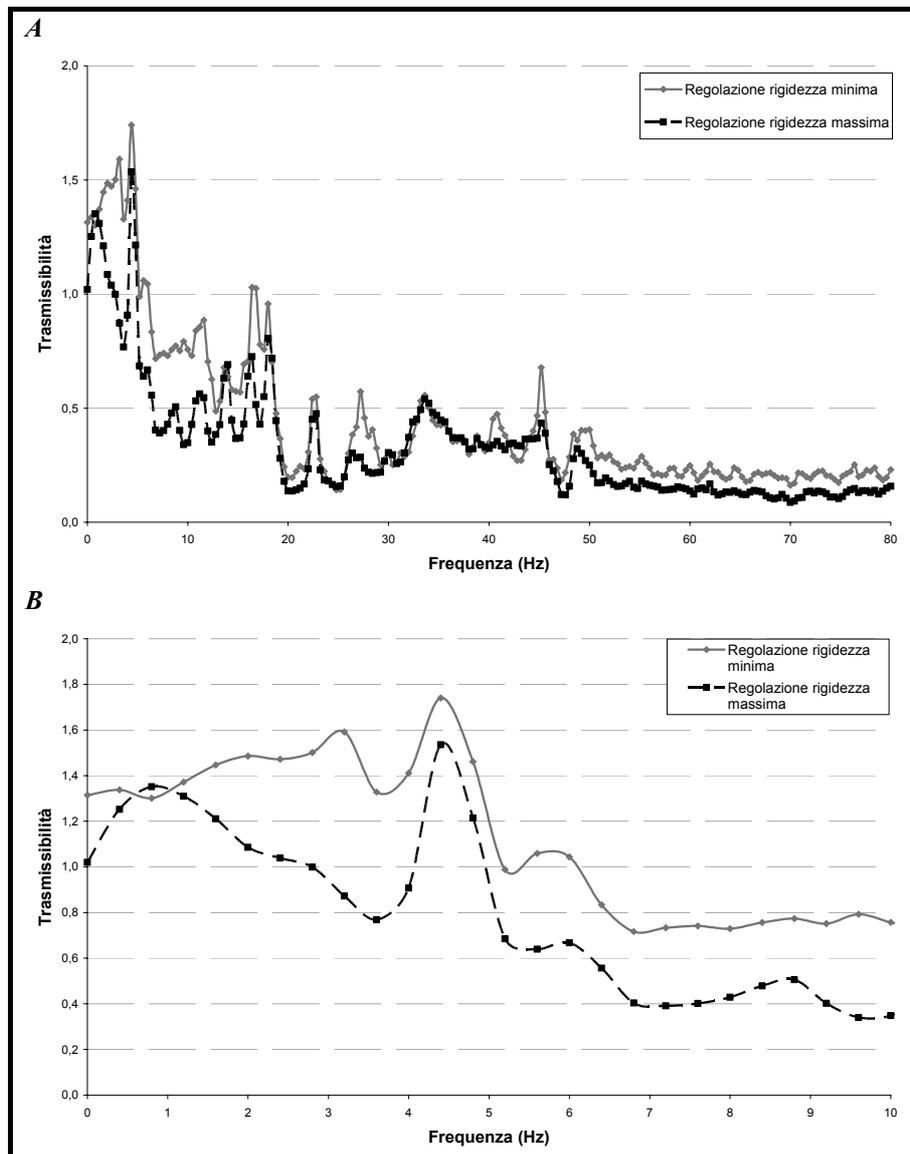
Sedile-sospensione	Regolazione	Soggetto leggero 58 kg			Soggetto pesante 95 kg		
		$a_{wb}^*$	$a_{ws}^*$	$V$	$a_{wb}^*$	$a_{ws}^*$	$V$
2	media rigidità	1.50	1.60	1.07	1.50	1.50	1.00
3	max rigidità	1.50	1.40	0.94	1.50	1.26	0.84
	min rigidità	1.50	2.01	1.33	1.50	1.80	1.20
4	max rigidità	1.50	1.53	1.02	1.50	1.26	0.84
7	automatica	1.50	1.80	1.20	1.50	1.59	1.06
	(max rigidità)	1.50	1.68	1.12	1.50	1.51	1.00

I risultati hanno riportato andamenti e valori di trasmissibilità molto differenti tra le misure effettuate con soggetto di massa 58 kg e quelle con soggetto di massa di 95 kg. A titolo di esempio viene riportato in Figura 5 l'andamento delle trasmissibilità della vibrazione in frequenza sui due soggetti, ricavato dalle misure con sedile n. 7 regolato per la loro massa, come prescritto dalla Direttiva.



**Figura 5:** Andamento della trasmissibilità della vibrazione del sedile n.7 regolato sulla massa dei due soggetti. A - Intervallo di frequenza d'interesse secondo la ISO 2631. B - frequenze inferiori a 10 Hz.

I valori di  $V$  riportati in Tabella 4 evidenziano un comportamento differente del sistema sedile-sospensione al variare della regolazione, meglio visibile dai grafici riportati in Figura 6.



**Figura 6:** Andamento della trasmissibilità della vibrazione del sedile n° 3 con regolazione alla massima e minima rigidità e soggetto di massa 58 kg. A - Intervallo di frequenza d'interesse secondo la ISO 2631. B - frequenze inferiori a 10 Hz.

#### 4. DISCUSSIONE

I valori r.m.s. delle accelerazioni ponderate in frequenza secondo la ISO 2631, riportati nelle Tabelle 1 e 2, dimostrano una migliore efficienza nell'attenuazione delle vibrazioni lungo l'asse z dei sistemi sedile-sospensione di tipo pneumatico rispetto a quelli di tipo meccanico. Si evidenzia che i valori sono stati ottenuti effettuando misurazioni su un soggetto maschio con massa pari a 75 kg, e con la regolazione dei sistemi di sospensione in base al peso, come prescritto dai costruttori. Dal confronto tra i valori riportati nelle due tabelle si osserva, inoltre, che la trasmissione delle accelerazioni al sedile del trattore non presenta apprezzabili differenze al variare della velocità di marcia. Comunque, per cinque configurazioni sulle sette esaminate, si sono rilevati valori di trasmissibilità minori per la marcia in 3<sup>a</sup> veloce.

Gli andamenti in frequenza confermano il migliore comportamento dei sistemi dotati di sospensione pneumatica in termini di attenuazione delle vibrazioni nell'intervallo di frequenza considerato. In particolare alle basse frequenze (al di sotto dei 20 Hz), come mostrato in Figura 4, i valori puntuali di trasmissibilità dei sistemi pneumatici sono quasi sempre al di sotto dell'unità, mentre per lo stesso intervallo di frequenza i sistemi meccanici tendono ad amplificare le vibrazioni trasmesse dal pianale.

Sebbene dai risultati esposti in precedenza i sistemi con sospensione pneumatica hanno mostrato un buon comportamento in frequenza, tale da garantire un valore di trasmissibilità della vibrazione inferiore all'unità per le due velocità di marcia, in caso di regolazione rigida della sospensione (Tabella 3) essi trasferiscono comunque valori elevati di accelerazione al sedile. Infatti, la configurazione n° 6 con la sospensione regolata alla massima altezza (corrispondente alla sua massima rigidità), determina valori di trasmissibilità circa doppi rispetto a quelli ottenuti con il corretto settaggio, per entrambe le velocità di marcia. Allo stesso modo, la configurazione n° 7 presenta un incremento di circa il 50% dei valori di trasmissibilità in caso di sospensione regolata alla massima altezza. Tale risultato, di per sé ovvio, in realtà è significativo in quanto la regolazione della sospensione nei sedili non è indipendente dalla regolazione dell'altezza del sedile stesso (inteso come altezza della seduta). Questo può comportare una errata risposta della sospensione per effetto di una regolazione che l'operatore effettua al solo fine di ottenere una posizione del sedile ottimizzata alla guida del veicolo.

I test eseguiti in laboratorio mostrano risultati non completamente in accordo con quelli ottenuti nelle prove su campo. Infatti, complessivamente nelle prove su banco il miglior comportamento, in termini di attenuazione delle vibrazioni al sedile del conducente, è stato quello dei sistemi di tipo meccanico a discapito di quelli pneumatici.

I risultati relativi alle prove di simulazione in laboratorio per l'omologazione dei sedili riportano il rapporto  $V$  in Tabella 4, il cui valore ai fini della omologazione del sedile deve essere inferiore a 1,25. Tutti i sistemi sottoposti alla prova da banco sono caratterizzati da valori di  $V$  inferiori al valore limite, tranne la configurazione n° 3 con sospensione di tipo meccanico regolata nella sua posizione di altezza minima (corrispondente al limite inferiore di rigidità) e con conducente leggero. I valori di trasmissibilità ricavati dalle misure in laboratorio sono, quindi, inferiori al valore di 1,25 anche nei casi di non corretta regolazione della sospensione, in contrasto con

quanto esposto per le prove su campo. Questo implica che un sedile, con una regolazione della sospensione non effettuata in base al peso del conducente (quindi errata), risulterebbe idoneo ai fini della certificazione per quel che riguarda le prove su banco.

I risultati delle prove eseguite in laboratorio secondo le prescrizioni della direttiva 78/764 CEE suggeriscono anche un'influenza del peso (massa dell'operatore) sulla modalità di trasferimento della vibrazione del sistema sedile-sospensione. Infatti, dai valori riportati in Tabella 4 e dagli andamenti riportati in Figura 5, si osservano accelerazioni trasferite al sedile notevolmente maggiori per il soggetto con massa inferiore, anche con un corretto settaggio del sistema.

In Figura 6 è riportato l'andamento in frequenza dei valori di trasmissibilità per sospensione regolata nella posizione di altezza minima e massima (rispettivamente minima e massima rigidità). In tale figura si osserva un andamento in frequenza analogo per entrambe le regolazioni e valori di trasmissibilità superiori all'unità a frequenze molto basse.

I risultati ottenuti da entrambe le campagne di misura stabiliscono quindi la necessità della corretta regolazione del sistema sedile-sospensione in base alla massa del conducente.

## 5. CONCLUSIONI

La trasmissibilità dei sedili viene certificata in un intervallo di frequenza troppo limitato rispetto a quello d'interesse ed effettivamente sperimentato in campo. Quindi il sedile, nonostante superi il test di certificazione, non ammortizza adeguatamente i valori emessi in campo dai trattori. Questo può essere imputato anche ad altri fattori tra i quali la pressione di gonfiaggio dei pneumatici e lo stile di guida del conducente.

In alcuni casi, anche nelle prove di laboratorio, si osservano valori di trasmissibilità delle vibrazioni, dal pianale all'operatore, superiori all'unità in alcuni intervalli di frequenza piuttosto estesi. Questo diventa più evidente se si adotta il campo di frequenza della norma UNI EN ISO 2631 – 2007, in quanto in molti casi alle frequenze d'interesse igienistico (in particolare quelle comprese tra 1 e 20 Hz), si hanno valori di trasmissibilità superiori ad uno. Il non superamento dei test in laboratorio, soprattutto se si considera che essi sono realizzati in condizioni di alta ripetibilità e riproducibilità ([5]) è certamente negativo.

Le cause del non superamento possono essere svariate: prodotto nato "difettoso", componentistica esterna che non soddisfa gli standard qualitativi richiesti dal costruttore del sedile, sistema di precarico del sedile molto impreciso. Per quanto riguarda l'ultimo punto si è osservato come l'imprecisione del precarico del sistema giochi un ruolo fondamentale nel superamento o meno dei test sul banco vibrante, soprattutto quando sul sedile prende posto un conducente la cui massa è inferiore ai 65 kg.

Dai risultati ottenuti si evince la necessità di modificare i test di certificazione in modo da ottenere sedili certificati che abbiano un comportamento nell'attenuazione delle vibrazioni al corpo intero "coerente", ottenere cioè sedili che realmente in tutte, o quasi, le situazioni in cui andranno a lavorare riducano le vibrazioni trasmesse al

conducente il trattore agricolo o forestale. Ciò deve essere correlato ad una migliore progettazione delle sospensioni e, soprattutto, ad un corretto accoppiamento tra veicolo e sedile-sospensione e tra sedile-sospensione e massa del conducente. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, sarebbe opportuno che i sedili avessero una regolazione della sospensione indipendente da quella della posizione della seduta, o almeno il più possibile "compatibile" con essa. I costruttori, comunque, dovrebbero sempre fornire all'operatore indicazioni dettagliate sulle modalità per una corretta regolazione del sistema sedile-sospensione. In particolare dovrebbero porre l'attenzione sui possibili effetti che la regolazione della seduta ha sul comportamento della sospensione.

Tutto ciò dovrebbe condurre ad una modificazione delle vibrazioni meccaniche trasmesse al corpo intero in modo che il campo di frequenza delle vibrazioni che risultano significative ed a cui il lavoratore è sottoposto cada fuori dall'intervallo d'interesse igienistico.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- [1] E. Marchetti, A. Pieroni, A. Lunghi, F. Morgia, R. Sisto, P. Nataletti, *"Efficacia dei sedili dei veicoli industriali nell'attenuare le vibrazioni indotte al corpo intero dei conducenti"*, Atti dBA 2006, Modena.
- [2] Direttiva del Consiglio del 25 luglio 1978 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative al sedile del conducente dei trattori agricoli o forestali a ruote, 78/764/CEE.
- [3] Standard 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 (Switzerland).
- [4] V. Laurendi, M. Pirozzi, P. Nataletti, E. Marchetti, *"Efficacia dei sedili dei trattori agricoli o forestali nell'attenuare le vibrazioni indotte al corpo intero dei conducenti"*. Atti del Convegno Nazionale III, V e VI Sezione A.I.I.A 2007, Pisa e Volterra.
- [5] E. Cavallo, R. Deboli, G. Paletto, C. Preti *"Ripetibilità dei dati di vibrazioni sui sedili di trattori agricole tramite pista artificiale"*. Atti del 32° Convegno Nazionale della Associazione Italiana di Acustica, 2005, Ancona