

## MISURE SU TRATTORI AGRICOLI FINALIZZATE ALL'INDIVIDUAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLE VIBRAZIONI E DEL RUMORE NONCHÉ DELLE DOTAZIONI E CONFIGURAZIONI PIÙ ADEGUATE

Alessandro Peretti (1), Jacopo Griguolo (2), Francesco Pompoli (3), Chiara Visentin (3), Patrizio Fausti (3), Francesca Pedrielli (4), Eleonora Carletti (4), Pietro Nataletti (5)

- 1) Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro, Università di Padova, [alessandro.peretti@unipd.it](mailto:alessandro.peretti@unipd.it)
- 2) Tecnico Competente in Acustica Ambientale, Rovigo, [jacopo.griguolo@gmail.com](mailto:jacopo.griguolo@gmail.com)
- 3) Dipartimento di Ingegneria, Università di Ferrara, [francesco.pompoli@unife.it](mailto:francesco.pompoli@unife.it), [vschr@unife.it](mailto:vschr@unife.it), [patrizio.fausti@unife.it](mailto:patrizio.fausti@unife.it)
- 4) IMAMOTER, CNR, Ferrara, [f.pedrielli@imamoter.cnr.it](mailto:f.pedrielli@imamoter.cnr.it), [e.carletti@imamoter.cnr.it](mailto:e.carletti@imamoter.cnr.it)
- 5) Dipartimento Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone, Roma, [p.nataletti@inail.it](mailto:p.nataletti@inail.it)

### SOMMARIO

Sono stati esaminati 5 trattori con caratteristiche tecnologiche diverse, sia su terreno agricolo sia su strada, nelle medesime condizioni di misura. Il trattore con dotazioni più avanzate è stato considerato con 5 configurazioni differenti. Sono state rilevate le vibrazioni sul piano, sul basamento e sullo schienale del sedile, nonché sul volante; il rumore è stato misurato in prossimità di ambedue gli orecchi. Contemporaneamente è stata determinata la velocità di marcia.

### 1. Premessa

Nel campo dell'igiene del lavoro, il confronto tra i risultati di indagini, svolte nelle medesime condizioni di misura e riguardanti macchine della stessa tipologia ma con caratteristiche differenti, consente di definire gli interventi più adeguati di riduzione dei rischi. Quest'approccio è stato messo in atto per i trattori agricoli [1,2], caratterizzati com'è noto da vibrazioni elevate e da un utilizzo spesso superiore alle 8 ore/giorno [3].

### 2. Materiali e metodi

Sono stati considerati 5 trattori di potenza compresa tra 100 e 140 CV, di recente immatricolazione (2012-2016) e in buono stato di manutenzione, impiegati dal costruttore dei mezzi per prove e ricerche. I trattori, passando dal 1° al 5°, presentano dotazioni tecnologiche via via più avanzate in termini di cabina, sedile (meccanico, pneumatico, semi-attivo), sospensioni sull'assale anteriore (cilindro idraulico) e sulla cabina (*silent block* assiali o bussole radiali in gomma, ammortizzatori a molla). Alla guida è stato posto sempre lo stesso conducente esperto. L'indagine è stata svolta a velocità di marcia usuali, in normali condizioni di lavoro presso un'azienda agricola e in condizioni controllate presso il costruttore. Sono state esaminate da un lato alcune attività agricole utilizzando per tutti i mezzi i medesimi esemplari di attrezzo (aratura in solco; erpicatura con erpice rotante; traslazione su terreno non lavorato con attrezzo sollevato) e dall'altro la traslazione su strada considerando sia strade poderali in mediocri condizioni (asfaltata, sterrata, con ghiaia, senza e con carro a rimorchio) sia una strada asfaltata in buone condizioni a 3 velocità per poter valutare la correlazione tra velocità e vibrazioni.

Per quanto riguarda la strumentazione sono stati utilizzati: a) accelerometri triassiali ICP (PCB Piezotronics) per la rilevazione delle vibrazioni sul piano, sul basamento e sullo schienale del sedile nonché sul volante; b) microfoni da 1/2 pollice per campo libero (BSWA Technology) per la misurazione del rumore a 10 cm dall'ingresso dei condotti uditivi dell'operatore; c) un sensore radar doppler (GMH Engineering) per la determinazione della velocità di marcia. I trasduttori sono stati collegati a uno strumento di misura a 8 canali (Sinus Messtechnik) collocato a bordo dei mezzi e collegato in modalità *wireless* a un PC portatile per il controllo a distanza.

### 3. Risultati

#### 3.1 Assi determinanti il rischio

Gli assi delle vibrazioni sul piano del sedile che determinano il rischio per l'operatore sono: a) l'asse trasversale ( $y$ ) e in misura minore l'asse longitudinale ( $x$ ) nel caso dell'aratura, dell'erpatura e della traslazione su terreno non lavorato, a causa del rollio e del beccheggio dei mezzi su superfici fortemente irregolari; b) l'asse verticale ( $z$ ) e in misura minore l'asse trasversale e ancora minore l'asse longitudinale nel caso della traslazione su strade poderali (senza e con carro a rimorchio) e su strada asfaltata in buone condizioni, caratterizzate da superfici maggiormente uniformi rispetto a quelle agricole per cui rollio e beccheggio risultano meno importanti.

#### 3.2 Accelerazioni determinanti il rischio

Facendo riferimento alle attività agricole, i valori delle accelerazioni ponderate in frequenza sul piano del sedile determinanti il rischio sono pari a: a)  $0.9-1.2 \text{ m/s}^2$  nel caso della traslazione su terreno non lavorato a 11-15 km/h (i valori sono elevati, rispetto al valore di azione per 8 ore di esposizione al giorno pari a  $0.5 \text{ m/s}^2$ , a causa del terreno compatto e irregolare e della velocità sostenuta); b)  $0.6-1.1 \text{ m/s}^2$  nel caso dell'aratura a 4-7 km/h (i valori sono elevati per la particolare lavorazione che sollecita molto i mezzi e per le continue correzioni sul volante finalizzate al controllo della direzione del trattore; l'asse trasversale del mezzo si presenta infatti inclinato a causa delle ruote dentro il solco che procedono a un livello più basso); c)  $0.2-0.4 \text{ m/s}^2$  nel caso dell'erpatura a 2 km/h (i valori sono bassi per il terreno piano e morbido, già arato, e per la velocità contenuta).

Considerando la traslazione su strade poderali alla medesima velocità (17-19 km/h), sia senza carro sia con carro, i valori delle accelerazioni determinanti il rischio si differenziano a seconda dell'entità e della quantità di irregolarità superficiali: a)  $0.9-1.0 \text{ m/s}^2$  su ghiaia; b)  $0.6-0.8 \text{ m/s}^2$  su sterrato; c)  $0.3-0.5 \text{ m/s}^2$  su asfalto. La presenza o meno del carro non influisce sulle vibrazioni, poiché il carro non trasmette carico sui due assali del trattore (è solo trainato).

Nel caso della traslazione su strada asfaltata in buone condizioni, i valori delle accelerazioni determinanti il rischio crescono all'aumentare della velocità: da un minimo di  $0.3 \text{ m/s}^2$  a un massimo di  $0.8 \text{ m/s}^2$  passando da 20, a 30 e a 40 km/h. La

correlazione tra velocità e vibrazioni non è sempre buona a causa della dipendenza delle vibrazioni dalle irregolarità superficiali (comunque piccole). L'entità della variazione dell'accelerazione al variare della velocità è in genere maggiore sull'asse verticale, dove a un raddoppio della velocità si assiste in alcuni casi a un raddoppio dell'accelerazione.

### 3.3 Attenuazioni dei sedili

I valori SEAT (rapporto tra il valore energetico medio dell'accelerazione ponderata in frequenza sul piano del sedile lungo l'asse verticale e il corrispondente valore sul basamento) variano fortemente (0.4-1.9). Si conferma così che i valori SEAT sono poco attendibili per la caratterizzazione dei sedili, poiché essi dipendono dalle condizioni di misura, dalla postura e dai movimenti autonomi e indotti dell'operatore.

### 3.4 Frequenza delle accelerazioni, frequenza di risonanza e di eccitazione dei sedili

Le componenti in frequenza predominanti si presentano generalmente:

- sul piano del sedile, a 1-2.5 Hz (x), 0.8-2 Hz (y), 1.6-2.5 Hz (z) nel caso delle attività agricole e a 1.6-3.2 Hz (x), 1-6.3 Hz (y), 2-3.2 Hz (z) nel caso della traslazione su strada;
- sul basamento del sedile, a 1-2.5 Hz (x), 0.8-2 Hz (y), 2-2.5 Hz (z) nel caso delle attività agricole e a 2.5-6.3 Hz (x), 1-6.3 Hz (y), 2.5-3.2 Hz (z) nel caso della traslazione su strada.

La frequenza di risonanza dei sedili si pone a 1-2 Hz, contro una frequenza di eccitazione di 2-2.5 Hz, nel caso delle attività agricole e a 0.8-2 Hz, contro una frequenza di eccitazione di 2.5-3.2 Hz, nel caso della traslazione su strada.

### 3.5 Accelerazioni sullo schienale del sedile e sul volante

I valori dell'accelerazione ponderata in frequenza mediante il filtro *c* rilevati sull'asse longitudinale dello schienale del sedile ( $0.3-0.9 \text{ m/s}^2$ ) sono più elevati dei corrispondenti valori sul basamento a causa dello "sbandieramento" dello schienale.

I valori della somma vettoriale delle accelerazioni ponderate in frequenza mediante il filtro *h* rilevati sul volante ( $0.5-0.8 \text{ m/s}^2$ ) sono bassi, rispetto al valore di azione per 8 ore di esposizione al giorno pari a  $2.5 \text{ m/s}^2$ , a causa dell'idroguida.

### 3.6 Vibrazioni, dotazioni e configurazioni

Per quanto riguarda i valori delle accelerazioni determinanti il rischio, si può osservare che non esiste una graduatoria assoluta dei mezzi (dotati dei propri sedili), poiché essa dipende dalle attività esaminate, dalla postura e dai movimenti dell'operatore. A prescindere da queste criticità, il trattore n. 1 e il n. 5 (rispettivamente con dotazioni tecnologiche meno e più avanzate) presentano le vibrazioni più basse.

In riferimento al trattore n. 5, le configurazioni migliori sono quella di base (a riprova delle corrette scelte del costruttore) e quella con sedile pneumatico al posto di quello semiattivo. Quest'ultimo è caratterizzato da una sospensione pneumatica la cui rigidità varia adattandosi alle condizioni operative tramite un'elettrovalvola pneumatica controllata da un sensore di posizione; pur essendo costoso e sofisticato, questo sedile non risulta valido nel ridurre le vibrazioni, probabilmente a causa dei numerosi meccanismi di regolazione contraddistinti inevitabilmente da giochi tra i diversi organi meccanici. Questo sedile risulta tra i meno validi anche in termini di valori SEAT.

Le configurazioni peggiori del trattore n. 5 sono quella con distanziale rigido al posto dell'ammortizzatore a molla sul lato posteriore della cabina e quella che prevede il bloccaggio del cilindro idraulico sull'assale anteriore del mezzo; da queste

valutazioni emerge che le sospensioni svolgono un ruolo importante nel contenere le accelerazioni determinanti il rischio.

Considerando la somma vettoriale delle accelerazioni sul basamento del sedile, che ovviamente prescinde dal comportamento del sedile, il trattore n. 5 è ancora il mezzo a vibrazioni più basse. In riferimento a questo trattore, la configurazione migliore è quella con pneumatici a pressione ridotta (0.6 bar anziché a 1.5 bar), mentre le configurazioni peggiori sono quelle già citate con sospensioni bloccate. A proposito della pressione ridotta va osservato che essa comporta una minore rigidità del sistema determinando un abbassamento della frequenza di eccitazione del sedile da 2.5 a 2 Hz con conseguente minore efficacia del sedile stesso nel ridurre le vibrazioni.

### 3.7 Rumore e dotazioni

Considerando le attività agricole e la traslazione su strada, i livelli sonori rilevati a finestrini e portiere chiuse in corrispondenza dei due orecchi dell'operatore sono bassi, rispetto al valore inferiore di azione per 8 ore di esposizione al giorno pari a 80 dB(A), nel caso dei trattori n. 4 e 5 (71-75 dB(A)) e relativamente bassi nel caso dei trattori n. 1 e 2 (75-80 dB(A)). Il trattore n. 3 presenta livelli differenti secondo le condizioni: bassi (74 dB(A)) nel caso della traslazione su terreno non lavorato; relativamente bassi o alti (78-81 dB(A)) negli altri casi.

Le differenze tra i trattori sono giustificate dalle dotazioni dei mezzi, sia per quanto riguarda l'isolamento del rumore trasmesso per via aerea (paratia tra cruscotto e vano motore, superfici in lamiera del pavimento e dei parafanghi), sia per quanto riguarda l'isolamento del rumore per via strutturale (sospensioni della cabina, rigidità dinamica del *frame* della cabina e delle sue pareti).

Gli spettri sonori sono caratterizzati dalle componenti di bassa e media frequenza. Nel caso della traslazione su strade poderali, gli spettri sono contraddistinti da un elevato picco (95 dB) a 25-31.5 Hz. Tale picco è del tutto assente durante l'aratura, mentre è nettamente inferiore durante l'erpatura e la traslazione su terreno non lavorato. Il picco è dovuto al rotolamento degli pneumatici, in particolare all'impatto dei tasselli sulla superficie stradale e alla conseguente trasmissione della sollecitazione per via strutturale. Esso è elevato solo se la superficie è dura; nel caso del terreno agricolo i tasselli tendono ad affondare.

Per quanto riguarda la frequenza del picco, si può osservare che alla velocità esaminata su strada (mediamente 18 km/h) il mezzo percorre 5 metri in 1 secondo; essendo i tasselli distanziati tra loro di 0.20 m, il numero di impatti è pari a 25 in 1 secondo, per cui la frequenza del picco risulta proprio di 25 Hz.

## 4. Conclusioni

Anche nel caso dei moderni trattori, gli operatori possono essere esposti a vibrazioni molto elevate a causa delle superfici irregolari su cui i mezzi operano e delle velocità sostenute impiegate nelle diverse attività. Dotazioni tecnologiche avanzate, quali le sospensioni sull'assale anteriore e sulla cabina, sono in grado di ridurre tali vibrazioni.

*La presente ricerca è stata svolta nell'ambito del Progetto BRIC ID26 finanziato dall'INAIL.*

## 5. Bibliografia

- [1] Scarlett A.J. et al. *Whole body vibration on agricultural vehicles: evaluation of emission and estimated exposure levels*. Health & Safety Executive, Research Report 321, 2005.
- [2] Peretti A. et al. *Vibrazioni e rumore su trattori agricoli in condizioni controllate*. Atti 42° Convegno Nazionale AIA, Firenze, 16-17 luglio 2015.
- [3] Colosio C. et al. *Linee Guida per la sorveglianza sanitaria in agricoltura*. Nuova Editrice Berti, Piacenza. SIMLII 2013.