

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AGRICOLTURA, LE FORESTE, LA
NATURA E L'ENERGIA - DAFNE**

**Corso di Dottorato di Ricerca
MECCANICA AGRARIA – XXV Ciclo.**

**“ERGONOMIA DELLE POSTAZIONI DI GUIDA DEI TRATTORI: ANALISI
DIMENSIONALE E RISCHI DA ESPOSIZIONE A RUMORE E VIBRAZIONI”
s.s.d. AGR/09**

Tesi di dottorato di:

Dott. Roberto BEDINI

Coordinatore del corso e Tutore

Prof. Massimo CECCHINI

17/04/2013

*Non possiamo definire nulla con assoluta precisione,
se proviamo a farlo ci coglie quella paralisi di pensiero che è tipica dei filosofi
...in cui uno dice all'altro:*

“Non sai di cosa stai parlando”

E l'altro risponde:

“Che cosa intendi per Parlare?”

Che cosa intendi per Sapere?”

Che cosa intendi per Cosa?”

Richard Feynman

ERGONOMIA DELLE POSTAZIONI DI GUIDA DEI TRATTORI: ANALISI DIMENSIONALE E RISCHI DA ESPOSIZIONE A RUMORE E VIBRAZIONI

Riassunto

Ogni addetto del comparto agro-forestale è sensibilmente esposto a rischi per la salute e la sicurezza, imputabili in parte all'ambiente di lavoro, in parte all'utilizzo dei macchinari. Il requisito più importante nel determinare la qualità del rapporto tra l'utente e il trattore è la sicurezza e il comfort. In agricoltura, la progettazione ergonomica e la realizzazione di una cabina che protegga dal rischio rumore e vibrazioni, rappresenta una priorità per l'integrità psico fisica del trattorista e un fattore di aumento della qualità e di operatività del lavoratore. Inoltre, il rischio da agenti fisici rumore e vibrazione rimane tuttora sottovalutato dai lavoratori, poiché gli effetti non sono quantificabili nel breve periodo. Questa sperimentazione si è concentrata: 1) sull'analisi della dimensione interna della cabina del trattore, verificandone il rispetto del "minimo ingombro" del conducente (secondo le norme UNI EN ISO 3411:2007). 2) Il confronto tra un ampio data-base di misurazioni di rumore e di vibrazioni nei trattori (secondo il D.lgs 81/08), al fine di stabilire la fascia di rischio comune a una stessa tipologia di macchina e operatrice. I risultati mostrano che le cabine, non rispettano uno o più parametri forniti della standard normativo UNI EN ISO 3411:2007. Gli agenti fisici rimangono al di sopra della soglia di rischio nella quasi totalità delle valutazioni.

Parole chiave: rischio, antropometria, trattore agricolo, rumore, vibrazioni.

ERGONOMICS DRIVING TRACTORCS: DIMENSIONAL ANALYSIS AND EXPOSURE RISK TO NOISE AND VIBRATION

Summary

Every workers of agro forestry is exposed to risk for the health and safety, due to working environment and to using machine also. The most important requirement in determining the quality of the relationship between the user and the tractor is comfort and safety. In agriculture, the anthropometric design and the realization of a tractor cab to protect against the risk of noise and vibration is a priority for the physical and psychological integrity for the driver. Also, noise and vibration risks are undervalued from the workers, for the long-term effects of the agents. This investigation is focused: 1) on experimental analysis of the internal dimension of tractor cabs, verify the respect of "the least overall dimensions" of the driver (according to UNI EN ISO 3411:2007 standard). 2) the compare values of noise and vibration in a wide emission's database (according to D.lgs 81/08), to find the risk zone of the tractors and machines. The result: many cabs don't respect one or more parameters provided by the UNI EN ISO 3411:2007 standard, noise and vibration agents are over the risk level in almost all the measurements.

Key word: risk, anthropometry, agricultural tractors, noise, vibration.

SOMMARIO

<u>1- INTRODUZIONE</u>	<u>9</u>
1.1 Obiettivi della tesi.....	19
1.2 Stato dell'arte.....	22
<u>2- IL TRATTORE AGRICOLO</u>	<u>23</u>
2.1 Tipologie e tecnologie costruttive dei trattori agricoli	23
2.2 Caratteristiche strutturali delle cabine di guida dei trattori agricoli	40
2.3 Normativa di riferimento	45
<u>3- MATERIALI E METODI</u>	<u>50</u>
3.1 Vibrazioni	50
3.1.1 Le vibrazioni.....	51
3.1.2 Gli effetti delle vibrazioni sul corpo umano.....	61
3.1.3 Normativa di riferimento	72
3.1.4 Strumenti per la misura delle vibrazioni	97
3.2 Rumore	106
3.2.1 Cenni di acustica	106
3.2.2 Effetti del rumore sul corpo umano	115
3.2.3 Normativa di riferimento	123
3.2.4 Strumenti per la misura del rumore.....	151
3.3 L'ergonomia.....	159
3.3.1 Antropometria delle cabine.....	164
3.3.2 Effetti sul corpo del rischio posture	169
3.3.3 Normativa di riferimento	180
<u>4 - RISULTATI E DISCUSSIONE</u>	<u>199</u>
4.1 Calcolo del valore di esposizione alle vibrazioni.....	200
4.2 Calcolo del valore di esposizione al rumore.....	236
4.3 Calcolo delle misure antropometriche delle cabine.....	275
<u>5 – CONCLUSIONI.....</u>	<u>314</u>
<u>6 – SVILUPPI FUTURI</u>	<u>318</u>

1- INTRODUZIONE

Il 2011 conferma l'andamento decrescente degli infortuni sul lavoro che è in atto nel nostro Paese dalla fine degli anni sessanta. Sul calo degli infortuni sul lavoro più recente ha certamente influito, la crisi economica che ha colpito il Paese in questi decenni, con pesanti riflessi sul piano produttivo e occupazionale. Nel 2011, però, si registra un lieve aumento dell'occupazione (+0,4%) e una sostanziale stabilità (+0,1%) del dato delle unità di lavoro anno, diminuite anch'esse rispettivamente del 2,9% e dello 0,9% nel 2009 e nel 2010.

L'aumento dello 0,4% degli occupati registrato nel complesso nel 2011 sia influenzato esclusivamente dalla componente femminile (+1,2%, pari ad oltre 110 mila occupate in più), mentre quella maschile, com'è noto occupata in lavorazioni più pericolose e a rischio di infortunio, segna un valore negativo dello 0,1%. Lo stesso incremento occupazionale dello 0,4% rappresenta del resto un valore medio generale, sintesi di una gamma molto ampia di variazioni, che comprende valori positivi relativi a settori economici che non sono stati colpiti dalla crisi e valori negativi di settori per i quali, al contrario, la crisi ha avuto effetti decisamente più pesanti[1].

L'agricoltura merita un discorso a parte: presenta oggettivamente ancora un rischio molto elevato, con un indice di frequenza 3 che, rispetto al triennio precedente è rimasto sostanzialmente invariato in termini complessivi (49,64 nel triennio 2007-2009, 49,71 nel triennio 2006-2008), con un lieve peggioramento per le tipologie di

conseguenza dell'infortunio più gravi (da 4,76 a 5,18 per l'inabilità permanente, da 0,11 a 0,13 per la conseguenza mortale).

Anche se è inserita nella fascia di rischio medio, è chiaro come le lavorazioni agricole, in particolare quelle legate alla coltivazione del terreno, presentino, per la forte parte di opera manuale richiesta, che per i mezzi meccanici comunque utilizzati, un'implicita propensione all'infortunio, che determina inevitabilmente valori degli indici di frequenza consistenti. Complessivamente, sulla base di elaborazioni di questi dati, si è stimato che, seppur con un forte variazione a livello territoriale, settoriale e di dimensioni aziendali, il calo "reale" degli infortuni, al netto dell'effetto perdita di quantità di lavoro svolta per alcuni settori ad alto rischio infortunistico, si possa stimare intorno al -5% per gli infortuni in generale e al -4% per quelli mortali. Tali riduzioni sono quelle da attribuire all'effettivo miglioramento dei livelli di rischio in atto ormai da molti anni nel nostro Paese. L'effetto positivo sulla limitazione dei livelli di rischio infortunistico delle iniziative intraprese da parte del Legislatore e in tema di prevenzione e formazione, risulta evidente. [2]

Lo scenario che si sta prospettando per l'industria della meccanizzazione agricola è di forte trasformazione, basti pensare che nel mondo vengono assemblati circa un milione di trattori l'anno e di questi più della metà provengono solo da India e Cina. Russia, India e Cina sono al momento i tre paesi alla guida dell'economia mondiale in generale e sicuramente rappresentano il futuro delle macchine agricole. Tuttavia, a causa della loro produzione a costi contenuti e del conseguente incremento

esponenziale delle vendite, costituiscono anche una sorta di minaccia per i mercati occidentali. Si deduce facilmente che i costi minori sono sintomo di prodotti a basso contenuto tecnologico e di qualità, incidendo così sulla performance di sicurezza delle macchine agricole.

Con lo scopo di analizzare i differenti ruoli della meccanizzazione agricola in questi Paesi, è fondamentale prenderne in esame lo sviluppo demografico, le superfici agricole e le dimensioni medie aziendali.

Il mercato indiano dei trattori viaggia verso le 500 mila unità. Alla fine del 2011 è stato riscontrato un numero di macchine vendute sul territorio nazionale prossimo alle 470 mila unità (considerando le trattrici superiori ai 30 CV), e, per fine 2012 un numero che supererà quota 500 mila.

In particolare, nel periodo compreso fra aprile 2010 e aprile 2011 (l'anno fiscale in base al quale vengono ordinate le statistiche in India), sono stati registrati numeri di vendite pari a 545 mila trattrici, un numero che tuttavia tiene conto anche delle macchine con potenza inferiore ai 30 CV, che incidono per circa il 10% sul totale.

Dopo l'India, che consolida la propria leadership nel mercato delle macchine agricole, è la Cina il secondo maggiore mercato, con una vendita a fine 2011 di 350 mila trattrici (sempre considerando quelle con potenza superiore ai 30 cavalli).

È previsto un incremento della meccanizzazione agricola anche nel corso dei prossimi anni, con una previsione di crescita ancora molto consistente per le due nazioni asiatiche, che dovrebbero

registrare incrementi pari a circa il 15% per quanto riguarda l'India e al 9% per quanto riguarda la Cina.

L'approccio che la moderna industria della meccanizzazione agricola sta attuando per far fronte a questa globalizzazione della domanda di mezzi meccanici è quello di andare a produrre dove c'è un mercato importante. Ecco perché tutti si stanno orientando verso India e Cina, Paesi nei quali è possibile produrre a costi più bassi.

Un importante esempio di questa globalizzazione del mercato agricolo è offerto da aziende quali il colosso Same Deutz-Fahr, che, seguendo le dinamiche dell'economia globale e il peso che stanno assumendo i nuovi mercati e le economie emergenti, sta investendo fortemente in Russia, in India e, con la recente Joint Venture Shandong Changlin DEUTZ-FAHR Machinery Co., in Cina

Riportando lo sguardo alla nostra Italia, la nostra economia è stata caratterizzata per decenni dall'agricoltura.

Dopo la seconda guerra mondiale si sono verificate radicali modificazioni delle condizioni sociali, economiche e politiche, che unite ai più liberi rapporti di scambi internazionali hanno determinato decisivi impulsi nei vari settori dell'industria, che ha gradualmente assorbito quasi tutta la manodopera disponibile, attingendo ampiamente dal settore agricolo. Si è quindi verificata una trasformazione rapidissima delle strutture produttive, che ha portato l'Italia da paese prevalentemente agricolo a collocarsi tra i primi paesi industrializzati del mondo.

Il massiccio esodo della manodopera agricola ha determinato peraltro l'urgenza di sopperire alla progressiva carenza di forze di

lavoro, con lo sviluppo rapido ed intenso della meccanizzazione [3].

L'ampiezza del fenomeno è dimostrata dall'evoluzione dell'impiego del trattore, macchina fondamentale che caratterizza l'indice di meccanizzazione in agricoltura.

Il parco trattori italiano, che nel 1945 era costituito da circa 52.000 unità, raggiunge nel 2008 circa 1,7 milioni di unità [4].

Sviluppate e modernizzate le proprie attrezzature e perfezionata la tecnica costruttiva, l'industria nazionale è stata in grado di soddisfare le nuove crescenti esigenze della meccanizzazione in agricoltura.

Da molti anni l'importazione di macchine agricole in Italia ha determinato sul mercato interno una forte competizione concorrenziale con le più importanti marche mondiali; le macchine agricole di produzione italiana costituiscono, tuttavia, la parte assolutamente prevalente del parco nazionale.

Attualmente l'Italia si colloca tra i paesi leader a livello mondiale per quanto riguarda la produzione di trattori agricoli.

Ampio sviluppo ha assunto contemporaneamente la costruzione delle macchine agricole di ogni tipo: per la lavorazione del terreno, la semina, la concimazione, la protezione delle piante, l'irrigazione, la raccolta, la prima lavorazione dei prodotti agricoli e la loro successiva trasformazione, nonché di quelle per gli spostamenti all'interno dell'azienda e per il trasporto al fine di soddisfare le diverse esigenze dei vari ambienti agricoli nazionali.

L'abbandono delle lavorazioni manuali e la contemporanea sostituzione con quelle meccanizzate ha introdotto alcune

patologie nuove per l'operatore agricolo: i rischi dovuti a esposizione a vibrazioni e rumore sono infatti aumentati nel corso degli ultimi decenni; tra l'altro l'invecchiamento del parco macchine non può che contribuire al loro incremento.

È così nata l'esigenza di tutelare la salute degli utenti attraverso normative di prevenzione, volte da un lato a ridurre l'emissione di agenti nocivi da parte delle macchine e dall'altro a far sì che gli addetti al loro uso adottino le dovute precauzioni.

Le ricerche riguardano soprattutto la sicurezza dei trattori, in particolare i telai di sicurezza e la prevenzione degli infortuni collegati all'uso del trattore. Negli anni '80 si comincia a parlare anche di ergonomia e comfort del trattore (1981) e di rumorosità (1984). L'interesse verso la ricerca nel settore si risveglia a partire dall'inizio degli anni '90, sulla spinta delle nuove direttive comunitarie (soprattutto la 89/391/CEE, sui luoghi di lavoro, e la 89/392/CEE, nota anche come Direttiva Macchine) e del loro recepimento nella nostra normativa (in particolare nei D.Lgss. 277/91 e 626/94 e nel D.P.R. 459/96).

Nel settore della sicurezza e del comfort all'interno degli spazi e ambienti di lavoro, in letteratura sono presenti numerose ricerche che riguardano il settore industriale, mentre sono ancora relativamente pochi gli studi relativi al settore agroforestale. In questi ultimi anni, tuttavia, la ricerca si è sempre più interessata al settore dell'ergonomia e dell'antinfortunistica in agricoltura: sono nate molte riviste, sia nazionali che internazionali, ed i convegni del settore, che presenta un importante e "tipico" approccio multidisciplinare, sono sempre più numerosi.

Se si escludono gli infortuni incidentali gravi (in gran parte, purtroppo, mortali), i rischi connessi con l'uso delle macchine agricole sono stati spesso sottovalutati, anche se da tempo sono ben note le conseguenze nell'utilizzo improprio o eccessivo dei mezzi agricoli.

Le attrezzature utilizzate sono caratterizzate da elevati livelli di vibrazioni e rumore, che contribuiscono in modo essenziale al danno dei lavoratori esposti, costituendo un importante fattore di rischio per la loro salute [5].

Dal punto di vista igienistico, l'esposizione lavorativa alle vibrazioni meccaniche viene tradizionalmente suddivisa in due filoni: quelle trasmesse al sistema mano-braccio e quelle al corpo intero.

Nel primo caso si calcola che in Europa una frazione fra il 2% e il 5% della forza lavoro è esposta regolarmente a vibrazioni mano-braccio di elevata intensità e potenzialmente in grado di provocare danni alla salute dei lavoratori; tale percentuale sale notevolmente in alcuni comparti produttivi quali ad es. quelli dell'edilizia, forestale, cave e miniere, metallurgica.

L'angiopatia e l'osteoartropatia causate da strumenti vibranti sono riconosciute come malattie professionali dalla Commissione dell'Unione Europea (90/326/EEC, Annex I, voci 505.01 e 505.02) e dalla legislazione del nostro Paese (D.P.R. 336/94: (i) voce 52 della tabella delle malattie professionali nell'industria; (ii) voce 27 della tabella delle malattie professionali nell'agricoltura, limitatamente alle lavorazioni forestali con uso di motoseghe portatili). Le sole

angioneurosi da vibranti costituiscono nel nostro Paese la quinta causa di malattia professionale indennizzata dall'INAIL [6].

Anche per quanto riguarda le vibrazioni trasmesse a tutto il corpo, si calcola che in Europa una frazione fra il 4% e il 6% della forza lavoro è esposta con continuità a vibrazioni di elevata intensità e potenzialmente in grado di provocare danni alla salute dei lavoratori, in particolare a carico del rachide lombare. Purtroppo tali effetti non sono riconosciuti esplicitamente come malattie professionali in Italia e, di conseguenza, non sono indennizzati direttamente come malattia professionale dall'INAIL, contrariamente a quanto avviene in molti paesi europei.

Dal punto di vista degli effetti sulla salute anche il rumore può contribuire, già a livelli modesti, a disturbi psicologici e somatici attraverso una mediazione soggettiva che tende a sfuggire ad ogni classificazione [7].

Questi effetti del rumore, cosiddetti effetti extra-uditivi, determinano un'azione di disturbo che può essere limitata all'ambito strettamente soggettivo o riflettersi su relazioni interpersonali e sui rapporti fra l'uomo e la collettività.

L'esposizione a rumori di elevata intensità è invece causa oltre dei già citati effetti extra-uditivi, anche dell'ipoacusia, vale a dire della perdita permanente di varia entità della capacità uditiva, con implicazioni sulla qualità della normale vita di relazione. Non si deve poi dimenticare che elevati livelli di rumore ambientale possono determinare un effetto di mascheramento sulle comunicazioni verbali e sulla percezione di segnali acustici di sicurezza, con un aumento di probabilità degli infortuni sul lavoro.

Nell'Unione Europea il 28% dei lavoratori afferma di essere esposto a livelli di rumore elevati tali da rendere difficile una conversazione. Oltre un terzo di questi lavoratori asserisce inoltre di lavorare in tale ambiente rumoroso per la maggior parte della giornata o addirittura per tutto l'orario lavorativo.

Nel corso degli ultimi decenni, il rumore prodotto dalle macchine agricole è stato oggetto di una letteratura molto ricca e varia, orientata sia verso indagini su vasta scala, sia verso studi estremamente specifici.

L'evoluzione di ciò che può essere ormai definita, anche nel campo della meccanica agraria, come disciplina a sé stante, è stata segnata e ha preso spunto dallo sviluppo parallelo delle tecnologie, strumenti e attrezzature dedicate, le quali hanno consentito di effettuare misure sempre più precise sotto un prestabilito ed affidabile controllo funzionale delle macchine oggetto di prova.

Il processo di standardizzazione, che ha visto nascere e affrancarsi una vasta normativa in tema di rumore, ha proposto criteri metrologici, modelli biofisici per la determinazione del danno uditivo e metodologie specifiche per la valutazione della rumorosità ambientale e all'orecchio dell'operatore, in modo da fornire comuni criteri di analisi e da rendere verificabili e ripetibili le misurazioni.

In questi ultimi anni, la normativa sulla sicurezza delle macchine e sulla salute dei lavoratori, recepita a livello comunitario e nazionale con direttive e leggi dello Stato, ha assunto un ruolo sempre più determinante nel comparto ricerca, ispirando note ed

esperienze sull'applicazione, anche nel settore agricolo, di tali disposizioni [8] [10] [9].

Si può affermare che l'osservanza delle norme di legge costituisce il principale strumento di prevenzione. Le normative di prevenzione di origine europea hanno portato all'intensificazione dell'impegno sociale e tecnico sul fronte dei danni da lavoro [11].

la progettazione e realizzazione degli impianti produttivi è soltanto il primo passo per garantire la sicurezza e la salute sul lavoro: a queste deve seguire una corretta gestione del lavoro al fine di eliminare o ridurre per quanto possibile i rischi di infortunio e di malattia professionale.

Il mondo della ricerca applicata, risulta sempre più coinvolta nel proporre soluzioni tecnologiche ed organizzative in grado di soddisfare gli standard di legge richiesti.

1.1 Obiettivi della tesi

Questo lavoro ha come finalità lo studio dell'ergonomia delle postazioni di guida dei trattori nelle sue componenti dimensionali e di rischio da agenti fisici.

La postazione di guida del trattore è stata caratterizzata nella sua forma e come ricettore di fenomeni ondulatori fisici-meccanici.

Sullo studio sperimentale dello spazio d'ingombro normale attorno all'operatore su cabine, si sono analizzati alcuni modelli recenti di macchine agricole, utilizzando misure antropometriche rapportate agli spazi delle cabine dei mezzi agricoli con riferimento alla normativa vigente, anche se c'è da precisare che non esiste una normativa tecnica specifica per la postazione di guida nei trattori.

Essendoci una mancanza a livello tecnico-normativo, si è fatto riferimento alla normativa tecnica prevista per le macchine movimento terra (UNI EN ISO 3411:2007).

L'antropometria è una branca dell'ergonomia ed è la scienza che si occupa di misurare il corpo umano nella sua totalità o nelle sue componenti. La progettazione di qualsiasi manufatto destinato ad interessare la sfera lavorativa (e non solo) necessita delle informazioni fornite da questa scienza.

La sperimentazione è stata svolta su una serie di macchine di nuova produzione rappresentative della fascia di media-alta potenza delle case produttrici più presenti ed importanti sul mercato nazionale ed europeo e tende ad effettuare un confronto dei dati relativi agli spazi minimi d'ingombro dell'operatore

(dimensione interna del posto di guida) all'interno delle cabine di guida delle macchine agricole.

I trattori agricoli sono macchine in cui l'operatore trascorre gran parte della giornata lavorativa e per questo motivo si cerca di progettarle conformemente alle normative vigenti al momento di costruzione.

Una cabina di un trattore agricolo avente uno spazio minimo dell'operatore troppo ridotto può portare a rischi di schiacciamento in caso di ribaltamento, di urto contro le pareti interne e tetto della cabina, rischio di azionamento involontario di comandi con conseguente movimento accidentale del trattore.

Inoltre il Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 (e le sue successive modificazioni e integrazioni) richiede al datore di lavoro di stimare tutti i rischi presenti in azienda (obbligo non delegabile del datore di lavoro).

Per i rischi derivanti dall'esposizione al rumore e alle vibrazioni il datore di lavoro può utilizzare anche dati o informazioni fornite dai produttori e dai fornitori delle macchine; in mancanza o in caso di inapplicabilità di questi, è prevista in alternativa la misurazione diretta dei valori di rumore e vibrazioni al posto di lavoro [12].

L'indagine si è soffermata anche sul contributo delle principali sorgenti di rumorosità e vibrazionali sui trattori agricoli, esaminando le possibili variabili che ne determinano il valore finale, come ad es. il tipo di operatrice e le sue modalità di accoppiamento.

Le prove, finalizzate all'acquisizione di valori di riferimento, sono state condotte sul rumore e sulle vibrazioni al corpo intero (WBV -

whole body vibration), secondo quanto stabilito dalla normativa tecnica vigente (ISO 1990:1999, UNI EN ISO 9612:2011, UNI 9432:2011, UNI ISO 2631-1:2008).

Una cospicua banca dati di valutazioni effettuate nell'arco di questi anni, è stata messa a disposizione per questo studio (grazie anche al contributo della Servit HSE s.r.l.).

Una prima verifica è stata quella di stimare i livelli di esposizione giornaliera al rumore (LEX,8h) e il livello di esposizione giornaliera alle vibrazioni al corpo intero [A(8)] a cui è sottoposto il trattorista nell'arco della giornata lavorativa; come approfondimento si è cercato di verificare una correlazione, sia per il rumore che per le vibrazioni, per ogni trattore prova in condizioni standard definite (grazie al contributo anche del CRA-ING, nelle persone di G.Vassalini e L.Fornaciari), al fine di trovare, una relazione di tipo lineare per realizzare un modello matematico previsionale in grado di determinare il valore di esposizione quotidiana (o settimanale) dei lavoratori impiegati in agricoltura, in ottemperanza a quanto stabilito dal D.Lgs. 81/08, senza dover ricorrere, necessariamente, alle misurazioni in campo.

Per quanto riguarda l'agente fisico vibrazioni, si è riscontrato quale fosse l'asse più sollecitato per il calcolo dell'A(8).

1.2 Stato dell'arte

I lavori che costituiscono la base di partenza scientifica per la presente ricerca, sono stati eseguiti presso il Laboratorio di Ergonomia e Sicurezza del Lavoro dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo, Dipartimento DAFNE (Dipartimento per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia).

Per quanto riguarda la sperimentazione in campo, le prove per la valutazione dei vari rischi fisici sono state effettuate nella zona del Lazio, Toscana e nella sede del CRA-ING (Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria) sito in Monterotondo (RM). Le prove antropometriche sono state effettuate presso i concessionari e rivenditori di zona delle relative case costruttrici siti in provincia di Viterbo. Le elaborazioni dei dati sono state seguite presso il laboratorio di Ergonomia e Sicurezza del Lavoro - ERGOLAB.

Parte delle banche dati di misure sono state fornite dalla Servit HSE s.r.l.

2- IL TRATTORE AGRICOLO

2.1 Tipologie e tecnologie costruttive dei trattori agricoli

Il trattore agricolo (dal latino *trather*, *trainare*) è un mezzo utilizzato per *trainare* un rimorchio o agganciare delle attrezzature specifiche per l'agricoltura. Nato nel 1889 negli Stati Uniti, i primi modelli risultavano poco maneggevoli e molto pesanti. Il trattore, definito centrale mobile di potenza, ha costituito il punto forte della meccanizzazione agricola e della moderna agricoltura. Negli oltre 100 anni di storia, il trattore agricolo è stato migliorato, potenziato e completato. Il miglioramento e la scoperta di nuove tecnologie hanno conferito al trattore un'importanza sempre maggiore. Gli ultimi esempi di trattori sono vere e proprie opere d'ingegno tecnologico, che offrono ogni tipo di comfort all'operatore che le utilizza, limitando gli interventi faticosi e fastidiosi in ogni applicazione. Col passare del tempo il trattore si è adeguato a tutte le esigenze degli utilizzatori e a tutte le varie tipologie di attrezzi, offrendo una sempre più ampia fascia d'applicazione. L'introduzione di nuovi dispositivi e organi come il sollevamento idraulico, la presa di potenza, la doppia trazione e così via, hanno ampliato gli orizzonti del trattore, facendolo diventare la macchina agricola per eccellenza. I primi trattori agricoli furono i locomobili a vapore, seguiti dai trattori a testa calda, i trattori diesel fino ad arrivare ai modelli correnti, il trattore gommato e trattore a cingoli. Dopo la seconda guerra

mondiale, è avvenuto l'importante passaggio al motore diesel, messo appunto da Rudolf Diesel alla fine dell'800. Si tratta di un motore a ciclo otto, volgarmente chiamato "a scoppio", ad accensione per compressione o spontanea. Nel motore Diesel viene immessa nel cilindro solo aria, che viene poi compressa diabaticamente nella fase di compressione. A questo punto viene iniettato il combustibile (gasolio) che, a causa delle elevate temperature raggiunte dalla compressione dell'aria, si incendia spontaneamente favorendo la combustione e cedendo lavoro allo stantuffo. Il motore Diesel si è affermato poi maggiormente negli anni '50 divenendo affidabile, economico, robusto e veloce. All'inizio degli anni '60 la quasi totalità di trattori europei prodotti presentava un motore Diesel veloce, abbandonando per sempre il testacalda ed il motore a petrolio. Il primo trattore italiano equipaggiato con un motore Diesel era il Cassani 40CV, realizzato dal giovane Francesco Cassani nel lontano 1928, quel Francesco Cassani che nel 1942 fonda a Treviglio (Bergamo) la SAME.

Tabella 2. 1: Aziende produttrici

Germania	Italia	Stati Uniti	Svizzera-Austria	Gran Bretagna	Francia	Canada	Scandinavia
Allgaier	Agrifull	Allis-Chalmers	Bucher	Champion	<u>Austin</u>	<u>C. Plow Company</u>	<u>BM/Volvo</u>
Bautz	Agritractor	<u>Case</u>	Bühler	David Brown	Babiole	<u>Massey Ferguson</u>	<u>Bolinder-Munktell</u>
Challenge r	<u>A.Carraro Trattori</u>	<u>Case IH</u>	<u>Hürlimann</u>	Ferguson	Le Percheron	<u>Versatile</u>	<u>Valmet</u> (oggi <u>Valtra</u>)
<u>Claas</u>	<u>Bcs</u>	Cockshutt	Köpfl	FieldMars ha			<u>Volvo</u>
DDR	<u>Bubba</u>	<u>Farmall</u>	Lindner	<u>ICB</u>	<u>Renault</u>		
<u>Deutz</u>	<u>Carraro A.</u>	<u>Ford Tractor</u>	<u>Steyr</u>	<u>M Ferguson</u>	Someca		
<u>Deutz-Fahr</u>	<u>Fiat Trattori</u>	Fordson	Vevey	<u>McCormick</u>	Vierzon		
Eicher	<u>Fiat agri</u>	Hart-Parr	Reform	<u>Nuffield</u>			
<u>Fahr</u>	<u>Goldoni</u>	Hesston					
<u>Fendt</u>	<u>Itma - Galamini</u>	<u>IH- International</u>					
Göldner	<u>Lamborghini</u>	<u>John Deere</u>					
Hanomag	<u>Landini</u>	<u>Massey-H</u>					
Hatz	Lesa	<u>McCormick</u>					
Hela	NewHolland CNH	Minneapolis-Moline					
Holder	<u>OM</u>	Oliver					
Kramer	<u>Orsi</u>	Rumely					

		OilPull					
Lanz	<u>Pierre</u>						
Lanz- Bulldog	<u>Oto-</u> <u>Melara</u>						
<u>MAN</u>	<u>SAME</u>						
Normag	<u>Valpadana</u>						
<u>Porsche</u>							
Schlüter							
Zettelmeyer							

Sulla scia della cosiddetta rivoluzione industriale anche l'agricoltura nel secolo XX ha usufruito, fin dall'inizio dello stesso, dei rivoluzionari vantaggi della disponibilità di energia motrice inanimata.

La sostituzione degli animali da lavoro ha permesso nelle aziende agricole di orientare gli allevamenti a quelli bovini, verso forme più specializzate, vedi per carne e latte, e di maggiore remunerazione.

Le locomobili a vapore erano comuni per l'azionamento di macchine a punto fisso, come trebbiatrici, presse, ecc.; erano macchine motrici di prevalente fabbricazione straniera, come pure a vapore erano i primi trattori, peraltro poco diffusi in Italia.

Nel primo avvio della motorizzazione si pensò di risolvere il lavoro più impegnativo dal punto di vista energetico, cioè l'aratura. Si crearono così le prime "motoaratrici a vapore", quella di Barrat è del 1845, e si idearono sistemi di trazione funicolare, ad esempio quello di Fowler del 1854.

Motori a vapore e poi anche elettrici furono impiegati in zone italiane di bonifica, in pianure con campi di grandi estensioni, ad

esempio le casse per risaie, per attuare l'aratura a trazione funicolare con aratri speciali a bilanciere. Ma la vera e propria motorizzazione moderna nell'agricoltura mondiale e nazionale viene avviata agli inizi del secolo XX con la messa a punto di motori a combustione interna, a seguito della rivoluzione provocata dal petrolio nell'industria e nella società civile.

Così nacque l'idea di utilizzare tali motori anche per l'agricoltura, cioè sui trattori, per una motocoltura a trazione diretta, dapprima nella versione a ruote e poi anche a cingoli.

All'inizio, e precisamente nel periodo a cavallo degli anni del primo conflitto mondiale, furono impiegati motori a scoppio a quattro tempi, alimentati con benzina o con petrolio, se dotati di apparato vaporizzatore; si ricordano, ad esempio, i trattori a ruote su due assi di Ford del 1916 e della Fiat del 1919.

Ma, specialmente in Europa dopo gli anni '20, grande diffusione e importanza per l'uso agricolo ebbero i motori semi-diesel o "a testa calda" a due tempi, che potevano essere alimentati con combustibili liquidi più pesanti, come le nafte, e poco costosi.

Per i trattori con motore a scoppio era usato, per la stessa ragione, il petrolio agricolo.

I trattori con motori a testa calda, dal primo Lanz del 1921 a quelli degli anni seguenti di costruzione italiana (Bubba, Landini, OM, Orsi), con ruote metalliche a puntoni, vennero largamente utilizzati nei pesanti lavori di aratura e anche a punto fisso per l'azionamento di trebbiatrici, di pompe per il sollevamento di acqua irrigua da canali, ecc., essendo di norma dotati di puleggia per la classica trasmissione a cinghia piatta.

A quel tempo, il tipico rumore prodotto dai motori monocilindrici a testa calda indicava la presenza di tali trattori e, in un certo senso, dava la concreta testimonianza del progresso giunto anche nelle campagne.

Il motore diesel, cioè ad accensione spontanea secondo l'ideazione di Diesel del 1893, dopo importanti modifiche, soprattutto nel sistema di alimentazione con i nuovi combustibili, cioè gasoli o nafte leggere, passò dalle prime versioni "lente" a quelle "veloci" che, dopo il secondo conflitto mondiale, ha man mano soppiantato gli altri tipi di motorizzazione sui trattori e sulle operatrici semoventi o automotrici. Di tali motori, per le elevate potenze, particolare attenzione fu dedicata alle versioni "turbo".

I progressi nei motori anche per gli usi agricoli si sono ottenuti in modo significativo in funzione del risparmio energetico, con la riduzione dei consumi di gasolio, e della riduzione delle emissioni nocive. Inoltre con l'iniezione ad alta pressione attuata con la regolazione elettronica, assistita da dispositivi di autocontrollo, i moderni motori hanno raggiunto un miglioramento nelle prestazioni con una più marcata elasticità funzionale che consente una maggiore prontezza di risposta ai sovraccarichi accidentali. Caratteristiche molto importanti negli impieghi sul campo; vedi ad esempio le variazioni riscontrabili durante le lavorazioni del terreno, per di più se eseguite in zone collinari.

In concreto i propulsori "diesel veloci" a quattro tempi, ormai più semplicemente chiamati "diesel", hanno dunque costituito il principale fulcro attorno al quale è ruotata la

motorizzazione agricola nelle diverse espressioni operative sia in campo che in azienda, compresi i trasporti.

Di pari passo con il perfezionamento della motoristica si sono modificate le costruzioni dei trattori, peraltro differenziati secondo classi di potenza, destinati ad assolvere compiti vari nelle fasi della coltivazione delle piante.

Fra queste tipologie emerse poi quella “general purpose” o “universale” o ad “usi multipli”, che caratterizzò poi il progresso della meccanizzazione aziendale con trattori di piccola e media potenza nel periodo seguente al secondo conflitto.

Nel contesto dell'evoluzione tecnologica del settore dei trattori sono da ricordare alcune “prime” soluzioni che hanno aperto la strada allo sviluppo e all'affermazione del trattore moderno: il trattore con attacco a tre punti e sollevatore idraulico per attrezzi portati nell'idea di Ferguson del 1925, e poi nella realizzazione del molto diffuso trattore Ferguson TE20 del 1936; il trattore, pure a ruote, azionato da motore diesel bicilindrico di Cassani del 1927; i trattori a quattro ruote motrici di Pavesi-Tolotti del 1918 e della Massey Harris del 1930; i trattori a ruote con pneumatici nell'idea di Mc-Cuen del 1932; i primi trattori cingolati nelle versioni di Holt e di Best del 1906 e del 1918 rispettivamente, il primo cingolato Fiat del 1932; la presa di potenza meccanica del trattore nell'idea di Gougis del 1906.

Partendo da queste prime geniali soluzioni, specialmente nella seconda parte del XX secolo si svilupparono nei trattori notevoli progressi tecnici quali ad esempio: la diffusione dei motori diesel per il loro più elevato rendimento termodinamico,

quindi a più ridotto consumo di combustibile, gasolio; l'adozione dei pneumatici per i trattori a ruote; il sempre più vasto interesse per i trattori a quattro ruote motrici in quanto consentivano efficacemente di compensare gli svantaggi dovuti alla diminuzione del rapporto peso/potenza dei trattori a due ruote motrici.

La potenza specifica dei motori (potenza per unità di cilindrata) cresce in media da 2,6 kW/litro del primo decennio del secolo, a valori di 10,1 kW/litro nel 1960 e a circa 18,5 kW/litro nel 1990. Tale incremento, tra il 1960 ed il 1990, è più dovuto all'incremento del numero di giri del motore (in tale periodo passa da 1780 a 2910 giri/min) che non all'incremento del rendimento totale del motore (in tale periodo passa da 30,2 al 35,1%). Valori di 3000 giri/min a potenza massima sono tipici soprattutto dei motori monocilindrici impiegati per i trattori di più piccola potenza.

Oltre ad esserci, quindi, un aumento di rendimento, si ha un incremento delle velocità di avanzamento che da solo 6 km/h degli inizi, raggiunge in media 18 km/h nel 1960 e i 31 km/h nel 1990 con sempre maggiore offerta, proprio in questi ultimi anni, di modelli a 40 km/h (limite di velocità su strade pubbliche per il codice della strada italiano). Per i cingolati la velocità di avanzamento è, ovviamente, più bassa (con limite di 15 km/h su strade pubbliche) con valori di 9 km/h nel 1960 e di 11 km/h nel 1990. La comparsa sul mercato, tuttavia, dei cingoli in gomma ha incrementato notevolmente le prestazioni in termini di velocità di avanzamento di trattori, fino ai 30 km/h [13].

La rilevanza della versione del trattore ad "aderenza totale" è indicata dai dati dell'ultimo quinquennio delle iscrizioni nel parco

italiano di trattori a ruote: su una media attorno a 27.000 unità totali ben il 96% sono risultati a quattro ruote motrici, con una potenza media dell'ordine di 60kW (80-85CV), quando quelli a due ruote motrici l'hanno in media dell'ordine di 45kW (60-65 CV).

Inoltre per il trattore, come centrale mobile di energia meccanica, non è da sottovalutare l'introduzione di una presa di potenza, anche indipendente dalla trasmissione principale dal motore, che ha consentito di sviluppare l'azionamento degli organi di macchine operatrici trainate o semiportate, compresi rimorchi con asse motore, nonché di macchine a punto fisso come pompe, mulini e trinciatori-miscelatori, caricatori, ecc.

Pure rilevante ai fini dell'operatività sul campo, è stata la rivoluzionaria applicazione dell'oleodinamica, a cominciare dal sollevatore degli attrezzi collegati al trattore mediante il sistema di attacco a tre punti, a posizione e a sforzo controllato, e poi dalle prese di potenza idrauliche per l'azionamento e il comando, in lavoro, indifferentemente di macchine portate o trainate dal trattore, e infine "dall'idroguida". In tale campo tecnico importanti sono state le prime esperienze di "trasmissioni idrostatiche" che furono poi decisive per il loro sviluppo su macchine operatrici semoventi da raccolta.

Ai fini della più corretta funzionalità nella fase di trazione e trasporto, notevole sviluppo hanno avuto le trasmissioni con cambio di marcia istantaneo, cioè senza passare attraverso l'intervento sulla frizione, ad esempio le versioni cosiddette "power shift".

Così il trattore nella diffusa versione a ruote, prima a due e poi a quattro ruote motrici, ha determinato un notevole passo verso una sua più vasta utilizzazione nelle aziende e anche al di fuori delle stesse, specialmente per trasporti, ad esempio dal campo al centro aziendale, nelle fasi di raccolta, ecc.

In particolare va sottolineato che, per una più efficiente utilizzazione del trattore a ruote, grande successo ha avuto l'introduzione della "doppia trazione", versione nella quale si è particolarmente impegnata e distinta l'industria italiana.

La versione a quattro ruote motrici non è solo in grado di fornire più elevate capacità di trazione nell'aratura dei terreni pesanti, ma anche di consentire la locomozione di macchine operatrici e rimorchi su terreni declivi o comunque accidentati, situazioni comuni a molte zone di pianura e di collina del nostro paese.

In proposito occorre ricordare i grandi progressi dell'industria dei pneumatici che hanno consentito l'adozione sui trattori di pneumatici più larghi a bassa pressione, in modo che i trattori stessi, pur avendo più bassi rapporti massa/potenza, possano far riscontrare un sensibile aumento delle prestazioni, intese come capacità di trazione.

Ne è da trascurare, ai fini della flessibilità degli usi sul campo e poi per marcia su strada, la possibilità recente di installare dispositivi per il controllo e la regolazione della pressione di gonfiaggio dei pneumatici durante il lavoro.

Inoltre per rendere un uso più flessibile delle versioni a doppia trazione nelle suddette condizioni operative sul campo

vennero adottati nuovi tipi di bloccaggio del differenziale sull'asse anteriore.

Ulteriore estensione della flessibilità degli impieghi del trattore a ruote fu poi determinata dalla possibilità di disporre di attacco degli attrezzi nella parte anteriore dello stesso trattore e anche di presa di potenza; soluzione che ha permesso interessanti combinazioni operative

In tempi recenti il progresso tecnologico del trattore è stato accompagnato da soluzioni atte all'ottenimento di maggior comfort e sicurezza per il conducente; ad esempio: cabine attrezzate per la migliore vivibilità nel posto di guida, riduzione delle vibrazioni, facilità di guida con sistemi assistiti, facile e tempestivo controllo delle funzioni operative in lavoro.

Infatti, posto che i trattori acquisiti in questi ultimi anni sono più numerosi nelle classi di potenza media e medio-alta, con diffusione quasi totale della versione a quattro ruote motrici, è da rilevare l'attenzione dedicata all'applicazione di sistemi elettronici per realizzare una regolazione automatica della marcia in lavoro; vedi in particolare attraverso il controllo dello slittamento delle ruote motrici posteriori e, di seguito, dell'intero sistema di azionamento (doppia trazione, bloccaggio dei differenziali sugli assi posteriore e anteriore), nonché del sistema di attacco degli attrezzi (sollevatore idraulico).

A questo proposito va sottolineato che, se la componentistica oleodinamica ha notevolmente influito nell'evoluzione del trattore, recentemente lo stesso è in una nuova fase evolutiva, in quanto è sempre più attrezzato con applicazioni elettriche, elettroniche e

informatiche. Ciò non solo per rispondere nel modo migliore, tempestivo e completo alle sue specifiche funzioni, ma anche per potersi inserire nell'interessante e nuovo filone operativo denominato "precision farming", avviato negli USA negli anni '80 e, in questi ultimi tempi, considerato anche in Europa e in Italia per prime applicazioni nelle zone agricole più aperte.

Nella moderna trattorizzazione dell'agricoltura non va dimenticato il ruolo importante che ha avuto, specialmente in Italia, il trattore nella versione cingolata; nel parco nazionale tale versione rappresenta ancora circa il 15% del totale dei trattori, costituendo un fenomeno specificatamente italiano. Nelle immatricolazioni di questi ultimi anni il numero di trattori cingolati è stato all'incirca tre volte superiore di quelli a due ruote motrici, con una potenza media dell'ordine di 50 kW (70-75 CV).

Infatti in favore dei trattori cingolati non solo è la maggiore aderenza, particolarmente richiesta per l'esecuzione di lavori su terreni pesanti, vedi arature profonde, ma anche per la stabilità nei lavori su terreni declivi con le più diverse macchine operatrici (aratri, seminatrici, spandiconcime, spandiletame, ecc.) e per i trasporti. A questo proposito in questi ultimi anni si è sviluppato l'interesse per la versione con cingoli gommati onde aumentare la flessibilità operativa di tale tipologia di trattori.

Nell'evoluzione della tecnologia del trattore è da mettere in evidenza, assieme alla differenziazione per classi di potenza, la costruzione di versione con mirata specializzazione colturale, come, ad esempio, le versioni frutteto, vigneto, e/o versioni con

spiccata polivalenza, come, ad esempio, i cosiddetti “telai motorizzati”.

Nel filone della specializzazione operativa un ruolo particolare ha avuto anche il “motocoltivatore”, derivato dall’originale motofresa di Meyenburg del 1916, ma anche con riferimento alle prime esperienze con le “motoaratrici” già citate.

Infatti i motocoltivatori trovarono, fin dall’immediato secondo conflitto mondiale, una larga diffusione in quanto particolarmente adatti alla numerose piccole aziende nazionali per una prima motorizzazione delle operazioni di coltivazione; vedi zappatura e vangatura in viticoltura e frutticoltura, in zone collinari e montane.

Tali unità motrici a due ruote, solitamente di piccola potenza, subirono poi alcune significative trasformazioni in modo da allargarne il campo d’impiego, ad esempio: con barra falciante, con carrello munito di sedile e anche con piccolo pianale di carico per trasporti, per portare serbatoio e pompa irroratrice, ecc.

Ma particolarmente significativa è stata la derivazione da queste macchine dei piccoli trattori a quattro ruote motrici isodiametriche, articolati e snodati, similmente al primo trattore Pavesi realizzato per usi militari già nel primo conflitto mondiale. Tale tipologia di trattori fu sviluppata poi con grande successo dall’industria nazionale.

E l’avanzare dell’evoluzione dei trattori più tradizionale non ha fatto diminuire la validità tecnologica di tali piccole unità motrici, non solo per i comuni usi già detti ma anche per quelli inerenti lavori nelle coltivazioni in serra o comunque protette, vedi

floricoltura e orticoltura, e per quelli relativi alla manutenzione di parchi e giardini. [14]

Nonostante la netta prevalenza nelle vendite dei trattori DT (4RM inseribili a comando), l'attuale tipologia di trattori agricoli rimane particolarmente vasta e copre un ampio ventaglio di esigenze: trattori 2RM, 4RM sempre inserite (a telaio rigido e articolato), a cingoli, versioni da frutteto e vigneto sino ai mini-trattori da giardino. Non mancano modelli ancora più particolari o curiosi come i trattori a ruote disassabili, i trattori a 6 ruote (4 motrici) o a 3 ruote (a triciclo), i semicingolati, i mini-trattori a telaio rigido con sterzata per slittamento (bloccaggio delle ruote di un lato o controrotazione delle ruote sui due lati).

I *requisiti principali* che deve possedere un trattore polivalente sono, tuttavia, facilmente enunciabili dal punto di vista dell'utente:

- buona trattività (elevate forze di trazione producibili quando necessario);
- buona mobilità su ogni tipo di terreno;
- buona manovrabilità (raggio di sterzata contenuto);
- ampia possibilità di attacco e comando attrezzi;
- elevata velocità massima;
- sicurezza e facilità di guida;
- affidabilità e facilità di manutenzione;
- basso costo d'acquisto e d'esercizio.

Non essendo facile soddisfare tutte queste esigenze contemporaneamente, esistono nicchie di mercato per trattori specializzati per uno o più dei requisiti precedenti. Il mercato

indica come tipologie più diffuse i trattori: DT (4 ruote motrici inseribili a comando: oltre il 50% delle vendite in Europa); 2RM (due ruote motrici); 4RM (4 ruote motrici sempre inserite) a telaio rigido o articolato; cingolati. La popolarità del trattore DT risulta dalla sua polivalenza, in pratica 2 macchine in una: un 4RM per i lavori difficili (tipicamente l'aratura) e un 2RM per quelli facili (tipicamente trasporti e spostamenti)[14].

Una classificazione dei trattori viene effettuata proprio in base al sistema di propulsione, ma vengono anche classificati in funzione dell'impiego; per indicare i vari tipi: cingolati; a carreggiata fissa; per colture a fila (a carreggiate variabili): a tre o quattro ruote; scavallatori; reversibili (con guida indifferente nei due sensi di marcia); trattori di ingombro contenuto: da frutteto e vigneto; da giardino; caricatori con sterzata per slittamento (skid steering); da esbosco (skidder)[13].

L'attuale tendenza costruttiva, preso come riferimento la tipologia DT (la tipologia più diffusa), è la seguente:

Telaio: Telaio rigido a trave unica senza sospensioni. Perno di incernieramento dell'assale anteriore coassiale con l'albero di trasmissione. Angolo di oscillazione dell'assale anteriore di circa 20° in totale. Ciò consente il costante appoggio delle quattro ruote sul terreno anche in condizioni accidentate.

Motore: Motori diesel ad iniezione diretta: sempre più potenti, pur con ingombro e peso contenuti; bassi consumi (elevati rendimenti); ridotte emissioni allo scarico (motori ecologici Euro 3-4-5); ridotte vibrazioni e rumore; elevato incremento di coppia all'aumentare

del carico in un elevato campo di regime di rotazione (motore elastico); elevata affidabilità e durata; ridotta manutenzione.

Trasmissione: Trasmissione totalmente semiautomatica (power shift totale) per i modelli di fascia più elevata con tutte le marce (anche quelle indietro) inseribili in movimento o trasmissione parzialmente semiautomatica per la fascia media: presenza di almeno un riduttore inseribile sotto carico (power shift elementare: high/low o lepre/tartaruga) con elevato numero di rapporti al cambio marce e cambio gamme (16 in genere o più). Cambio marce sincronizzato e almeno alcuni rapporti di gamma sincronizzati. Inversore sincronizzato (con possibilità di tante marce indietro quante avanti). Velocità di avanzamento fino a 40 km/h ed oltre.

Attacco attrezzi: Attacco a tre punti anteriore oltre che posteriore, con controllo dello sforzo generalmente ai bracci inferiori. Sistemi idraulici a centro chiuso e a sensibilità di carico. Distributori idraulici posteriori. Una o due prese di potenza posteriori ed una anteriore. Presa o prese di potenza totalmente indipendenti con 2 o 3 velocità standardizzate. Le velocità di rotazione superiore a quelle attualmente standardizzate permettono un regime di rotazione del motore nel campo dei minimi consumi di combustibile e sono per questo dette anche prese di potenza economiche.

Posto di guida: Risulta particolarmente studiato per il conforto e sicurezza dell'operatore. Sono obbligatorie le strutture di protezione per il guidatore e sono installati vari dispositivi contro le vibrazioni. Le cabine di protezione sono condizionate, insonorizzate e sospese (antivibrazione). E' studiata e verrà

approfondita in seguito l'ergonomia dei comandi e del posto di guida. La poltroncina per il guidatore ha spesso una sospensione regolabile o autoregolabile in funzione del peso del conducente. Sono previsti sistemi di frenatura integrale sulle quattro ruote e sistemi elettronici di controllo e gestione: motore, trasmissione, differenziali, doppia trazione, presa di potenza, sollevatore, frenatura, slittamento, con check panel o computer di bordo. E' particolarmente curata la visibilità dalla cabina: alcune case hanno sviluppato dei modelli specifici con cofano ribassato per facilitare la vista sul davanti, in particolare sull'operatrice portata anteriormente, mentre altre case incrementano la visibilità dalla cabina con montanti stretti e con posizione del tubo di scappamento decentrata vicino alla cabina.

Organi di direzione: Buona manovrabilità: ruote direttrici anteriori con sterzo idrostatico e grandi angoli di sterzata (50° ed oltre); freni di sterzo; carreggiate variabili per le colture a fila e passo contenuto. Sono stati commercializzati negli anni '90 anche dei trattori con assale anteriore sterzante (NewHolland), per aumentare la manovrabilità dei grossi trattori a ruote di grande potenza.

La ricerca e la competitività da parte delle case costruttrici sta portando ormai ad un prodotto sempre più avanzato, sicuro ed efficiente [15].

2.2 Caratteristiche strutturali delle cabine di guida dei trattori agricoli

La tendenza costruttiva, l'attenzione al confort e alla sicurezza dell'operatore porta, le cabine di guida dei trattori, ad avere un livello di tecnologia pari o, in alcuni casi, superiore a quello di un'automobile.

Una cabina di guida, inoltre, deve avere obbligatoriamente una struttura robusta, per la protezione dell'operatore nel caso di ribaltamento laterale o longitudinale. Per la massima visibilità i lati verticali della cabina devono risultare ampiamente vetrati. Montanti e parafanghi devono essere posizionati in modo da non ostacolare la visibilità soprattutto nei punti di osservazione laterali anteriori laterali posteriori[16].

Le cabine hanno una struttura autoportante, formata da parti in lamiera stampata, saldate lungo i bordi in un'unica monoscocca elastica e resistente alle sollecitazioni e alle vibrazioni. Nei trattori di potenza media grande il posto di guida è costituito da una piattaforma inferiore, sospesa dal telaio con elementi elastici (silent block), su cui è fissata la struttura di protezione o la cabina.

La piattaforma è sospesa su 4-6 silent block. Questi sono gli elementi di collegamento tra struttura portante del trattore e piattaforma; sono caratterizzati da un elemento elastico che consente limitate deformazioni tra i due organi e riduzione delle vibrazioni trasmesse. Le cabine, in casi particolari, possono essere disponibili in versione stretta o larga per risolvere i problemi di

ingombro. L'insonorizzazione è garantita da una totale schermatura di materiale fonoassorbente che riduce la rumorosità.

L'accessibilità al posto di guida è garantita da ingressi con scalette antisdrucchiolo-autopulenti e manocorrenti. Leve e pedali di comando sono posizionati in modo da non ostacolare il tragitto dalla porta al sedile. Alcuni tipi di cabine sono dotate di uscita d'emergenza a botola per allinearsi alle norme specifiche di alcuni paesi.

Il sedile è concepito per smorzare vibrazioni e scuotimenti trasmessi dalla macchina all'uomo, è regolabile in base alle caratteristiche dell'operatore, per consentire il massimo conforto e il più adeguato e riposante assetto di guida, presenta culla, braccioli e schienale a profilo anatomico. Essi sono dotati di schienale inclinabile; di ammortizzatore longitudinale molto adatto per lavori ad alta velocità; di rotazione parziale a destra e a sinistra (di circa 10°) per un assetto che consenta una migliore visuale panoramica di lavorazione, comandi e attrezzo. Inoltre è disponibile la sospensione elettro-pneumatica a molleggio autoregistrante. In pratica lo speciale cuscino ad aria, che funge da molleggio, si autogonfia tramite un piccolo compressore interno, in base al peso dell'operatore seduto sul sedile. Il sedile è dotato anche di cinture di sicurezza per evitare che l'operatore urti contro le pareti e il soffitto, in caso di capovolgimento della macchina [16].

E' sempre più spesso possibile regolare l'inclinazione e l'altezza del volante di guida per il suo miglior adattamento alle

esigenze dell'operatore. Le leve del cambio sono in posizione laterale o al volante per un libero accesso al sedile sia a destra che a sinistra e per un comodo azionamento.

L'insieme dei comandi è realizzato mediante un approccio ergonomico volto a ridurre la fatica fisica e la concentrazione dell'operatore. Si calcola che in una giornata di aratura si possono raggiungere anche 12 mila azionamenti da parte del guidatore.

Indicatori e spie di vario genere sono raccolti su un quadro strumenti per tenere sotto controllo i dispositivi più importanti del trattore. Oltre alla strumentazione tradizionale sono presenti check panel o check elettronici, per il controllo dei parametri più importanti di funzionamento e con simbologia dei segnali standardizzata a scala internazionale[15].

Nelle versioni più recenti e in quelle a elevate prestazioni sono adottati computer di bordo per il controllo e gestione del trattore. Nel display elettronico possono essere fornite molte informazioni:

- regime motore;
- regime presa di forza;
- velocità reale di avanzamento;
- slittamento;
- slittamento massimo;

-consumo per ettaro, consumo orario, ore di autonomia rimanenti e gasolio già consumato;

- superficie totale lavorata e superficie lavorata all'ora;
- lunghezza del campo;
- monte ore di lavoro;
- check per l'autodiagnosi del computer.

L'impiego e l'eventuale programmazione del computer di bordo è reso poi particolarmente semplice e facile.

Nei trattori di potenza medio-grande, troveremo come dotazione anche

- sedile per il 2° passeggero (a scomparsa totale quando non usato);
- vetri laterali apribili a compasso;
- lunotto posteriore apribile a compasso;
- predisposizione per autoradio e mangianastri stereo;
- vetri atermici azzurrati per ridurre l'effetto serra;
- cintura di sicurezza;
- quattro fari per lavori notturni.

All'interno del tettuccio, completamente protetto e senza ingombri esterni, è presente, in genere, l'impianto di ventilazione e riscaldamento, e nelle versioni più ricche l'impianto di condizionamento, entrambi i sistemi dotati di filtri. Questo consente, oltre a garantire una costante introduzione di aria filtrata, anche di mantenere all'interno una pressione superiore a

quella atmosferica in modo di non consentire l'entrata della polvere [17].

2.3 Normativa di riferimento

DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81.

I requisiti del presente allegato si applicano al fine di consentire l'impiego sicuro, dell'attrezzatura di lavoro presa in esame.

Dal punto di vista della sicurezza è importante tenere conto dei sistemi e dei dispositivi di comando, i quali devono essere costruiti considerando i guasti, i disturbi e le sollecitazioni ai quali potrebbero andare in contro in seguito all'usura derivata dal prolungato utilizzo.

Se necessario, dal posto di comando principale l'operatore deve essere in grado di accertarsi dell'assenza di persone nelle zone pericolose. Se ciò non dovesse essere possibile, qualsiasi messa in moto dell'attrezzatura di lavoro deve essere preceduta automaticamente da un segnale d'avvertimento sonoro e/o visivo.

La macchina che comporti pericoli dovuti ad emanazioni di gas, vapori o polveri deve essere munita di appropriati dispositivi di ritenuta e/o di estrazione vicino alla fonte.

Le attrezzature di lavoro devono essere costruite, installate e mantenute in modo da evitare scuotimenti o vibrazioni che possano pregiudicare la loro stabilità, la resistenza dei loro elementi.

Le attrezzature di lavoro con lavoratore a bordo devono essere strutturate in modo tale da ridurre i rischi per il lavoratore durante lo spostamento. Deve essere previsto anche il rischio che il lavoratore venga a contatto con le ruote o i cingoli o vi finisca intrappolato.

Le macchine semoventi il cui spostamento può comportare rischi per le persone devono soddisfare le seguenti condizioni:

- devono essere dotate dei mezzi necessari per evitare la messa in moto non autorizzata;
- devono essere dotate di un dispositivo che consenta la frenatura e l'arresto;
- quando il campo di visione diretto del conducente è insufficiente per garantire la sicurezza, esse devono essere dotate di dispositivi ausiliari per migliorare la visibilità;
- le attrezzature di lavoro che comportano, di per sé o a causa dei loro traini e/o carichi, un rischio di incendio suscettibile di mettere in pericolo i lavoratori, devono essere dotate di appropriati dispositivi antincendio a meno che tali dispositivi non si trovino già ad una distanza sufficientemente ravvicinata sul luogo in cui esse sono usate [12] .

DECRETO LEGISLATIVO 27 gennaio 2010 n. 17 .

Attuazione della direttiva 2006/42/CE, relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE relativa agli ascensori.

Sono esclusi dal campo di applicazione del presente decreto legislativo:

a) i componenti di sicurezza, destinati ad essere utilizzati come pezzi di ricambio in sostituzione di componenti identici e forniti dal fabbricante della macchina originaria;

b) le attrezzature specifiche per parchi giochi e/o di divertimento;

c) le macchine specificamente progettate o utilizzate per uso nucleare che, in caso di guasto, possono provocare una emissione di radioattività;

d) le armi, incluse le armi da fuoco;

e) i seguenti mezzi di trasporto:

1) trattori agricoli e forestali per i rischi oggetto del decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti in data 19 novembre 2004, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale n. 88 del 16 aprile 2005, di recepimento della direttiva n. 2003/37/CE, ad esclusione delle macchine installate su tali veicoli.

La stessa legislazione definisce i requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute che devono essere soddisfatti dai prodotti immessi sul mercato dell'UE e le procedure di valutazione di detta conformità. Le norme armonizzate europee forniscono soluzioni tecniche dettagliate per soddisfare tali requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute. L'applicazione delle norme armonizzate resta volontaria, ma conferisce una presunzione di conformità ai requisiti essenziali di sicurezza e di

tutela della salute fissati da tali norme. Considerata la natura dei rischi che presenta l'utilizzo delle macchine oggetto della presente direttiva, è opportuno fissare le procedure di valutazione della conformità ai requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute. Le procedure dovrebbero essere elaborate alla luce dell'entità dei pericoli che le macchine possono costituire. Di conseguenza, per ogni categoria di macchine dovrebbe essere prevista una procedura adeguata, conforme alla decisione 93/465/CEE del Consiglio, del 22 luglio 1993, concernente i moduli relativi alle diverse fasi delle procedure di valutazione della conformità e le norme per l'apposizione e l'utilizzazione della marcatura CE di conformità, da utilizzare nelle direttive di armonizzazione tecnica, tenendo conto, al contempo, della natura della verifica richiesta per tali macchine.

È opportuno lasciare ai fabbricanti l'intera responsabilità di attestare la conformità delle loro macchine alla presente direttiva. Tuttavia, per taluni tipi di macchine che presentano un potenziale maggiore di rischi, è auspicabile una procedura di certificazione più rigorosa. Il tipo di procedura di valutazione di conformità che si applica ad un dato prodotto dipende dalla sua appartenenza o meno a una delle categorie elencate all'allegato IV, che presentano un potenziale maggiore di rischi o che hanno una funzione critica di tutela. Le varie procedure di valutazione della conformità sono definite agli allegati VIII, IX e X e le norme per la loro selezione sono indicate all'articolo 12.

La marcatura "CE" dovrebbe essere pienamente riconosciuta come l'unica marcatura che garantisce la conformità della macchina

ai requisiti delle direttive. Dovrebbe essere vietata qualsiasi marcatura che possa verosimilmente indurre in errore i terzi circa il significato o il simbolo grafico, o entrambi, della marcatura "CE".

Per conferire la stessa qualità alla marcatura "CE" e al marchio del fabbricante è importante che essi vadano apposti utilizzando la stessa tecnica. Per poter distinguere le marcature "CE" che potrebbero eventualmente figurare su taluni componenti e la marcatura "CE" della macchina, è importante che quest'ultima sia apposta accanto al nome di chi ne assume la responsabilità, ovvero il fabbricante o il suo mandatario.

Nel caso dei trattori agricoli e forestali, le disposizioni della presente direttiva concernenti i rischi attualmente non coperti dalla direttiva 2003/37/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 maggio 2003, relativa all'omologazione dei trattori agricoli o forestali, dei loro rimorchi e delle loro macchine intercambiabili trainate, nonché dei sistemi, componenti ed entità tecniche di tali veicoli non dovrebbero più essere d'applicazione una volta che tali rischi saranno coperti da tale direttiva. L'ottavo considerando fa riferimento all'esclusione dei trattori agricoli e forestali dal campo di applicazione della direttiva macchine per i rischi oggetto della direttiva 2003/37/CE [25].

3- MATERIALI E METODI

3.1 Vibrazioni

Il posto di guida nel trattore espone il lavoratore a rischi dovuti ad agenti fisici (rumore, vibrazioni), correlati a malattie professionali.

Nelle malattie professionali denunciate negli anni 2010-2011, le malattie causate da vibrazioni meccaniche sono aumentate del 50%[1].

Di seguito sarà analizzato il fenomeno vibratorio.

3.1.1 Le vibrazioni

La vibrazione è un fenomeno ondulatorio, tramite il quale l'energia meccanica viene propagata attraverso un mezzo elastico, sottoforma di un'onda (onda meccanica)[18] [19].

Il mezzo elastico che può essere interessato rientra in tutti e tre gli stati classici della materia ovvero le onde possono trasmettersi in sostanze gassose, in sostanze liquide, in sostanze solide, facendo vibrare i punti tra loro adiacenti.

Vibrando, un corpo trasmette parte del proprio moto ondulatorio al mezzo con cui è in contatto, generando su quest'ultimo una perturbazione con caratteristiche proprie delle onde sonore.

Al fine di descrivere, dettagliatamente, una vibrazione da un punto di vista strettamente fisico occorre esaminare le grandezze fisiche caratteristiche delle onde sonore, le quali possono essere sia spaziali che temporali.

Le onde che si propagano in un mezzo elastico o deformabile sono definite onde meccaniche; in queste è possibile riscontrare una sorgente ed un mezzo di propagazione. La sorgente, fonte del fenomeno, trasferisce la propria energia al mezzo di propagazione il quale entra in vibrazione con caratteristiche che sono funzione di quelle della sorgente.

Un modo per classificare le onde prevede la loro distinzione in:

trasversali, quelle in cui i movimenti trasmessi dall'onda alle particelle del mezzo di propagazione sono diretti ortogonalmente alla direzione di propagazione dell'onda stessa (es.: onda di una corda tesa);

longitudinali, quelle in cui gli spostamenti delle particelle del mezzo di propagazione avvengono in direzione parallela a quella di propagazione dell'onda (es.: onda di una molla).

Un insieme d'onde che si susseguono costituiscono un treno d'onda e quando tutte le condizioni ondulatorie si susseguono periodicamente nel tempo si parla di onde periodiche; per fronte d'onda s'intende, invece, l'insieme di tutti i punti, appartenenti alla medesima superficie, sottoposti in un dato istante alla stessa perturbazione ed ha la caratteristica di essere sempre perpendicolare alla direzione di propagazione detta appunto raggio.

Un'altra classificazione distingue le onde in:

- onde piane, quando i fronti d'onda sono piani e paralleli tra loro;
- onde sferiche, quando i fronti d'onda sono sfere concentriche aventi al centro la sorgente d'onda.

Quando un corpo descrive un movimento oscillatorio nell'intorno di una posizione di riferimento, vibra [20].

Se si considera un pendolo e lo si pone in oscillazione, il punto di riferimento si sposta di una certa quantità (metri), e lo fa in un certo tempo (secondi). Ne consegue che potremmo considerare la sua dinamica anche in termini di velocità espressa in metri al secondo (ms^{-1}) e, poiché quest'ultima varia in continuazione, potremmo parlare anche di accelerazioni, espresse in metri al secondo quadro (ms^{-2}).

Tutti i sistemi meccanici contengono tre componenti fondamentali: molla, smorzamento e massa.

Facendo riferimento ad un semplice modello meccanico, costituito da un corpo di massa m vincolato ad una molla di costante elastica k e ponendo in oscillazione tale modello (in assenza di attrito), si osserva che la massa si muove con regolarità rispetto alla posizione di equilibrio statico; si nota anche che tale movimento ha carattere periodico, ossia dopo un certo periodo T , esso torna a ripetersi uguale a se stesso. Nel moto armonico l'andamento nel tempo di tale funzione è rappresentato da un'onda sinusoidale, la quale può essere descritta dalla sua ampiezza D e periodo T .

Il numero di cicli completi che si verificano in un secondo è detto frequenza f , che viene misurata in Hertz (Hz) ed è legata al periodo T dalla seguente relazione:

$$f = \frac{1}{T}$$

dove:

T è espresso in secondi (s).

La frequenza f segue quindi una legge di proporzionalità inversa rispetto al periodo T .

La vibrazione di un sistema può avvenire principalmente lungo una sola direzione ed ad una singola frequenza. Nella realtà le vibrazioni avvengono contemporaneamente lungo differenti direzioni e con differenti frequenze.

Il movimento periodico del corpo posto in oscillazione può essere egualmente rappresentato da un vettore che ruota con velocità angolare costante ω percorrendo in un periodo T uno spazio angolare di 360° o 2π .

La forma d'onda che ne deriva è proprio una sinusoide la cui ampiezza d varia istante per istante e si ripete ciclicamente, assumendo valori proporzionali a $D\sin(\omega t)$, dove ωt rappresenta lo "spazio angolare" percorso dal vettore ad ogni singolo istante T .

La velocità costante angolare ω , è data da:

$$\omega = 2 \pi f$$

Prendendo nuovamente in esame il sistema massa-molla, mantenendo inalterate le costanti meccaniche k ed m , la velocità angolare ω resta costante al variare della forza di eccitazione che mette in vibrazione il modello; quello che cambia è lo spostamento massimo D rispetto alla posizione di equilibrio.

Una variazione della velocità angolare ω , e quindi della frequenza di vibrazione, si ottiene alterando le costanti meccaniche come ad esempio, la massa. Infatti queste ultime sono legate alla velocità angolare (e quindi alla frequenza) dalla seguente relazione:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Si noti, ad esempio, come un incremento della massa m di una quantità m_1 nel sistema meccanico, dà luogo ad una frequenza di vibrazione più bassa, in quanto si avrà:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{(m+m_1)}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{(m+m_1)}}$$

dove:

k è la costante elastica;

m è la massa;

m_1 è l'incremento della massa.

Da quanto detto finora, si può quindi affermare che per caratterizzare completamente il fenomeno, dovendo descriverlo in termini di velocità angolare e di spostamento dovrà essere descritto in relazione alla sua posizione nel percorso angolare riferita allo spostamento massimo D :

$$d = D \sin \omega t$$

dove:

d è lo spostamento istantaneo;

D è lo spostamento massimo o di picco.

Il modello meccanico preso come riferimento (massa + molla), è tuttavia un sistema puramente teorico in quanto, se posto in oscillazione, continuerà il suo moto all'infinito, con frequenza e

ampiezza costante. Questo nella realtà non avviene mai a causa di un terzo elemento: lo smorzamento. Esso può essere assimilato ad una resistenza che si oppone al movimento interno della struttura, sottraendole energia che viene trasformata in calore o in movimento dell'aria circostante.

Quando uno smorzatore C è aggiunto al sistema massa-molla, esso dà luogo ad un progressivo decremento nel tempo dell'ampiezza dell'oscillazione libera fino ad estinguerla completamente. La frequenza, che chiameremo frequenza naturale smorzata di oscillazione, rimane costante ed è quasi uguale a quella del sistema privo di smorzatore (frequenza naturale f_n). Un incremento dello smorzamento, dà luogo ad una leggera diminuzione della frequenza naturale smorzata.

Lo smorzamento è quindi la grandezza che bisogna vincere per mantenere in vibrazione una determinata struttura. Se si applica in modo continuativo una forza sinusoidale F al sistema massa-molla-smorzatore, questo seguirà il movimento della forza, ciò significa che il sistema vibrerà alla stessa frequenza di F , eventualmente anche con ampiezza e fase differente.

Tuttavia, l'ampiezza della vibrazione del sistema varierà in funzione della frequenza di F . Per frequenze al disotto della frequenza naturale del sistema f_n , l'ampiezza aumenterà con l'aumentare di fF , fino a raggiungere il massimo quando questa eguaglierà f_n ; in queste condizioni si dice che il sistema è in risonanza, ed f_n è quindi la sua frequenza di risonanza. Se il sistema fosse privo di smorzamento, l'ampiezza di vibrazione alla

risonanza tenderebbe a infinito con seri problemi sulla integrità del sistema.

In particolare, per quanto riguarda le vibrazioni, si sottolinea che di solito non si usa l'ampiezza massima dell'oscillazione h_0 , ma il suo "valore efficace" o "valore quadratico medio" (h_e o h_{rms}), cioè la radice quadrata della media dei quadrati dei valori, istante per istante, dell'ampiezza.

Nel caso di un moto armonico si ha:

$$h_e = \frac{h_0}{2^{0,5}}$$

È possibile dimostrare che il valore efficace è direttamente legato all'energia del moto, cioè alla sua capacità di produrre lavoro, ad esempio di metter in moto corpi vicini oppure l'aria.

Il rapporto tra valore massimo e valore efficace dell'ampiezza, quantificato come segue è chiamato fattore di cresta e dà un'informazione sulla forma d'onda della vibrazione.

$$\frac{h_0}{h_e} = 2^{0,5}$$

Il movimento oscillatorio può essere descritto utilizzando al posto dell'ampiezza dello spostamento, la velocità v , cioè la variazione dell'ampiezza nel tempo (ms^{-1}), o l'accelerazione a , cioè la variazione della velocità nel tempo (ms^{-2}).

Si dimostra che, conoscendo una di queste tre grandezze e la frequenza f , si ricavano le altre due:

$$v = 2 \pi f h_0$$

$$a = 2 \pi f v$$

Anche per queste ultime si definiscono valori di picco, medi ed efficaci analogamente a quanto visto per l'ampiezza.

In genere la grandezza utilizzata nelle misurazioni di vibrazioni riferite agli effetti sull'uomo è l'accelerazione; quando non si dà un valore assoluto, bensì una misura relativa, rispetto ad una "quantità di riferimento", si usa il decibel (dB).

Le oscillazioni prodotte dagli strumenti vibranti che si trasmettono all'operatore sono sempre di tipo forzato[21]. In funzione degli effetti fisiopatologici sull'uomo le vibrazioni vengono suddivise in base a 3 principali bande di frequenza:

- ♦ *oscillazioni a bassa frequenza*, generate dai mezzi di trasporto, comprese fra 0-2 Hz;
- ♦ *oscillazioni a media frequenza*, generate da macchine ed impianti industriali, comprese fra 2-20 Hz;
- ♦ *oscillazioni ad alta frequenza*, oltre 20-30 Hz, sono generate da un'ampia gamma di strumenti vibranti di sempre maggiore diffusione in ambito industriale, coinvolgenti moltissime attività lavorative, dalle più semplici alle più sofisticate.

Oltre che dalla frequenza, le vibrazioni sono caratterizzate da altri tre parametri strettamente connessi tra loro:

- ♦ l'ampiezza dello spostamento (espressa in m);
- ♦ la velocità (espressa in ms^{-1});
- ♦ l'accelerazione (espressa in ms^{-2}).

L'accelerazione è il parametro più importante per la valutazione della risposta corporea alle vibrazioni, in quanto

l'uomo avverte più la variazione di uno stimolo che il suo perdurare. L'intensità delle vibrazioni è il rapporto fra il flusso dell'energia oscillatoria e l'unità di superficie nell'unità di tempo e viene espressa in watt/cm²/s.

L'energia vibratoria I è direttamente proporzionale al quadrato della frequenza f e dell'ampiezza A , e dipende dalla massa del corpo vibrante m :

$$I = \pi^2 f^2 A^2 m$$

I fenomeni vibratorii possono assumere diversi aspetti: sinusoidale, aleatorio, d'urto. L'aspetto sinusoidale è la rappresentazione di vibrazioni con frequenza e spostamento di ampiezza costanti, le vibrazioni aleatorie sono caratterizzate da oscillazioni complesse che hanno un ampio spettro di frequenze e di ampiezze di spostamento che si dispongono in modo imprevedibile alle diverse frequenze, infine gli aspetti ad urto sono caratterizzati da vibrazioni di grande ampiezza a breve durata, per accelerazioni occasionali. Ogni sistema o singolo corpo può essere messo in vibrazione da una eccitazione esterna ad esso, sviluppando oscillazioni forzate. I sistemi meccanici, come pure il nostro corpo, hanno la capacità di smorzare le oscillazioni riducendo l'ampiezza; così nella postura eretta gli arti inferiori smorzano le vibrazioni verticali; le vibrazioni orizzontali, che entrano prevalentemente attraverso le mani, si riducono progressivamente nelle mani stesse, sui gomiti e sulle spalle. Ogni parte del nostro corpo ha una frequenza propria, per cui anche le reazioni alle vibrazioni risultano differenti a seconda delle regioni interessate. Il fenomeno della risonanza si verifica quando

l'ampiezza delle oscillazioni forzate supera quella delle oscillazioni proprie degli organi interni o delle altre strutture anatomiche sottoposte a vibrazione. Infatti l'insieme che si sviluppa, tra il nostro corpo e le strutture che ad esso trasmettono le vibrazioni, è quello tipico di un sistema a più gradi di libertà [11].

Dopo aver analizzato gli aspetti relativi alla frequenza è necessario identificare un indicatore dell'ampiezza del moto vibratorio. Il fenomeno può essere descritto in termini di spostamento, di velocità e di accelerazione.

In analogia con il rumore i livelli di spostamento s , velocità v e accelerazione a sono espressi dalla formula:

$$L = 10 \text{ Log } (x / x_0)^2 \text{ dB}$$

in cui x è il valore efficace dello spostamento, velocità e accelerazione e x_0 i relativi valori di riferimento:

$$s_0 = 10^{-12}; \quad v_0 = 10^{-9} \text{ m/s}; \quad a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2.$$

3.1.2 Gli effetti delle vibrazioni sul corpo umano

Le vibrazioni sono un fattore di rischio fisico per l'uomo che lavora. Il trasferimento dell'energia meccanica all'uomo si può realizzare attraverso un gran numero e tipologie di sorgenti vibranti. Si usa distinguere la vibrazioni in funzione delle modalità di trasmissione dell'energia: localizzata, in genere attraverso la mano, e generalizzata, attraverso la superficie di contatto con il corpo dell'operatore, sia in posizione eretta che seduto.

Alla prima sono associati un insieme di disturbi comunemente indicato come "Sindrome da vibrazioni mano-braccio". Gli effetti delle vibrazioni a tutto il corpo sono invece in grado di coinvolgere diversi organi interni e apparati (gastrointestinale, urinario e genitale, colonna vertebrale, apparato visivo, sistema neuropsichico). E' noto infine il cosiddetto "mal dei trasporti", la cui causa è da ricercarsi nel movimento oscillatori ellittico del capo per esposizione a vibrazioni di bassa frequenza.

Se s'immagina di applicare a un corpo in modo continuo una forza sinusoidale in grado di compensare gli attriti, il corpo oscillerà attorno alla posizione di equilibrio con una frequenza pari a quella della forza applicata. L'ampiezza dell'oscillazione sarà funzione della frequenza - forza applicata e assumerà il valore massimo quando la frequenza applicata coincide con quella naturale del sistema (frequenza di risonanza).

Il moto di un sistema costituito da più sistemi elementari sarà certamente molto più complesso, ma comunque scomponibile nelle singole componenti di frequenze naturali dei sistemi costituenti; ai fini di analizzare gli effetti delle vibrazioni il corpo umano viene “modellato” in unità massa-molla-smorzamento. In questo modo ad ogni organo o distretto anatomico è attribuibile, in base alle caratteristiche di smorzamento, una particolare frequenza di risonanza. Le frequenze di risonanza per sollecitazione del corpo intero sono comprese nell'intervallo 1-100 Hz.

Gli studi epidemiologici attualmente disponibili depongono per una relazione causale tra esposizione professionale a vibrazioni trasmesse a tutto il corpo e patologia del rachide lombare, mentre l'associazione tra vibrazioni e lesioni ad altri organi o apparati non è stata ancora adeguatamente documentata.

Infatti è dimostrata una maggior occorrenza di lombalgie e lombosciatalgie, alterazioni degenerative della colonna vertebrale (spondiloartrosi, spondilosi, osteocondrosi intervertebrale), discopatie e ernie discali lombari e/o lombosacrali nei conducenti di veicoli industriali e di mezzi di trasporto rispetto a gruppi di controllo non esposti a vibrazioni meccaniche. Il rischio d'insorgenza di patologie del rachide lombare aumenta con l'aumentare della durata e dell'intensità dell'esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero.

Il ruolo delle vibrazioni nella etiopatogenesi delle alterazioni del rachide lombare non è ancora completamente chiarito poiché la guida di macchine o veicoli comporta non solo l'esposizione a vibrazioni potenzialmente dannose ma anche a fattori

disergonomici quali, ad esempio, una prolungata postura assisa o frequenti movimenti di torsione del rachide. Inoltre, alcune categorie di autisti, come gli addetti a lavori di trasporto in vari settori commerciali, possono svolgere attività di sollevamento e spostamento di carichi manuali che rappresentano un ulteriore fattore di stress per il tratto lombare del rachide. Alcune caratteristiche individuali (ad esempio, età, indice di massa corporea, abitudine al fumo di tabacco), fattori di natura psicosociale e pregressi traumatismi alla schiena sono anche riconosciuti come importanti variabili predittive della comparsa di disturbi al rachide, in particolare di lombalgie.

Ne deriva che risulta molto difficile separare il contributo delle vibrazioni da quello di altri fattori di rischio individuale ed ergonomico nell'insorgenza e/o aggravamento di disturbi del rachide[22].

Le manifestazioni cliniche attribuite alle vibrazioni, a basse e medie frequenze, possono essere conseguenza del coinvolgimento di apparati diversi:

- *Apparato otovestibolare*: i disturbi dell'equilibrio possono essere indotti da vibrazioni di frequenze comprese tra 1 Hz e 15-18 Hz.

L'iperstimolazione del vestibolo e dei canali semicircolari determina, dopo un periodo di latenza variabile, la comparsa di un quadro sintomatologico noto come chinetosi ("mal di mare"). Oltre all'apparato vestibolare, nella patogenesi della chinetosi sembrano giocare un ruolo importante anche gli impulsi afferenti dai meccanocettori cutanei e sottocutanei e dalle zone mesenteriche e

addominali. Particolari sensazioni ottiche e olfattive, inoltre, risultano decisive per l'insorgenza acuta dei disturbi.

-Sistema osteo-articolare: la colonna vertebrale appare come la struttura che con maggiore frequenza risente dei danni delle vibrazioni, soprattutto nella zona lombare, seguita dalla regione dorsale e da quella cervicale. Come conseguenza si ha un'alta incidenza di lombalgia con concomitante insufficienza muscolare a livello del tronco. Si possono presentare anche disordini a livello del sistema nervoso periferico, sotto forma di sciatalgia, strettamente connessi ai disturbi della colonna per erniazione del disco intervertebrale.

Le patologie da vibrazioni ad effetto localizzato (alte frequenze) trattano soprattutto di patologie a carico del distretto mano-braccio, caratterizzate dalla presenza delle seguenti lesioni, tra loro in vario modo associate:

-lesioni vascolari

-lesioni osteo-articolari

-lesioni neurologiche

-lesioni tendinee.

Lesioni vascolari:

Sono le manifestazioni molto più frequenti. La sintomatologia clinica inquadrabile nel fenomeno di Raynaud interessa le estremità distali degli arti superiori, il più delle volte le sole dita delle mani, e consistono in parestesie, formicolii, senso di intorpidimento e diminuzione della sensibilità tattile ai polpastrelli; sono sintomi a carattere talora permanente e talora

accessuale, specie sotto l'azione di stimoli freddi. In casi più progrediti si ha la comparsa accessuale del fenomeno del "dito bianco": alcune falangi o alcune dita ad esclusione quasi sempre del pollice, che gode di una doppia irrorazione, assumono improvvisamente o quasi, per lo più per azione del freddo, più di rado dopo vibrazioni, emozioni o forte rumore, colorito biancastro, più o meno intenso fino ad aspetto cereo, con netta linea di demarcazione dalle parti attigue, insensibilità tattile dolorifica e difficoltà dei movimenti.

Diagnosi: Fotopletismografia - Prove termiche e farmacologiche
- Velocimetria Doppler - Capillaroscopia - Pletismografia a strain-gauge

I criteri igienistici formulati nell'ambito degli attuali standard e linee guida sono basati su previsioni di prevalenza del fenomeno di Raynaud, a seguito dell'esposizione a vibrazioni mano-braccio. In accordo con gli standard correnti, si assume inoltre che tali criteri siano sufficientemente cautelativi, anche ai fini della prevenzione di altri effetti patologici a carico degli arti superiori, associati all'esposizione a vibrazioni.

In particolare, in tabella vengono forniti i valori di esposizione a vibrazioni A(8) che, allo stato attuale delle conoscenze, possono indurre il 10% di prevalenza del fenomeno di Raynaud, in funzione degli anni di esposizione.

Tabella 3. 1: Correlazione anni di esposizione con A (8)

Anni di esposizione	1	2	4	8
A (8) m/s ²	26	14	7	4

I dati in tabella si basano sulla seguente relazione che consente di stimare gli anni di esposizione per una prevalenza prevista del fenomeno di Raynaud del 10% in gruppi di esposti, in funzione dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita a 8 ore di lavoro A(8):

$$[A(8)/1 \text{ m/s}^2] \bullet [\text{Numero Anni}/1 \text{ anno}] = 31,8$$

Lesioni neurologiche

Sono caratterizzate da alterazioni della sensibilità tattile e termica delle mani e da alterazioni della velocità di conduzione sensoriale motoria delle fibre periferiche del nervo mediano e ulnare; tali alterazioni sono facilmente indagabili con le normali tecniche di semeiotica neurologica ed elettro-neurofisiologica, quali EMO, i potenziali evocati ecc. Fondamentale è l'esame elettromiografico per la sindrome del tunnel carpale, patologia di non raro riscontro negli esposti a rischio vibratorio, caratterizzata da paralisi del nervo mediano, secondaria alla compressione del nervo stesso nel canale carpale, per probabile edema flogistico.

Lesioni osteo-articolari

Sono rappresentate da un quadro di alterazioni di tipo necrotico-degenerativo osteo-cartilagineo sovrapponibile alla comune artrosi. Colpiscono soprattutto le piccole ossa del carpo

sotto forma di piccole pseudocisti ossee oppure il semilunare, sotto forma di malacia, ben evidente all'esame radiografico (morbo di Kiembock).

Le articolazioni maggiormente interessate sono quelle più sollecitate, quindi quelle del polso, del gomito e della spalla.

Lesioni tendinee

I tendini con le relative guaine, in seguito a ripetuti traumi vibratori, possono andare incontro a processi infiammatori ischemici e degenerativi. I più colpiti sono quelli a livello dell'olecrano che, per le ripetute sollecitazioni, vanno incontro prima a una calcificazione e in seguito a una ossificazione (radiologicamente "becco e sperone olecranico"). Anche la retrazione dell'aponeurosi palmare o morbo di Dupuytren può talora riconoscere un'eziopatogenesi professionale, ma solo come fattore scatenante.

Flebotrombosi dell'arto superiore

L'effetto delle vibrazioni può esplicarsi anche sul sistema venoso degli arti superiori, dando origine a una flebotrombosi del distretto succlavio-axillo-brachiale, da microtrauma ripetuto. Questo si verifica soprattutto quando all'azione delle vibrazioni si associa quella della posizione elevata e abdotta dell'arto superiore.

Sindrome del Tunnel Carpale

Il tunnel carpale è un tunnel rigido localizzato nel polso, formato dalle ossa del carpo e da un legamento rigido (legamento carpale) che avvolge tutt'intorno alle ossa del polso.

Attraverso il tunnel passano il nervo mediano, i tendini dei muscoli flessori delle dita e i vasi sanguigni. I legamenti non sono molto flessibili per cui un processo infiammatorio nel polso, con conseguente rigonfiamento dei tendini, può provocare un aumento della pressione all'interno del tunnel con compressione del nervo mediano che va incontro a sofferenza.

La compressione del nervo mediano provoca:

dolore al polso;

diminuzione della sensibilità alle prime tre dita della mano;

riduzione funzionale della mano con impaccio nei movimenti.

Le attività lavorative nelle quali si combinano alta forza ed alta ripetitività del movimento aumentano significativamente il rischio.

I risultati degli studi epidemiologici attualmente disponibili depongono per una maggior occorrenza di lombalgie e lombosciatalgie, alterazioni degenerative della colonna vertebrale (spondiloartrosi, spondilosi, osteocondrosi intervertebrale), discopatie e ernie discali lombari e/o lombosacrali nei conducenti di veicoli industriali e di mezzi di trasporto rispetto a gruppi di controllo non esposti a vibrazioni meccaniche. Vi è una sufficiente evidenza epidemiologica che il rischio di insorgenza di patologie del rachide lombare aumenta con l'aumentare della durata e dell'intensità dell'esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero (patologie del rachide lombare 3-10 Hz, effetti sull'apparato riproduttivo 40-55 Hz)[11].

Da studi su effetti acuti dell'esposizione a vibrazioni è emerso che questa può comportare un incremento dell'attività gastro-

intestinale. Prevalenze di patologie a carico dell'apparato gastrointestinale, quali dolori addominali, disturbi dispeptici, ulcere gastroduodenali, sono emerse da alcuni studi epidemiologici su conducenti di veicoli esposti a vibrazioni. Si sono ipotizzate possibili correlazioni di tali disturbi con fenomeni di risonanza degli organi parenchimatosi. Tale problematica è al momento oggetto di ulteriori approfondimenti conoscitivi ed epidemiologici, data la complessiva carenza dei dati disponibili [11].

È possibile che l'esposizione a vibrazioni meccaniche possa causare alcuni effetti nocivi sull'apparato riproduttivo femminile. Disturbi del ciclo mestruale, processi infiammatori, e anomalie del parto sono stati riportati in donne esposte a vibrazioni con frequenze tra 40 Hz e 55 Hz. In uno studio epidemiologico di popolazione su aborto spontaneo e mortalità prenatale senza malformazioni congenite, quest'ultimo evento presenta un'incidenza maggiore di quella attesa in donne lavoratrici esposte a vibrazioni nel settore dei trasporti. Tali indagini richiedono ulteriori approfondimenti sul piano epidemiologico e scientifico [11].

Da alcuni studi riportati in letteratura emergono correlazioni tra disturbi circolatori quali emorroidi e vene varicose ed esposizione a vibrazioni. Tali problematiche richiedono ulteriori approfondimenti epidemiologici e scientifici [11].

Una prolungata esposizione a vibrazioni meccaniche sembra poter aggravare l'ipoacusia provocata dal rumore. L'esposizione combinata a vibrazioni e rumore sembra causare uno spostamento temporaneo della soglia uditiva alle alte frequenze (6-10 kHz)

maggiore di quello provocato dall'esposizione al solo rumore. Il meccanismo patogenetico di tale effetto sinergico sull'organo dell'udito non è stato ancora chiarito [11].

Ulteriori studi sono attualmente in corso, al fine di caratterizzare in maniera più completa la trasmissione e l'assorbimento dell'energia meccanica durante l'esposizione del corpo a vibrazioni [24]; insieme ai risultati ottenuti dallo sviluppo delle indagini epidemiologiche, essi potranno apportare un contributo decisivo alla ridefinizione delle basi logico-scientifiche degli attuali standard valutativi.

Definizione di lombalgia (low back pain)

Gli episodi di lombalgia sono così definiti: "episodio doloroso acuto in sede lombare della durata di almeno un giorno che può comportare assenza dal lavoro e difficoltà nelle attività quotidiane, preceduto e seguito da un periodo asintomatico di almeno un mese".

Per lombosciatalgia si intende un dolore irradiato all'arto inferiore lungo il decorso sensitivo del nervo sciatico (parte di L4, L5 e S1); la lombocruralgia è dovuta a interessamento delle radici più alte, più spesso L2 - L4 e il dolore è irradiato alla coscia anteriore o anteromediale fino al ginocchio. Il dolore dell'arto può essere presente anche in assenza di dolore lombare. Se i sintomi si protraggono oltre i tre mesi, si parla di lombalgia o lombosciatalgia cronica; si definisce ricorrente quando gli episodi acuti si ripresentano dopo un periodo di benessere [22][23].

Sia la lombalgia che la lombosciatalgia e la lombocruralgia sono le sintomatologie più frequenti che inducono il lavoratore a rivolgersi al medico di base per la terapia e l'astensione.

3.1.3 Normativa di riferimento

L'articolo 199 del Decreto Legislativo 81 del 2008 definisce il campo di applicazione:

“Il presente capo prescrive le misure per la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori che sono esposti o possono essere esposti a rischi derivanti da vibrazioni meccaniche. Nei riguardi dei soggetti indicati all'articolo 3, comma 2, del presente decreto legislativo le disposizioni del presente capo sono applicate tenuto conto delle particolari esigenze connesse al servizio espletato, quali individuate dai decreti ivi previsti.”

L'articolo 200 definisce:

- a. *vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio*: le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al sistema mano-braccio nell'uomo, comportano un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici o muscolari;
- b. *vibrazioni trasmesse al corpo intero*: le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al corpo intero, comportano rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare lombalgie e traumi del rachide;
- c. *esposizione giornaliera a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio $A(8)$* : [ms^{-2}]: valore mediato nel tempo, ponderato in frequenza, delle accelerazioni misurate per una giornata lavorativa nominale di otto ore;
- d. *esposizione giornaliera a vibrazioni trasmesse al corpo intero $A(8)$* : [ms^{-2}]: valore mediato nel tempo, ponderato, delle accelerazioni misurate per una giornata lavorativa nominale di otto ore.

I “valori limite di esposizione” ed i “valori d'azione” sono fissati dall’articolo 201:

a) per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio:

- i. il valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a **5 m/s²**; mentre su periodi brevi è pari a **20 m/s²**;
- ii. il valore d’azione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, che fa scattare l'azione, è fissato a **2,5 m/s²**.

b) per le vibrazioni trasmesse al corpo intero:

- i. il valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a **1,0 m/s²**; mentre su periodi brevi è pari a **1,5 m/s²**;
- ii. il valore d’azione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a **0,5 m/s²**.

Nel caso di variabilità del livello di esposizione giornaliero va considerato il livello giornaliero massimo ricorrente.

In base alle disposizioni dell’articolo 202 il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura, i livelli di vibrazioni meccaniche cui i lavoratori sono esposti.

Il livello di esposizione alle vibrazioni meccaniche può essere valutato mediante l'osservazione delle condizioni di lavoro

specifiche e il riferimento ad appropriate informazioni sulla probabile entità delle vibrazioni per le attrezzature o i tipi di attrezzature nelle particolari condizioni di uso reperibili presso banche dati dell' ex ISPESL (INAIL) o delle regioni o, in loro assenza, dalle informazioni fornite in materia dal costruttore delle attrezzature.

Questa operazione va distinta dalla misurazione, che richiede l'impiego di attrezzature specifiche e di una metodologia appropriata e che resta comunque il metodo di riferimento.

L'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio è valutata o misurata in base alle disposizioni di cui all'allegato XXXV, parte A del D.Lgs. 81/2008, mentre l'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni trasmesse al corpo intero è valutata o misurata in base alle disposizioni di cui all'allegato XXXV, parte B dello stesso decreto.

Ai fini della valutazione il datore di lavoro tiene conto, in particolare, dei seguenti elementi:

- a) il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a vibrazioni intermittenti o a urti ripetuti;
- b) i valori limite di esposizione e i valori d'azione specificati nell'articolo 201;
- c) gli eventuali effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio con particolare riferimento alle donne in gravidanza e ai minori;

- d) gli eventuali effetti indiretti sulla sicurezza e salute dei lavoratori risultanti da interazioni tra le vibrazioni meccaniche, il rumore e l'ambiente di lavoro o altre attrezzature;
- e) le informazioni fornite dal costruttore dell'attrezzatura di lavoro;
- f) l'esistenza di attrezzature alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione alle vibrazioni meccaniche;
- g) il prolungamento del periodo di esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero al di là delle ore lavorative, in locali di cui è responsabile;
- h) condizioni di lavoro particolari, come le basse temperature, il bagnato, l'elevata umidità o il sovraccarico biomeccanico degli arti superiori e del rachide;
- i) informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica.

Fermo restando quanto previsto nell'articolo 182 del D.Lgs. 81/2008, in base alla valutazione dei rischi di cui all'articolo 202, quando sono superati i valori d'azione, il datore di lavoro elabora e applica un programma di misure tecniche o organizzative, volte a ridurre al minimo l'esposizione e i rischi che ne conseguono, considerando in particolare quanto segue:

- a) altri metodi di lavoro che richiedono una minore esposizione a vibrazioni meccaniche;

- b) la scelta di attrezzature di lavoro adeguate concepite nel rispetto dei principi ergonomici e che producono, tenuto conto del lavoro da svolgere, il minor livello possibile di vibrazioni;
- c) la fornitura di attrezzature accessorie per ridurre i rischi di lesioni provocate dalle vibrazioni, quali sedili che attenuano efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero e maniglie o guanti che attenuano la vibrazione trasmessa al sistema mano-braccio;
- d) adeguati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro, dei sistemi sul luogo di lavoro e dei DPI;
- e) la progettazione e l'organizzazione dei luoghi e dei posti di lavoro;
- f) l'adeguata informazione e formazione dei lavoratori sull'uso corretto e sicuro delle attrezzature di lavoro e dei DPI, in modo da ridurre al minimo la loro esposizione a vibrazioni meccaniche;
- g) la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- h) l'organizzazione di orari di lavoro appropriati, con adeguati periodi di riposo;
- i) la fornitura, ai lavoratori esposti, di indumenti per la protezione dal freddo e dall'umidità.

Se, nonostante le misure adottate, il valore limite di esposizione è stato superato, il datore di lavoro prende misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto di tale valore, individua le cause del superamento e adatta, di conseguenza, le misure di prevenzione e protezione per evitare un nuovo superamento.

I lavoratori esposti a livelli di vibrazioni superiori ai valori d'azione sono sottoposti alla sorveglianza sanitaria secondo quanto disposto dall'articolo 204. La sorveglianza viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità diversa decisa dal medico competente con adeguata motivazione riportata nel documento di valutazione dei rischi e resa nota ai rappresentanti per la sicurezza dei lavoratori in funzione della valutazione del rischio. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità della sorveglianza diversi rispetto a quelli forniti dal medico competente.

I lavoratori esposti a vibrazioni sono altresì sottoposti alla sorveglianza sanitaria quando, secondo il medico competente, si verificano una o più delle seguenti condizioni: l'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni è tale da rendere possibile l'individuazione di un nesso tra l'esposizione in questione e una malattia identificabile o ad effetti nocivi per la salute ed è probabile che la malattia o gli effetti sopraggiungano nelle particolari condizioni di lavoro del lavoratore ed esistono tecniche sperimentate che consentono di individuare la malattia o gli effetti nocivi per la salute.

Nel caso di attività lavorative in cui l'esposizione di un lavoratore a vibrazioni meccaniche è abitualmente inferiore ai valori di azione, ma può occasionalmente superare il valore limite di esposizione, il datore di lavoro può richiedere la deroga al rispetto dei valori limite a condizione che il valore medio dell'esposizione calcolata su un periodo di 40 ore sia inferiore al valore limite di esposizione e dimostri, con elementi probanti, che i rischi derivanti

dal tipo di esposizione cui è sottoposto il lavoratore sono inferiori a quelli derivanti dal livello di esposizione corrispondente al valore limite.

Le deroghe sono rinnovabili e possono essere revocate quando vengono meno le circostanze che le hanno giustificate, e la concessione delle deroghe è condizionata all'intensificazione della sorveglianza sanitaria e da condizioni che garantiscano, tenuto conto delle particolari circostanze, che i rischi derivanti siano ridotti al minimo. Il datore di lavoro assicura l'intensificazione della sorveglianza sanitaria ed il rispetto delle condizioni indicate nelle deroghe [12].

Di seguito un breve elenco normativo del fenomeno vibratorio:

Norma ISO 8041 (1990) "Human response to vibration - Measuring instrumentation".

Norma ISO 5349 (1986) "Mechanical vibration – Guidelines for the measurement and assessment of human exposure to hand-transmitted vibration".

Norma UNI EN 28662-1 (1993) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Generalità".

Norma UNI EN 28662-2 (1997) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Martelli sbavatori e rivettatori".

Norma UNI EN 28662-3 (1997) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Martelli perforatori e rotativi".

Norma UNI EN ISO 8662-4 (1997) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Smerigliatrici".

Norma UNI EN 28662-5 (1997) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Martelli demolitori e picconatori".

Norma UNI EN ISO 8662-6 (1997) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Trapani a percussione".

Norma EN ISO 8662-7 (1997) "Hand-held power tools. Measurement of vibration at the handle. Part 7: Wrenches, screwdrivers and nut runners with impact, impulse or ratched action".

Norma UNI EN ISO 8662-8 (1997) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Lucidatrici e levigatrici rotative, orbitali e rotorbitali".

Norma UNI EN ISO 8662-9 (1998) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Pestelli".

Norma UNI EN ISO 8662-12 (1997) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Seghetti e limatrici alternativi e seghetti rotativi od oscillanti".

Norma EN ISO 8662-13 (1997) "Hand-held power tools. Measurement of vibration at the handle. Part 13: Die grinders".

Norma UNI EN ISO 8662-14 (1998) "Macchine utensili portatili – Misura delle vibrazioni sull'impugnatura. Macchine portatili per la lavorazione delle pietre e scrostatori ad aghi".

Norma UNI EN ISO 10819 (1998) "Vibrazioni al sistema mano-braccio. Metodo per la misurazione e la valutazione della trasmissibilità delle vibrazioni dai guanti al palmo della mano".

Norma UNI ENV 25349 (1994) "Vibrazioni meccaniche - Linee guida per la misurazione e la valutazione dell'esposizione a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio".

Norma UNI ENV 28401 "Risposta degli individui alle vibrazioni. Strumenti di misurazione".

Norma UNI ISO 7505 (1989) "Macchine forestali – Motoseghe a catena portatili. Misura delle vibrazioni trasmesse alle mani".

Norma UNI ISO 7916 (1994) "Macchine forestali – Decespugliatori portatili. Misura delle vibrazioni trasmesse alle mani".

Norma UNI EN 12096 "Vibrazioni meccaniche – Dichiarazione e verifica dei valori di emissione vibratoria".

Norma ISO 2631-1 (1997) "Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part. 1: General requirements".

Norma ISO 2631/3 (1985) "Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part.3: Evaluation of exposure to whole-body z-axis vertical vibration in the frequency range 0,1 to 0,63 Hz".

Norma ISO 5008 (1979) "Agricultural wheeled tractors and field machinery. Measurement of whole-body vibration at the operator".

Norma UNI EN 1032 (1998) “Vibrazioni meccaniche – Esame di macchine mobili allo scopo di determinare l’entità delle vibrazioni trasmesse al corpo intero. Generalità”.

Norma UNI EN 30326-1 (1997) “Vibrazioni meccaniche –Metodo di laboratorio per la valutazione delle vibrazioni sui sedili dei veicoli. Requisiti di base”.

Norma UNI ISO 8002 (1992) “Vibrazioni meccaniche. Veicoli terrestri. Criteri di presentazione dei dati misurati”.

Norma ISO 8041 (1990) “Human response to vibration - Measuring instrumentation”.

Norma UNI EN 12096 “Vibrazioni meccaniche – Dichiarazione e verifica dei valori di emissione vibratoria”.

Per quanto concerne la valutazione del rischio per il sistema mano-braccio si applica la norma UNI EN ISO 5349-1:2004 (versione in lingua italiana della norma ISO 5349 del 1986, aggiornata nel 2001 dalle EN ISO 5349-1/2). Tale norma, definisce le “Linee guida per la misurazione e la valutazione dell'esposizione a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio” nelle condizioni reali di lavoro.

Viene stabilito un sistema di coordinate cartesiane con origine nell’estremità distale del terzo osso metacarpale (coordinate biodinamiche). Nella pratica il sistema di riferimento viene leggermente traslato e ruotato e l’origine viene posta a livello dell’impugnatura (coordinate basicentriche) (figura 1).

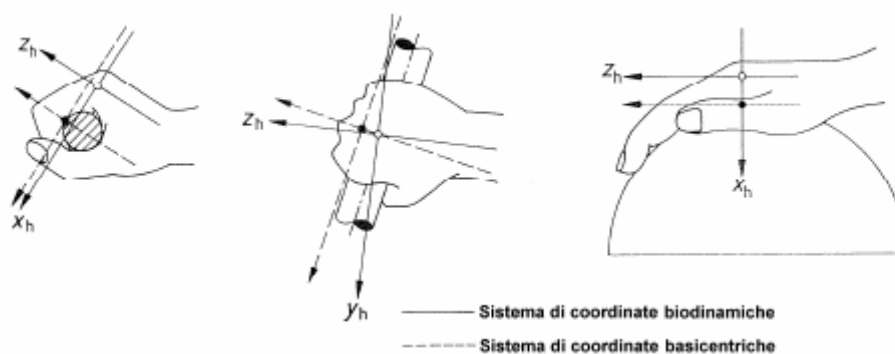


Figura 3.1: Sistemi di coordinate cartesiane (UNI EN ISO 5349-1)

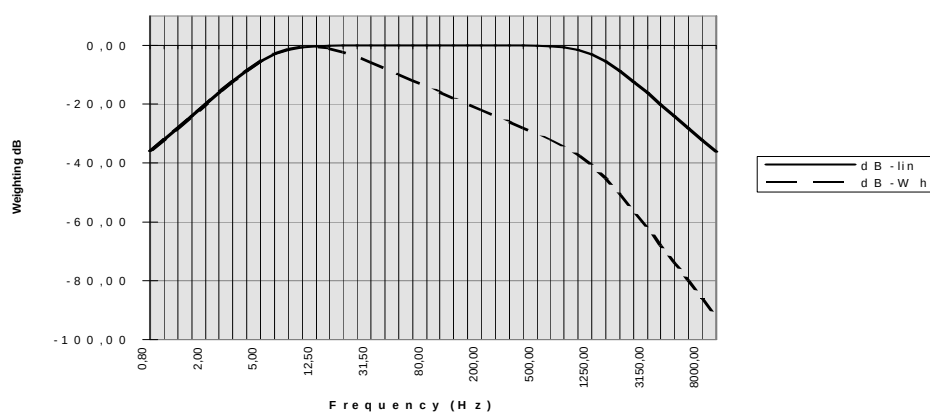


Fig. 3.2 - Definizione curve di ponderazione W_{lin} e W_h (UNI EN ISO 5349-1)

L'accelerometro, durante le misure, viene accoppiato rigidamente alla superficie vibrante che trasmette le vibrazioni alla mano, in corrispondenza del punto che presenta valori più elevati di accelerazione. L'impugnatura viene afferrata dal lavoratore con la forza abituale impiegata durante le lavorazioni.

Viene rilevato il valore efficace dell'accelerazione, espresso in m/s^2 .

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^{T_0} a^2(t) dt}{T_0}}$$

dove: T_0 = tempo di campionamento (s);

$a(t)$ = valore istantaneo dell'accelerazione (m/s²).

Tale valore di accelerazione viene rilevato per ciascuna banda di 1/3 d'ottava o di ottava compresa fra 5 e 1500 Hz (frequenze centrali comprese tra 6,3 e 1250 Hz nel caso delle bande di 1/3 d'ottava e tra 8 e 1000 Hz nel caso delle bande d'ottava). Si può così ricavare il valore dell'accelerazione ponderata in frequenza $a_{h,w}$ riferito a ciascun asse ($a_{h,w,x}$; $a_{h,w,y}$; $a_{h,w,z}$):

$$a_{h,w} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (K_j \cdot a_{h,j})^2}$$

dove: K_j = fattore di ponderazione relativo alla banda j ;

$a_{h,j}$ = accelerazione media efficace relativa alla banda j (m/s²);

n = numero di bande di ottava o di 1/3 di ottava.

I fattori di ponderazione K_j sono quelli definiti dalle norme UNI EN ISO 5349 e ISO 7505: le attenuazioni vanno da 0 dB (fattore di ponderazione = 1), per le bande di 1/3 d'ottava aventi frequenze nominali comprese tra 6,3 e 16 Hz, fino a 38 dB a 1250 Hz (fattore di ponderazione = 0,0125), con incrementi di 2 dB ogni terzo d'ottava a partire dai 20 Hz. Si considera perciò un massimo di

sensibilità del sistema mano-braccio per le frequenze comprese tra i 6,3 Hz e i 16 Hz.

La valutazione del livello di esposizione alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio si basa sul calcolo del valore dell'esposizione giornaliera normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, $A(8)$, calcolato come radice quadrata della somma dei quadrati (valore totale) dei valori quadratici medi delle accelerazioni ponderate in frequenza, determinati sui tre assi ortogonali ($a_{h,w,x}$; $a_{h,w,y}$; $a_{h,w,z}$) conformemente ai capitoli 4 e 5 e all'allegato A della norma ISO 5349-1 (2001).

L'espressione matematica per il calcolo di $A(8)$ è la seguente:

$$A(8) = A(w)_{sum} \sqrt{\frac{T_e}{8}}$$

dove: T_e è la durata complessiva della esposizione giornaliera a vibrazioni (h);

$$A(w)_{sum} = (a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2)^{0.5};$$

a_{hwx} , a_{hwy} ed a_{hwz} sono i valori r.m.s. delle accelerazioni ponderate in frequenza, relative al tempo T_e e misurate in base agli assi di riferimento ed alle curve di ponderazione definiti dallo standard ISO 5349-1.

Nel caso di lavoratori esposti a differenti valori di vibrazioni nell'arco della giornata, l'esposizione quotidiana a vibrazioni $A(8)$, in m/s^2 , si ottiene mediante l'espressione:

$$A(8) = \left[\frac{1}{8} \sum_{i=1}^N A^2(w)_{sum,i} T_i \right]^{1/2}$$

dove: $A(w)_{sum,i}$ è la somma vettoriale delle componenti sui tre assi dell'accelerazione

ponderata in frequenza relativa all'operazione i-esima;

Per la valutazione del rischio per il corpo intero si applica la norma ISO 2631-1/08.

Lo standard ISO 2631-1/08 "Vibrazioni meccaniche ed urti, valutazione dell'esposizione umana alle vibrazioni dell'intero corpo", definisce le metodiche standardizzate di misura delle vibrazioni trasmesse al corpo intero e fornisce alcune linee guida ai fini della valutazione degli effetti sulla salute.

Lo standard contiene indicazioni relative a tre aspetti legati agli effetti della vibrazione dell'intero corpo:

Conservazione dello stato di salute

Comfort e percezione

Cinetosi ("mal dei trasporti")

Per quanto riguarda la conservazione dello stato di salute viene chiaramente indicato che le indicazioni si riferiscono a vibrazioni comprese nell'intervallo di frequenza da 0,5 a 80 Hz, trasmesse al corpo di un soggetto seduto, attraverso la struttura del sedile. Gli effetti delle vibrazioni sullo stato di salute di una persona in postazione eretta o sdraiata non sono sufficientemente noti.

Gli effetti sulla salute che l'applicazione dello standard intende prevenire e controllare, sono quelli a carico del tratto lombare del rachide e del sistema nervoso collegato.

Non sono disponibili dati sufficientemente certi circa gli effetti a carico del sistema digestivo, del sistema genito-urinario e del sistema riproduttivo femminile, per poter definire una procedura di valutazione della vibrazione al livello qualitativo e quantitativo.

La valutazione della vibrazione si esprime sulla base del valore efficace dell'accelerazione ponderata rilevata sulla superficie su cui grava il soggetto esposto, espressa attraverso le componenti lungo le direzioni X, Y e Z, o il vettore somma risultante.

Si parla di sistema di riferimento basicentrico quando l'origine O coincide col punto di ingresso della vibrazione nel corpo umano; si parla di sistema di riferimento biocentrico quando l'origine viene fatta coincidere con un punto dell'organismo umano.

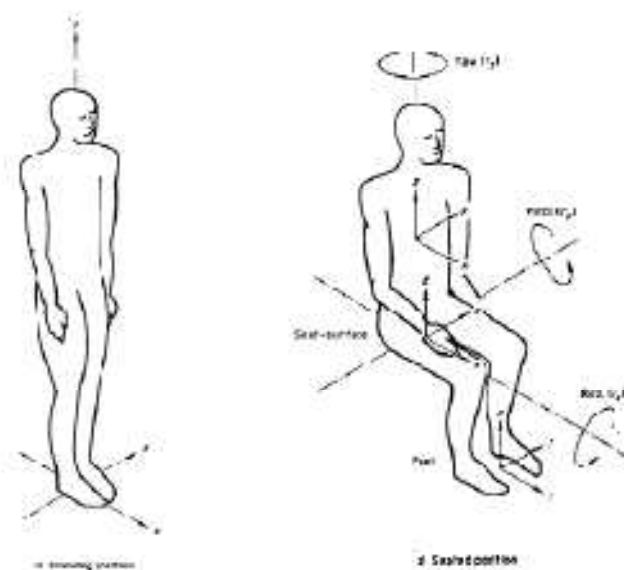


Figura 3.3: Sistema di riferimento basicentrico per la vibrazione dell'intero corpo (ISO 2631-1). L'orientamento degli assi non muta per la vibrazione dello schienale. Per soggetti in posizione sdraiata gli assi mantengono il medesimo orientamento rispetto al corpo.

La metodica valutativa del rischio da esposizione a vibrazioni dell'intero corpo, definita dalla norma ISO 2631-1 (2008), si basa sulla misura del valore quadratico medio (r.m.s.) dell'accelerazione ponderata in frequenza, espresso in m/s^2 .

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

Tale valore viene rilevato lungo ciascun asse di riferimento.

Lo standard ISO 2631-1 definisce specifici filtri di ponderazione in frequenza, per ciascuno dei tre assi di misura x, y, z, e per ciascuna delle differenti posture del corpo esposto a vibrazioni: eretta, seduta, supina.

I filtri di ponderazione W_k , W_d e W_c sono gli unici di interesse ai fini della valutazione del rischio per la salute dei soggetti esposti; in particolare lo standard prende in considerazione, tra gli effetti sulla salute, unicamente le patologie a carico della colonna vertebrale.

Il valore totale di vibrazioni a cui è esposto il corpo (a_v), espresso in m/s^2 , si determina, in accordo con lo standard, mediante la seguente relazione:

$$a_v = \left(k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

dove k_x e k_y assumono valore 1,4, nel caso di esposizioni in posizione seduta, e valore 1 per la posizione eretta, mentre il coefficiente k_z assume in entrambe i casi valore 1.

Occorre evidenziare che la formula sopra descritta si applica ai fini della valutazione del disagio prodotto da vibrazioni, mentre per quanto concerne la valutazione degli effetti sulla salute è da considerarsi unicamente l'esposizione lungo la componente assiale dominante, moltiplicata per l'appropriato fattore correttivo k_i .

Pertanto la valutazione del livello di esposizione alle vibrazioni si basa sul calcolo dell'esposizione giornaliera $A(8)$ espressa come l'accelerazione continua equivalente su 8 ore, calcolata come il più alto dei valori quadratici medi delle accelerazioni ponderate in frequenza, determinati sui tre assi ortogonali ($1,4a_{wx}$, $1,4a_{wy}$, $1a_{wz}$, per un lavoratore seduto o in piedi), conformemente ai capitoli 5, 6 e 7, all'allegato A e all'allegato B della norma ISO 2631-1 (2008).

L'esposizione a vibrazioni al corpo intero si può calcolare, analogamente all'esposizione a vibrazioni sul sistema manobraccio, mediante l'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro, convenzionalmente denotata con il simbolo $A(8)$. L'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro si calcola mediante la formula:

$$A(8) = a_v \sqrt{\frac{T_e}{8}}$$

dove: T_e : Durata complessiva giornaliera di esposizione a vibrazioni (ore)

a_v : Valore dell'accelerazione complessiva

Nel caso in cui il lavoratore sia esposto a differenti valori di vibrazioni, come nel caso di impiego di più mezzi meccanici nell'arco della giornata lavorativa, l'esposizione quotidiana a vibrazioni $A(8)$, in m/s^2 , si ottiene mediante l'espressione:

$$A(8) = \left[\frac{1}{8} \sum_{i=1}^N a_{vi}^2 T_i \right]^{\frac{1}{2}}$$

dove: a_{vi} : somma vettoriale dell'accelerazione ponderata in frequenza relativa

all'operazione i-esima

T_i : Tempo di esposizione relativo alla operazione i-esima (ore)

Per la valutazione delle vibrazioni in termini di effetti sulla salute, benessere e mal dei trasporti, va rilevato il valore quadratico medio (relativo all'intervallo di misura) dell'accelerazione ponderata in frequenza, l'accelerazione così misurata può essere denominata equivalente, $a_{eq,w}$.

La misura deve essere eseguita mediante uno strumento integratore dotato dei filtri di ponderazione come definito dalla norma ISO 8041.

In alternativa, è possibile impiegare un analizzatore digitale di frequenza in tempo reale, rilevare i valori quadratici medi delle componenti dell'accelerazione in bande di 1/3 di ottava, ponderare successivamente le componenti stesse moltiplicandole per i fattori

wi definiti dal filtro e sommare infine quadraticamente tutte le componenti ponderate. Rispetto al primo metodo di misura, quest'ultima procedura è senz'altro da preferire in quanto consente di individuare le componenti dominanti.

La relazione da impiegare per il calcolo dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza $a_{eq,w}$ è la seguente:

$$a_{eq,w} = \sqrt{\sum_{i=1} (a_{eq,w,i})^2}$$

dove:

$a_{eq,w,i}$ sono le componenti equivalenti ponderate in frequenza.

Nel caso di vibrazioni impulsive e di transienti vibratorii, la UNI ISO 2631-1 definisce una metodica valutativa addizionale, in quanto si ritiene che la metodica primaria potrebbe portare a sottostimare l'esposizione, in relazione agli effetti sulla salute e sul benessere.

Ai fini della valutazione di vibrazioni impulsive lo standard introduce la definizione del fattore di cresta, come il modulo del tasso del valore di picco istantaneo del segnale di accelerazione ponderata in frequenza al suo valore r.m.s. Il fattore di cresta può essere utilizzato per indicare se il metodo base di valutazione è adeguato per descrivere la severità delle vibrazioni in relazione ai suoi effetti sugli esseri umani. Per le vibrazioni con fattori di cresta minori o uguali a 9, il metodo di valutazione di base, sopra citato, è generalmente sufficiente. Nel caso in cui, però, il fattore di cresta così calcolato sia maggiore di 9, il metodo di valutazione di

base può sottostimare gli effetti delle vibrazioni (elevati fattori di cresta, urti occasionali, vibrazioni transienti), si dovrebbe, quindi, determinare anche una delle misure alternative descritte di seguito, *valori running r.m.s. costanti* o alla *quarta potenza del valore della dose delle vibrazioni*.

Il metodo di *valutazione dei valori r.m.s. costanti* tiene conto degli urti occasionali e delle vibrazioni transienti mediante l'uso di una costante di tempo di integrazione breve.

L'intensità di vibrazione è definita da un valore di vibrazione transienti massimo (Maximum Transient Vibration Value MTVV), indicato come tempo massimo di $a_w(t_0)$, definito da:

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0 - \tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

dove:

$a_w(t)$ è l'accelerazione istantanea ponderata in frequenza;

τ è il tempo di integrazione per la definizione della media;

t è il tempo (variabile di integrazione);

t_0 è il tempo di osservazione (tempo istantaneo).

La presente formula definisce un'integrazione lineare che può essere approssimata mediante un'integrazione esponenziale come definito nella ISO 8041:

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t_0} [a_w(t)]^2 \exp\left[\frac{t-t_0}{\tau}\right] dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

La differenza nel risultato è estremamente contenuta per l'applicazione agli urti di breve durata raffrontati a τ , e leggermente maggiore (fino al 30%) se applicato a urti e transienti di durata superiore.

Il massimo valore di vibrazione transiente, $MTVV$, è definito come:

$$MTVV = \max[a_w(t_0)]$$

ovvero la massima intensità di $a_w(t_0)$ letta durante il periodo di misurazione.

Si raccomanda di usare $\tau = 1$ s nella misurazione di $MTVV$ (corrispondente a una costante del tempo di integrazione, "slow", nei misuratori di livello acustico).

L'uso di questo metodo di valutazione addizionale è importante per il giudizio degli effetti delle vibrazioni sugli esseri umani quando si eccede il seguente rapporto per la valutazione della salute o del benessere:

$$MTVV/a_w = 1,5$$

Il metodo alla *quarta potenza della dose delle vibrazioni* è più sensibile ai picchi del metodo di valutazione di base usando la quarta potenza al posto della seconda potenza dell'andamento di accelerazione come base per la definizione della media. Il valore

alla quarta potenza della dose delle vibrazioni (Vibration Dose Value VDV) in metri al secondo alla potenza di 1,75 ($\text{ms}^{-1,75}$) o in radianti al secondo alla potenza di 1,75 ($\text{rad s}^{-1,75}$) è definito come:

$$\text{VDV} = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}}$$

dove:

$a_w(t)$ è l'accelerazione istantanea ponderata in frequenza;

T è la durata della misurazione.

L'esperienza suggerisce che l'uso di questo metodo di valutazione addizionale è importante per il giudizio degli effetti delle vibrazioni sugli esseri umani quando si eccede, anche in questo caso, il seguente rapporto per la valutazione della salute o del benessere:

$$\text{VDV}/a_w T^{1/4} = 1,75$$

Ai fini della presente tesi in questo paragrafo osserveremo, con maggiore attenzione, quelli che sono i metodi di valutazione delle vibrazioni trasmesse al corpo intero per la salute delle persone in normali condizioni, durante il viaggio, il lavoro e il tempo libero.

Per quanto riguarda i criteri di valutazione delle vibrazioni adottati per il benessere, la percezione e il mal dei trasporti la norma UNI ISO 2631 stabilisce la posizione dei rilievi, gli assi di misura su cui eseguire i rilievi, i filtri di ponderazione ed i fattori

moltiplicativi k (vedi Tabella 4), mentre per ulteriori dettagli si rimanda alla presente norma.

In particolare, per quanto riguarda la salute, la valutazione delle vibrazioni viene applicata principalmente alle persone sedute, dato che gli effetti delle vibrazioni sulla salute delle persone erette, recline o distese sono ignoti.

Quando si parla di salute la valutazione delle vibrazioni è applicabile alle vibrazioni comprese nell'intervallo di frequenza da 0,5 Hz a 80 Hz che è trasmesso al corpo seduto nel suo insieme attraverso il sedile.

Per valutare le vibrazioni, in termini di salute, l'accelerazione quadratica media (r.m.s.) ponderata deve essere determinata per ciascun asse (x , y e z) di vibrazione traslatoria sulla superficie che supporta la persona.

La valutazione degli effetti di una vibrazione sulla salute deve essere realizzata in modo indipendente su ciascun asse. La valutazione delle vibrazioni deve essere effettuata in relazione alla massima accelerazione ponderata in frequenza determinata in qualsiasi asse sul sedile. Quando le vibrazioni su due o più assi sono comparabili, spesso si usa la somma vettoriale per stimare il rischio per la salute.

Le ponderazioni in frequenza devono essere applicate come segue per le persone sedute su sedile con i fattori di moltiplicazione k indicati:

- Asse x : W_d , $k = 1,4$

- Asse y : $Wd, k = 1,4$
- Asse z : $Wk, k = 1$

Fattori di incertezza

1) Incertezza nella determinazione dei tempi di esposizione. Essa è associata principalmente ai seguenti fattori.

a) Nel caso di valutazione diretta da parte del tecnico competente: errore nella misura diretta della durata del ciclo lavorativo con esposizione a vibrazioni e/o nella determinazione del numero di cicli lavorativi/giorno.

b) Nel caso di dato acquisito da dichiarazioni dei lavoratori: errore nella stima del tempo di impiego dell'utensile vibrante da parte del lavoratore. Ciò è generalmente dovuto alla confusione che avviene comunemente tra tempo complessivo di impiego dell'utensile da parte del lavoratore e tempo effettivo di esposizione alle vibrazioni prodotte dall'utensile.

2) Incertezza nella misura delle accelerazioni. Quest'ultima è dovuta principalmente ai seguenti fattori.

a) Errori dovuti al sistema di acquisizione (fissaggio accelerometri, interferenze elettriche, calibrazione, peso e posizionamento accelerometri). Tali errori (sistematici) di misura possono essere minimizzati, e resi trascurabili rispetto agli altri di seguito discussi, mediante la scelta di un'appropriata tecnica di misura e l'adozione di protocolli di calibrazione conformi agli standard internazionali.

b) Errori dovuti alle fluttuazioni casuali dei parametri fisici in gioco (temperatura, umidità, stabilità dell'alimentazione dell'attrezzo, omogeneità del materiale lavorato, ecc.). Tali errori possono essere minimizzati aumentando la statistica dei campionamenti. La stima dell'errore casuale di misura è ottenuta mediante la deviazione standard di almeno tre misure effettuate nelle identiche condizioni sperimentali.

c) Variazioni nelle modalità di impiego da parte di differenti operatori: tale fattore è da prendere in considerazione quando l'esposizione è valutata per fasi lavorative omogenee e non per singolo lavoratore. In tal caso bisognerà ripetere le misurazioni nelle stesse condizioni operative, con almeno tre operatori di differenti caratteristiche antropometriche e/o esperienza professionale.

d) Variazioni nelle condizioni di manutenzione dell'utensile (es. sbilanciamento del disco nel caso di smerigliatrici, usura di utensili, ecc.).

e) Variazioni nelle caratteristiche fisiche del materiale lavorato (durezza, ruvidità, spessore, ecc.).

L'errore complessivo nel calcolo di $A(8)$, considerati i fattori di incertezza cui ai punti 1) e 2) è generalmente elevato, dell'ordine del 20% ÷ 40%.

Conseguentemente i valori $A(8)$ saranno dichiarati con al massimo una cifra significativa decimale, o arrotondati per eccesso di 0.5 m/s².

3.1.4 Strumenti per la misura delle vibrazioni

Più strumenti sono stati utilizzati in campo, uno dei quali è il Larson Davis HVM – 100, conforme al D.Lgs. 81/2008 titolo VIII capo III (Esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da vibrazioni meccaniche), attuazione della Direttiva 2002/44/CE.

Il misuratore di vibrazioni triassiale si presenta come uno strumento versatile per le misure di esposizione alle vibrazioni, sia del corpo intero (esposizione da mezzi di trasporto e movimentazione) che del segmento mano-braccio (esposizione da uso di utensili vibranti). Nei 350 grammi dello strumento vi è racchiuso quanto prescritto dalle norme ISO:

ISO 8041: 1990, "Strumentazione di misura per le vibrazioni al corpo umano";

ISO 2631-1: 1997, "Corpo intero";

ISO 5349-1 e 2: 2001, "Mano braccio";

ISO 10819, "Vibrazioni al sistema mano-braccio, metodo per la misurazione e la valutazione della trasmissibilità delle vibrazioni dai guanti al palmo della mano";

ISO 2361-2: 2003, "Vibrazioni meccaniche ed urto";

UNI 9614: 1990, "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";

UNI 11048, "Disturbo negli edifici".

In conformità alla ISO 8041, l'HVM-100 consente di rilevare direttamente, oltre a tutti i valori globali: Arms, Amin, Amax, Aeq, Amp, Peak, Aeq1, Aeq2, Aeq4, Aeq8, anche il valore di picco pesato e il corrispondente fattore di cresta CF, che unitamente ai valori richiesti dei metodi addizionali quali il VDV (Vibration Dose Value) ed l'MTVV (Maximum Transient Vibration Value), risultano essere elaborazioni fornite solo da questa specifica strumentazione.

Il misuratore di vibrazioni misura contemporaneamente le vibrazioni su i tre assi ortogonali X, Y, Z oltre al relativo vettore somma (SUM). Inoltre per ciascun asse può essere memorizzato il profilo temporale del livello di vibrazione (time history) con velocità di acquisizione selezionabile tra 1 secondo ed un minuto e per durate comprese tra 6 ore e 200 ore. Per misure di controllo, possono essere memorizzate fino a 100 time history da 240 campioni, ciascuna con i rilievi sugli assi X, Y, Z e SUM, inclusi tutti i valori complessivi relativi ad ogni singola misura. Con il modello Larson Davis HVM 100, tutte le procedure sono guidate; basta richiamare il set-up per la modalità di misura desiderata "corpo intero" o "mano-braccio", fissare l'accelerometro triassiale sul dispositivo vibrante ed avviare la misura[26].

Per ciò che concerne le misurazioni al sistema mano-braccio, gli accelerometri devono essere fissati sull'impugnatura dell'utensile, in stretta prossimità della posizione assunta dalle mani dell'operatore nelle ordinarie condizioni operative. Essi devono essere fissati in maniera che la loro presenza non influenzi le modalità di prensione e lavorazione normalmente adottate dall'operatore. Le modalità di fissaggio degli accelerometri sono

molteplici e vanno dall'utilizzo della colla all'utilizzo di fascette metalliche o plastica, da specifici adattatori per l'impugnatura (che consentono l'impiego dei filtri meccanici) al fissaggio con le viti (meno pratico).

Gli accelerometri impiegati per la misura delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio sono stati saldamente impugnati dagli operatori tramite un apposito adattatore a "T". Questo ha consentito di mantenere il trasduttore solidale alla mano del lavoratore e, senza ostacolarne i movimenti. Inoltre, i cavi degli accelerometri, al fine di evitare disturbi nel segnale di rilevamento o rischi di rottura, sono stati fissati in prossimità del trasduttore mediante carta gommata [26].

Per quanto riguarda il corpo intero, le misure vanno effettuate sulla superficie di contatto tra il corpo e la sorgente di vibrazioni. Le specifiche dell'accelerometro di uso comune per le misure di vibrazioni trasmesse al corpo e del suo adattatore sono riportate nello standard ISO 10326-1. Esso è un disco rigido di gomma al cui interno è fissato un accelerometro triassiale che viene fissato tramite nastro adesivo sul sedile del mezzo di guida (nel caso di soggetto seduto) o sul pavimento (nel caso di soggetto in piedi).

In ogni caso, i cavi degli accelerometri non devono essere forzati, specialmente nelle immediate vicinanze del trasduttore, e non devono essere lasciati liberi di oscillare, per evitare artefatti nel segnale rilevato (rumore triboelettrico) o rischi rottura. E' pertanto necessario fissare i cavi in prossimità del trasduttore mediante nastro adesivo [27].

Accelerometro ICP triassiale per la misura mano braccio (PCB)

modello: SEN020

Adattatore per accelerometro triassiale per impugnatura mano braccio (infradito) (Larson Davis)

modello: ADP060

Adattatore per mini accelerometro triassiale per fissaggio diretto sull'impugnatura dell'utensile tramite fascetta (Larson Davis)

modello: ADP062

Accelerometro ICP mod. Seat Pad per la misura corpo intero (PCB)

modello: 356B41

Calibratore (Brüel & Kjær)

Modello: 4294

Matricola: 2472490

Per l'elaborazione dei dati:

- Software

Larson Davis Blaze 5.08

(non soggetto a taratura)

Il secondo strumento utilizzato è stato il *SoundBook*, un sistema di multianalisi real-time, un registratore audio digitale, una

videocamera e un fonometro a norma IEC classe 1 con 8 canali di misura.

Principali caratteristiche:

soluzione hardware di tipo multicanale e multianalisi con contemporanea capacità di registrazione sincronizzata di segnali audio e riprese video;

conforme allo standard IEC 651 ed IEC 804 Tipo 1, IEC 61672 Classe 1;

filtri digitali in Real Time da 0,04 Hz fino a 40 kHz conformi a IEC 1260 classe 0;

Ingressi Lemo (microfonici con polarizzazione 200 V), microfoni prepolarizzati, ICP e diretti;

funzionamento 'Multianalisi' con valori fonometrici, time history, oscillogrammi, analisi in frequenza in 1/3 d'ottava, (oppure 1/12, 1/24 d'ottava), analisi statistica ed analisi FFT, tutte in contemporanea, in real-time ed in parallelo su ogni canale;

filtri di pesatura Z, A e C e costanti di tempo Fast, Slow ed Impulse in parallelo. Contemporaneo rilievo del valore di picco pesato Z, A e C;

Hard-Disk da 60 Gbyte, supporto memorie Compact Flash, USB Memory Stick, hard disk esterni e totale controllo 'wireless';

controllo della calibrazione per microfoni ed accelerometri con riconoscimento automatico del livello, della frequenza e della

stabilità del segnale di calibrazione, storia delle calibrazioni, gestione archivio trasduttori;

schermo da 10,4" TFT (1024x768) ad alto contrasto, touch-screen operativo in modalità 'Tablet PC'.

Il software operativo di *SoundBook* è "*Samurai*" questo provvede al controllo dell'hardware di analisi durante la fase di misura, gestisce l'archivio dei trasduttori e dei set-up di misura, integra le funzioni di analisi statistica e di analisi FFT, provvede all'automazione delle procedure di calibrazione e di verifica di calibrazione, visualizza le misure con modalità a pannelli (splitter windows) utilizzando numerose modalità grafiche predefinite e facilmente personalizzabili.

Controlla le interazioni delle acquisizioni in multianalisi, memorizza i risultati su HD o altro tipo di memoria rimovibile, esegue le funzioni di 'Playback' con riproduzione audio in simultanea alle analisi, esporta le misure direttamente verso fogli elettronici tipo *Excel* o applicativi dedicati come 'Noise & Vibration Works', esporta i file audio nel formato *wav* o anche in formato testo, invia rapporti completi via e-mail.

L'accelerometro triassiale *Brüel & Kjær tipo 4322* posto a contatto della superficie vibrante, trasforma l'energia vibrazionale (di tipo meccanico) in un segnale in carica elettrica.

Le caratteristiche di questo trasduttore sono:

massa di 350 g;

sensibilità a 159,2 Hz e 23°C: asse x 1,001 pC/ms⁻²;

asse y 1,005 pC/ms-2;

asse z 0,987 pC/ms-2;

temperatura di impiego da -10°C a +70°C.

Particolare attenzione è stata data al fissaggio dell'accelerometro sul sedile di guida assicurandosi che gli assi fossero direzionati in conformità alla normativa UNI ISO 2631-1:2008, e quindi nel modo seguente:

- *asse X, longitudinale (dorso – petto);*
- *asse Y, trasversale (lato destro – lato sinistro);*
- *asse Z, verticale (bacino – testa).*

L'accelerometro triassiale *B&K tipo 4321* posto a contatto della superficie vibrante, trasforma l'energia vibrazionale (di tipo meccanico) in un segnale in carica elettrica.

Le caratteristiche di questo trasduttore (n. serie 1701193) (Figura 39) sono:

massa di 55 g;

sensibilità a 159,2 Hz e 24°C: asse x 0,997 pC/ms-2;

asse y 0,988 pC/ms-2;

asse z 0,999 pC/ms-2;

temperatura di impiego da -74°C a +250°C.

Anche in questo caso è stata posta particolare attenzione al fissaggio dell'accelerometro sul telaio di ancoraggio del sedile, o

pianale della cabina, assicurandosi che gli assi fossero direzionati, sempre, in conformità alla normativa UNI ISO 2631-1:2008.

Il Calibratore *PCB tipo 394C06* è caratterizzato da un sistema vibrante ad eccitazione elettromagnetica, con un accelerometro di tipo piezoelettrico per la servo-regolazione dell'ampiezza di vibrazione; fornisce un segnale campione di $9,835 \text{ ms}^{-2}$ (r.m.s.), alla frequenza di 159,2 Hz.

Gli accelerometri sono trasduttori che convertono l'accelerazione alla quale sono sottoposti in un segnale elettrico di tensione o corrente proporzionale al valore della accelerazione stessa. Esistono diversi tipi di accelerometri a seconda del principio fisico sfruttato; fra i più utilizzati possiamo ricordare:

accelerometri con vibrometro;

piezo-accelerometri;

accelerometri ICP (Integrated Circuit Piezoelectric);

servo-accelerometri.

I più utilizzati sono i piezo-accelerometri in cui l'elemento elastico e sensibile è una lamina di quarzo. Il quarzo è un materiale piezoelettrico che, se sollecitato secondo una particolare direzione (asse elettrico), crea una distribuzione di carica sulle due facce opposte dell'elemento di quarzo ($\sim 2 \text{ pC/N}$).

La quantità di carica è proporzionale alla forza agente sull'elemento di quarzo e condizionando con opportuni amplificatori questa carica elettrica si ottiene appunto un segnale

elettrico proporzionale all'accelerazione a cui è sottoposto il trasduttore.

L'ampio range di sensibilità alle vibrazioni degli accelerometri piezoelettrici permette loro di essere in grado di misurare accelerazioni di tipo sinusoidale, di tipo "random" ed infine di tipo impulsivo. La sensibilità di un normale accelerometro per applicazioni generiche si attesta intorno ai 100 mVg⁻¹; cioè il trasduttore è in grado di fornire una tensione alternata pari a 100 mV efficaci se esso è sollecitato con una accelerazione pari a quella di gravità ($1\text{ g} = 9,81\text{ ms}^{-2}$) ad una opportuna frequenza. Mentre quella relativa ad un accelerometro per prove di shock si attesta intorno a 1 mVg⁻¹. La risposta in frequenza tipica di accelerometri di tipo piezoelettrico varia al variare delle dimensioni e quindi della massa e può variare da qualche Hz fino a 40 kHz a seconda delle configurazioni[11].

3.2 Rumore

Numerose sono le ricerche che mostrano le problematiche correlate al rischio rumore. Nonostante le ricerche, l'ipoacusia da rumore rimane una delle principali malattie denunciate all'INAIL. I dati ci indicano che, in agricoltura, l'ipoacusia è passata dai 279 casi manifestati del 2007 ai 615 del 2011, di queste, 249 sono quelle denunciate[1].

3.2.1 Cenni di acustica

Comunemente s'intende per rumore un suono che provoca una sensazione sgradevole, fastidiosa o intollerabile [28].

Il suono è una perturbazione meccanica che si propaga in un mezzo elastico (gas, liquido, solido) e che è in grado di eccitare il senso dell'udito.

Un corpo che vibra provoca nell'aria oscillazioni della pressione intorno al valore della pressione atmosferica, compressioni e rarefazioni, che si propagano come onde progressive nel mezzo e giungono all'orecchio producendo la sensazione sonora.

Nel caso dell'orecchio la superficie ricevente è il timpano costituito essenzialmente da una membrana le cui vibrazioni vengono trasmesse al cervello che le traduce in "sensazione uditiva".

Si definisce pressione sonora istantanea $p(t)$ la differenza indotta dalla perturbazione sonora tra la pressione totale istantanea e il valore della pressione statica all'equilibrio.

Si è parlato di variazioni di pressione del mezzo elastico come presupposto fondamentale per la formazione, la trasmissione del suono e la sensazione uditiva. Ora, il numero di tali variazioni nel tempo rappresenta quella grandezza fondamentale per caratterizzare qualitativamente un suono che è la frequenza f .

$$f = \frac{1}{T}$$

Essa è l'inverso del periodo T , intendendo con quest'ultimo la durata di un ciclo, ossia l'intervallo di tempo impiegato dall'onda sonora per ripresentarsi allo stesso stato.

La frequenza viene talvolta comunemente indicata con il termine di tono od altezza. Si definisce come tono puro un suono caratterizzato da un'oscillazione sinusoidale avente un'unica frequenza. Il suono, nella sua accezione strettamente fisica, è invece composto da un tono puro di base e da toni armonici, i quali sono dei multipli interi della frequenza di base e determinano il timbro.

La maggior parte di ciò che udiamo è il risultato di suoni non periodici nel tempo e composti da più frequenze disarmoniche, le quali non si trovano tra loro in rapporto intero (cascata d'acqua, martello pneumatico); in tal caso si parla di rumore o, ancor più precisamente, di rumore a banda larga. È, tipicamente, il rumore prodotto da macchine ed attrezzature industriali.

Altro parametro importante per la definizione della "qualità" del suono è la lunghezza d'onda λ . Essa è fisicamente definita come la

distanza, lungo la direzione di propagazione di un'onda periodica, fra due punti successivi per i quali, ad un dato istante, la fase è la stessa. Più semplicemente, la lunghezza d'onda è la distanza che intercorre tra due stati uguali di un'onda sonora (ad es. tra le cuspidi superiori).

Detta grandezza è legata alla frequenza ed al periodo, ovvero alla velocità c di propagazione dell'onda stessa nel mezzo.

La velocità di propagazione di un'onda sonora è funzione delle caratteristiche del mezzo stesso e della sua temperatura, mentre è indipendente dalla frequenza di oscillazione.

La “quantità” del suono è invece espressa dall'amplitudine (ampiezza) delle variazioni di pressione.

L'orecchio umano sano è in grado di percepire la pressione acustica entro un campo molto vasto e che potremmo considerare compreso tra i $20 \mu\text{Pa}$ ed i 20 Pa [26]. Tali estremi corrispondono alla soglia di udibilità ed a quella di dolore, mentre il rischio di rottura del timpano si ha per pressioni superiori a 200 Pa .

Volendo misurare il suono in Pascal ci si ritroverebbe costretti a lavorare, dunque, con numeri di molte cifre e che male rappresenterebbero, da un punto di vista numerico, l'entità del rumore stesso.

Per ovviare a tale inconveniente è stato pertanto introdotto il concetto di livello di pressione sonora (L_p), la cui unità di misura è il decibel (dB). Esso è definito come il logaritmo del rapporto (al

quadrato) tra la pressione misurata ed una pressione di riferimento (20 μPa).

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2}$$

dove:

p è la pressione acustica misurata;

p_0 è la pressione acustica di riferimento.

Il decibel non è un'unità di misura, ma è ADIMENSIONALE. La scala dei decibel non è lineare, per cui non si possono sommare i livelli sonori in modo aritmetico ma occorre ricorrere ai logaritmi.

Per descrivere l'andamento del rumore nel tempo si usa distinguere tra rumore stazionario, intermittente ed impulsivo.

Il primo presenta un andamento costante del livello nel tempo, salvo piccole fluttuazioni, ed anche la composizione delle frequenze si mostra costante (ad esempio: un motore elettrico in funzione a vuoto).

Nel rumore intermittente il livello varia in maniera significativa, secondo fasi facilmente distinguibili, relative, ad esempio, alle diverse condizioni di funzionamento di una macchina; in tal caso anche le frequenze caratteristiche risultano variabili.

Un rumore impulsivo è, infine, un fenomeno di brevissima durata (millesimi di secondo) caratterizzato da un picco di pressione acustica (esplosione, colpo di un'arma da fuoco).

In natura, le variazioni della pressione acustica sono frequentemente di entità variabile nel tempo. Pertanto, al fine di ottenere un valore rappresentativo del contenuto energetico “medio” della pressione, quest’ultima viene comunemente espressa in termini di livello equivalente continuo ($L_{eq,Te}$), che altro non è se non il livello di pressione acustica integrato nel tempo (T_e).

L’esposizione a rumore in genere varia nel tempo. Il soggetto si può spostare tra ambienti con diversa rumorosità, o i macchinari stessi possono fornire livelli di rumore che cambiano nel tempo. È pertanto importante definire un livello di rumore equivalente L_{eqA} , pari alla media temporale dell’intensità sonora percepita:

$$L_{eqA} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt$$

dove:

$p(t)$ è il livello istantaneo di pressione misurato secondo la scala di ponderazione A;

T è il tempo di esposizione;

p_0 il livello di pressione di riferimento.

L’esposizione al rumore può provocare danni ad uno o più dei componenti dell’orecchio (rottura del timpano, usura delle articolazioni degli ossicini, usura o rottura delle cellule ciliate). L’organo dell’udito dell’uomo è capace di percepire suoni aventi frequenze comprese fra circa 20 Hz e 20 kHz. Al di sotto ed al di

sopra di questi valori si hanno i cosiddetti infrasuoni ed ultrasuoni.

Quindi possiamo definire:

- *infrasuoni*: oscillazioni di pressione con frequenze inferiori a 20 Hz, quindi non udibili dall'orecchio umano;
- *suoni*: oscillazioni di pressione con frequenze comprese tra 20 Hz e 20 kHz;
- *ultrasuoni*: oscillazioni di pressione con frequenze superiori a 20 kHz, quindi non udibili dall'orecchio umano.

L'orecchio presenta tuttavia una differente sensibilità in funzione delle frequenze che caratterizzano il rumore.

Un suono di un certo livello con frequenza di 1000 Hz, per esempio, non produce lo stesso effetto di un suono, del medesimo livello, con frequenza di 50 Hz. A tale riguardo sono state realizzate delle curve di isofonia (egual sensazione sonora) le quali consentono di determinare il livello di pressione acustica che, al variare della frequenza, dà luogo alla stessa sensazione soggettiva.

Al fine di valutare da un punto di vista bio-fisico un determinato rumore, anche in funzione dei danni che può provocare all'apparato uditivo, la pressione viene "ponderata", cioè "filtrata" in funzione della propria frequenza, secondo "filtri" specifici e standardizzati i quali riproducono, grossomodo, l'andamento delle

curve di isofonia. Si viene così a definire il livello equivalente continuo in curva di ponderazione.

Nell'ambito dello spettro dell'udibile le singole pressioni che caratterizzano un rumore in banda larga vengono "trattate" (attenuate o amplificate) secondo un certo filtro per essere quindi "sommate" in modo tale da fornire un valore globale del livello di rumore.

Uno dei filtri più comunemente adottati nelle misure di rumore all'orecchio dell'esposto è quello A, il quale è in grado di riprodurre assai fedelmente la trasmissione acustica dell'orecchio umano per bassi livelli, ma filtri di ponderazione specifici possono essere impiegati per medi ed elevati livelli (B e C), sebbene questi ultimi non siano correlati in maniera soddisfacente con le prove di sensazione soggettiva. Altri filtri vengono usati per rumori specifici (rumore prodotto dagli aerei).

Adottando la curva A si viene a definire il livello equivalente continuo in curva di ponderazione A ($L_{Aeq,Te}$), la cui unità di misura è il dB(A).

I fattori di correzione penalizzano i contributi energetici alle basse frequenze, dove l'orecchio è meno sensibile, mentre lasciano invariato, o aumentano di poco, il contributo alle frequenze medio – alte.

Se il rumore anziché essere considerato come livello sonoro variabile con continuità nel tempo è descritto come successione di differenti livelli associati ad intervalli di tempo definiti, il livello

equivalente può essere ottenuto “sommando” i differenti livelli (ponderati o meno) nel tempo.

Nell’ambito di una giornata lavorativa la durata dell’esposizione al rumore varia naturalmente da lavoratore a lavoratore. Al fine di classificare l’esposizione individuale e pertanto il rischio conseguente secondo un criterio standardizzato, a livello comunitario (ISO, CEE) il $L_{Aeq,Te}$ è stato riferito a otto ore di esposizione quotidiana, venendo così a definire l’esposizione quotidiana personale di un lavoratore al rumore ($L_{EP,d}$). L’espressione matematica del $L_{EP,d}$ comporta una diminuzione del suo valore pari a 3 dB(A) per ogni dimezzamento del tempo di esposizione [11].

Altro importante parametro assunto come indicatore del rischio di danno uditivo è il valore massimo (picco) della pressione acustica istantanea non ponderata raggiunto nel corso dell’esposizione. Il picco di pressione, pur avendo carattere transitorio, può infatti determinare eventi traumatici a carico del timpano e finanche la sua rottura.

Quando si vuole conoscere con dettaglio il livello della pressione acustica di un rumore in funzione della frequenza si ricorre all’analisi in frequenza suddividendo la gamma da esaminare (ad es. tra 20 Hz e 20 kHz) in una successione di “contenitori” (bande), caratterizzati da un estremo inferiore ed un estremo superiore di frequenza, all’interno dei quali ricade ogni pressione sonora avente una frequenza compresa fra detti estremi. La banda di riferimento universalmente adottata copre l’ampiezza di un’ottava. Ciascuna

banda d'ottava ha un proprio centro di frequenza che individua la banda stessa. Se si vuole un'analisi più dettagliata si può operare per frazioni di bande d'ottava ($1/3$ d'ottava, $1/12$ d'ottava ecc.). In tal caso il "contenitore" si restringe progressivamente al crescere della frammentazione della banda.

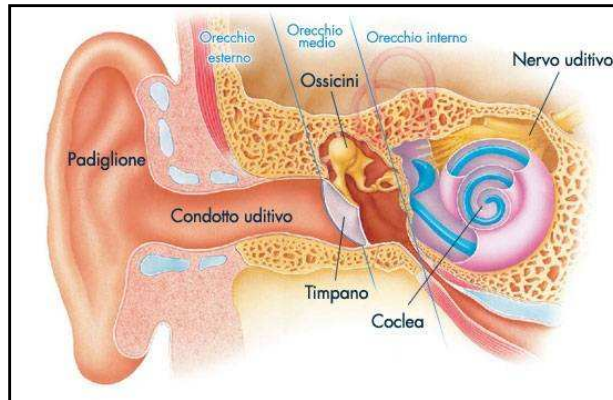
3.2.2 Effetti del rumore sul corpo umano

L'organo dell'udito viene anatomicamente suddiviso in tre regioni: esterna, media ed interna. La prima comprende il padiglione auricolare, atto a raccogliere l'onda di pressione, ed il meato acustico, lungo il quale l'onda stessa si incanala per raggiungere il timpano, che segna il confine con la parte media dell'orecchio.

La membrana timpanica è a sua volta collegata ad una catena di tre ossicini (martello, incudine, staffa), dislocati nella parte centrale i quali, fungendo da leve, trasferiscono le vibrazioni prodotte dal timpano alla regione interna dell'orecchio, costituita dai canali semicircolari, sede dell'equilibrio, e dalla coclea. Questa ultima ha forma di chiocciola, è riempita di liquido e separata in due parti dalla membrana basilare.

Sotto la stimolazione della staffa, ultimo dei tre ossicini dell'orecchio medio, il liquido cocleare sollecita la membrana basilare sulla quale si trovano migliaia di cellule sensoriali (cellule del Corti). Dette cellule trasformano le variazioni di pressione in impulsi nervosi, che vengono, quindi, trasferiti al cervello [11].

Figura 3.4: Schema anatomico dell'organo dell'udito.



Il suono è generalmente definito come una qualsiasi variazione periodica della pressione dell'aria, generata da un qualunque elemento vibrante (ad esempio un diapason), che l'orecchio umano, sensibile alle suddette variazioni di pressione, possa percepire (figura

Il presupposto fondamentale per la formazione, la trasmissione del suono e la sensazione uditiva è rappresentato dalle variazioni di pressione del mezzo elastico. Il numero di tali variazioni nel tempo rappresenta la grandezza fondamentale per caratterizzare qualitativamente un suono: la frequenza (f). Essa è l'inverso del periodo (T), intendendo con quest'ultimo la durata di un ciclo, ossia l'intervallo di tempo impiegato dall'onda sonora per ripresentarsi allo stesso stato. La lunghezza d'onda (λ) espressa in metri indica la distanza tra due creste d'onda successive. Anche in questo caso quindi frequenza e lunghezza d'onda sono inversamente proporzionali. La "quantità" del suono è infine espressa dall'ampiezza (D) delle variazioni di pressione.

La frequenza viene talvolta comunemente indicata con il termine di tono o altezza. Si definisce come tono puro un suono caratterizzato da un'oscillazione sinusoidale avente un'unica frequenza.

Il suono, nella sua accezione strettamente fisica, è invece composto da un tono puro di base e da toni armonici, i quali sono dei multipli interi della frequenza di base e determinano il timbro. La forma d'onda di un suono armonico è composta pertanto dalla sovrapposizione (cioè dalla somma algebrica) delle forme d'onda dell'armonica fondamentale e di quelle di altri toni puri correlati ad esso armonicamente.

La maggior parte di ciò che noi udiamo invece è il risultato di suoni non periodici nel tempo e composti da più frequenze disarmoniche, le quali non si trovano tra loro in rapporto intero (cascata d'acqua, martello pneumatico), in tal caso si parla di rumore a banda larga; è tipicamente il rumore prodotto da macchine ed attrezzature industriali.

Naturalmente nella vita quotidiana l'uomo è sottoposto a numerose tipologie di suono, che può essere fonte di piacere o di segnalazione, musica, comunicazione verbale, avvisi acustici, ma che può anche generare un fastidio. In questo caso il suono, che risulta indesiderato, viene comunemente chiamato "rumore".

È facile comprendere come il disturbo provocato dal rumore sia in molti casi legato al giudizio soggettivo di chi lo subisce ed allo stesso tempo influenzato dall'ambiente e dalla situazione in cui esso venga udito. Per questo motivo molto spesso anche suoni non elevati sono fastidiosi (graffio di un disco, pavimento che scricchiola, gocce che cadono). Lo stesso vale anche per il cosiddetto rumore ambientale, prodotto ad esempio dalle automobili e dagli elettrodomestici, con cui l'uomo ha a che fare

tutti i giorni e che pur non provocando danni all'apparato uditivo, deve essere comunque tenuto sotto controllo poiché determina una riduzione della qualità della nostra vita.

Al rumore ambientale sopra citato va poi aggiunto anche quello cui l'uomo è inevitabilmente esposto durante lo svolgimento di determinate attività lavorative che richiedono l'impiego di macchine o attrezzi in grado di generare elevati livelli di rumore. In questo caso l'esposizione prolungata del lavoratore può determinare la graduale perdita dell'udito ed il rumore quindi non è più considerato fastidioso, ma dannoso.

In alcuni casi infine il suono può anche essere distruttivo, ossia provocare un danno immediato ed irreparabile a persone o cose: un'esplosione ad esempio genera un'onda sonora di tale intensità da poter rompere i vetri di una finestra o danneggiare irreparabilmente il timpano all'interno dell'orecchio.

Lo studio di tutti i campi che caratterizzano il suono, dalla sua generazione alla propagazione e ricezione, riferiti all'uomo, ai macchinari ed agli strumenti di misura, prende il nome di acustica.

L'esposizione al rumore in qualsiasi ambiente di lavoro e quindi anche in agricoltura rappresenta uno dei principali fattori di rischio per la salute dei lavoratori. Ciò è dovuto ai gravi ed in alcuni casi insospettabili effetti che sono stati riscontrati su individui esposti ad elevati livelli di rumore, durante lo svolgimento della attività lavorativa. Tra questi effetti, l'ipoacusia, cioè la diminuzione, fino alla perdita, della capacità uditiva, è la malattia professionale più nota. L'ipoacusia da rumore si presenta

in seguito ad una serie di alterazioni che si verificano a carico delle strutture neuro – sensoriali e dell'orecchio interno. Più precisamente, la sede principale in cui si verificano i danni è l'Organo del Corti, situato nella coclea. In esso sono presenti due tipi di cellule acustiche ciliate: quelle interne, denominate con la sigla IHC e quelle esterne indicate con OHC. Le cellule acustiche ciliate, in numero di circa 20.000, hanno il compito di trasdurre l'impulso meccanico arrivato attraverso la staffa (energia cinetica) in stimolo elettrico (energia elettro – chimica). Le cellule acustiche sono in contatto con le cellule nervose del nervo acustico, che trasmette l'impulso elettro – chimico all'area acustica della corteccia celebrale ed al lobo temporale, dove viene decodificato e si ha la percezione del suono, analizzato nelle sue componenti frequenziali. Gran parte dei danni acustici determinati dall'esposizione al rumore è causata da un cattivo funzionamento dei suddetti meccanismi. L'esposizione a rumore determina un danno a livello della sinapsi fra recettore e via nervosa afferente a livello delle IHC ed un danno alle OHC. Il danno alla sinapsi della via afferente può essere reversibile mentre, se nelle OHC si instaura la morte cellulare, il danno diviene irreversibile. Inoltre, a livello delle sinapsi fra IHC e via afferente, i meccanismi riparativi non possono instaurarsi se l'esposizione a rumore è continuativa. Anche esposizioni di carattere impulsivo prolungate nel tempo possono comportare danni irreversibili, che si manifestano con un innalzamento permanente della soglia uditiva. Il rumore ad intensità elevata inoltre può essere causa di effetti anche al sistema vestibolare. Il Sistema Vestibolare, altrimenti detto sistema

dell'equilibrio, è il sistema sensoriale che provvede all'input dominante riguardo i movimenti del corpo e riferisce al Sistema Nervoso Centrale (SNC) riguardo la percezione dell'equilibrio. Insieme con la coclea, una parte del sistema uditivo, costituisce il labirinto dell'orecchio interno, situato nel vestibolo dell'orecchio interno. Dal momento che i nostri movimenti, durante la vita quotidiana, sono essenzialmente di tipo rotatorio e di tipo traslatorio, il sistema vestibolare è composto dai Canali Semicircolari, i sensori dei movimenti angolari – rotatori del capo, e gli Organi Otolitici che “sentono” e riferiscono al cervello circa le traslazioni lineari. Il Sistema Vestibolare “invia” segnali essenzialmente alle strutture neurali che controllano i movimenti oculari ed ai muscoli che ci consentono di stare in piedi. Le proiezioni di queste informazioni costituiscono le basi anatomiche del Riflesso Vestibolo – Oculomotore (VOR), che è richiesto per una visione chiara e le proiezioni ai muscoli che controllano la nostra postura sono di fondamentale importanza per il mantenimento della stazione eretta dell'orecchio , con vertigini, nausea, disturbi dell'equilibrio, di solito reversibili dopo la cessazione dello stimolo sonoro. Oltre ai danni sopra descritti, che costituiscono come già detto quelli più conosciuti e studiati, va anche ricordato che il rumore determina un effetto di mascheramento che disturba le comunicazioni verbali e la percezione di segnali acustici di sicurezza (con un aumento di probabilità degli infortuni sul lavoro), favorisce l'insorgenza della fatica mentale, con conseguente diminuzione dell'efficienza del rendimento lavorativo, provoca turbe dell'apprendimento ed

interferenze sul sonno e sul riposo. Infine, pur non esistendo ancora un chiaro inquadramento eziopatogenetico e nosologico, si tende generalmente ad accettare che il rumore provochi anche una serie di effetti extra – uditivi. L'apparato cardiovascolare sembra essere il più influenzato direttamente ed indirettamente dal rumore. Ciò avverrebbe attraverso un aumento della frequenza cardiaca, della pressione arteriosa, delle resistenze vascolari periferiche, della concentrazione ematica ed urinaria di noradrenalina e spesso di adrenalina. Diversi autori hanno studiato il rapporto tra danno uditivo ed ipertensione arteriosa, ma i risultati sono ancora insufficienti e contraddittori per formulare un giudizio attendibile. Riguardo agli altri parametri studiati, pur essendo gli studi meno numerosi, sembra accertata la comparsa di turbe coronariche per esposizione a rumore in particolare in soggetti con pre – esistente coronaropatia[28].

L'otopatia da rumore [11], è caratterizzata da una ben precisa sequenza temporale di eventi patologici, che si articola in quattro principali fasi, distinte dal punto di vista sintomatologico ed audiologico:

I Fase o Periodo di Reversibilità

- Inizio Due settimane dopo l'inizio dell'esposizione
- Sintomatologia Ronzio auricolare, cefalea, astenia fisica e mentale
- Audiometria Diminuzione della sensibilità uditiva a 4000 Hz

II Fase o Periodo di Latenza Totale

- Inizio 3° - 4° mese di esposizione
- Sintomatologia Difficoltà di comprensione della voce sussurrata a 6 – 8 m e acufeni (non sempre presenti)
- Audiometria Minus di 20 – 30 dB a 4000 Hz

III Fase o Periodo di Latenza Sub - Totale

- Inizio 2° - 3° anno di esposizione
- Sintomatologia Difficoltà di comprensione della voce sussurrata e delle conversazioni, soprattutto se l'ambiente è un pò rumoroso (effetto cocktail)
- Audiometria Minus di 45 – 60 dB a 4000 Hz, con estensione del minus a 1000 – 1500 Hz

IV Fase o Periodo della Sordità Manifestata o Confermata

- Inizio 5° - 6° anno di esposizione (a volte dopo 10 – 15 anni)
- Sintomatologia Difficoltà manifesta di comprensione della voce di conversazione e impossibilità di percezione della voce sussurrata
- Audiometria Curva audiometrica tipica della ipoacusia da rumore

3.2.3 Normativa di riferimento

Il Testo Unico 9 aprile 2008, n. 81 è composto da 13 titoli e 51 allegati. Il Titolo VIII capo II definisce gli aspetti per la prevenzione e la protezione dei lavoratori dai rischi dovuti all'esposizione al rumore[13]. All'art. 188 sono date le seguenti definizioni:

a) pressione acustica di picco (p_{peak}): valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza «C»;

b) livello di esposizione giornaliera al rumore ($L_{EX,8h}$): [dB(A) riferito a 20 μ Pa]: valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore, definito dalla norma internazionale ISO 1999: 1990 punto 3.6. Si riferisce a tutti i rumori sul lavoro, incluso il rumore impulsivo;

1. c) livello di esposizione settimanale al rumore ($L_{EX,w}$): valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione giornaliera al rumore per una settimana nominale di cinque giornate lavorative di otto ore, definito dalla norma internazionale ISO 1999: 1990 punto 3.6, nota 2[29,12].

L'Art. 189 introduce i “valori limite di esposizione” ed i “valori di azione” (inferiori e superiori). Questi sono riferiti al livello di esposizione giornaliera al rumore e alla pressione acustica di picco.

Valori limite di esposizione:

$L_{EX,8h} = 87 \text{ dB(A)}$ $p_{peak} = 200 \text{ Pa (140 dB(C) riferito a } 20 \text{ } \mu\text{Pa)}.$

Valori superiori di azione:

$L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$ $p_{peak} = 140 \text{ Pa (137 dB(C) riferito a } 20 \text{ } \mu\text{Pa)}.$

Valori inferiori di azione:

$L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$

$p_{peak} = 112 \text{ Pa}$ (135 dB(C) riferito a 20 μPa).

Dove a causa delle caratteristiche intrinseche dell'attività lavorativa l'esposizione giornaliera al rumore varia significativamente, da una giornata di lavoro all'altra, è possibile sostituire, ai fini dell'applicazione dei valori limite di esposizione e dei valori di azione, il livello di esposizione giornaliera al rumore con il livello di esposizione settimanale a condizione che:

1. il livello di esposizione settimanale al rumore, come dimostrato da un controllo idoneo, non ecceda il valore limite di esposizione di 87 dB(A);
2. siano adottate le adeguate misure per ridurre al minimo i rischi associati a tali attività;
3. nel caso di variabilità del livello di esposizione settimanale va considerato il livello settimanale massimo.

Gli obblighi del datore di lavoro sono definiti nell'art. 190 "valutazione del rischio", che fornisce indicazioni sui metodi e le strumentazioni utilizzate, ed impone che il datore di lavoro valuti l'esposizione dei lavoratori al rumore durante l'orario lavorativo prendendo in considerazione in particolare:

- il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo;
- valori limite di esposizione e i valori di azione di cui all'articolo 189;
- tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rumore con particolare riferimento alle

donne in gravidanza e i minori;

- per quanto possibile a livello tecnico, tutti gli effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori derivanti da interazioni fra rumore e sostanze ototossiche connesse con l'attività svolta e fra rumore e vibrazioni;
- tutti gli effetti indiretti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori risultanti da interazioni fra rumore e segnali di avvertimento o altri suoni che vanno osservati al fine di ridurre il rischio di infortuni;
- le informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori dell'attrezzatura di lavoro in conformità alle vigenti disposizioni in materia;
- l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre l'emissione di rumore;
- il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro normale, in locali di cui è responsabile;
- le informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica;
- la disponibilità di dispositivi di protezione dell'udito con adeguate caratteristiche di attenuazione[12].

Se si può ritenere che i valori inferiori di azione possono essere superati, il datore di lavoro misura i livelli di rumore ai quali i lavoratori sono esposti, riportando i risultati nel documento di valutazione. I metodi e le apparecchiature utilizzate sono adattati alle condizioni presenti, in particolare in base alle caratteristiche del rumore da misurare, alla durata dell'esposizione, ai fattori ambientali e alle caratteristiche dell'apparecchio di misurazione. I

metodi utilizzati possono includere la campionatura, purché rappresenti in maniera veritiera l'esposizione del lavoratore.

I metodi e le strumentazioni rispondenti alle norme di buona tecnica si considerano adeguati. Nella valutazione del rischio il datore di lavoro tiene conto delle imprecisioni delle misurazioni determinate secondo la prassi metrologica.

La valutazione individua le misure di prevenzione e protezione necessarie ai sensi degli articoli 192, 193, 194, 195 e 196 ed è documentata in conformità all'articolo 28, comma 2.

L'emissione sonora di attrezzature di lavoro, macchine e impianti può essere stimata in fase preventiva facendo riferimento a livelli di rumore standard individuati da studi e misurazioni la cui validità è riconosciuta dalla Commissione consultiva permanente di cui all'articolo 6, riportando la fonte documentale cui si è fatto riferimento. La valutazione e la misurazione sono programmate ed effettuate ad intervalli almeno quadriennale, da personale adeguatamente qualificato nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione. In ogni caso il datore di lavoro aggiorna la valutazione dei rischi nel caso avvengano notevoli mutamenti che potrebbero averla resa superata o quando i risultati della sorveglianza sanitaria ne dimostrino la necessità. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo dei livelli di esposizione costituiscono parte integrante del documento di valutazione del rischio [29]

Le misure di prevenzione e protezione indicate all'art. 192 prevedono che, fermo restando quanto specificato all'articolo 182

del Titolo VIII Capo I, il datore di lavoro elimini i rischi alla fonte o li riduca al minimo mediante le seguenti misure:

- adozione di altre metodologie di lavoro che implicano una minore esposizione al rumore;
- scelta di attrezzature di lavoro adeguate, tenuto conto del lavoro da svolgere, che emettano il minor rumore possibile, inclusa l'eventualità di rendere disponibili ai lavoratori attrezzature di lavoro conformi ai requisiti di cui al titolo III, il cui obiettivo o effetto è di limitare l'esposizione al rumore;
- progettazione della struttura dei luoghi e dei posti di lavoro;
- adeguata informazione e formazione sull'uso corretto delle attrezzature di lavoro in modo da ridurre al minimo la loro esposizione al rumore;
- adozione di misure tecniche per il contenimento: del rumore trasmesso per via aerea (schermature, involucri o rivestimenti realizzati con materiali fonoassorbenti); del rumore strutturale (sistemi di smorzamento o di isolamento);
- opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro e dei sistemi sul posto di lavoro;
- riduzione del rumore mediante una migliore organizzazione del lavoro attraverso la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione e l'adozione di orari di lavoro appropriati, con sufficienti periodi di riposo.

Se a seguito della valutazione dei rischi risulta che i valori superiori di azione sono oltrepassati, il datore di lavoro elabora ed applica un programma di misure tecniche e organizzative volte a

ridurre l'esposizione al rumore. I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti ad un rumore al di sopra dei valori superiori di azione sono indicati da appositi segnali. Dette aree sono inoltre delimitate e l'accesso alle stesse è limitato, ove tecnicamente possibile e giustificato dal rischio di esposizione. Nel caso in cui, data la natura dell'attività, il lavoratore benefici dell'utilizzo di locali di riposo messa a disposizione dal datore di lavoro, il rumore in questi locali è ridotto a un livello compatibile con il loro scopo e le loro condizioni di utilizzo. L'uso dei dispositivi di protezione individuali è disciplinato dall'art. 193 [13].

In ottemperanza a quanto disposto dall'articolo 18, comma 1, lettera c), il datore di lavoro, nei casi in cui i rischi derivanti dal rumore non possono essere evitati con le misure di prevenzione e protezione, fornisce i dispositivi di protezione individuali per l'udito conformi alle seguenti disposizioni:

1. nel caso in cui l'esposizione al rumore superi i valori inferiori di azione il datore di lavoro mette a disposizione dei lavoratori dispositivi di protezione individuale dell'udito;
2. nel caso in cui l'esposizione al rumore sia pari o al di sopra dei valori superiori di azione esige che i lavoratori utilizzino i dispositivi di protezione individuale dell'udito;
3. sceglie dispositivi di protezione individuale dell'udito che consentono di eliminare il rischio per l'udito o di ridurlo al minimo, previa consultazione dei lavoratori o dei loro rappresentanti;
4. verifica l'efficacia dei dispositivi di protezione individuale dell'udito.

Il datore di lavoro tiene conto dell'attenuazione prodotta dai dispositivi di protezione individuale dell'udito indossati dal lavoratore solo ai fini di valutare l'efficienza dei DPI uditivi e il rispetto del valore limite di esposizione. I mezzi individuali di protezione dell'udito sono considerati adeguati ai fini delle presenti norme se, correttamente usati, e comunque rispettano le prestazioni richieste dalle normative tecniche. Fermo restando l'obbligo del non superamento dei valori limite di esposizione, se, nonostante l'adozione delle misure prese in applicazione del presente capo, si individuano esposizioni superiori a detti valori, il datore di lavoro:

1. adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione;
2. individua le cause dell'esposizione eccessiva;
3. modifica le misure di protezione e di prevenzione per evitare che la situazione si ripeta.

Ulteriore obbligo del datore di lavoro consiste nella informazione e formazione dei lavoratori. Fermo restando quanto previsto dall'articolo 184 nell'ambito degli obblighi di cui agli articoli 36 e 37, il datore di lavoro deve garantire che i lavoratori esposti a valori uguali o superiori ai valori inferiori di azione vengano informati e formati in relazione ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore.

Il datore di lavoro sottopone alla sorveglianza sanitaria, ai sensi dell'art. 196, i lavoratori la cui esposizione al rumore eccede i valori superiori di azione. La sorveglianza viene effettuata

periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità diversa decisa dal medico competente, con adeguata motivazione riportata nel documento di valutazione dei rischi e resa nota ai rappresentanti per la sicurezza di lavoratori in funzione della valutazione del rischio. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità della sorveglianza diversi rispetto a quelli forniti dal medico competente. La sorveglianza sanitaria di cui al comma 1 è estesa ai lavoratori esposti a livelli superiori ai valori inferiori di azione, su loro richiesta e qualora il medico competente ne confermi l'opportunità.

Il datore di lavoro può richiedere deroghe (in base all'art. 197) all'uso dei dispositivi di protezione individuale e al rispetto del valore limite di esposizione, quando, per la natura del lavoro, l'utilizzazione completa ed appropriata di tali dispositivi potrebbe comportare rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori maggiori rispetto a quanto accadrebbe senza la loro utilizzazione.

Tali deroghe sono concesse, sentite le parti sociali, per un periodo massimo di quattro anni dall'organo di vigilanza territorialmente competente che provvede anche a darne comunicazione, specificando le ragioni e le circostanze che hanno consentito la concessione della deroga stessa, al Ministero del lavoro e delle politiche sociali. Tali deroghe sono riesaminate ogni quattro anni e sono abrogate non appena le circostanze che le hanno giustificate cessano di sussistere [29].

La concessione delle deroghe è condizionata dall'intensificazione della sorveglianza sanitaria e da condizioni che garantiscano,

tenuto conto delle particolari circostanze, che i rischi derivanti siano ridotti al minimo. Il datore di lavoro assicura l'intensificazione della sorveglianza sanitaria ed il rispetto delle condizioni indicate nelle deroghe.

Il Ministero del lavoro, della salute e delle politiche sociali trasmette ogni quattro anni alla Commissione della Unione europea un prospetto globale e motivato delle deroghe concesse ai sensi del presente articolo.

UNI EN ISO 9612:2011

La presente norma descrive un metodo tecnico progettuale per la misurazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori nell'ambiente di lavoro e il calcolo del livello di esposizione sonora. Ai fini della legislazione vigente, la norma è da considerarsi complementare alla UNI 9432:11 la quale, avendo degli argomenti sovrapposti, è stata opportunamente revisionata [30].

La presente norma internazionale presenta un approccio progressivo per la determinazione dell'esposizione al rumore professionale in base alle misurazioni dei livelli del rumore. La procedura comprende i seguenti passi principali:

- analisi del lavoro;
- selezione di una strategia di misurazione;
- misurazioni;
- gestione degli errori;
- valutazione delle incertezze e presentazione dei risultati.

La presente norma internazionale specifica tre diverse strategie:

- misurazione basata sui compiti;
- misurazione basata sulle mansioni;
- misurazione a giornata intera.

La presente norma internazionale fornisce una guida per la selezione di una strategia di misurazione idonea per una particolare situazione lavorativa e scopo investigativo. Inoltre fornisce un foglio di calcolo informativo per agevolare il calcolo dei risultati di misura e delle incertezze.

La presente norma internazionale descrive un metodo tecnico progettuale per la misura dell'esposizione al rumore dei lavoratori nell'ambiente di lavoro e il calcolo del livello di esposizione sonora. Tale norma considera i livelli ponderati A ma è anche applicabile ai livelli ponderati C. Si indicano tre diverse strategie di misurazione.

Le misure possono essere eseguite utilizzando o fonometri integratori o misuratori personali dell'esposizione sonora.

I fonometri integratori, compresi i microfoni e i cavi associati, devono soddisfare ai requisiti della classe 1 o classe 2 della IEC 61672-1:2002. La classe 1 è preferibile e dovrebbe essere utilizzata nel caso di esecuzione di misurazioni a temperature molto basse o quando nel rumore vi è una presenza dominante di alte frequenze.

I misuratori personali dell'esposizione sonora, compresi i microfoni e i cavi associati, devono soddisfare ai requisiti della IEC 61252. L'utilizzo di misuratori personali dell'esposizione sonora conformi ai requisiti della IEC 61672-1:2002, classe 1, sono raccomandati e dovrebbero essere necessari nel caso di esecuzione

di misure a temperature molto basse o quando nel rumore vi è una presenza dominante di alte frequenze.

Il calibratore deve possedere requisiti compatibili con la classe 1 della IEC 60942:2003.

La taratura del calibratore acustico e la conformità della catena di misura ai requisiti delle IEC 61672-1, IEC 61252 e delle altre norme applicabili, deve essere eseguita in un laboratorio competente nell'esecuzione di calibrazioni dotato di tracciabilità secondo normative appropriate.

La data dell'ultima taratura ed il nome del laboratorio che l'ha eseguita deve essere registrata ed inclusa nel rapporto di misura.

La presente norma indica tre strategie per la determinazione dell'esposizione al rumore nel luogo del lavoro. Esse sono:

Misurazioni basate sui compiti: il lavoro svolto durante la giornata è analizzata e divisa in un numero di compiti rappresentativi, per ogni determinato compito si eseguono separatamente le misure di livello di pressione sonora. Per il lavoratore o per i gruppi acusticamente omogenei in esame, la giornata lavorativa nominale deve essere divisa in compiti. Si definisce ogni compito in modo che $L_{p,A,eqT}$ sia verosimilmente ripetibile. Si deve avere cura di assicurare che tutti i rilevanti contributi al rumore siano inclusi. È particolarmente importante riportare dettagliatamente le informazioni riguardanti le fonti di rumore con livelli elevati.

L'identificazione di quelle fonti di rumore che provocano i più elevati livelli di picco è importante in modo da ottenere una corretta determinazione sia di $L_{p,A,eqT}$ sia di $L_{p,Cpicco}$.

La durata dei compiti, T_m , deve essere determinata. Ciò può essere

realizzato mediante:

- interviste ai lavoratori e al supervisore;
- osservando e misurando durate temporali durante le misurazioni del rumore;
- raccogliendo le informazioni in merito alle tipiche fonti di rumore (per esempio processi lavorativi, macchine, attività sul luogo di lavoro e nei dintorni).

Misurazioni basate sulle mansioni: mediante campionatura casuale si ottengono delle misure di livello di pressione sonora durante l'esecuzione di determinate mansioni.

La presente strategia di misurazione è basata sul principio del prelievo di campioni casuali dell'esposizione al rumore misurando $L_{p,A,eqT}$ durante l'esecuzione delle mansioni identificate durante l'analisi del lavoro.

Il piano di misurazione deve essere stabilito come segue. Dalle diverse mansioni identificate, devono essere stabiliti i diversi gruppi acusticamente omogenei e per ognuno dei gruppi omogenei si deve:

- a) determinare la minima durata cumulativa delle misurazioni in base al numero di lavoratori, n_G , che costituiscono il gruppo acusticamente omogeneo;
- b) definire la durata di ogni campione ed il numero di campioni, almeno cinque, in maniera da assicurare che la durata cumulativa sia uguale o superiore alla durata minima determinata nel passo precedente;
- c) pianificare il prelievo di campioni che siano casualmente distribuiti fra i membri del gruppo e nell'arco dell'intera giornata lavorativa.

Va notato che i risultati dell'analisi del lavoro, il giudizio professionale, nonché la praticabilità potrebbero guidare nella scelta di alcuni campioni per poter assicurare l'inclusione di determinati eventi rumorosi. Incrementare il numero di campioni riduce l'incertezza.

Misurazioni a giornata intera: il livello di pressione sonora è misurato continuativamente sull'arco completo di una o più giornate lavorative.

La misurazione a giornata intera deve comprendere tutti i contributi al rumore associati al lavoro e i periodi silenziosi durante la giornata lavorativa. È prassi comune eseguire queste misurazioni a lungo termine mediante misuratori personali dell'esposizione sonora o strumentazione simile.

Nell'utilizzo di questo tipo di strategia di misurazione ci si deve assicurare di scegliere opportunamente le giornate in modo che siano rappresentative della situazione lavorativa.

Per motivi pratici, potrebbe non essere possibile eseguire le misurazioni durante la giornata intera. In questi casi le misurazioni dovrebbero coprire la maggiore parte possibile della giornata, comprendendo tutti i periodi di rilevante esposizione sonora.

La selezione di un'adeguata strategia di misurazione viene influenzata da diversi fattori quali lo scopo delle misurazioni, complessità della situazione lavorativa, numero di lavoratori coinvolti, effettiva durata della giornata lavorativa, il tempo a disposizione per le misurazioni e l'analisi, e la quantità di informazioni dettagliate richieste.

La *grandezza di base da misurare* deve essere $L_{p,A,eqT}$. Inoltre, nel caso fosse pertinente si deve misurare anche $L_{p,C,picco}$. Le misurazioni devono essere effettuate seguendo la strategia prescelta e devono essere conformi alla norma.

Inizialmente si eseguono tre misure a giornata intera di $L_{p,A,eqT}$ in rappresentazione dell'esposizione sonora dei lavoratori.

Se i risultati delle tre misurazioni differiscono di meno di 3 dB, viene calcolato il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A durante la giornata lavorativa nominale come la media energetica di tutte le misurazioni.

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,n}} \right) \text{dB}$$

dove:

$L_{p,A,eqT,n}$ è il livello della pressione sonora continua equivalente ponderato A del campione n;

n è il numerico del campione della mansione;

N è il numero totale di campioni della mansione.

Se i risultati delle tre misurazioni differiscono di 3 dB o oltre si prendono almeno due misurazioni ulteriori a giornata intera e si calcola il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A durante la giornata lavorativa nominale come la media di tutte le misure.

Mentre per determinare il livello di esposizione giornaliera al rumore ponderato A si utilizza l'equazione:

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \lg\left(\frac{T_e}{T_0}\right) \text{dB}$$

dove:

L_{p,A,eqT_e} è il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A, in conformità con la norma;

T_e è la durata effettiva della giornata lavorativa;

T_0 è la durata di riferimento $T_0 = 8 \text{ h}$.

Per effettuare tali misurazioni è fondamentale la scelta della strumentazione.

Le misurazioni devono essere eseguite mediante i seguenti tipi di *strumentazione*:

- a) un misuratore personale di esposizione sonora indossato dal lavoratore oggetto della valutazione di esposizione sonora;
- b) fonometro integratore-mediatore posizionato in punti discreti, o tenuto in mano mentre si segue un lavoratore in movimento.

Le fonti di *errori* e di *incertezze* che potrebbero influenzare il risultato devono essere valutate in conformità a quanto prescritto nella norma.

La procedura è in conformità alla ISO/IEC Guida 98-3. Le incertezze possono essere calcolate utilizzando il foglio di calcolo fornito in abbinamento alla presente norma internazionale.

Il rispetto rigoroso dei requisiti della presente norma internazionale, in particolare quelli relativi alla prevenzione dei contributi errati al livello di esposizione al rumore, assicura che nessun errore sistematico dovuto a tali errati contributi è presente nel risultato finale.

Alcune fonti d'incertezza richiedono un'attenzione

particolare affinché la loro influenza sia ridotta il più possibile. Le incertezze possono essere provocate sia da errori sia da naturali variazioni nel contesto del lavoro.

Le fonti primarie di incertezza nel risultato sono:

- a. variazioni nel lavoro quotidiano, condizioni operative, incertezze nel campionamento, ecc.;
- b. strumentazione e calibrazione;
- c. posizionamento del microfono;
- d. falsi contributi, per esempio dal vento, correnti d'aria o impatti sul microfono e lo sfregamento del microfono contro i vestiti;
- e. analisi del lavoro carente o difettoso;
- f. contributi da sorgenti di rumore non tipiche, parlato, musica (radio), segnali d'allarme e comportamenti non tipici.

I contributi significativi al rumore devono essere identificati durante l'analisi del lavoro e le misurazioni. Se vengono riscontrati contributi significativi da fonti di errore, le misurazioni devono essere scartate o corrette.

Il livello di esposizione al rumore misurato e l'incertezza associata al risultato dipendono dal metodo utilizzato. Un misuratore personale di esposizione sonora può comprendere contributi da parlato, radio ecc. che possono incrementare il livello di esposizione misurato. L'utilizzo di un fonometro palmare assicura l'esclusione di tali sorgenti, per esempio mediante la messa in pausa dello strumento. Le misurazioni presso postazioni fisse possono portare a una sottostima dell'esposizione al rumore di un lavoratore a causa della difficoltà nel gestire i contributi al rumore causati da sorgenti vicine all'orecchio, quali quelli dovuti

ad utensili portatili.

Di seguito viene descritta la procedura per determinare l'incertezza estesa del livello d'esposizione al rumore ponderato A e normalizzato ad una giornata lavorativa di 8 h $L_{EX,8h}$ o, in alternativa, del valore misurato della livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A, $L_{p,A,eqT}$.

I contributi all'incertezza combinata standard, u , associata ai valori del livello dell'esposizione al rumore dipende dall'incertezza, u_i , di ogni grandezza d'ingresso e dai relativi coefficienti di sensibilità, c_i . I coefficienti di sensibilità rappresentano la misura di come il livello di esposizione al rumore è modificato dai cambiamenti nei valori delle relative grandezze d'ingresso. In termini matematici, equivalgono alle derivate parziali della relazione funzionale rispetto alla relativa grandezza d'ingresso. I contributi delle relative grandezze d'ingresso sono dati dal prodotto dell'incertezze standard per i coefficienti di sensibilità associati. L'incertezza combinata standard, u , si ottiene dai contributi individuali d'incertezza, u_i , mediante equazione.

$$u^2 = \sum c_i^2 u_i^2$$

L'incertezza estesa, U , è data da $U = ku$, dove: k è un fattore di copertura a sua volta funzione dell'intervallo di confidenza. Ai fini della presente norma internazionale, si considera un intervallo di confidenza unilaterale di 95%, ciò comporta $k = 1,65$. Il significato è che il 95% dei valori sono inferiori al limite superiore, $[L_{EX,8h} + U]$.

La presente norma internazionale consente l'utilizzo di approcci statistici per il calcolo dell'incertezza oltre i metodi

specificati nella presente appendice, per esempio metodi basati sulla stima scientifica (conoscenze esperte in merito alle incertezze) o le simulazioni di Monte Carlo. Se tali metodi sono utilizzati, essi devono essere in piena conformità con ISO/IEC Guida 98-3. Inoltre deve risultare dimostrabile che non sottostimano l'incertezza. Il metodo utilizzato deve essere indicato nel rapporto di prova.

UNI 9432:2011

Tale norma, è una revisione della UNI 9432:2008, ed è stata necessaria per l'emanazione della UNI EN ISO 9612 che è parallela ad essa.

Entrambe sono finalizzate a valutare i livelli di esposizione giornaliera, settimanale e di picco utilizzabili per gli adempimenti previsti dalla legislazione vigente.

Questa norma si applica a tutti gli ambienti di lavoro, ad esclusione di quelli per cui sono previste normative specifiche.

La nuova UNI 9432 [31], rispetto alla UNI EN ISO 9612, contiene puntualizzazioni in merito a particolari problemi, alcuni metodi semplificati per la valutazione dei livelli sonori di esposizione (utili per ridurre i tempi di misurazione e di calcolo, garantendo comunque l'affidabilità del risultato), i criteri di valutazione di aspetti non descritti nella UNI EN ISO 9612, e in specifico:

- dei metodi di calcolo della protezione offerta dai DPI uditivi ed alla loro efficacia nelle situazioni reali di utilizzo;
- un metodo per valutare il superamento o meno delle soglie previste

dalla legislazione vigente.

La presente norma rimanda alla UNI EN ISO 9612 per gli argomenti comuni.

La presente norma, richiamando ed integrando, laddove necessario, per ottemperare alla legislazione italiana vigente (titolo VIII del D.Lgs. 81/08) la UNI EN ISO 9612:2011, descrive un metodo per la misura dei livelli di pressione sonora, continui equivalenti e di picco, ai quali risulta esposto un lavoratore, per il calcolo del livello di esposizione giornaliera o settimanale al rumore e la quantificazione delle relative incertezze. I livelli di esposizione giornaliera, settimanale e di picco così determinati sono utilizzabili per gli adempimenti previsti dalla legislazione vigente (titolo VIII del D.Lgs. 81/08), per il calcolo previsionale del rischio di danno uditivo, secondo la ISO 1999:1990.

Questa norma si applica a tutti gli ambienti di lavoro, a esclusione di quelli per cui sono previste normative specifiche.

Inoltre non può essere utilizzata per valutare esposizioni ad infrasuoni e ultrasuoni. Essa non si applica inoltre alla valutazione dell'esposizione al rumore prodotto da sorgenti poste in prossimità dell'orecchio (per esempio cuffie, cornette, ecc.) per la quale si deve fare riferimento alle UNI EN ISO 11904-1 e UNI EN ISO 11904-2 o ad altre norme tecniche applicabili come la ETSI EG 202 518 V1.1.1.

Questa norma non si applica al calcolo dell'emissione sonora delle macchine presenti in ambiente di lavoro.

Va notato inoltre che, a parità di attività lavorativa alcune delle procedure diseguito descritte possono, a fronte di un minor

dispendio di tempo per le misure ed il calcolo delle incertezze, portare a valori per i livelli di esposizione più elevati di quelli riproducibili con metodi d'indagine più accurati.

La *catena di misurazione* deve essere idonea a rilevare correttamente il livello sonoro continuo equivalente ponderato A $L_{Aeq,T}$ (vedi sopra) e il livello sonoro di picco ponderato C $L_{picco,C}$. Inoltre, nel caso risulti necessario calcolare l'attenuazione introdotta dal dispositivo di protezione auricolare, essa deve essere idonea alla rilevazione di almeno una delle seguenti grandezze: $L_{Ceq,T}$ o $L_{eqf,T}$ (vedi sopra), in funzione del metodo di calcolo scelto nell'ambito della UNI EN 458.

La strumentazione deve essere conforme ai contenuti della UNI EN ISO 9612:2011 se non diversamente indicato nella presente norma.

Per gli strumenti deve essere eseguita la *verifica periodica*, con periodo non maggiore di 2 anni, della rispondenza alle caratteristiche descritte nelle CEI EN 60942, CEI EN 61672-1 e CEI EN 61672-3 (indicata per semplicità con taratura), a partire dall'immissione sul mercato. Tale verifica deve comunque avvenire dopo un evento traumatico per gli strumenti o dopo una riparazione degli stessi.

Le verifiche periodiche devono essere eseguite presso laboratori facenti parte del SIT, Servizio di Taratura in Italia o dell'European Cooperation for the Accreditation (EA).

Le *misurazioni fonometriche* non possono considerarsi utili ai fini di questa norma se preliminarmente all'esecuzione delle stesse non sono state acquisite tutte le informazioni atte a fornire un quadro

completo ed obiettivo delle attività pertinenti al lavoratore, o alla postazione cui le misurazioni stesse si riferiscono. Tali informazioni, oltre a quelle indicate nella UNI EN ISO 9612:2011, devono riguardare almeno:

- le caratteristiche del rumore: costante, fluttuante, impulsivo, ciclico, ecc.;
- le condizioni acustiche intorno alla postazione di misura, compresa la presenza di eventuali segnali di avvertimento e/o allarme;
- i parametri microclimatici più significativi (temperatura, umidità, pressione, velocità dell'aria, ecc.) se possono influenzare i valori misurati e il corretto funzionamento degli strumenti utilizzati.

Sulla base delle informazioni raccolte e/o fornite dal datore di lavoro devono essere pianificati:

- ◆ la strumentazione da utilizzare;
- ◆ le posizioni di misura;
- ◆ il numero delle misure;
- ◆ i tempi di misura.

In modo da ottenere una rappresentazione significativa delle condizioni di esposizione dei lavoratori, utilizzando le strategie di misurazione riportate nella UNI EN ISO 9612:2011.

La *strumentazione* deve essere conforme a quanto stabilito nella UNI EN ISO 9612:2011.

Per l'esecuzione delle misurazioni necessarie alla valutazione del rischio da esposizione a rumore si raccomanda l'utilizzo di strumenti in classe 1.

Durante la misurazione si deve verificare che non venga superato il limite di sovraccarico dello strumento. Qualora si

verificasse questa condizione la misura deve essere considerata non valida. Nel caso di presenza di soffi d'aria la strumentazione deve essere corredata di schermo antivento.

La scelta della strumentazione da utilizzare, la sua calibrazione in campo e le posizioni di misura devono seguire le indicazioni contenute nella UNI EN ISO 9612:2011.

Se i risultati di due o più calibrazioni effettuate in momenti diversi ma successivi differiscono di oltre 0,5 dB rispetto al valore di taratura del calibratore, lo strumento deve essere controllato mediante nuova taratura.

Devono essere prese tutte le precauzioni necessarie perché durante l'effettuazione delle misurazioni non vengano modificate le condizioni di sicurezza di svolgimento delle attività lavorative del lavoratore e comunque per non disturbarne lo svolgimento. Se si utilizza un misuratore personale di esposizione, la sua posizione sulla persona non deve modificare le normali modalità di effettuazione del lavoro svolto da parte di chi lo indossa.

Qualora sia impossibile rispettare le indicazioni riportate nell'UNI EN ISO 9612:2011 riguardo al posizionamento e all'orientamento del microfono, lo stesso deve essere posizionato e orientato in modo tale da fornire la migliore approssimazione dell'esposizione al rumore del lavoratore, avendo cura di riportare le condizioni di posizionamento nella relazione tecnica.

Nel caso in cui la posizione occupata dalla testa del lavoratore sia molto vicina alla sorgente di rumore, il campo sonoro deve essere accuratamente investigato. Inoltre, la posizione e l'orientazione del microfono durante le misurazioni devono

essere indicate con precisione nella relazione tecnica.

Si raccomanda che l'operatore che effettua le misurazioni si posizioni lontano dal microfono e comunque in modo tale da non perturbare apprezzabilmente il campo acustico nella posizione occupata dal microfono stesso.

Qualora si faccia uso di un misuratore personale di esposizione è essenziale verificare l'assenza di sorgenti sonore anomale o non inerenti le lavorazioni.

Le modalità di effettuazione delle misurazione e il loro numero sono riportate nella UNI EN ISO 9612:2011. Di seguito si riportano disposizioni integrative a quelle citate:

Rumore costante

Quando sulla base della ricognizione è accertata l'esistenza, per tutto il periodo di esposizione, di rumore costante (stazionario), è sufficiente l'esecuzione di una sola misurazione. La durata della misurazione può essere limitata al tempo necessario ad ottenere la stabilizzazione entro $\pm 0,3$ dB(A) della lettura del livello $L_{Aeq,Tm}$, e comunque non deve essere minore di 60 s.

In questo caso l'incertezza da campionamento $u_{1a,m}$ (vedi UNI EN ISO 9612:2011) è posta pari a zero.

Rumore ciclico

Quando sulla base della ricognizione è accertata l'esistenza, per tutto il periodo di esposizione, di rumore ciclico, è sufficiente l'esecuzione di una sola misurazione. La durata della misurazione deve essere pari ad un numero intero di cicli e comunque non minore di 60 s.

In questo caso l'incertezza da campionamento $u_{1a,m}$ (vedi UNI

EN ISO 9612:2011) è posta pari a zero.

Rumore fluttuante

Quando sulla base della ricognizione di cui al punto 3.4.3.1. è accertata l'esistenza, per tutto il periodo di esposizione, di rumore fluttuante (non stazionario), l'adeguatezza del valore misurato a rappresentare il livello sonoro continuo equivalente dell'intero periodo può essere garantita mediante i metodi riportati nella UNI EN ISO 9612:2011.

Nel caso di misurazione di durata pari all'intero periodo di esposizione (vedi UNI EN ISO 9612:2011) si ottiene una misurazione diretta di L_{Aeq,T_e} e l'incertezza da campionamento è posta pari a zero.

Nel caso si voglia effettuare una singola misurazione relativa alla condizione operativa più rumorosa è compito del responsabile delle misurazioni individuare tale condizione, che deve essere valutata sulla base dell'esperienza e scelta in funzione delle varietà di lavorazioni realmente effettuate, utilizzando le fonti informative ritenute più affidabili. La durata della misurazione non può essere inferiore alla durata dell'operazione considerata. Anche in questo caso l'incertezza da campionamento $u_{1a,m}$ (vedi UNI EN ISO 9612:2011) è posta pari a zero.

Livello di picco ponderato $C_{L_{picco,C}}$

La misurazione del livello $L_{picco,C}$ deve essere eseguita preferibilmente orientando il microfono in direzione della sorgente.

L'indicazione numerica del valore di $L_{picco,C}$ è sempre dovuta,

tranne nei casi nei quali è dimostrata la non impulsività del rumore.

Livello di esposizione al rumore $L_{EX,8h}$ o $L_{EX,W}$

Il livello di esposizione giornaliera al rumore di un lavoratore $L_{EX,8h}$ deve essere calcolato mediante l'equazione della UNI EN ISO 9612:2011.

Se nell'ambito della stessa campagna di misurazione, il livello di esposizione giornaliera $L_{EX,8h}$ dello stesso lavoratore mostra una variabilità significativa all'interno della settimana, è possibile procedere:

- ♦ assumendo come livello di esposizione del lavoratore il valore massimo del livello di esposizione giornaliera;
- ♦ assumendo come livello di esposizione del lavoratore quello calcolato su base settimanale mediante l'equazione .

$$L_{EX,W} = 10 \times \lg \left(\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{0,1(L_{EX,8h})_k} \right) \text{dB(A)}$$

dove:

k è l'indice rappresentativo della giornata lavorativa;

m è il numero delle giornate lavorative della settimana;

($L_{EX,8h}$)_k è il valore di $L_{EX,8h}$ relativo alla k-esima giornata lavorativa.

Se la settimana lavorativa ha durata diversa dalle 5 giornate, si assume come livello di esposizione del lavoratore quello calcolato su base settimanale.

Se l'esposizione manifesta caratteristiche di significativa variabilità su scale di tempo superiori ad una settimana, si assume come livello di esposizione del lavoratore il valore massimo

ricorrente del livello di esposizione calcolato (giornaliera o settimanale).

Limitatamente al calcolo del livello medio da utilizzare per il calcolo previsionale del rischio di danno uditivo come descritto nella ISO 1999, si procede come illustrato nell'appendice A.

Gruppi acusticamente omogenei

Si raccomanda che l'identificazione e la composizione nominale di un gruppo acusticamente omogeneo siano determinate sulla base della ricognizione, previa consultazione del datore di lavoro e dei lavoratori o dei loro rappresentanti per la sicurezza. Quando è accertata l'esistenza di gruppi acusticamente omogenei, si può procedere come indicato nella UNI EN ISO 9612:2011.

In alternativa al metodo precedente è possibile effettuare la valutazione dell'esposizione di un gruppo acusticamente omogeneo utilizzando un campione costituito dal solo soggetto con la condizione espositiva peggiore fra tutte quelle presenti nel gruppo. È compito del responsabile delle misurazioni individuare tale condizione, che deve essere valutata sulla base dell'esperienza e scelta in funzione delle varietà di lavorazioni realmente effettuate, utilizzando le fonti informative ritenute più affidabili; in questo caso l'esposizione di tutti i membri del gruppo coincide con l'esposizione dell'unico soggetto indagato, e l'incertezza u_1 (vedi UNI EN ISO 9612:2011) è posta pari a zero.

Lavorazioni con utilizzo di dispositivi di protezione individuale

Qualora il lavoratore utilizzi, per esigenze di lavorazione, dispositivi di protezione individuali (per esempio maschere o

schermi per saldatura), ad eccezione dei protettori auricolari, che possono produrre un effetto schermante tra le sorgenti di rumore e l'orecchio del lavoratore, il livello di esposizione giornaliera o settimanale al rumore, può essere calcolato tenendo conto dell'attenuazione sonora prodotta dagli stessi, sempre che tale attenuazione possa essere attendibilmente dimostrata.

Il valore di attenuazione utilizzato e il dettaglio del metodo utilizzato per il calcolo di quest'ultimo devono essere riportati nella relazione tecnica.

Dispositivi di protezione auricolare

La scelta dei dispositivi di protezione auricolare deve essere effettuata utilizzando la UNI EN 458.

In alternativa si può procedere alla misurazione diretta, utilizzando per esempio la tecnica MIRE (Microphone In Real Ear) di cui alla UNI EN ISO 11904-1 o la testa artificiale di cui alla UNI EN ISO 11904-2, o le procedure indicate in altre norme tecniche applicabili, riportando dettagliatamente nella relazione tecnica le condizioni di misura.

Incertezza

I metodi di calcolo dell'incertezza da attribuire ai livelli sonori continui equivalenti, al livello di esposizione giornaliera o settimanale e al livello sonoro di picco sono riportati nella UNI EN ISO 9612:2011.

La corrispondenza dei livelli di esposizione riportati nella relazione tecnica, che deve essere predisposta in base ai tempi di

esposizione indicati dal datore di lavoro, consultati i rappresentanti dei lavoratori, e ai risultati delle misurazioni di cui alla presente norma, è garantita solo dalla scrupolosa osservanza di una metodologia corretta di analisi e misurazione. Pertanto la relazione tecnica deve riportare tutti i dati necessari a consentire la ripetibilità delle misurazioni.

In particolare deve essere indicato almeno quanto riportato nella UNI EN ISO 9612:2011.

La relazione tecnica deve essere tale, comunque, da consentire al datore di lavoro di individuare le attività rumorose e i lavoratori che le svolgono, così da poter provvedere alla redazione del documento di valutazione del rischio secondo la legislazione vigente.

3.2.4 Strumenti per la misura del rumore

Per rilevare il livello di inquinamento acustico, lo strumento oggi più utilizzato è il fonometro. Esistono in commercio diversi tipi di fonometri, con diverse prestazioni e diverse caratteristiche. Tale strumento è in grado di rilevare la variazione di pressione dovuta alla presenza di un campo sonoro, tramite un microfono, e di indicare successivamente su di un display o su di un Pc il livello di campo misurato. I fonometri possono essere anche in grado di effettuare l'analisi in frequenza del segnale captato [32].

Di base, questo strumento è composto da: microfono, preamplificatore, filtri, amplificatore, rettificatore RMS, compressore logaritmico ed indicatore digitale (o analogico). In funzione della precisione, le Norme Internazionali (I.E.C., A.N.S.I., BS, D.I.N.) hanno fissato diverse classi:

- ♦ *Classe 0*: riferimento (usati per tarare gli altri strumenti).
- ♦ *Classe 1*: precisione (usati per misure di inquinamento acustico ed emissioni sonore. La legge stessa impone solamente l'utilizzo dei fonometri di classe 1 per tali misure).
- ♦ *Classe 2*: industriale (si usano per rilevazione di cui non è richiesta alcuna certificazione).
- ♦ *Classe 3*: sorveglianza (di solito usati da personale non specializzato, per rilevazioni dirette).

Secondo le norme I.E.C., la lettura delle misure di un fonometro deve avere una precisione entro 0,3 dB per la classe 0,

0,7 dB per la classe 1, 1 dB per la classe 2 e 1,5 dB per la classe 3. Ogni modello di fonometro, prima della sua commercializzazione viene sottoposto ad una procedura di omologazione, ossia un certificato richiesto dal produttore ad un ente preposto.

Le grandezze fisiche misurate in questo elaborato, allo scopo di determinare il livello di esposizione giornaliero e/o settimanale al rumore sono:

- ♦ $L_{Aeq,T}$: livello equivalente di pressione acustica, nel tempo di misura T, rilevato con filtro di ponderazione in frequenza A.
- ♦ $L_{peak,T}$: livello di pressione acustica istantanea non ponderata. Esso viene rilevato utilizzando la costante di tempo strumentale "peak".

Nelle ricerche sono stati utilizzati fonometri integratori muniti di indicatore di sovraccarico, con memoria, conformi alla classe 1 della IEC 804.

Prima e dopo ciascuna serie di misurazioni, al microfono è stato applicato un calibratore acustico avente un'accuratezza di $\pm 0,3$ dB (classe 1 della IEC 942) allo scopo di verificare la calibrazione dell'insieme degli strumenti di misurazione a una o più frequenze nella gamma considerata.

La conformità del calibratore ai requisiti della IEC 942 deve essere verificata con cadenza biennale, mentre la conformità dell'insieme degli strumenti ai requisiti della IEC 651 deve essere verificata con cadenza biennale presso uno dei centri accreditati al

SNT (Sistema Nazionale di Taratura) istituito con L. 273/91 e il cui elenco viene aggiornato periodicamente con Decreto Ministeriale, o presso uno dei centri del WECC (Western European Calibration Cooperation) e muniti di certificato di taratura.

I valori determinati in accordo alla norma internazionale devono essere accompagnati da una stima della loro incertezza. Una stima dell'incertezza associata al valore misurato o calcolato di una grandezza è un elemento essenziale in quanto rende possibile controllare la riproducibilità di una misura.

Viene definita incertezza sulla quantità y la quantità $\varepsilon(y)$ data dallo scarto tipo della distribuzione di probabilità dei valori assunti dal risultato della misura di y .

Le componenti principali dell'errore strumentale sono:

- accuratezza del calibratore, ε_1 ;
- scarti della curva di ponderazione A , ε_2 ;
- direzionalità del microfono, ε_3 .

Tutte le incertezze strumentali, non potendo come tali essere ottenute da osservazioni ripetute, vengono dedotte dalle indicazioni del costruttore o dalle tolleranze specificate nelle norme internazionali applicabili.

Per tutti i test, ci si è avvalsi della seguente catena strumentale:

- ♦ fonometro integratore di classe 1 (Brüel & Kjaer, figura 23);

- ♦ microfono di precisione di classe 1 (Brüel & Kjaer, figura 23);
- ♦ soundbook – acquirettore/elaboratore di segnale ad otto canali con speciale software;
- ♦ capsula microfonica Brüel & Kjær tipo 4189 con relativo schermo antivento;
- ♦ capsula microfonica Brüel & Kjær tipo 4189 con relativo schermo antivento;
- ♦ calibratore acustico Brüel & Kjær tipo 4231;
- ♦ fonometro integratore Larson Davis 802.

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software Brüel & Kjær Value Investigator e il software Samurai.

SoundBookTM è un sistema di multianalisi real-time, un registratore audio digitale, una videocamera e un fonometro a norma IEC classe 1 con 8 canali di misura.

Principali caratteristiche:

- soluzione hardware di tipo multicanale e multianalisi con contemporanea capacità di registrazione sincronizzata di segnali audio e riprese video;
- conforme allo standard IEC 651 ed IEC 804 Tipo 1, IEC 61672 Classe 1;
- filtri digitali in Real Time da 0,04 Hz fino a 40 kHz conformi a IEC 1260 classe 0;
- Ingressi Lemo (microfonici con polarizzazione 200 V), microfoni prepolarizzati, ICP e diretti;

- funzionamento 'Multianalisi' con valori fonometrici, time history, oscillogrammi, analisi in frequenza in 1/3 d'ottava, (oppure 1/12, 1/24 d'ottava), analisi statistica ed analisi FFT, tutte in contemporanea, in real-time ed in parallelo su ogni canale;

- filtri di pesatura Z, A e C e costanti di tempo Fast, Slow ed Impulse in parallelo. Contemporaneo rilievo del valore di picco pesato Z, A e C;

- Hard-Disk da 60 Gbyte, supporto memorie Compact Flash, USB Memory Stick, hard disk esterni e totale controllo 'wireless';

- controllo della calibrazione per microfoni ed accelerometri con riconoscimento automatico del livello, della frequenza e della stabilità del segnale di calibrazione, storia delle calibrazioni, gestione archivio trasduttori;

- schermo da 10,4" TFT (1024x768) ad alto contrasto, touch-screen operativo in modalità 'Tablet PC'.

Il software operativo di SoundBook™ è "*Samurai*" questo provvede al controllo dell'hardware di analisi durante la fase di misura, gestisce l'archivio dei trasduttori e dei set-up di misura, integra le funzioni di analisi statistica e di analisi FFT, provvede all'automazione delle procedure di calibrazione e di verifica di calibrazione, visualizza le misure con modalità a pannelli (splitter windows) utilizzando numerose modalità grafiche predefinite e facilmente personalizzabili.

Lo strumento controlla le interazioni delle acquisizioni in multianalisi, memorizza i risultati su HD o altro tipo di memoria rimovibile, esegue le funzioni di 'Playback' con riproduzione audio in simultanea alle analisi, esporta le misure direttamente verso

fogli elettronici tipo *Exceltm* o applicativi dedicati come 'Noise & Vibration Works', esporta i file audio nel formato WAV o anche in formato testo, invia rapporti completi via e-mail.

Capsula microfonica B&K tipo 4189

Per effettuare i rilievi di rumore è stato fornito all'operatore un elmetto adeguatamente strutturato su cui montare il microfono, in modo da trovarsi a 100 mm di distanza dall'orecchio del conducente.

Le principali caratteristiche della capsula microfonica B&K tipo 4189:

- classe 1 secondo la norma IEC 61672;
- temperatura di utilizzo da -30°C a +150°C;
- sensibilità 49,9 mV/Pa;
- frequenza da 6,3 a 20 kHz;
- range da 14,6 a 146 dB.

Calibratore Acustico B&K tipo 4231

Si tratta di un calibratore adatto a capsule microfoniche da ½ pollice, per qualsiasi strumentazione di misura acustica che richiede la calibrazione. Il calibratore è di formato tascabile, alimentato a batterie per una rapida e diretta taratura dei fonometri ed altri sistemi di misura del suono ed è conforme alle norme CEI 942 Classe 1 e ANSI S1.40-1984.

La frequenza di calibrazione è 1000 Hz, quindi lo stesso valore di taratura è ottenuto per tutte le reti di ponderazione (A, B, C, D,

e lineare). La pressione di taratura di $94 \pm 0,2$ dB a 20 Pa è pari a 1 Pa.

Il calibratore, quando viene montato sul microfono e acceso, fornisce un livello continuo di pressione sonora; si spegne automaticamente quando rimosso dal microfono. La custodia in pelle protegge il calibratore stesso e durante l'uso non è necessario estrarlo.

Metodologia di prova rumore

Tutti i trattori agricoli utilizzati per le prove sono muniti di cabina, quindi le prove sono state condotte con cabina completamente chiusa, proprio al fine di rilevare l'effettivo rumore prodotto in essa durante le prove.

La metodologia seguita per il rilievo del rumore è quella riportata nella normativa internazionale ISO 1999:1990.

Per tutte le misurazioni eseguite sono stati rilevati contemporaneamente i valori del livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A ($L_{Aeq,Te}$) e la pressione acustica istantanea ponderata C (P_{peak}).

$$L_{Aeq,Te} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{Te} \int_0^{Te} \left[\frac{p_A(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\}$$

dove:

Te è la durata giornaliera totale dell'esposizione al rumore, compreso il lavoro straordinario;

p₀ è il valore della pressione di riferimento (20 µPa);

p_A è il valore della pressione sonora istantanea ponderata A.

Una volta eseguiti i rilievi si è proceduto alla determinazione dei livelli di esposizione personale giornalieri (LEX,8h) utilizzando le formule riportate nella ISO 1999:1990.

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \lg\left(\frac{T_e}{T_0}\right) \text{dB}$$

dove:

L_{p,A,eqT_e} è il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A, in conformità con la norma;

T_e è la durata effettiva della giornata lavorativa;

T_0 è la durata di riferimento $T_0 = 8 \text{ h}$.

Per il rumore i valori del livello continuo equivalente di pressione acustica ponderata A (L_{Aeq,T_e}) e la pressione acustica istantanea massima ponderata C (P_{peak}), sono stati rilevati simultaneamente e calcolati nell'intervallo di frequenza compresa tra 20 Hz e 20 kHz, in terzi d'ottava. In conformità alla ISO 1999:1990, è stato applicato al valore in dB il filtro di ponderazione caratteristico ("curva A").

Le misure hanno una durata tale da poter caratterizzare in maniera significativa i livelli di pressione sonora presenti in cabina. Il tempo di campionamento adottato per tutte le prove è stato di 100 s, effettuando per ogni condizione indagata tre ripetizioni.

3.3 L'ergonomia

L'Ergonomia è definita come: "Studio interdisciplinare del rapporto tra l'uomo e il suo contesto di lavoro, con il fine di assicurare i più elevati livelli di sicurezza e di benessere di chi opera" (Murrell, 1965).

Ulteriori definizioni sono della International Ergonomics Association (2000): "Ergonomics (or human factors) is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance"

Il concetto di "adattare il lavoro al lavoratore" è stato ripreso dalla legislazione italiana nel 1994 nel decreto 626 in cui vengono richiamati esplicitamente "principi ergonomici" a cui il datore di lavoro deve fare riferimento[13].

I principi ergonomici sono contenuti in norme internazionali e nazionali, ma spesso le norme non sono sufficienti ad esaurire tutte le sfaccettature del lavoro umano (esigenze anatomiche, fisiologiche, psicologiche), per cui lo studio di nuovi metodi di valutazione è continuo e di interesse molto attuale [34].

Le condizioni di sicurezza e di conforto del posto di lavoro sul trattore sono rappresentate anche da importanti condizioni ambientali:

- microclima (benessere termico e aria pulita);

- benessere acustico (limitazione del rumore);
- ridotte vibrazioni;
- strutture di protezione passive contro i ribaltamenti.

Microclima: l'essere umano ha necessità di mantenere costante la temperatura del corpo in un campo abbastanza stretto (intorno a 37 °C) e per questo è dotato di efficaci sistemi di termo-regolazione che gli permettono di variare opportunamente gli scambi di calore con l'esterno. La sorgente di calore per il corpo umano è l'attività metabolica, che si risolve in una combustione lenta delle sostanze nutritive, funzione dall'attività svolta e delle stesse condizioni ambientali. Gli scambi di calore con l'esterno possono avvenire per trasmissione di calore e per evaporazione. Il benessere termico è una sensazione soggettiva legata strettamente allo sforzo di termoregolazione richiesto all'organismo e funzione dell'attività metabolica del soggetto (stato di riposo o di lavoro, più o meno intenso). Temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria sono i parametri più importanti per definire le condizioni di benessere: le temperature ottimali sono abbastanza strette nel campo 18-25 °C, con un'umidità relativa corrispondente del 30-70% e velocità dell'aria non superiori a 0,10-0,20 m/s. Questi valori, tuttavia, sono relativi a casistiche sperimentali abbastanza diverse da quelle delle cabine di guida dei trattori.

L'aria, inoltre, deve essere pura e non deve presentare inquinanti di diverso genere anche perchè la respirazione in ambiente chiuso

aumenta il contenuto di anidride carbonica e riduzione di ossigeno [13].

Rumore: Si può definire il rumore come un suono intenso con effetto sgradevole o addirittura di dolore. Il benessere sonoro deve tendere a limitare il rumore al di sotto di una soglia prestabilita in modo che non si abbiano effetti patologici sull'udito. Al crescere del rumore nel posto di lavoro si accompagnano anche effetti di riduzione della produttività e dell'attenzione, con incremento della fatica e dello stress.

Vibrazioni: Le vibrazioni possono essere definite come un moto oscillatorio di un sistema meccanico e che possono determinare anche del rumore in un mezzo elastico come indicato precedentemente. In linea molto generale si definiscono vibrazioni moti oscillatori con frequenza di 5 Hz o più; scuotimenti, invece, moti oscillatori con frequenza inferiore a 5 Hz e con elevata ampiezza [13].

Le vibrazioni sono in generale trattabili come un'onda sinusoidale pura o per lo più complessa, descrivibile, come il suono, in termini di periodo, frequenza ed ampiezza (o meglio ampiezza efficace). Spesso si introduce per caratterizzare una vibrazione la velocità e l'accelerazione efficace. Data l'equazione di moto in termini sinusoidali della vibrazione, la velocità è data dalla derivata rispetto al tempo dell'equazione di moto e l'accelerazione dalla derivata dell'equazione della velocità [13].

Risulta allora che:

- la velocità v è funzione dell'ampiezza e della frequenza di vibrazione;
- l'accelerazione a è funzione dell'ampiezza e del quadrato della frequenza.

Il corpo umano è un sistema meccanico complesso dal punto di vista delle vibrazioni, con frequenze di risonanza diverse e caratteristiche per i vari sistemi costituenti [13].

Le vibrazioni possono essere causate su un trattore soprattutto dal motore e dalla trasmissione.

Gli scuotimenti sono per lo più determinati dall'avanzamento veloce su fondi sconnessi. Il trattore non possiede sospensioni per consentire un controllo preciso degli attrezzi portati in lavoro, la cui altezza rispetto al terreno deve rimanere costante. Questo implica, però, nelle situazioni di elevate velocità di avanzamento, problemi di vibrazioni e scuotimenti specifici. L'ISO ha stabilito dei limiti di tollerabilità alle vibrazioni verticali ed orizzontali sopportabili dall'operatore in funzione delle frequenze e dei tempi di esposizione. Le curve segnalano un minimo di tollerabilità proprio nel campo di frequenze 4-8 Hz. La riduzione delle vibrazioni verticali passanti in cabina è ottenuta a livello di particolari elementi di giunzione (silent block) presenti tra piattaforma e struttura portante del trattore. Un ulteriore smorzamento delle vibrazioni è rappresentato dal sedile di guida, particolarmente efficace nel caso di costruzione con sospensione a molleggio autoregistrante in funzione della massa dell'operatore [4].

Strutture di protezione passive: le strutture di protezione devono offrire al conducente una adeguata protezione in caso di ribaltamento accidentale e devono essere sottoposte ad omologazione secondo prove normalizzate in centri ufficiali e riconosciuti. Una cabina fornisce una resistenza strutturale contro ribaltamenti e permette in più la protezione del conducente anche dall'ambiente esterno. In casi specifici può essere consentito un telaio a due montanti (roll bar) abbattibile o non, installato davanti o dietro il sedile del conducente [4].

La cabina di guida e le strutture di protezione devono consentire anche in caso di urti e ribaltamenti uno spazio di sopravvivenza per il conducente. Lo spazio di sopravvivenza viene valutato in prove normalizzate che prevedono urti e sollecitazione sulla struttura di protezione. Le norme forniscono la metodologia di prova e il valore delle energie da applicare secondo formule in cui compare la massa del trattore.

L'obbligo delle strutture di protezione contro il ribaltamento, a partire in Italia dal 1973, ha ridotto in maniera significativa gli incidenti mortali in agricoltura (secondo le statistiche ufficiali) [10].

3.3.1 Antropometria delle cabine

Le malattie osteo-articolari e muscolo-tendinee manifestate nel 2007 erano 922 casi contro quelle del 2011 di 6633; di cui denunce per affezioni dei dischi intervertebrali 2.595 casi.

Le malattie professionali denunciate nell'anno 2011, nello specifico l'ernia discale lombare erano 1.090 casi[1].

Questo vertiginoso aumento trova una giustificazione in quanto gli studi relativi al settore agroforestale della sicurezza e del comfort all'interno degli spazi di lavoro sono ancora relativamente pochi. In questi ultimi anni, tuttavia, la ricerca si è sempre più interessata al settore dell'ergonomia e dell'antinfortunistica in agricoltura: sono nate molte riviste, nazionali e internazionali, convegni del settore, che presenta un importante e "tipico" approccio multidisciplinare.

L'antropometria è una branca dell'ergonomia che si occupa delle dimensioni e delle forme del corpo umano. La progettazione di qualsiasi manufatto destinato ad interessare la sfera lavorativa (e non solo) umana necessita delle informazioni fornite dall'antropometria. La norma UNI EN ISO 7250-1:2010 "Misurazioni di base del corpo umano per la progettazione tecnologica - Parte 1: Definizioni delle misurazioni del corpo umano e luoghi" fornisce una descrizione delle misure antropometriche che può essere utilizzata come base per il confronto di gruppi di popolazione. L'elenco di riferimento

specificato nella norma è destinato a servire come guida per ergonomi che devono definire gruppi di popolazione e applicare le loro conoscenze alla progettazione delle geometrie dei luoghi nei quali le persone lavorano e vivono. La progettazione deve tener conto di una variabilità esistente, consentendo spazi sufficienti per il massimo valore in alcuni casi (per esempio altezza di una cabina), o prevedendo, in altri, la possibilità di regolazione in funzione della taglia o della specificità del soggetto. Generalmente la progettazione dello spazio interno abitabile si fa tenendo conto della distribuzione percentile delle dimensioni antropometriche di una popolazione. Il percentile rappresenta la percentuale di soggetti che hanno una dimensione uguale o inferiore a quella assegnata. Il 50-mo percentile rappresenta, in una distribuzione simmetrica, il valore medio della distribuzione considerata: per esempio, in una distribuzione dell'altezza di una popolazione, il 50-mo percentile risulta l'altezza media. Gli ingombri di un posto di lavoro vengono, in genere, progettati per le dimensioni della popolazione comprese tra il 2,5 ed il 97,5 percentile, che significa che essi sono in grado di adattarsi al 95% degli individui.

Particolare cura deve poi essere dedicata al sedile, che un operatore può utilizzare anche per tutta una giornata lavorativa.

Il sedile di guida possiede nelle versioni più confortevoli:

- *culla* abbastanza larga e orizzontale sui punti di appoggio dell'ischio (ossa inferiori del bacino) con una leggera pendenza all'indietro e una lunghezza inferiore a quella della coscia (arterie femorali non compresse e facilità di movimento della gamba);

- *appoggio lombare* regolabile in altezza ed in convessità per sostenere anatomicamente le vertebre lombari (soggette a discopatie);

- inclinazione dello *schienale* regolabile per il miglior appoggio del tronco;

- *braccioli* per un miglior supporto delle braccia;

- rotazione di 20° su entrambi i lati per facilitare la salita e la discesa, oltre l'osservazione degli attrezzi posteriori;

- regolazioni in altezza e avanti/indietro per rendere la distanza dei *comandi* la più adatta alle dimensioni tipiche del soggetto e per consentire un confortevole appoggio dei piedi a terra;

- *sospensione* elastica verticale per ridurre le vibrazioni trasmesse dalla macchina e registrabile in funzione del peso dell'individuo;

- *sospensione* elastica orizzontale per ridurre i carichi impulsivi orizzontali avvertiti come colpi nella schiena (generalmente escludibile a comando);

- *rivestimenti* idonei per consentire traspirazione soprattutto per lo schienale. In genere sui trattori sono disponibili sedili orientabili in senso verticale e longitudinale, con molleggio a parallelogramma e sospensioni in base al peso del conducente. Culle, schienali e braccioli sono a profilo anatomico (e spesso di tipo registrabile), contengono bene l'operatore anche su forti

pendenze. Il rivestimento, nei trattori cabinati, è in panno e di conseguenza riduce il problema della traspirazione. L'antropometria disciplina anche la disposizione dei comandi che deve essere ancora razionalmente studiata in funzione:

- dello sbraccio antropometrico (braccia e gambe);
- della possibilità di facile azionamento in funzione dei movimenti più facili con le mani o con i piedi;
- della facile visibilità in funzione del campo visivo e dei movimenti facili della testa.
- della facile individuazione di tutti i comandi per l'azionamento della macchina.

La quantità di leve e comandi in un posto di guida di un trattore può essere molto elevata. Essenziale per l'azionamento facile e sicuro dei comandi è la loro massima riconoscibilità, che può essere incrementata con una forma ed un colore caratteristici. Alcuni comandi a leva, per esempio dei distributori idraulici, in cui la posizione della leva è proporzionale ad un certo effetto, dovrebbero avere, per un controllo fine e sicuro, la possibilità di appoggio della mano. Per quanto riguarda i comandi per lo spostamento della macchina (acceleratore, cambio, marce ridotte e veloci) sono tendenzialmente tutti dello stesso colore ben distinguibile dagli altri comandi. Per questo la codifica dei diversi segnali luminosi (forma, colore, simbolo) deve essere studiata attentamente ed in alcuni casi è standardizzata a scala internazionale. Segnali acustici, oltre a quelli luminosi, in casi specifici, diventano particolarmente utili per avvisare il conducente di gravi malfunzionamenti o di situazioni di pericolo.

Particolarmente citata, nel campo della teoria dell'informazione, è la cosiddetta legge del magico numero sette. Un soggetto medio, sottoposto a stimoli visivi, non riesce a memorizzarne ed elaborarne più di sette, con un campo di variazione da cinque a nove. Segnali particolarmente importanti per il conducente devono quindi essere visualizzati in maniera chiara e semplice e risultare in numero molto ridotto per fornire solo le informazioni più importanti, necessarie per l'adozione di rapide ed efficaci contromisure [33].

Un posto di guida di un trattore, infine, deve consentire la massima visibilità all'esterno, senza zone d'ombra e soprattutto verso l'attrezzo posteriore e anteriore. Proprio questa esigenza porta a cabine quasi completamente vetrate e da ultimo a trattori cosiddetti a vista libera o a vista incrementata sul davanti (a cofano ribassato) per una visione migliore soprattutto dell'attrezzo portato anteriormente.

3.3.2 Effetti sul corpo del rischio posture

Nei Paesi industrializzati le patologie muscoloscheletriche della colonna vertebrale rappresentano le più importanti cause di inabilità e assenza dal lavoro per malattia.

Il National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) pone tali patologie al secondo posto nella lista dei dieci problemi di salute più rilevanti nei luoghi di lavoro e riporta una prevalenza di lombalgia nell'arco della vita nella popolazione generale del 70% [23]. Negli Stati Uniti la lombalgia determina quasi 29 giorni di assenza per malattia ogni 100 lavoratori, le patologie del rachide sono le principali cause di limitazione lavorativa nelle persone con meno di 45 anni e le patologie professionali della colonna assorbono il 33% dei costi totali di indennizzo.

È stato valutato che le spese totali annue associate alla lombalgia, inclusi i costi sanitari diretti e quelli indiretti legati alla perdita di lavoro e ai pagamenti di indennità, sono superiori a 50 miliardi di dollari. Di questi costi, il 75% e più è attribuibile al 5% di soggetti che presentano un'invalidità temporanea o permanente da dolore lombare [38].

La quarta indagine sulla salute dei lavoratori europei condotta nel 2005 dalla Fondazione di Dublino per il Miglioramento delle Condizioni di Vita e di Lavoro ha evidenziato che quasi il 25% dei lavoratori esaminati riferiva di soffrire di mal di schiena, il 22% riferiva disturbi da stress ed il 23% lamentava dolori muscolari. Il 62% dei lavoratori dichiarava di svolgere azioni ripetitive con le

mani o con le braccia per almeno un quarto dell'orario di lavoro, il 46% di lavorare in posizioni dolorose o stancanti ed il 35% di trasportare o movimentare carichi pesanti [37].

In Italia le sindromi artrosiche sono le affezioni croniche più diffuse secondo ripetute indagini ISTAT [2]. Le affezioni acute dell'apparato locomotore sono al secondo posto nella prevalenza delle patologie acute dopo le affezioni acute dell'apparato respiratorio, così come le sindromi artrosiche sono al secondo posto tra le cause di invalidità civile. Ancora recentemente, lo studio MAPPING pubblicato nel 2005 segnalava una prevalenza del 27% delle patologie muscoloscheletriche nella popolazione generale di età adulta con una netta prevalenza nel sesso femminile: la lombalgia cronica è stata riscontrata nel 6% dei soggetti esaminati.

Secondo stime degli Istituti di Medicina del Lavoro le patologie croniche del rachide sono la prima causa di richieste di inidoneità parziale alla mansione specifica. Tra gli infortuni sul lavoro la lesione da sforzo è rappresentata nel 60-70% dei casi da lombalgia acuta e non risulta ci sia alcuna controtendenza significativa negli ultimi 10 anni. È ormai accertato il rapporto esistente tra attività di movimentazione manuale di carichi ed incremento di rischio di contrarre affezioni acute e croniche dell'apparato locomotore, ed in particolare del rachide lombare.

Le attività lavorative nelle quali il rischio di movimentazione manuale dei carichi assume un ruolo significativo nella comparsa di lombalgia sono numerose e sono riconducibili alle attività dove

è più difficile rendere la movimentazione meccanica ed automatica. Tutti i nostri movimenti e le nostre posizioni nello spazio dipendono dal funzionamento del sistema muscolo scheletrico che è un'entità complessa costituita da ossa, articolazioni, muscoli, tendini, legamenti, borse, nervi, vasi sanguigni. Essere attivi fisicamente, fare esercizio, "fa bene" al nostro sistema muscoloscheletrico, ma un sovraccarico o un compito fisicamente faticoso possono metterlo in pericolo: le posture faticose, il lavoro ripetitivo, movimentare carichi pesanti rappresentano un sovraccarico per questo sistema, provocando così l'affaticamento prima e patologie più o meno gravi poi. I disturbi muscoloscheletrici si sviluppano quando le forze esterne che agiscono sul corpo sono troppo forti per la capacità fisica del complesso dei muscoli, articolazioni, legamenti, ecc. Dato che le persone spesso ripetono azioni lavorative e/o trascorrono molto tempo compiendo azioni lavorative in posizioni scomode, molti disturbi muscoloscheletrici sono associati al lavoro. La maggior parte di questi disturbi sono di tipo "cumulativo", cioè risultano da un'esposizione ripetuta a forze esterne o "carichi" di alta o bassa intensità protratti per un tempo prolungato (mesi o anni) In alcuni casi i disturbi consistono in un dolore episodico, che poi scompare con il riposo o il cambio di attività, ed è quindi transitorio, in altri casi i disturbi diventano persistenti e irreversibili. Alcuni DMS si esprimono con una patologia specifica (es. sindrome radicolare lombosacrale, sindrome del tunnel carpale, ecc). Altri sono caratterizzati da dolore in assenza di un chiaro quadro clinico.

I distretti più colpiti dai disturbi muscolo scheletrici sono:

- l'arto superiore: spalla, gomito, polso, mano;
- il collo;
- il rachide lombo sacrale.

Altri distretti possono essere colpiti anche se con minore frequenza (arto inferiore, rachide dorsale).

La colonna vertebrale o rachide

Il rachide è la struttura portante del nostro corpo. È formato da ossa (vertebre), dischi intervertebrali, legamenti, muscoli e il midollo spinale da cui originano i nervi che raggiungono i diversi organi del corpo, tra cui le braccia e le gambe. Ospita al suo interno un'importante struttura nervosa.

Arto superiore

Il movimento degli arti superiori e delle mani è azionato, tra l'altro, attraverso legamenti e tendini che agiscono sulle tre principali articolazioni: polso, gomito, spalla. L'insieme di queste strutture forma un'unità che consente di sviluppare un ampio "range" di movimenti, una forza eccezionale, manipolazioni molto precise.

Le strutture precedentemente accennate sono:

- i tendini: una sorta di "cordoni rigidi" che uniscono il muscolo alle ossa; nel polso e nella mano sono circondati da guaine che contengono un liquido lubrificante (liquido sinoviale);

- i legamenti: robuste “corde” che connettono un osso all’altro a costituire un’articolazione;
- le borse: sono piccole sacche piene di liquido interposte dove un tendine o un muscolo passa sopra una sporgenza ossea.

Di seguito si elencano i principali disturbi correlabili al lavoro, a carico di tendini, guaine e borse.

Spalla: tendinopatia della cuffia dei rotatori; tendinopatia del capo lungo del bicipite; borsite. Gomito/avambraccio: epicondilite laterale; epicondilite mediale; borsite olecranica; tendinopatia dell’inserzione distale del tricipite.

Mano: tendinite e tenosinovite dei muscoli flessori ed estensori; dito a scatto; malattia di De Quervain.

Neuropatie periferiche da compressione: sindrome del tunnel carpale; sindrome del canale di Guyon; sindrome dello stretto toracico.

Altri disturbi: artrosi acromion-claveare; rizoartrosi.

Tra i disturbi muscolo scheletrici degli arti superiori, la sindrome del tunnel carpale, la malattia di De Quervain e la tendinite della cuffia dei rotatori sono diventate sempre più comuni fra i lavoratori. La sindrome del tunnel carpale, secondo alcune casistiche, è in assoluto la neuropatia più frequentemente riportata, rappresentando l’80% del totale dei DMS (disturbi muscolo-scheletrici).

Malattia di De Quervain

E' un'infiemmazione (tenosinovite stenosante) che interessa due dei tendini che fanno muovere il pollice: abduuttore lungo ed estensore breve del pollice

I tendini che provengono dall'avambraccio, arrivati al polso, passano all'interno di una guaina che sta alla base del pollice.

La frizione fra i tendini e la guaina (provocata da movimenti ripetuti) provoca un'infiemmazione che fa restringere l'apertura della guaina.

Ciò riduce lo spazio a disposizione per lo scorrimento dei tendini, che quindi fanno attrito con la guaina stessa. Il sintomo principale è il dolore al polso e lungo il pollice, che si può diffondere verso l'avambraccio e peggiora nei movimenti di presa, come ad esempio aprire un barattolo. La malattia si presenta spesso in persone che eseguono movimenti violenti o molto ripetitivi con il polso.

Epicondilite laterale

E' un'infiemmazione dolorosa dei tendini dei muscoli estensori del polso e della mano a livello della loro inserzione sull'epicondilo laterale dell'omero nella regione laterale del gomito.

Epicondilite mediale

E' una infiammazione dolorosa dei tendini dei muscoli flessori del polso e della mano a livello della loro inserzione sull'epicondilo mediale dell'omero nella regione mediale del gomito.

Queste sono le due tendinopatie di più frequente riscontro. Il sovraccarico dovuto ai movimenti ripetitivi e all'uso di forza

influisce rapidamente in queste zone (epicondilo mediale e laterale) ristrette, dove si inserisce un gran numero di muscoli e provoca una infiammazione che, se perdura nel tempo, dà luogo a danni permanenti.

Il sintomo più importante è il dolore che si manifesta alla presa di oggetti o al sollevamento di pesi. Il dolore inizialmente è localizzato al gomito, successivamente si può irradiare all'avambraccio o alla spalla.

Tendinite della cuffia dei rotatori

E' una infiammazione dei tendini della spalla. La cuffia dei rotatori è formata dall'insieme dei tendini di quattro muscoli (sovraspinato, sottospinato, piccolo rotondo, sottoscapolare).

Collega l'omero con la scapola consentendo l'elevazione e la rotazione del braccio; inoltre mantiene la testa dell'omero nella cavità glenoidea della scapola quando il braccio si muove.

La causa più frequente di lesioni della cuffia dei rotatori è il graduale deterioramento del tendine conseguente a microtraumi ripetuti, associati al progressivo logoramento dovuto all'età.

Può manifestarsi a causa di attività lavorative che comportano movimenti ripetitivi del braccio sopra la testa. Le lesioni parziali dei tendini della cuffia provocano dolore continuo all'articolazione della spalla; lesioni ampie, con completa rottura di uno o più tendini, causano anche una graduale diminuzione della mobilità dell'articolazione (difficoltà ad elevare il braccio). Il sintomo

principale è il dolore notturno alla spalla e al braccio, associato alla progressiva perdita di forza e di movimento del braccio.

Borsiti

Le borse sinoviali sono piccole sacche ripiene di liquido interposte dove un muscolo o un tendine passa sopra una sporgenza ossea, vicina ad una articolazione.

Si trovano in corrispondenza di punti strategici e vulnerabili come l'articolazione del ginocchio, della spalla, dei gomiti e dell'anca.

Quando una borsa si infetta oppure subisce un trauma acuto o cronico da uso ripetuto dell'articolazione si produce una infiammazione: la borsite. I sintomi sono il dolore nella zona interessata e la limitazione del movimento articolare.

La funzione delle borse è quella di facilitare i movimenti e di ridurre gli attriti durante i movimenti evitando che un muscolo o un tendine si lesioni sfregando contro l'osso.

Nel 1997 il NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) ha effettuato una revisione di oltre 600 studi epidemiologici concludendo che c'era evidenza di una relazione causale tra l'esposizione lavorativa a sforzi intensi, ripetizione dei movimenti, posture scomode e vibrazioni e disturbi del collo, spalla ed arti superiori.

Numerosi studi clinici e sperimentali hanno evidenziato che in conseguenza di compiti ripetitivi con uso di forza si producono microtraumi e danni dei tessuti che causano una infiammazione locale e persino sistemica, seguita da fibrosi e cambiamenti

strutturali. L'infiammazione contribuisce al dolore, alla riduzione funzionale e all'insorgenza di sintomi psicologici.

Inoltre d'obbligo un piccolo paragrafo di una problematica d'infortunio per i trattoristi: il rischio ribaltamento.

Rischio Ribaltamento

Allo stato delle conoscenze attuali i principali sistemi di prevenzione per il pericolo di ribaltamento utilizzati nelle trattrici agricole o forestali possono essere ricondotti essenzialmente a dispositivi di prevenzione di tipo passivo, ossia interventi finalizzati ad evitare o comunque a ridurre la possibilità che il verificarsi di un evento pericoloso comporti conseguenze per l'incolumità del lavoratore:

1. *dispositivo di protezione in caso di capovolgimento della trattrice*: struttura installata direttamente sulla trattrice, avente lo scopo di evitare o limitare i rischi per il conducente in caso di capovolgimento della trattrice durante l'utilizzo normale;
2. *sistema di ritenzione del conducente*: dispositivo che trattiene l'operatore al posto di guida indipendentemente dalle condizioni operative della trattrice (cintura di sicurezza).

I sistemi di protezione passiva per i conducenti delle trattrici si basano sul principio di trattenere l'operatore all'interno di un "volume di sicurezza" o "zona libera". In caso di ribaltamento, infatti, il rischio per l'operatore di restare schiacciato tra le parti costituenti la trattrice ed il suolo può essere ragionevolmente escluso se egli resta sul sedile o, comunque, entro il volume

costituito dalla struttura di protezione. Pertanto, ai fini della protezione del conducente di trattori agricoli o forestali da eventuali danni determinati dal loro ribaltamento, è indispensabile la contemporanea presenza dei due dispositivi sopra richiamati.

Per quanto riguarda il parco macchine usato, ha assunto particolare rilevanza quanto previsto prima dal D.Lgs. 359/99 e ora dal D.Lgs. 81/08 che riprende e tratta il problema relativo al ribaltamento delle trattori.

L'ISPEL ha attivato uno specifico gruppo di lavoro con il fine di produrre alcune linee guida utili per fornire le informazioni necessarie per i tipi di intervento da effettuare su trattori usati. Tra gli accorgimenti di tipo procedurale per preservare la stabilità del mezzo quando collegato ad una macchina portata, occorre evitare di collegare all'attacco del sollevatore posteriore macchine troppo pesanti in relazione alla massa della trattore.

Dispositivo di protezione in caso di capovolgimento della trattore

Le trattori immesse sul mercato prima del 1° gennaio 1974 e alcuni esemplari immessi dopo tale data devono essere adeguate e dotate di telaio contro il ribaltamento, nel caso di presenza di tale rischio. Il telaio deve essere conforme alla circolare del Ministero del Lavoro n. 49/81 (le cui caratteristiche sono riportate nelle figure seguenti) e deve essere stato installato da Ditta competente che abbia rilasciato il previsto Certificato di Costruzione/Installazione. Le cinture di sicurezza, dove non previste all'origine dal costruttore della trattore, devono essere installate, laddove tecnicamente possibile, permettendo il molleggio del sedile e

garantendo la solidità dei punti di ancoraggio. Se non predisposto, è pertanto necessario sostituire il sedile con un altro provvisto di cinture o di altro idoneo sistema di ritenzione del conducente, che garantisca la solidità e gli spazi di manovra del sedile originale. La sostituzione del sedile deve essere effettuata da Ditta competente secondo la Linea Guida ISPESL che rilasci Certificato di Installazione[35][36].

3.3.3 Normativa di riferimento

La normativa per la valutazione delle dimensioni ergonomiche degli operatori e spazio minimo d'ingombro dell'operatore utilizzata si riferisce in particolare alle macchine movimento terra. Non esiste una corrispettiva norma per i mezzi agricoli.

UNI EN ISO 3411:2007 Dimensioni ergonomiche degli operatori e spazio minimo di ingombro dell'operatore

La presente norma internazionale [39] definisce le dimensioni degli operatori di sesso maschile di macchine movimento terra e specifica lo spazio di ingombro normale minimo attorno all'operatore nei posti di guida (cabine, ROPS, FOPS) generalmente previsti per le macchine movimento terra. Non è applicabile alle macchine costruite prima della data della sua pubblicazione. Si applica alle macchine movimento terra definite nella ISO 6165.

Riferimenti normativi: Le norme sottoindicate contengono disposizioni valide anche per la presente norma, in quanto in essa espressamente richiamate. Al momento della pubblicazione della presente norma erano in vigore le edizioni sottoindicate. Tutte le norme sono soggette a revisione, pertanto gli interessati che stabiliscono accordi sulla base della presente norma internazionale sono invitati a verificare la possibilità di applicare le edizioni più recenti delle norme richiamate.

1. ISO 5353:1995 Earth-moving machinery, and tractors and machinery for agriculture and forestry - Seat index point [Macchine movimento terra, trattrici, macchine agricole e forestali - Punto di riferimento del sedile]
2. ISO 6165:2006 Macchine Movimento terra- Tipi base- Identificazione, termini e definizioni
3. ISO 6682:1986 Earth-moving machinery - Zones of comfort and reach for controls [Macchine movimento terra - Zone di conforto e raggiungibilità dei comandi]
4. ISO 6682:1986/Amd. 1:1989, Aggiornamento 1
5. ISO 11112:1995 Macchine Movimento Terra – Sedile operatore:dimensione e requisiti

Definizioni: Ai fini della presente norma internazionale, si applicano le definizioni seguenti.

Operatore di taglia piccola: Operatore per cui soltanto il 5% della popolazione mondiale degli operatori di macchine movimento terra è di taglia più piccola delle dimensioni date.

Operatore di taglia media: Operatore per cui il 50% della popolazione mondiale degli operatori di macchine movimento terra è di taglia più piccola o più grande delle dimensioni date.

Operatore di taglia grande: Operatore per cui soltanto il 5% della popolazione mondiale degli operatori di macchine movimento terra è di taglia più grande delle dimensioni date.

Dimensioni ergonomiche degli operatori: Le dimensioni degli operatori di taglia piccola, media e grande sono indicate nelle figure 2 e 3, rispettivamente per le posizioni in piedi e seduta. Le dimensioni di rotazione del corpo per operatori di taglia piccola, media e grande sono indicate nella figura 4.

Nota 1: Le dimensioni degli operatori di taglia piccola e grande di macchine movimento terra sono state desunte combinando i dati nazionali per rappresentare la popolazione mondiale degli operatori. Pertanto, un ristretto numero fra gli operatori nazionali di taglia più piccola e più grande risulta più piccolo o più grande rispettivamente del 5° e del 95° percentile della popolazione mondiale degli operatori. Nominalmente, è raccomandata una regolazione verticale del sedile di 75 mm per adattarlo a questi operatori (vedi standard ISO 6682:1986, appendice A).

Dimensioni: Le dimensioni date comprendono una tolleranza di 25 mm sull'altezza delle calzature o degli stivali e sullo spessore degli abiti da lavoro.

Posizione eretta: Tutte le dimensioni sono quelle di un operatore in posizione eretta. Una posizione normale è "affossata" e le dimensioni sono leggermente inferiori: la statura (1A) e l'altezza a mani alzate (2A) sono ridotte di circa 15 mm, mentre l'altezza del busto (3A) e l'altezza degli occhi (3B) in posizione seduta sono ridotte di circa 25 mm.

Spazio minimo di ingombro dell'operatore: Lo spazio minimo di ingombro dell'operatore è la dimensione interna del posto di guida. Lo spazio minimo di ingombro raccomandato attorno

all'operatore vestito, per il posto di guida (cabina, ROPS, FOPS), è indicato nella figura 5 per un operatore seduto e nella figura 6 per un operatore in piedi. Le dimensioni date si riferiscono al punto di riferimento del sedile (SIP) definito nella ISO 5353. Il contorno dello spazio di ingombro dell'operatore non indica la forma del posto di guida. Lo spazio minimo di ingombro dell'operatore è basato sulle dimensioni degli operatori di taglia grande indicate nelle figure 2 e 3 e si misura sulla superficie interna del posto di guida priva di deformazioni superficiali visibili. Lo spazio minimo di ingombro dell'operatore può essere più piccolo di quello specificato nelle figure 5 e 6 se si è in grado di dimostrare che lo spazio ridotto di ingombro dell'operatore per un tipo particolare di macchina consente all'operatore di svolgere adeguatamente il suo lavoro. Di seguito sono indicate, in modo non esaustivo, alcune potenziali modifiche dello spazio minimo di ingombro dell'operatore. Si raccomanda un'altezza minima di ingombro dell'operatore di 1.050 mm dal SIP per accogliere i sedili comunemente usati e per lasciare spazio al casco di protezione dell'operatore. L'altezza minima di ingombro dell'operatore può essere ridotta a 1.000 mm per macchine usate prevalentemente in applicazioni nelle quali l'operatore normalmente non indossa il casco di protezione (vedi la ISO 5353 per dettagli sul SIP). L'altezza dello spazio di ingombro può anche essere regolata nella maniera seguente, in funzione della configurazione del sedile:

- a) riduzione di 40 mm per sedile senza sospensione verticale;
- b) riduzione di 40 mm per sedile senza regolazione verticale dell'altezza;

c) regolazione per angolo di riposo dello schienale del sedile superiore a 15°.

L'operatore può essere sfalsato rispetto all'asse longitudinale dello spazio di ingombro per consentire una visibilità diretta sulla parte laterale della macchina, purché la distanza interna minima dal SIP al lato del posto di guida sia di almeno 335 mm. Alcuni tipi particolari di macchine possono richiedere l'uso di uno spazio di ingombro dell'operatore più ristretto del minimo raccomandato dalla presente norma internazionale. Per queste macchine, la larghezza interna dello spazio di ingombro dell'operatore può essere ridotta fino a un minimo di 650 mm. Tale larghezza minima dello spazio di ingombro richiede una sistemazione ben studiata dei comandi, per garantire all'operatore rendimento e comodità. Quando l'operatore è normalmente inclinato in avanti per azionare i comandi dello sterzo o quando è necessario accedere a un comando posteriormente al SIP, lo spazio minimo nella parte posteriore del posto di guida può essere ridotto a 250 mm più la metà della corsa di regolazione longitudinale del sedile. Per la sistemazione dei comandi, vedere la ISO 6682.

Nota 2: In alcune zone del mondo, più del 5% degli operatori ha gambe più corte dei valori forniti per gli operatori di taglia piccola. Per adeguarsi a queste zone del mondo, si dovrebbero fornire speciali regolazioni per ottenere zone di conforto e di raggiungibilità dei comandi per il piede, come specificato nella ISO 6682:1986/Amd. 1 [21]

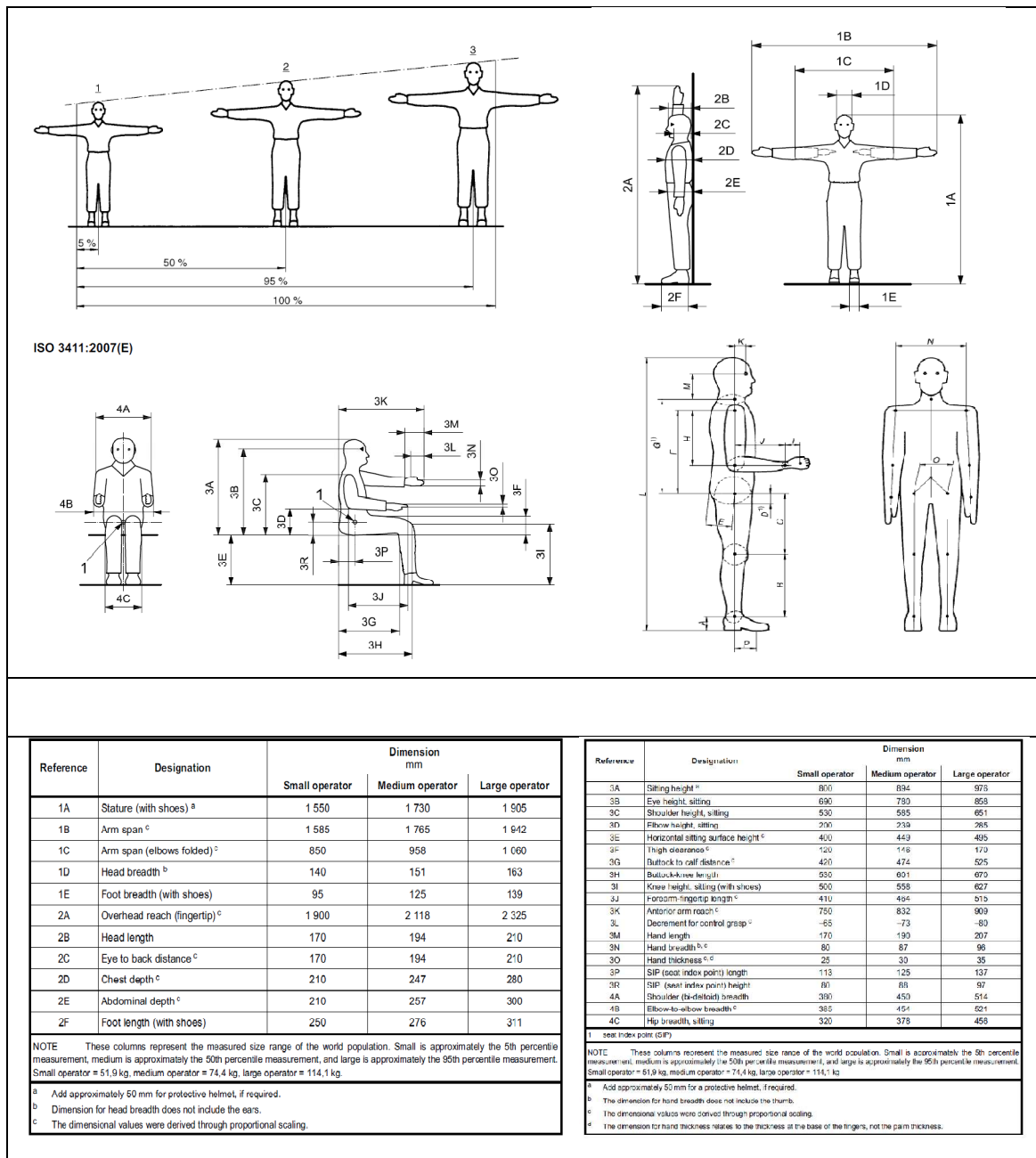
Legenda:

1- Operatore di taglia piccola (5°percentile)

2 -Operatore di taglia media (50°percentile)

3 -Operatore di taglia grande (95°percentile)

Tabella 3.2: Tabella illustrativa della norma UNI EN ISO 3411:2007



Symbol	Designation	Dimension mm
R_1	Distance between SIP and enclosure ceiling in transverse plane — with operator wearing protective helmet, on seat with suspension and adjustment — with operator not wearing protective helmet, on seat with suspension and adjustment	a $\geq 1\,050$ $\geq 1\,000$
R_2	Radius at intersection of enclosure's internal walls with each other and with ceiling	≤ 250
R_3	Distance towards rear	b
L_1	Horizontal distance between SIP and enclosure in which R_1 is to be maintained	≥ 500
h_1	Vertical distance between SIP and lower end of upper side walls of enclosure	≤ 150
h_2	Vertical distance between SIP and lower end of upper back wall of enclosure	c
W	Width within space for legs	≥ 550
C_1	Clearance for forearm/hand within upper side areas of enclosure	≥ 500
C_2	Clearance between enclosure and operator's shoe working pedal or foot control in any position	≥ 30

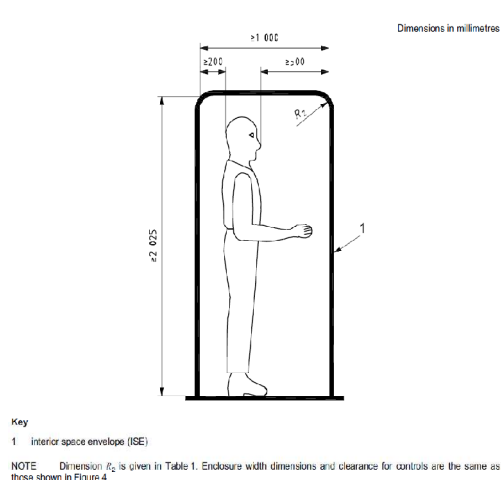
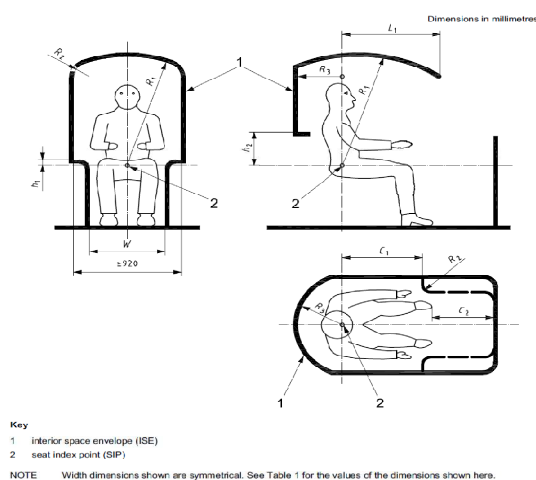
a The minimum distance from the SIP to a window retracted above the operator head shall be 520 mm.
b At least ≥ 400 mm, where b is equal to half the horizontal seat adjustment dimension. See 5.2.5.
c This dimension shall be equal to or less than the vertical distance between the SIP and the top of the seat back cushion adjusted to its lowest position.

Reference	Designation	Dimension mm		
		Small operator	Medium operator	Large operator
A	Ankle height (with shoes)	98	107	120
B	Lower leg length	367	405	450
C	Thigh length	372	425	475
D	Hip point to buttock (vertical) ^{a, b}	80	88	97
E	Hip point to buttock (fore-aft) ^b	113	125	137
F	Trunk length	396	442	486
G	Hip point to neck pivot ^{a, b}	481	538	591
H	Upper arm length ^b	247	276	303
I	Wrist to control grasp ^b	105	119	137
J	Forearm length ^b	220	246	270
K	Eye to body centerline ^b	71	79	87
L	Stature (with shoes)	1 550	1 730	1 905
M	Eye level to neck pivot ^b	133	149	164
N	Shoulder pivot width ^b	310	349	382
O	Hip pivot width ^b	152	170	187
P	Ankle to pedal force point ^b	124	138	152

a For the operator in the sitting position.
b The dimensional values were derived through proportional scaling.

ISO 3411:2007(E)

ISO 3411:2007(E)



Riferimenti normativi alle pubblicazioni internazionali e pubblicazioni europee corrispondenti: La presente norma europea rimanda, mediante riferimenti datati e non, a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti appropriati del testo e vengono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nella presente norma europea come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento.

UNI EN ISO 5353:2010 Macchine movimento terra, trattrici, macchine agricole e forestali "Punto di riferimento del sedile"

Scopo e campo di applicazione: La presente norma internazionale stabilisce un metodo e il dispositivo da utilizzare per definire la posizione del punto di riferimento del sedile (SIP) per tutti i tipi di sedili studiati per le macchine movimento terra definite nella ISO 6165, le trattrici e le macchine agricole e forestali definite nella ISO 3339-0.[40]

La presente norma fornisce un metodo uniforme per la definizione della posizione del SIP in rapporto ad un punto di fissaggio sul sedile. Il SIP può essere determinato sul sedile isolato oppure calcolato nella sua posizione operativa sulla macchina. Il SIP è una caratteristica del sedile, esso può quindi essere specificato dal costruttore del sedile.

Riferimenti normativi: Le norme sotto indicate contengono disposizioni valide anche per la presente norma internazionale, in quanto in essa espressamente richiamate. Al momento della pubblicazione della presente norma erano in vigore le edizioni sotto indicate. Tutte le norme sono soggette a revisione, pertanto gli interessati che stabiliscono accordi sulla base della presente norma internazionale sono invitati a verificare la possibilità di applicare le edizioni più recenti delle norme richiamate. I membri dell'ISO e dell'IEC posseggono gli elenchi delle norme internazionali in vigore.

1 ISO 3339-0:1986 Tractors and machinery for agriculture and forestry – Classification and terminology - Classification system

and classification (Trattrici e macchine agricole e forestali - Classificazione e terminologia – Sistema di classificazione e classificazione)

2 ISO 6165:1987 Earth-moving machinery - Basic types - Vocabulary [Macchine movimento terra - Tipi base - Vocabolario]

Definizioni: Ai fini della presente norma internazionale si applicano le definizioni seguenti:

punto di riferimento del sedile (SIP): Punto situato nel piano verticale mediano del sedile, determinato dal dispositivo rappresentato nella figura 1, quando esso è installato sul sedile secondo quanto specificato par. 5.3.5 “determinazione del punto di riferimento del sedile (SIP)”.

Nota 1: Il SIP è fisso rispetto alla macchina e non si sposta con il sedile in funzione della regolazione e/o oscillazione del sedile.

Nota 2: Il SIP, stabilito e definito nella presente norma internazionale, può essere considerato ai fini della progettazione del posto di lavoro dell'operatore, come l'intersezione, sul piano verticale passante per la linea mediana del sedile, dell'asse d'articolazione teorico tra il torso umano e le cosce.

Punto di fissaggio: Punto specificato dal costruttore che funge da riferimento al SIP.

Sedili a funzione multipla: Alcuni sedili sono concepiti per posizionare e bloccare l'operatore in vista dell'esecuzione di più

funzioni con una data macchina. Nei casi in cui è prevista una seconda posizione del sedile perché la macchina o la trattrice possiede una seconda serie di comandi, il SIP del sedile ha due posizioni in rapporto alla macchina o alla trattrice, una per ciascuna posizione, come se nella macchina o nella trattrice ci fossero due sedili. La prima posizione del SIP deve essere utilizzata per le norme internazionali applicabili alla prima posizione e serie di comandi e la seconda posizione del SIP deve essere utilizzata per le norme internazionali applicabili alla seconda posizione e serie di comandi.

Dispositivo per determinare il punto di riferimento del sedile (SIP)

Il dispositivo per determinare il SIP deve essere conforme alla figura 1. La massa del dispositivo deve essere di $6 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$. Le superfici di lavoro del dispositivo devono essere di legno duro (carteggiate con carta vetrata a grana 200 o più fine, o con un prodotto equivalente, e lucidate) o un materiale equivalente che offra le stesse prestazioni e produca un attrito minimo con il panno di mussolina.

Regolazioni per la determinazione del punto di riferimento del sedile (SIP)

Quando il sedile e la sua sospensione comportano delle regolazioni, il sedile deve essere regolato secondo le direttive seguenti prima di procedere alla determinazione del SIP.

Regolazione del sedile

Tutte le regolazioni di avanzamento, arretramento, altezza e inclinazione, devono essere disposte nella loro posizione mediana. Se non è possibile tale disposizione, occorre utilizzare la regolazione più vicina che consente di posizionare il dispositivo sopra o dietro alla posizione mediana.

Sistema di sospensione

Bloccare il sistema di sospensione in conformità alle istruzioni del costruttore. In assenza di tali istruzioni, bloccare il sistema di sospensione nel punto medio del suo campo di oscillazione. La sospensione non regolabile deve essere bloccata nella posizione verticale raggiunta con il dispositivo per determinare il punto di riferimento, caricato e posizionato al suo posto.

Determinazione del punto di riferimento del sedile "Seat Index Point" (SIP)

Il SIP deve essere determinato mediante il dispositivo e secondo il procedimento riportato di seguito:

Preparazione del sedile: Lasciare che il sedile raggiunga una temperatura ambiente di $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ prima di procedere alle misurazioni. Appoggiare il sedile su una superficie piana. Fare sedere una persona di $75\text{ kg} \pm 10\text{ kg}$ sul sedile due volte per 1 min, per assestare i cuscini del sedile e dello schienale. Lasciare il sedile senza carico per un periodo minimo di 5 min prima di procedere alle misurazioni. Coprire il sedile con uno strato singolo di panno di mussolina di dimensioni sufficienti per impedire il contatto diretto e ridurre al minimo l'attrito tra le superfici dei

cuscini e il dispositivo di misurazione. Assicurarsi che il panno non influisca sul posizionamento del dispositivo.

Sistemazione del dispositivo: Disporre il dispositivo per la determinazione del SIP, senza masse addizionali, centrato lateralmente sul cuscino del sedile, spingendolo all'indietro contro lo schienale. Assicurarsi che il dispositivo sia controllato lateralmente e in piano sul sedile.

Aggiungere delle masse per portare la massa totale del dispositivo da $6 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$ a $26 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$; il centro della forza verticale delle masse aggiunte deve trovarsi 40 mm davanti al contrassegno SIP, sulla parte orizzontale del dispositivo.

Per ottenere una buona regolazione tra il cuscino del sedile, il cuscino dello schienale e il dispositivo di misurazione del SIP, alternare l'applicazione e il rilascio di una forza orizzontale verso l'indietro di circa 100 N sulla posizione indicata nella figura 1 e inclinare il dispositivo da un lato all'altro. Aggiungere altre masse per portare la massa totale del dispositivo da $26 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$ a $65 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$ in modo che il centro della forza verticale delle masse aggiunte si trovi 40 mm davanti al contrassegno SIP, sulla parte orizzontale del dispositivo.

Nota: Un operatore di 75 kg corrisponde approssimativamente al dispositivo per determinare il punto di riferimento posizionato sul sedile e caricato con una massa di 65 kg. Ripetere l'applicazione e il rilascio della forza e l'inclinazione del dispositivo, assicurandosi che il dispositivo sia centrato lateralmente e in piano sul sedile.

Misurazione: Effettuare le misurazioni su ciascun lato del dispositivo di determinazione del SIP in punti equidistanti dal piano verticale centrale. Calcolare la media dei valori. Annotare, con precisione di ± 1 mm, le coordinate del SIP rispetto al punto di fissaggio del sedile definito dal costruttore. Alcune macchine hanno sedili che svolgono più funzioni, generalmente tramite la rotazione del sedile. Le funzioni possono comprendere l'uso delle attrezzature della macchina o l'azionamento della macchina per lo spostamento. In questi casi, può non essere possibile calcolare facilmente la posizione dei diversi SIP rispetto al punto di fissaggio. In tal caso, ripetere le procedure descritte per ciascuna posizione del sedile.

Resoconto di prova: Il resoconto di prova deve contenere le informazioni seguenti:

- a) un riferimento alla presente norma internazionale;
- b) una descrizione completa di tutte le condizioni di prova o le regolazioni che si discostano da quelle prescritte nella presente norma internazionale;
- c) un disegno o uno schema dell'insieme del sedile che mostri le coordinate tra il punto di fissaggio e il SIP;
- d) una descrizione dei campi disponibili di regolazione del sedile.

Metodo utilizzato per effettuare le misurazioni: Il metodo di misurazione, è descritto dettagliatamente nella norma UNI EN ISO 5353:00 sopra citata.

Oltre a quanto riportato in precedenza, si è proceduto alle misurazioni apportando delle piccole modifiche nella metodologia di misurazione per l'impossibilità di effettuarle a causa di ostacoli dovuti alle piastre posizionate sui quattro piedistalli di ferro.

Per rendere il SIP più accessibile alle misurazioni è stato studiato un metodo che permette, dopo aver individuato il punto SIP, di tracciare le linee verticali e orizzontali sulle quali ortogonalmente effettuare le misurazioni.

Posizionato lo strumento sul sedile, attenendosi alla *norma UNI EN ISO 5353:00*, si passa il filo all'interno dei fori situati nella schienale verticale-laterale, si tende e si blocca dal lato opposto del bracciolo formando una retta orizzontale che passa per il punto S.I.P. utilizzando una livella a "bolla". Dalla parte sottostante si fissa un filo che parte dalla proiezione verticale sul sedile (piombo) del S.I.P e si fissa al tetto della cabina avendo cura di rettificarlo verticalmente con la livella a bolla di controllare che sia coincidente in un punto con il filo orizzontale teso precedentemente. L'incrocio dei due fili è dunque il punto S.I.P. materializzato nel sedile.

Si ottengono in questo modo le proiezioni ortogonali del punto S.I.P. verso le quali effettuare le misurazioni senza intralci.

Dimensioni minime di ingombro: Lo spazio minimo di ingombro dell'operatore è la dimensione interna del posto di guida. Le dimensioni dello spazio minimo di ingombro raccomandato attorno all'operatore vestito, per il posto di guida (cabina) si riferiscono al punto di riferimento del sedile (SIP) definito nella ISO 5353:00.

Lo spazio minimo di ingombro dell'operatore è basato sulle dimensioni degli operatori di taglia grande, si misura sulla superficie interna del posto di guida priva di deformazioni superficiali visibili e può essere più piccolo di quello specificato nella UNI EN ISO 3411:07 se si è in grado di dimostrare che lo spazio ridotto di ingombro dell'operatore per un tipo particolare di macchina consente all'operatore di svolgere adeguatamente il suo lavoro.

I parametri che sono stati oggetto di misurazione sono (come descritto dalla UNI EN ISO 3411:2007):

1. **R1:** distanza fra il SIP e il soffitto della cabina nel piano trasversale. Il limite minimo imposto è:

- 1050 mm per operatori che indossano il casco di protezione su sedile dotato di dispositivo di regolazione in altezza.
- 1000 mm per operatori che non indossano il casco di protezione su sedile dotato di dispositivo di regolazione dell'altezza.

2. **R2:** raggio all'intersezione delle pareti interne della cabina fra loro e con il soffitto. Il limite è di massimo 250 mm.
3. **R3:** distanza verso la parete posteriore. La misura rilevata deve essere almeno $b+400\text{ mm}$, dove b è pari alla metà della dimensione di regolazione orizzontale del sedile.
4. **L1:** Distanza verticale tra il SIP e il punto nell'estremità anteriore superiore della cabina dove la distanza R1 sia mantenuta.
5. **h1:** distanza verticale fra il SIP e le estremità inferiori delle pareti laterali superiori della cabina. La norma stabilisce un massimo di 150 mm.
6. **h2:** distanza verticale fra il SIP e l'estremità inferiori della parete posteriore superiore della cabina. La misura rilevata deve essere pari alla distanza verticale fra il SIP e la parte superiore del sedile regolato nella sua posizione più bassa.
7. **W:** larghezza entro lo spazio delle gambe. Dalla norma viene stabilito uno spazio minimo di 560 mm.
8. **C1:** distanza per avambraccio entro le zone laterali superiori della cabina. Questa distanza deve essere almeno di 500 mm.
9. **C2:** distanza fra la cabina e la calzatura dell'operatore che aziona un pedale o un comando a pedale in qualsiasi posizione. Il valore limite minimo imposto dalla norma è di 30 mm.

Modulo per la trascrizione delle misurazioni: Per la trascrizione delle misurazioni in campo sono stati utilizzati dei moduli, appositamente concepiti per riassumere le varie misurazioni da analizzare, come descritto nella norma *UNI EN ISO 3411:2007*.

Il modulo riporta tutte le dimensioni massime e minime per il rispetto della norma, le celle da riempire con le misure rilevate e, in fondo alla pagina, tre immagini per facilitare la comprensione delle relative misure.

Strumenti per la misure antropometriche: Lo strumento per la determinazione del punto di riferimento del sedile (SIP)

Le misurazioni sono state effettuate con l'ausilio di uno strumento di legno, fatto appositamente costruire da una falegnameria specializzata con macchine a controllo numerico per avere una precisione millesimale e poter rispettare con precisione le direttive di costruzione dettate dalla norma *UNI EN ISO 5353/2000*.

Lo strumento è stato realizzato in legno di faggio per avere la massima resistenza pur restando in una massa contenuta di 2,98 kg. Il dispositivo, insieme ai quattro piccoli piedistalli di ferro (utilizzati per appoggiare 6 piastre del peso di 10 kg per raggiungere la massa 65 ± 1 kg), raggiunge i 6 kg di peso, come imposto dalla norma sopra citata.

È stato utilizzato un legno di faggio anche per rendere lo strumento rigido e resistente ai carichi prodotti dalle piastre di peso aggiuntivo.

La macchina a controllo numerico con cui è stato costruito lo strumento ha permesso di ritagliare centinaia di piccoli tasselli che successivamente sono stati uniti e incollati con una particolare pressa meccanica.

Lo strumento è formato da due parti:

1. base orizzontale che aderisce alla seduta del sedile analizzato, con angoli di curvatura prestabiliti dalla norma UNI EN ISO 5353
2. schienale verticale, anch'esso con angoli di curvatura prestabiliti dalla norma UNI EN ISO 5353, che aderisce allo schienale del sedile analizzato.

La base e lo schienale sono stati uniti da un tassello che alle sue estremità forma un angolo di 45° per rendere le due parti perpendicolari tra loro.

Il punto di riferimento del sedile (SIP) è definito dall'intersecazione della retta orizzontale passante tra i due fori della parte superiore dello strumento e la retta verticale passante per il foro situato nel centro della parte inferiore dello strumento.

Oltre allo strumento sopra descritto, per effettuare le misure sono state utilizzate fettucce millimetriche, metro riavvolgibile, metro pieghevole, livella, nastro adesivo, carta, e piastre di metallo di massa di 10 kg ognuna per il raggiungimento della massa desiderata.

4 - RISULTATI E DISCUSSIONE

L'elenco macchine e l'elenco misure di rumore e di vibrazioni, per una migliore distribuzione spaziale del trattato, sono stati inseriti in appendice. Per il calcolo del livello giornaliero del rumore e per le accelerazioni giornaliere delle vibrazioni si è ipotizzato un tempo di esposizione pari alle otto ore, evento probabile nell'utilizzo di trattori, sia di proprietà sia per conto terzi.

Di seguito il sunto dei risultati ottenuti¹.

¹ *Si ringrazia l'ing. Leonardo Longo per il contributo all'elaborazione statistica del rumore e delle vibrazioni.*

4.1 Calcolo del valore di esposizione alle vibrazioni

Dal data base di valutazioni effettuate del rischio vibrazioni si sono tratti i seguenti risultati:

Tabella 4. 1: Valori accelerazioni trattori gommati

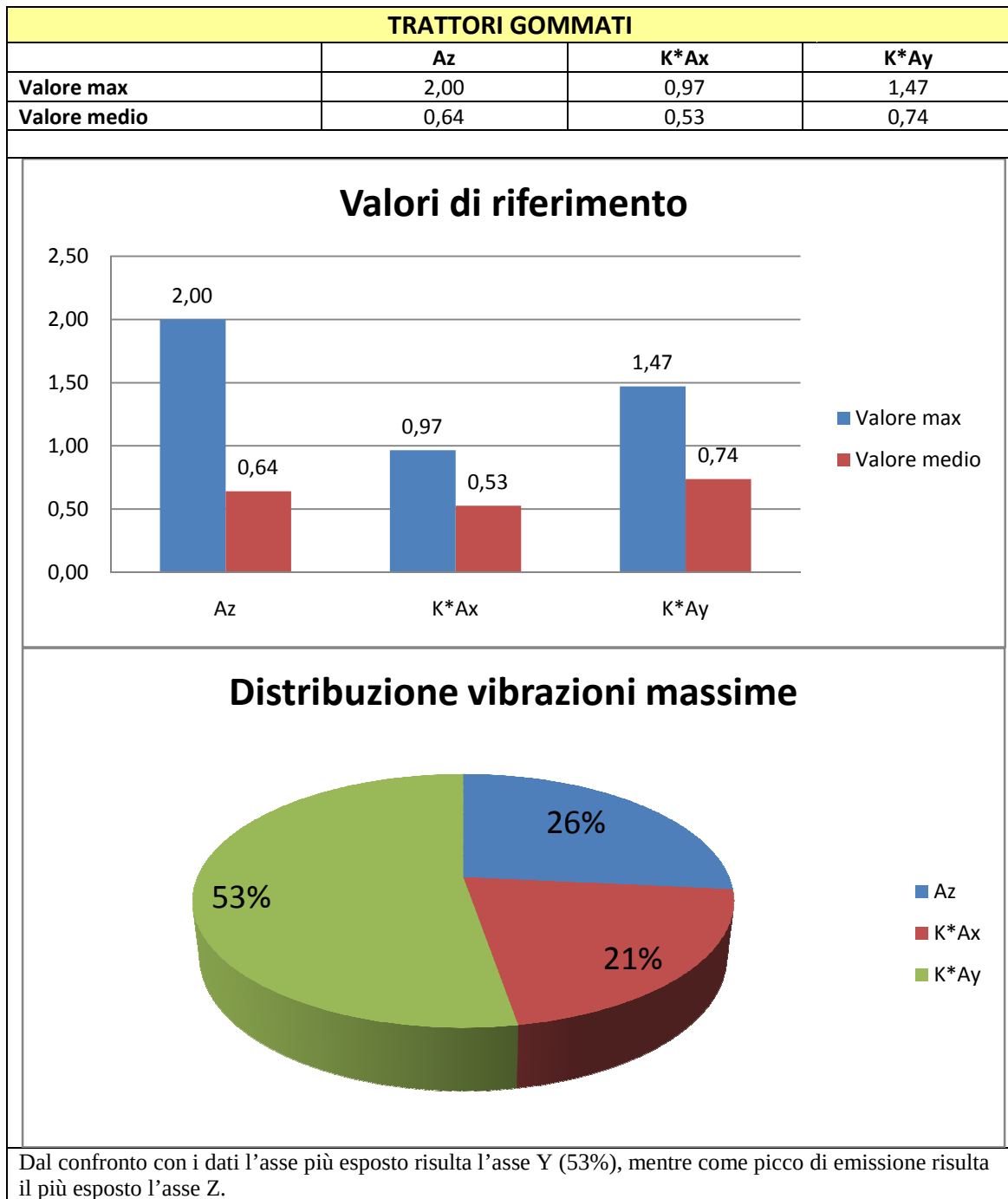


Tabella 4. 2: Valori accelerazioni trattori cingolati

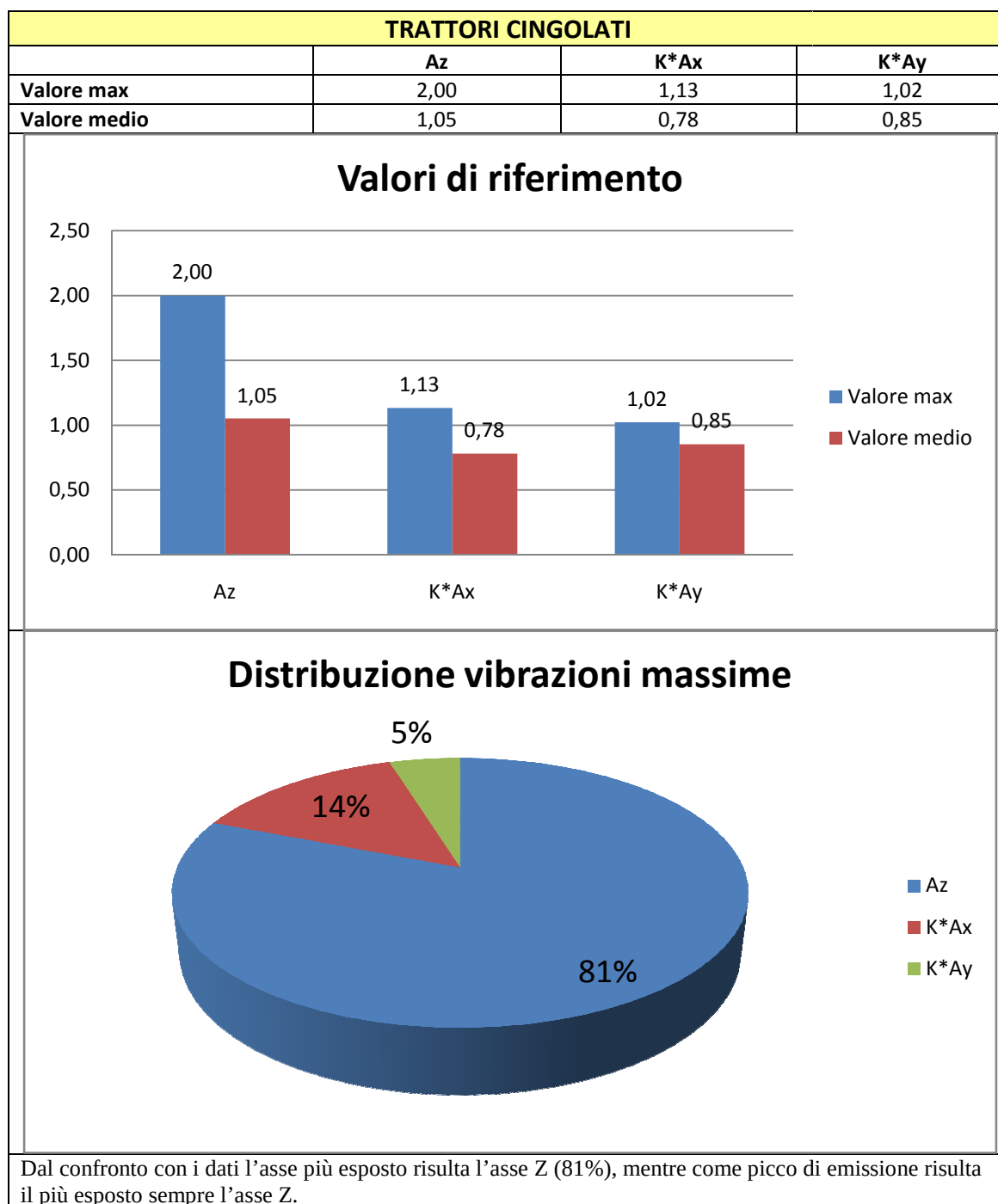


Tabella 4. 3: Valori accelerazioni trattori gommati-terreno

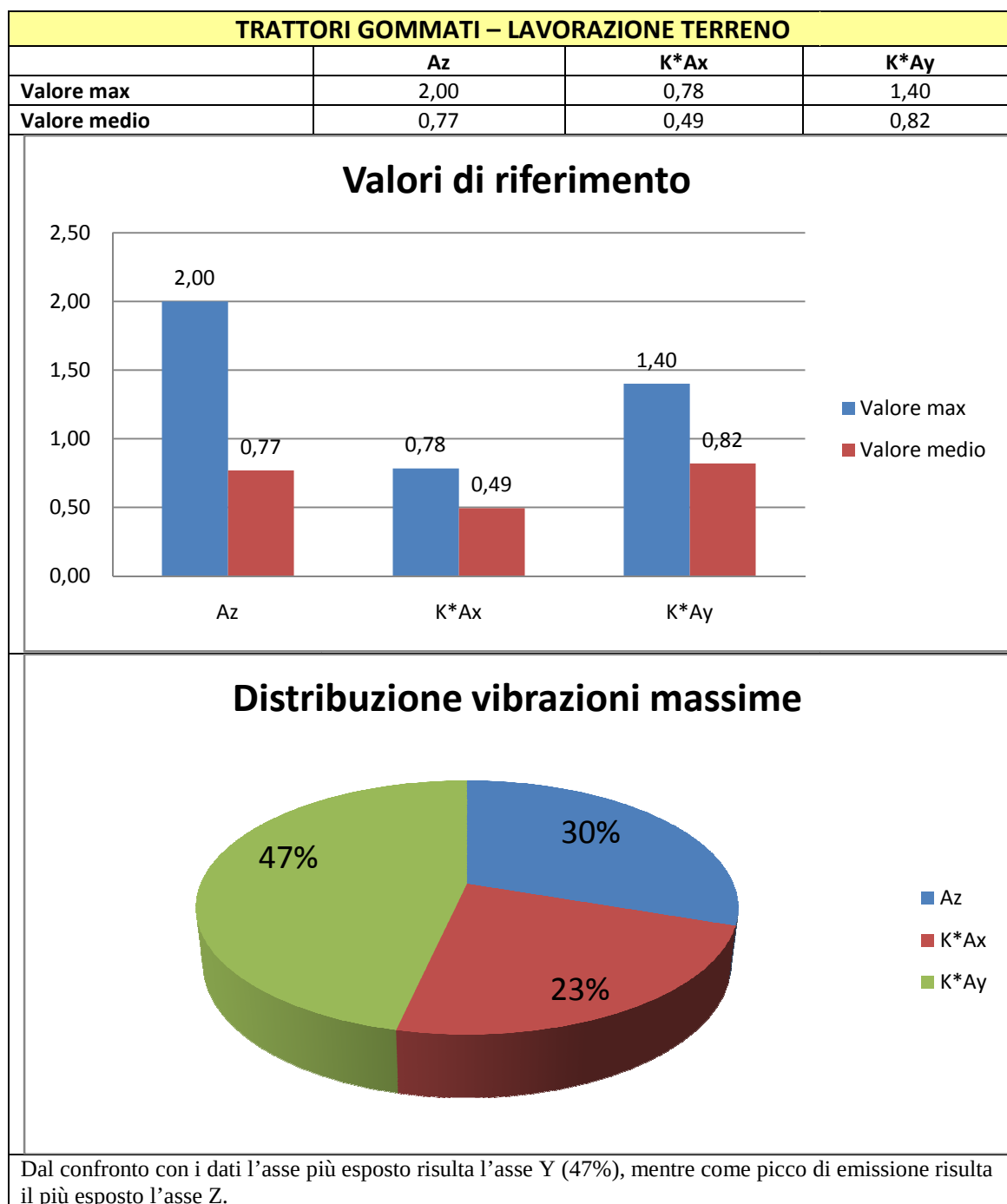


Tabella 4. 4: Valori accelerazioni trattori cingolati-terreno

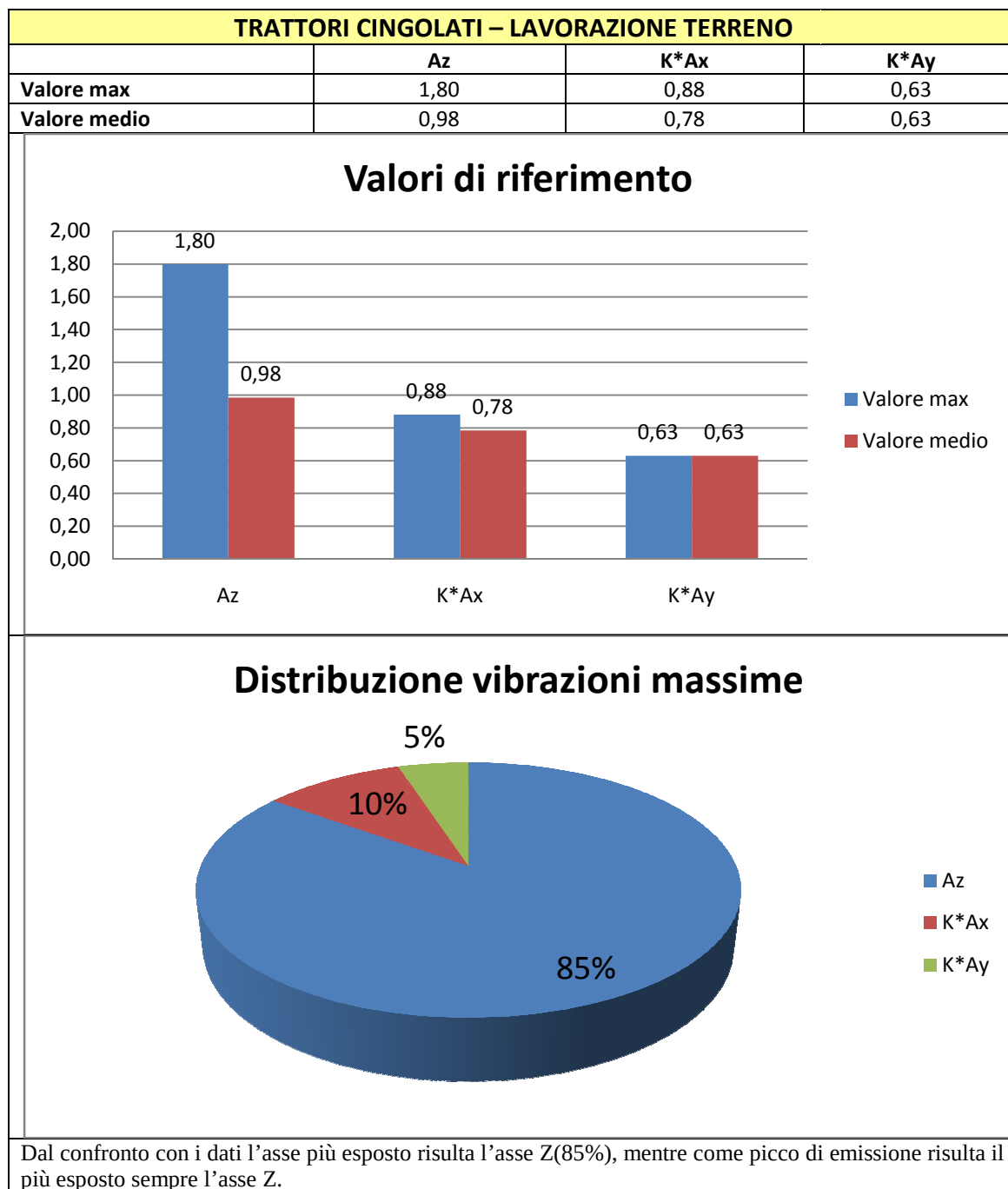


Tabella 4. 5: Valori accelerazioni trattori gommati-trasporto

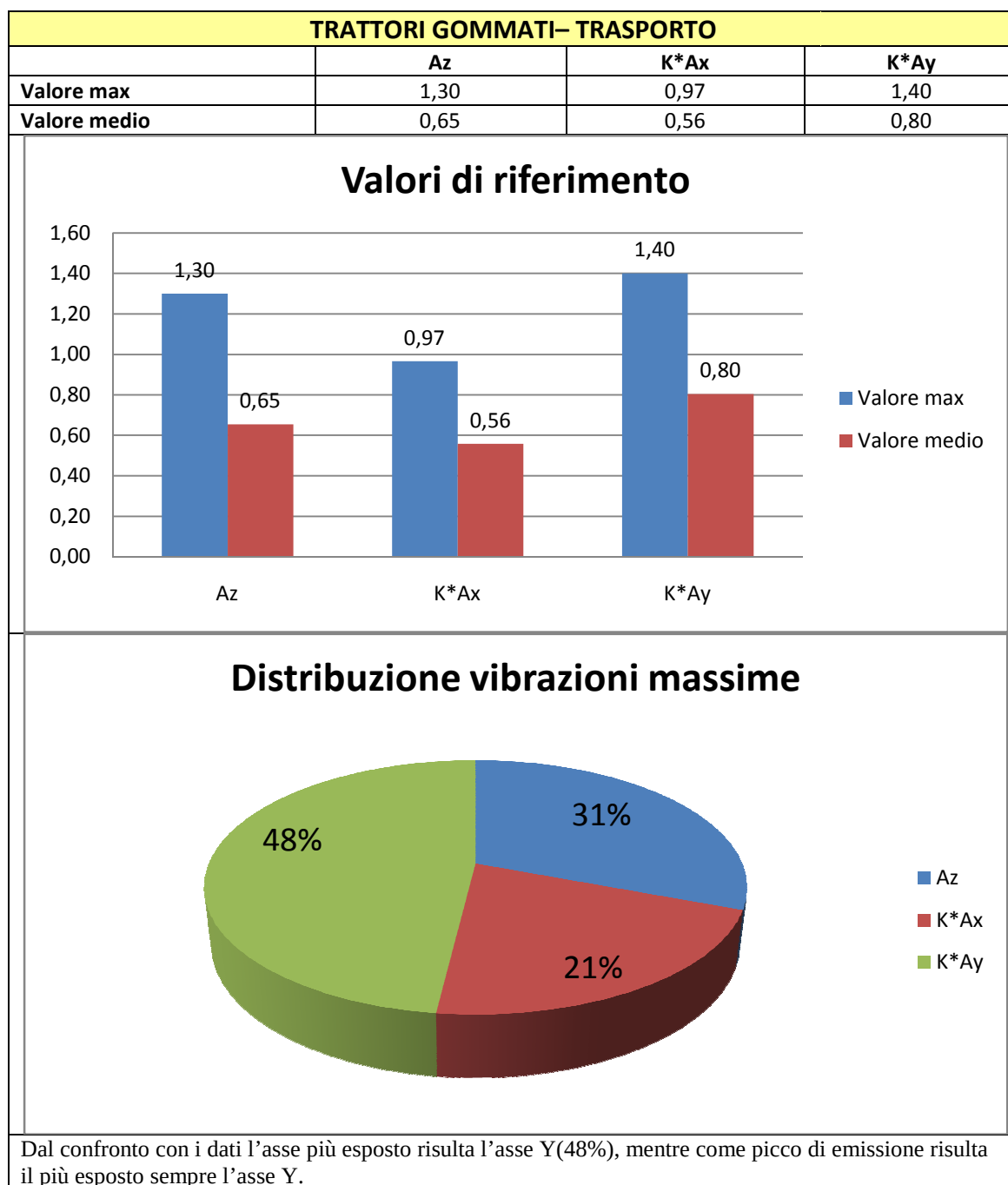


Tabella 4. 6: Valori accelerazioni trattori cingolati-trasporto

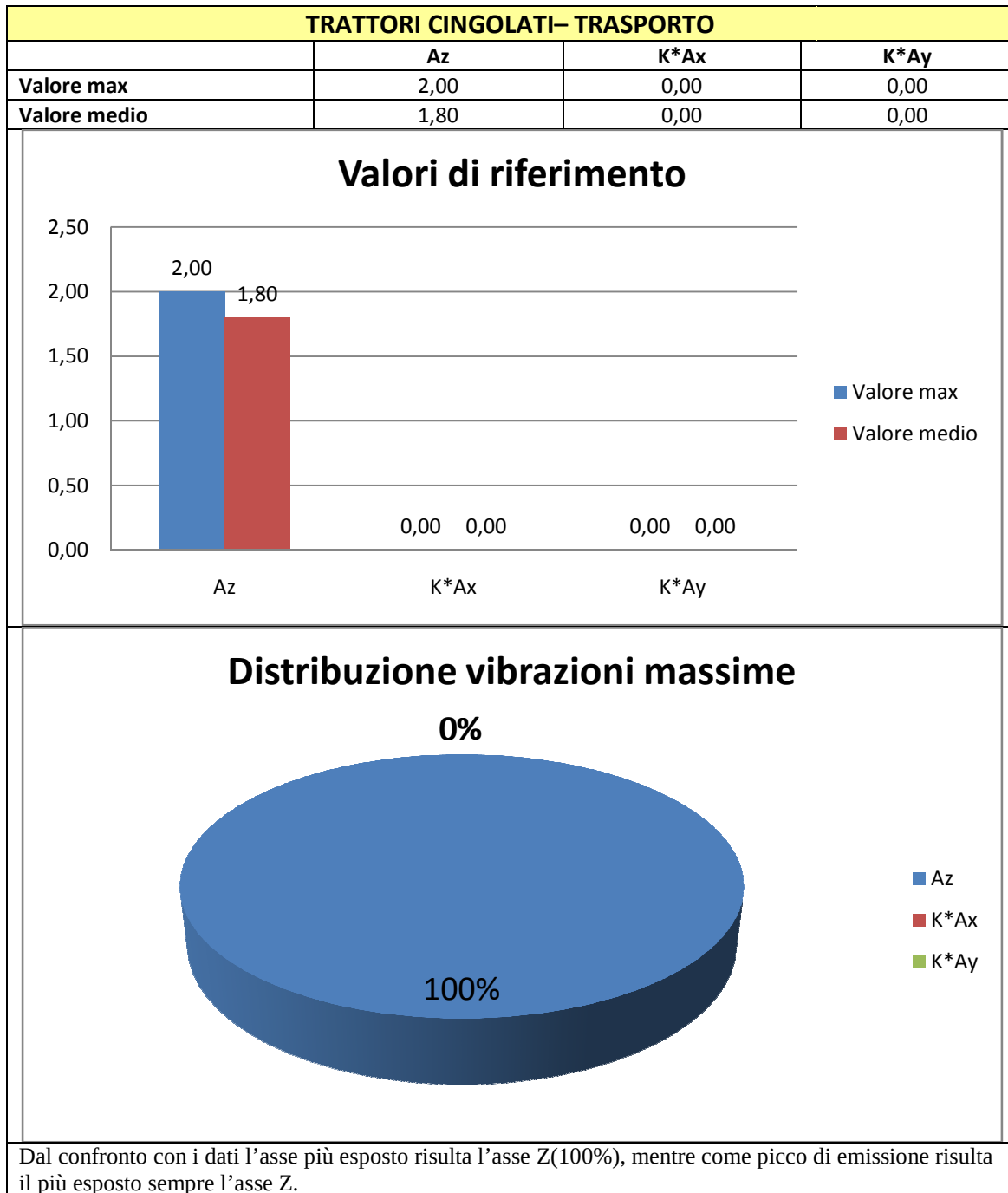


Tabella 4. 7: Valori accelerazioni trattori gommati-erpice

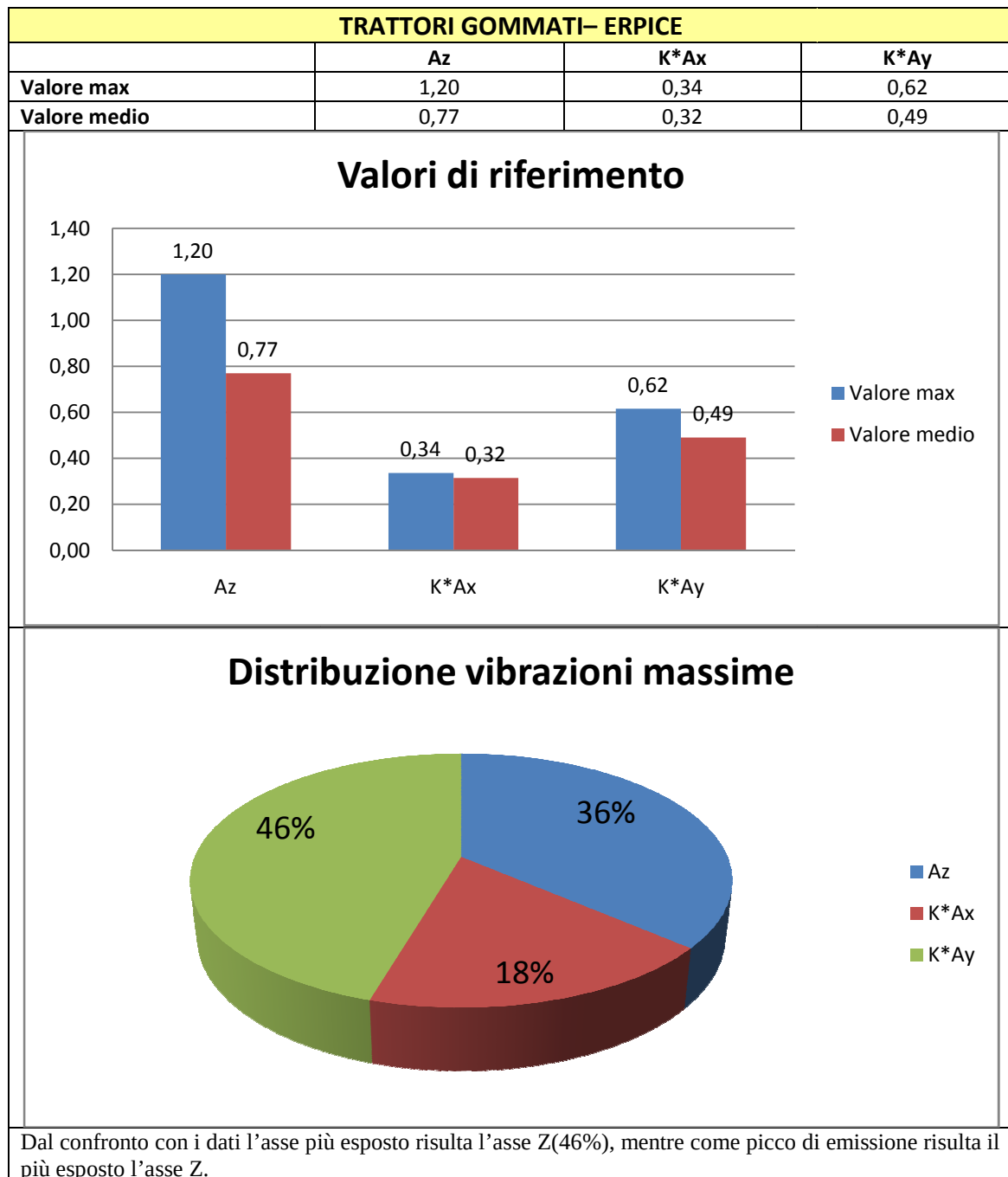


Tabella 4. 8: Valori accelerazioni trattori cingolati-erpice

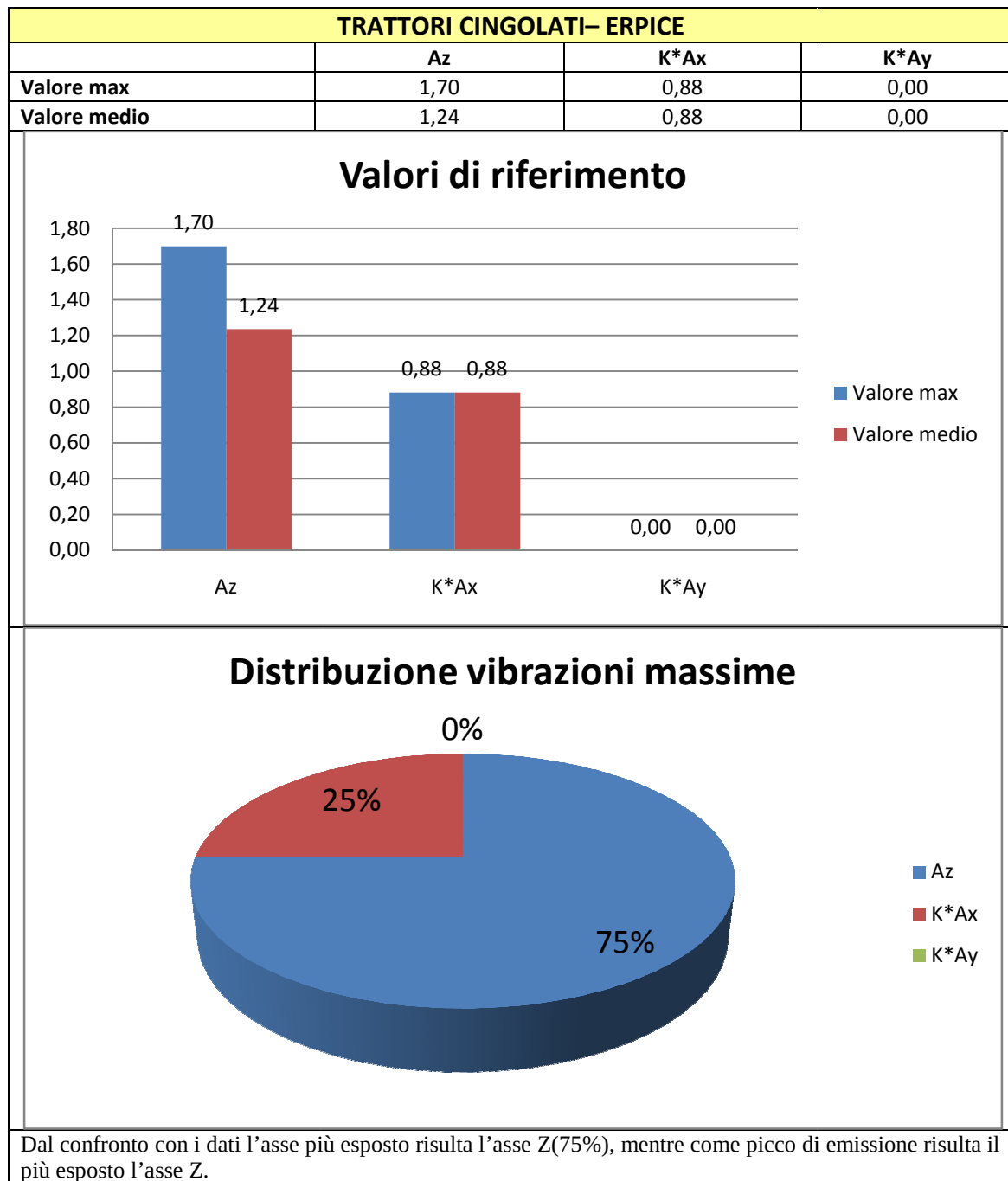


Tabella 4. 9: Valori accelerazioni trattori gommati-aratura

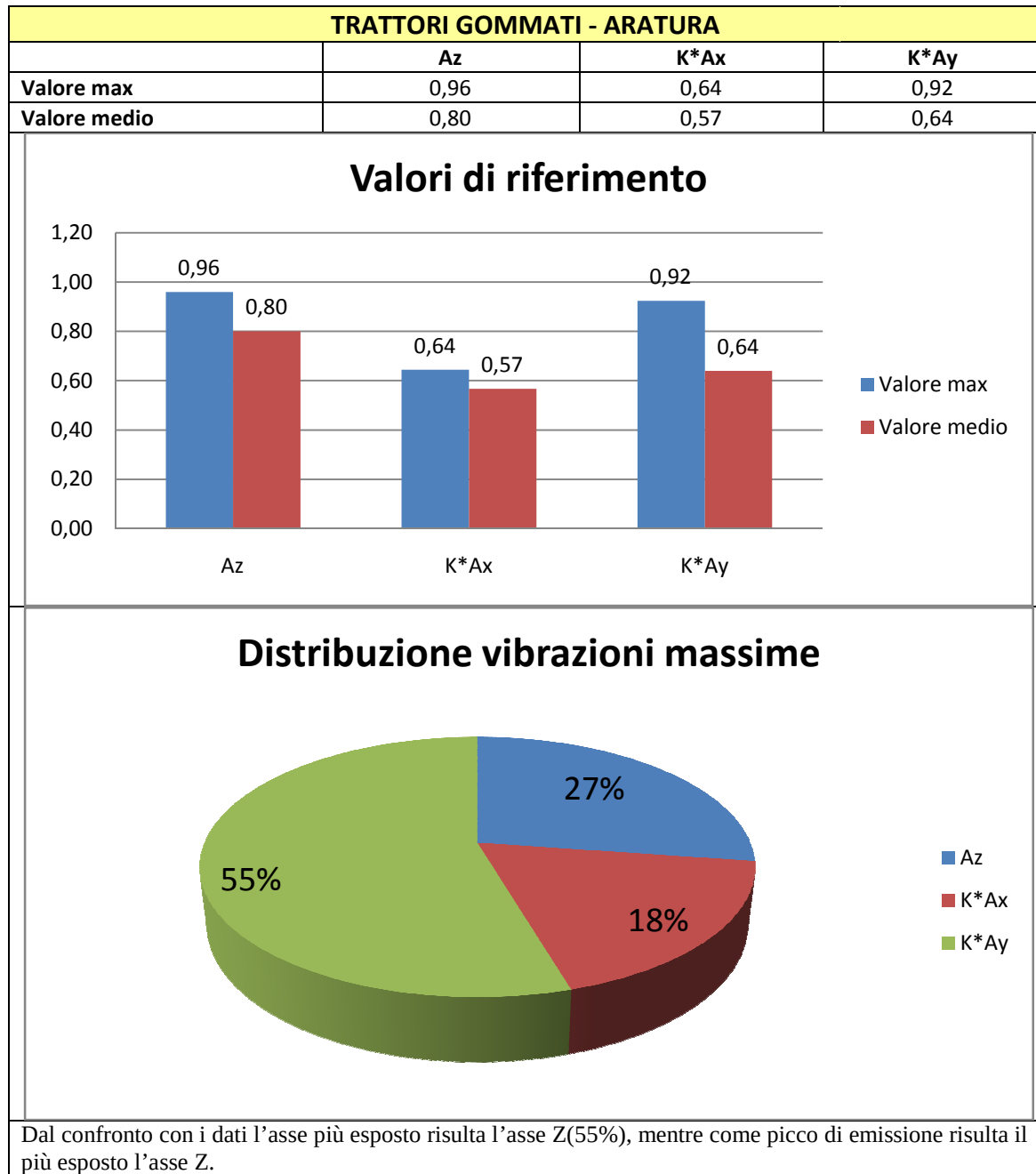


Tabella 4. 10: Valori accelerazioni trattori cingolati-aratura

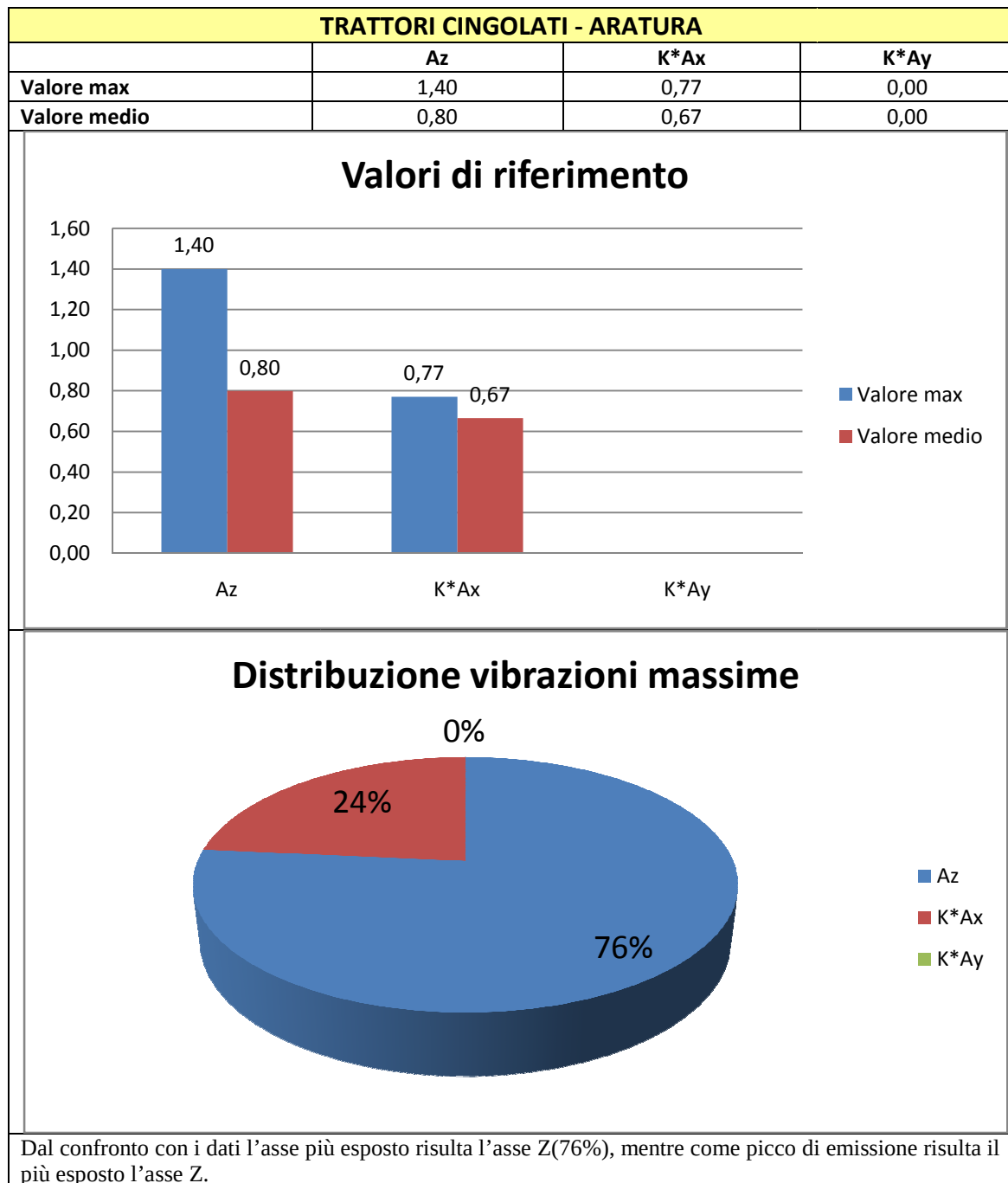


Tabella 4. 11: Valori accelerazioni trattori gommati-botte trattamenti

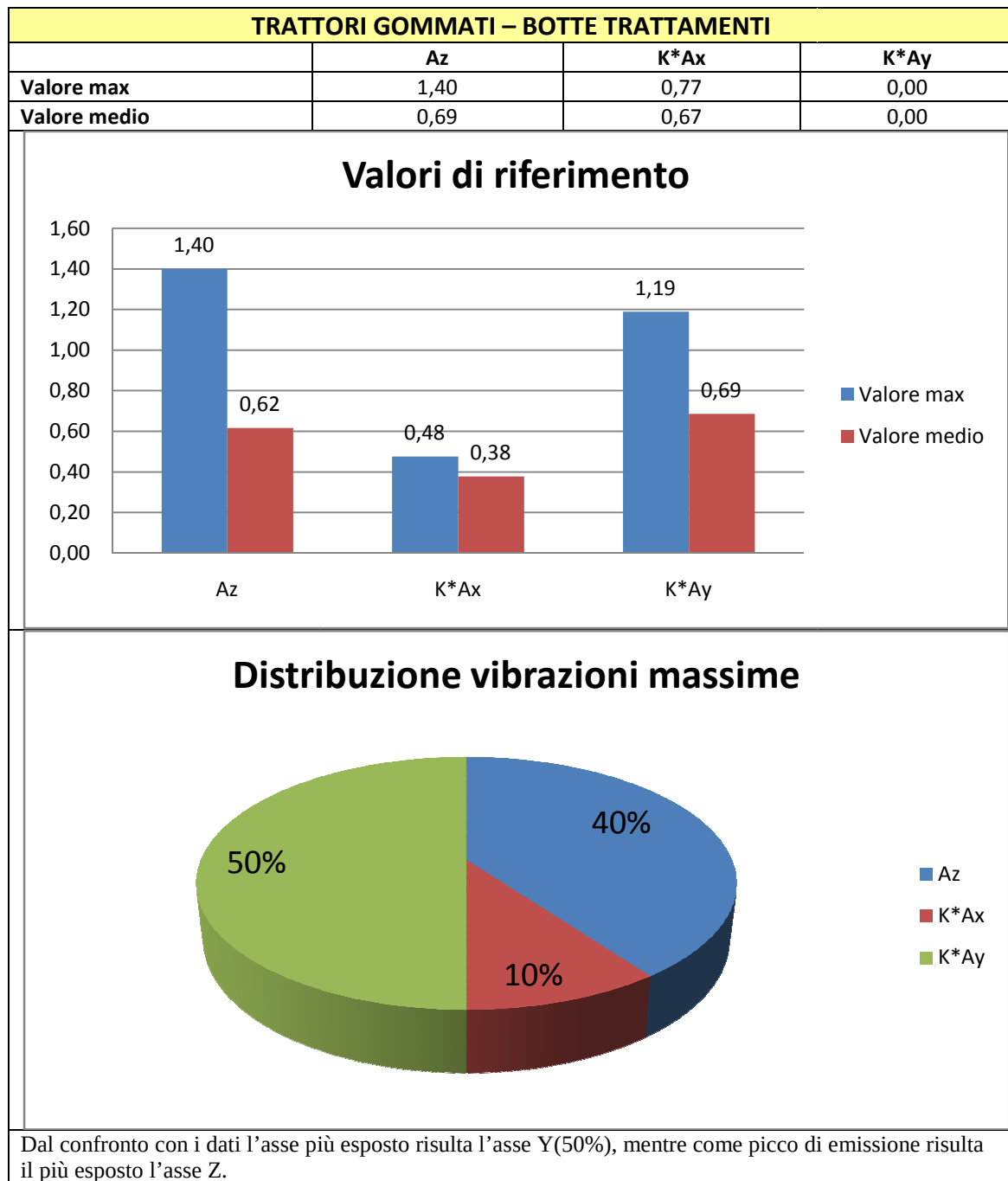


Tabella 4. 12: Valori accelerazioni trattori gommati-trincia

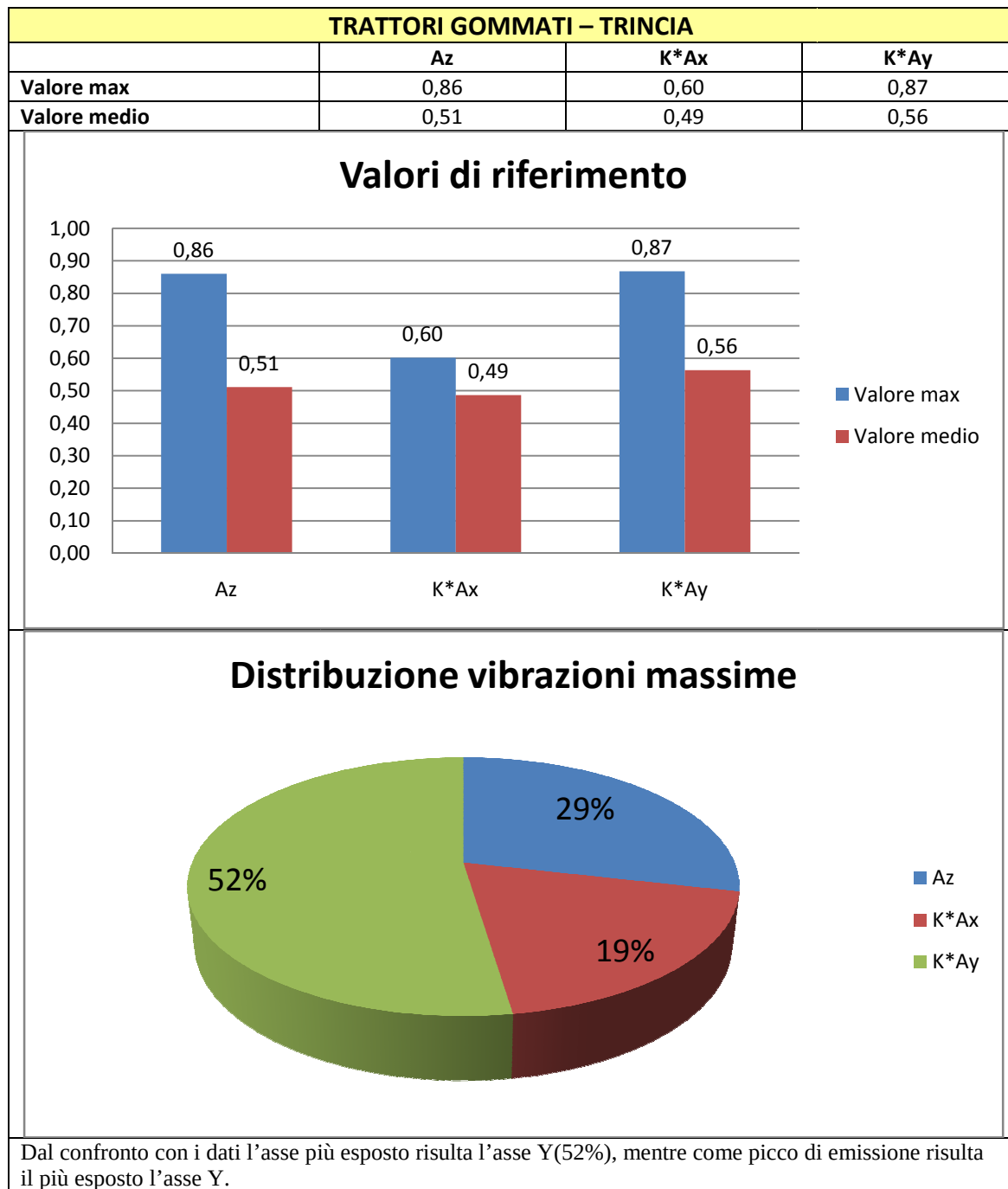
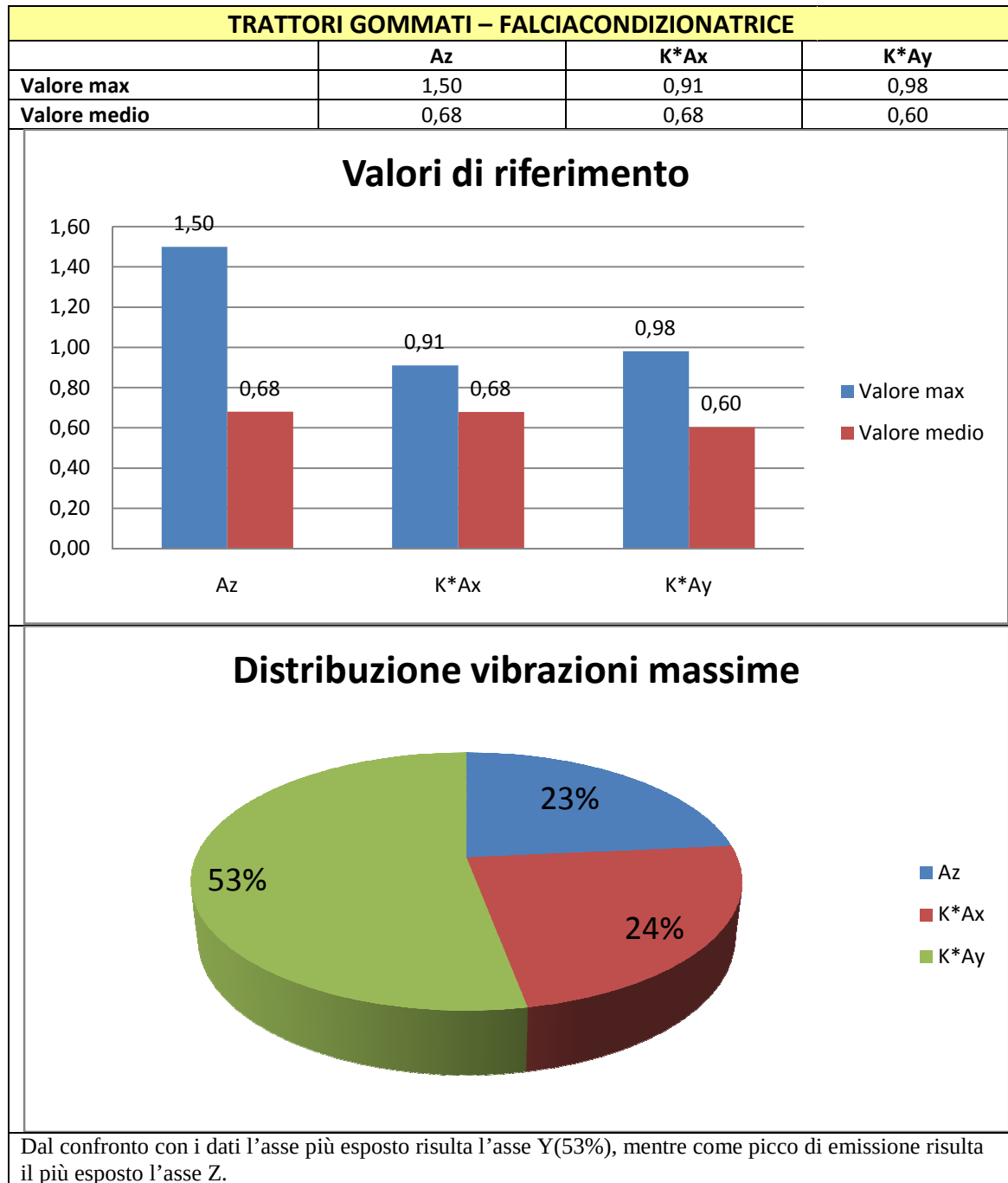


Tabella 4. 13: Valori accelerazioni trattori gommati-falciatrice



A seguito dell'analisi dei dati raccolti, si è deciso di indagare il contributo delle principali sorgenti vibrazionali sui trattori agricoli (messi a disposizione dal CRA-ING "Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria" di Roma), esaminando le possibili variabili che ne determinano il valore finale, come ad es. il tipo di operatrice e le sue modalità di accoppiamento, la velocità di avanzamento e la superficie di percorrenza al fine di verificare la correlazione e una relazione di tipo lineare per realizzare un modello matematico previsionale in grado di determinare il valore di esposizione quotidiana (o settimanale) dei lavoratori impiegati in agricoltura, in ottemperanza a quanto stabilito dal D.Lgs. 81/08, senza dover ricorrere, necessariamente, alle misurazioni in campo:

Tabella 4. 14: Valori accelerazioni trattori gommati-aratura-terreno-asfalto

Trattore	Velocità	Lavorazione	a_{wx} (ms^{-2})	a_{wy} (ms^{-2})	a_{wz} (ms^{-2})	a_v (ms^{-2})	A(8)	Valore limite ($1,0 ms^{-2}$)	Valore d'azione ($0,5 ms^{-2}$)
								Tempo (h : min)	Tempo (h : min)
Case IH MX 270	6,6	aratura	0,344	0,417	0,399	0,849	0,584	>12	5:52
		trasf. terreno	0,758	0,630	0,403	1,445	1,061	7:06	1:47
		trasf asfalto	0,098	0,183	0,147	0,327	0,256	>12	>12
	4,6	erpicazione	0,358	0,448	0,383	0,892	0,627	>12	5:05
		trasf. terreno	0,419	0,588	0,367	1,080	0,823	11:48	2:57
		trasf asfalto	0,111	0,181	0,189	0,357	0,253	>12	>12
Landini Globus 80 Top	5,1	aratura	0,561	0,611	0,650	1,331	0,855	10:56	2:31
		trasf. terreno	0,398	0,575	0,477	1,090	0,805	>12	3:05
		trasf asfalto	0,090	0,170	0,311	0,412	0,311	>12	>12
	2,7	erpicazione	0,194	0,310	0,541	0,746	0,541	>12	6:50

		trasf. terreno	0,223	0,253	0,315	0,568	0,354	>12	>12
		trasf asfalto	0,110	0,136	0,284	0,376	0,284	>12	>12
New Holland M160	4,0	aratura	0,419	0,353	0,362	0,849	0,587	>12	5:49
		trasf. terreno	0,159	0,265	0,263	0,506	0,371	>12	>12
		trasf asfalto	0,060	0,131	0,272	0,339	0,272	>12	>12
	2,7	erpicazione	0,319	0,307	0,281	0,681	0,447	>12	10:02
		trasf. terreno	0,153	0,192	0,379	0,514	0,379	>12	>12
		trasf asfalto	0,058	0,110	0,362	0,404	0,362	>12	>12
New Holland TM 175	5,0	aratura	0,389	0,573	0,450	1,070	0,802	>12	3:06
		trasf. terreno	0,138	0,315	0,207	0,525	0,441	>12	10:17
		trasf asfalto	0,065	0,143	0,221	0,314	0,221	>12	>12
	2,8	erpicazione	0,285	0,421	0,291	0,769	0,589	>12	5:45
		trasf. terreno	0,130	0,142	0,249	0,368	0,249	>12	>12
		trasf asfalto	0,161	0,087	0,431	0,503	0,431	>12	10:46
John Deere 7710	4,7	aratura	0,612	0,360	0,414	1,079	0,857	10:54	2:43
		trasf. terreno	0,217	0,265	0,148	0,501	0,371	>12	>12
		trasf asfalto	0,102	0,112	0,129	0,249	0,156	>12	>12
	5,6	erpicazione	0,523	0,529	0,320	1,089	0,740	>12	3:39
		trasf. terreno	0,270	0,324	0,171	0,615	0,453	>12	9:43
		trasf asfalto	0,120	0,148	0,145	0,303	0,207 (Y)	>12	>12

Dai risultati ottenuti si evidenzia che, per tutti i trattori in prova, è molto facile superare il valore d'azione imposto dal D.Lgs.81/08. Per quanto riguarda, invece, il valore limite, non si supera in nessuna condizione di utilizzo.

Per verificare se esiste una correlazione per ogni trattore in prova si è costruita, attraverso il programma Excel™, una matrice al fine di correlare le lavorazioni (aratura o erpicatura) con i relativi trasferimenti a vuoto (terreno ed asfalto), per valutare se le diverse combinazioni ottenute siano significative ($P \leq 0,05$) o altamente significative ($P \leq 0,01$).

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dall'analisi statistica della correlazione, facenti riferimento ai dati delle vibrazioni al pianale e successivamente a quelli delle vibrazioni al corpo intero.

Occorre sottolineare che, per quanto riguarda i dati delle vibrazioni, l'analisi statistica della correlazione è stata eseguita, per ogni trattore, mettendo in relazione sia i tre assi (x, y e z) delle diverse tipologie di prova, sia la sommatoria dei tre assi (a_v).

Tab. 4.15: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Case IH MX 270:

Case IH MX 270			
	a_v Aratura (ms^{-2})	a_v Trasn. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasn. Asfalto (ms^{-2})
	0,758	0,846	0,270
	0,691	0,974	0,243
	0,685	0,758	0,274
	0,783	0,926	0,247
	0,714	1,006	0,258
Media	0,726	0,902	0,258
Dev. St	0,043	0,101	0,014

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	0,099	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,173	n.s.	-0,785	n.s.	1
t Calcolato					
	0,172				
	-0,304		-2,192		

Tab. 4.16: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Case IH MX 270.

Case IH MX 270			
	a _v Erpicatura (ms ⁻²)	a _v Trasf. Terreno (ms ⁻²)	a _v Trasf. Asfalto (ms ⁻²)
	0,685	0,974	0,220
	0,715	0,805	0,251
	0,689	0,836	0,264
	0,751	0,894	0,239
	0,712	0,973	0,262
Media	0,710	0,896	0,247
Dev. St	0,026	0,077	0,018

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,137	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,013	n.s.	-0,393	n.s.	1
t Calcolato					
	-0,239				
	0,023		-0,740		

Tab. 4.17: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Landini Globus 80 Top.

Landini Globus 80 Top			
	a_v Aratura (ms^{-2})	a_v Trasn. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasn. Asfalto (ms^{-2})
	1,353	1,255	0,404
	1,499	1,283	0,394
	1,499	1,283	0,432
	1,481	1,309	0,394
	1,536	1,333	0,429
Media	1,473	1,292	0,410
Dev. St	0,070	0,030	0,019

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasn. Terreno	Significatività	Trasn. Asfalto
Aratura	1				
Trasn. Terreno	0,809	n.s.	1		
Trasn. Asfalto	0,367	n.s.	0,309	n.s.	1
t Calcolato					
	2,382				
	0,682		0,562		

Tab. 4.18: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Landini Globus 80 Top.

Landini Globus 80 Top			
	a_v Erpicatura (ms^{-2})	a_v Trasn. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasn. Asfalto (ms^{-2})
	0,686	0,507	0,265
	0,720	0,524	0,284
	0,790	0,500	0,240
	0,756	0,542	0,263
	0,769	0,548	0,272
Media	0,744	0,524	0,265
Dev. St	0,041	0,021	0,016

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	0,201	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,554	n.s.	0,544	n.s.	1
t Calcolato					
	0,356				
	-1,151		1,122		

Tab. 4.19: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland M 160.

New Holland M 160			
	a _v Aratura (ms ⁻²)	a _v Trasf. Terreno (ms ⁻²)	a _v Trasf. Asfalto (ms ⁻²)
	0,922	0,435	0,232
	0,817	0,478	0,204
	0,861	0,473	0,239
	0,959	0,482	0,246
	0,964	0,488	0,233
Media	0,905	0,471	0,231
Dev. St	0,064	0,021	0,016

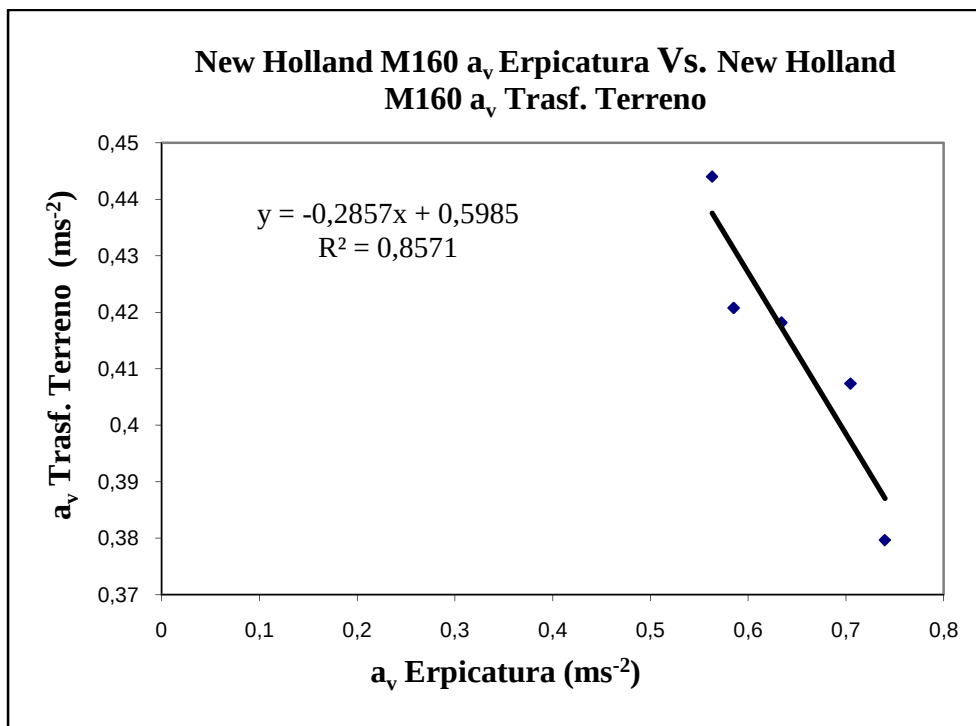
Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	0,046	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,727	n.s.	-0,006	n.s.	1
t Calcolato					
	0,080				
	1,834		-0,011		

Tab. 4.20: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland M 160.

New Holland M 160			
	a_v Erpicatura (ms ⁻²)	a_v Trasn. Terreno (ms ⁻²)	a_v Trasn. Asfalto (ms ⁻²)
	0,585	0,421	0,219
	0,740	0,380	0,289
	0,634	0,418	0,233
	0,563	0,444	0,298
	0,705	0,407	0,275
Media	0,645	0,414	0,263
Dev. St	0,076	0,023	0,035

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasn. Terreno	Significatività	Trasn. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasn. Terreno	-0,926	*	1		
Trasn. Asfalto	0,310	n.s.	-0,106	n.s.	1
t Calcolato					
	-4,243				
	0,565		-0,185		

Tab. 4.21: Correlazione statisticamente significativa ($P \leq 0,05$) tra erpicatura e trasferimento terreno del New Holland M 160.



Tab. 4.22: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto per New Holland TM 175.

	New Holland TM 175		
	a _v Aratura (ms ⁻²)	a _v Trasf. Terreno (ms ⁻²)	a _v Trasf. Asfalto (ms ⁻²)
	0,975	0,454	0,229
	1,038	0,413	0,224
	0,962	0,409	0,271
	1,005	0,408	0,252
	0,913	0,432	0,224
Media	0,979	0,423	0,240
Dev. St	0,047	0,020	0,021

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	-0,384	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,022	n.s.	-0,558	n.s.	1
t Calcolato					
	-0,720				
	-0,038		-1,166		

Tab. 4.23: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland TM 175.

New Holland TM 175			
	a _v Erpicatura (ms ⁻²)	a _v Trasf. Terreno (ms ⁻²)	a _v Trasf. Asfalto (ms ⁻²)
	0,719	0,316	0,290
	0,680	0,297	0,315
	0,716	0,323	0,296
	0,763	0,323	0,316
	0,737	0,336	0,279
Media	0,723	0,319	0,299
Dev. St	0,030	0,014	0,016

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	0,772	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,112	n.s.	-0,644	n.s.	1
t Calcolato					
	2,101				
	-0,195		-1,460		

Tab. 4.24: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del John Deere 7710.

John Deere 7710			
	a_v Aratura (ms^{-2})	a_v Trasn. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasn. Asfalto (ms^{-2})
	1,074	0,520	0,255
	1,116	0,459	0,227
	1,143	0,499	0,273
	1,021	0,515	0,224
	1,039	0,515	0,266
Media	1,079	0,501	0,249
Dev. St	0,051	0,025	0,023

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasn. Terreno	Significatività	Trasn. Asfalto
Aratura	1				
Trasn. Terreno	-0,608	n.s.	1		
Trasn. Asfalto	0,311	n.s.	0,401	n.s.	1
t Calcolato					
	-1,328				
	0,567		0,758		

Tab. 4.25: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del John Deere 7710.

John Deere 7710			
	a_v Erpicatura (ms^{-2})	a_v Trasn. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasn. Asfalto (ms^{-2})
	0,968	0,651	0,325
	1,177	0,599	0,297
	1,090	0,635	0,278
	1,097	0,600	0,303
	1,113	0,590	0,316
Media	1,089	0,615	0,303
Dev. St	0,076	0,027	0,018

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,806	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,527	n.s.	0,034	n.s.	1
t Calcolato					
	-2,359				
	-1,075		0,059		

Dall'osservazione dei risultati si evidenzia come, per tutti i trattori oggetto di studio, eccetto che per il New Holland M 160, il t calcolato non supera mai il valore di t tabellare ne per $P \leq 0,05$ ne per $P \leq 0,01$, quindi si può affermare che le correlazioni trovate non sono statisticamente significative (n.s.) come riportato nelle tabelle sopra riportate.

Nel caso del New Holland M 160 si è trovata una correlazione statisticamente significativa ($P \leq 0,05$) tra i dati rilevati in erpicatura ed i dati rilevati nei trasferimenti a vuoto su terreno agrario. Questo però, essendo un caso isolato, evidentemente dovuto alla casualità, non può essere ritenuto attendibile per la determinazione di una funzione matematica che permetta di sviluppare un modello matematico attendibile ed affidabile allo stesso tempo.

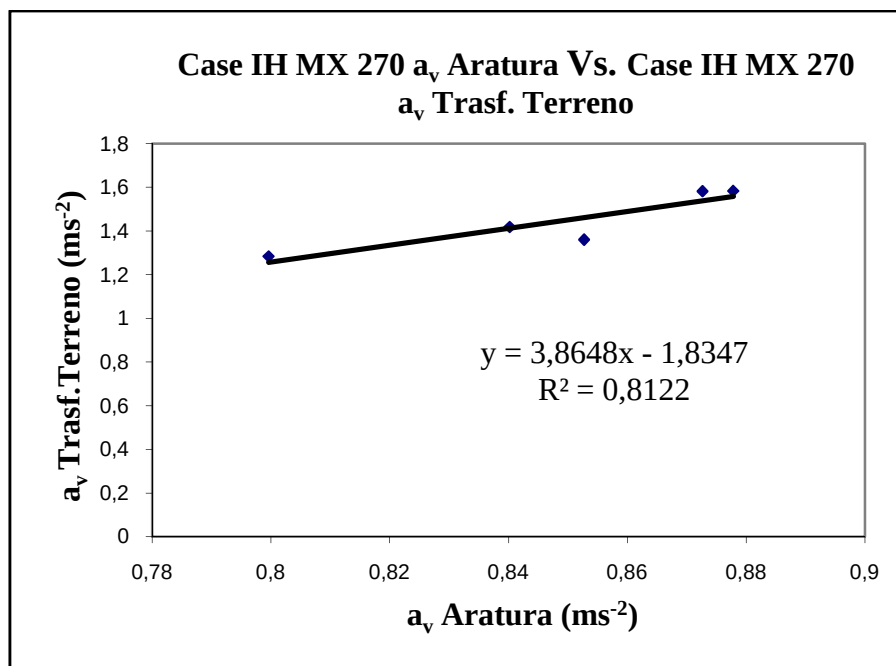
Per le vibrazioni al corpo intero, i risultati ottenuti da tale analisi sono invece riportati di seguito:

Tab. 4.26: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Case IH MX 270.

Case IH MX 270		
a_v Aratura (ms^{-2})	a_v Trasf. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasf. Asfalto (ms^{-2})
0,878	1,583	0,381
0,873	1,582	0,301
0,853	1,360	0,302
0,840	1,417	0,337
0,800	1,283	0,316
Media	0,849	1,445
Dev. St	0,031	0,134

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	0,901	*	1		
Trasf. Asfalto	0,322	n.s.	0,429	n.s.	1
t Calcolato					
	3,602				
	0,589		0,824		

Tab. 4.27: Correlazione statisticamente significativa ($P \leq 0,05$) tra aratura e trasferimento terreno del Case IH MX 270.



Tab. 4.28: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Case IH MX 270.

Case IH MX 270			
	a_v Erpicatura (ms^{-2})	a_v Trasf. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasf. Asfalto (ms^{-2})
	0,762	1,183	0,377
	0,897	1,088	0,324
	0,827	0,970	0,334
	1,030	1,050	0,319
	0,944	1,092	0,431
Media	0,892	1,077	0,357
Dev. St	0,104	0,077	0,047

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,301	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,130	n.s.	0,435	n.s.	1
t Calcolato					
	-0,547				
	-0,227		0,837		

Tab. 4.29: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Landini Globus 80 Top.

Landini Globus 80 Top			
	a_v Aratura (ms^{-2})	a_v Trasf. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasf. Asfalto (ms^{-2})
	1,218	1,075	0,424
	1,349	1,088	0,396
	1,349	1,070	0,415
	1,305	1,101	0,403
	1,435	1,116	0,420
Media	1,331	1,090	0,412
Dev. St	0,079	0,019	0,012

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	0,618	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,144	n.s.	-0,119	n.s.	1
t Calcolato					
	1,361				
	-0,252		-0,207		

Tab. 4.30: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Landini Globus 80 Top.

Landini Globus 80 Top			
	a _v Erpicatura (ms ⁻²)	a _v Trasf. Terreno (ms ⁻²)	a _v Trasf. Asfalto (ms ⁻²)
	0,735	0,582	0,324
	0,755	0,534	0,377
	0,752	0,573	0,386
	0,721	0,593	0,405
	0,766	0,556	0,385
Media	0,746	0,568	0,376
Dev. St	0,018	0,023	0,030

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,794	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,027	n.s.	-0,028	n.s.	1
t Calcolato					
	-2,266				
	0,048		-0,048		

Tab. 4.31: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland M 160

New Holland M 160			
	a_v Aratura (ms^{-2})	a_v Trsf. Terreno (ms^{-2})	a_v Trsf. Asfalto (ms^{-2})
	0,765	0,467	0,348
	0,867	0,465	0,360
	0,855	0,526	0,348
	0,914	0,534	0,321
	0,847	0,537	0,319
Media	0,849	0,506	0,339
Dev. St	0,054	0,037	0,018

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trsf. Terreno	Significatività	Trsf. Asfalto
Aratura	1				
Trsf. Terreno	0,566	n.s.	1		
Trsf. Asfalto	-0,378	n.s.	-0,809	n.s.	1
t Calcolato					
	1,190				
	-0,707		-2,387		

Tab. 4.32: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland M 160.

New Holland M 160			
	a_v Erpicatura (ms^{-2})	a_v Trsf. Terreno (ms^{-2})	a_v Trsf. Asfalto (ms^{-2})
	0,661	0,488	0,338
	0,742	0,454	0,495
	0,686	0,550	0,340
	0,609	0,558	0,433
	0,708	0,518	0,413
Media	0,681	0,514	0,404
Dev. St	0,050	0,043	0,066

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,691	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,350	n.s.	-0,407	n.s.	1
t Calcolato					
	-1,656				
	0,646		-0,772		

Tab. 4.33: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto per New Holland TM 175.

New Holland TM 175			
	a _v Aratura (ms ⁻²)	a _v Trasf. Terreno (ms ⁻²)	a _v Trasf. Asfalto (ms ⁻²)
	1,029	0,525	0,322
	1,172	0,575	0,332
	1,046	0,530	0,291
	1,099	0,469	0,332
	1,005	0,524	0,292
Media	1,070	0,525	0,314
Dev. St	0,066	0,037	0,021

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	0,340	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,735	n.s.	-0,065	n.s.	1
t Calcolato					
	0,626				
	1,880		-0,113		

Tab. 4.34: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland TM 175.

New Holland TM 175			
	a_v Erpicatura (ms^{-2})	a_v Trasn. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasn. Asfalto (ms^{-2})
	0,795	0,344	0,517
	0,780	0,368	0,534
	0,691	0,352	0,509
	0,776	0,381	0,482
	0,804	0,393	0,473
Media	0,769	0,368	0,503
Dev. St	0,045	0,020	0,025

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasn. Terreno	Significatività	Trasn. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasn. Terreno	0,436	n.s.	1		
Trasn. Asfalto	-0,206	n.s.	-0,713	n.s.	1
t Calcolato					
	0,839				
	-0,364		-1,761		

Tab. 4.35: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del John Deere 7710.

John Deere 7710			
	a_v Aratura (ms^{-2})	a_v Trasn. Terreno (ms^{-2})	a_v Trasn. Asfalto (ms^{-2})
	1,064	0,582	0,347
	1,097	0,531	0,415
	1,143	0,575	0,521
	1,021	0,700	0,429
	0,956	0,585	0,356
Media	1,056	0,595	0,414
Dev. St	0,072	0,063	0,070

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	-0,398	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,703	n.s.	0,043	n.s.	1
t Calcolato					
	-0,752				
	1,713		0,074		

Tab. 4.36: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del John Deere 7710.

John Deere 7710		
a _v Erpicatura (ms ⁻²)	a _v Trasf. Terreno (ms ⁻²)	a _v Trasf. Asfalto (ms ⁻²)
1,010	0,744	0,369
1,273	0,679	0,346
1,190	0,758	0,361
1,214	0,747	0,387
1,212	0,658	0,368
Media	1,180	0,366
Dev. St	0,100	0,015

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,475	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,264	n.s.	0,418	n.s.	1
t Calcolato					
	-0,935				
	-0,474		0,796		

Dall'osservazione dei risultati si evidenzia come, per tutti i trattori oggetto di studio, eccetto che per il Case IH MX 270, il t calcolato non supera mai il valore di t tabellare ne per $P \leq 0,05$ ne per $P \leq 0,01$, quindi si può affermare che le correlazioni trovate non sono

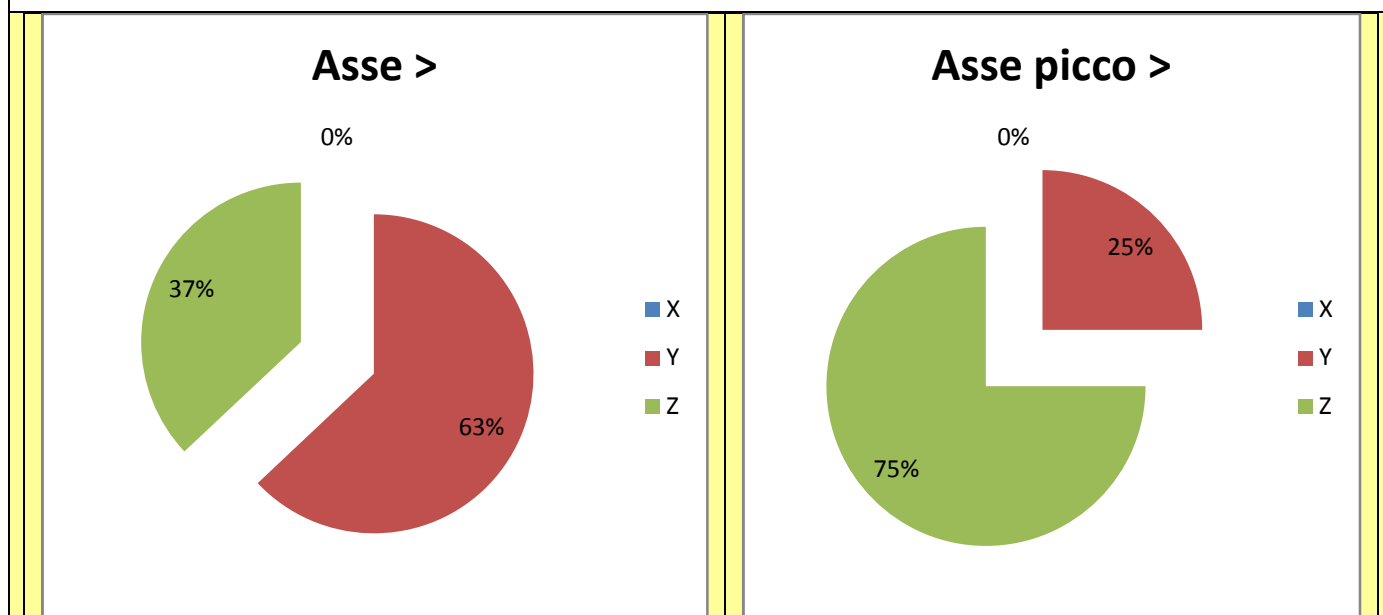
statisticamente significative (n.s.) come riportato nelle tabelle sopra riportate.

Nel caso del Case IH MX 270 si è trovata una correlazione statisticamente significativa ($P \leq 0,05$) tra i dati rilevati in aratura e quelli rilevati nei trasferimenti a vuoto su terreno agrario. Questo però, essendo un caso isolato, evidentemente dovuto alla casualità, non può essere ritenuto attendibile per la determinazione di una funzione matematica che permetta di sviluppare un modello matematico attendibile ed affidabile allo stesso tempo.

Dall'analisi condotta sull'asse più sollecitato (a_w) i risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

Tab. 4.37: Verifica dell'asse più sollecitato dei rispettivi trattori gommati in prova.

	a_w > esposto	ASSE DI PICCO	A(8) m/sec ²	Tempo utilizzo massimo val. azione
TRATTORI GOMMATI	Y	Z	0,74	210
TRATTORI GOMMATI – LAVORAZIONE TERRENO	Y	Z	0,82	170
TRATTORI GOMMATI – TRASPORTO	Y	Y	0,8	170
TRATTORI GOMMATI – ERPICE	Z	Z	0,77	190
TRATTORI GOMMATI - ARATURA	Z	Z	0,8	120
TRATTORI GOMMATI – BOTTE TRATTAMENTI	Y	Z	0,69	240
TRATTORI GOMMATI – TRINCIA	Y	Y	0,56	370
TRATTORI GOMMATI – FALCIACONDIZIONATRICE	Z	Z	0,68	240



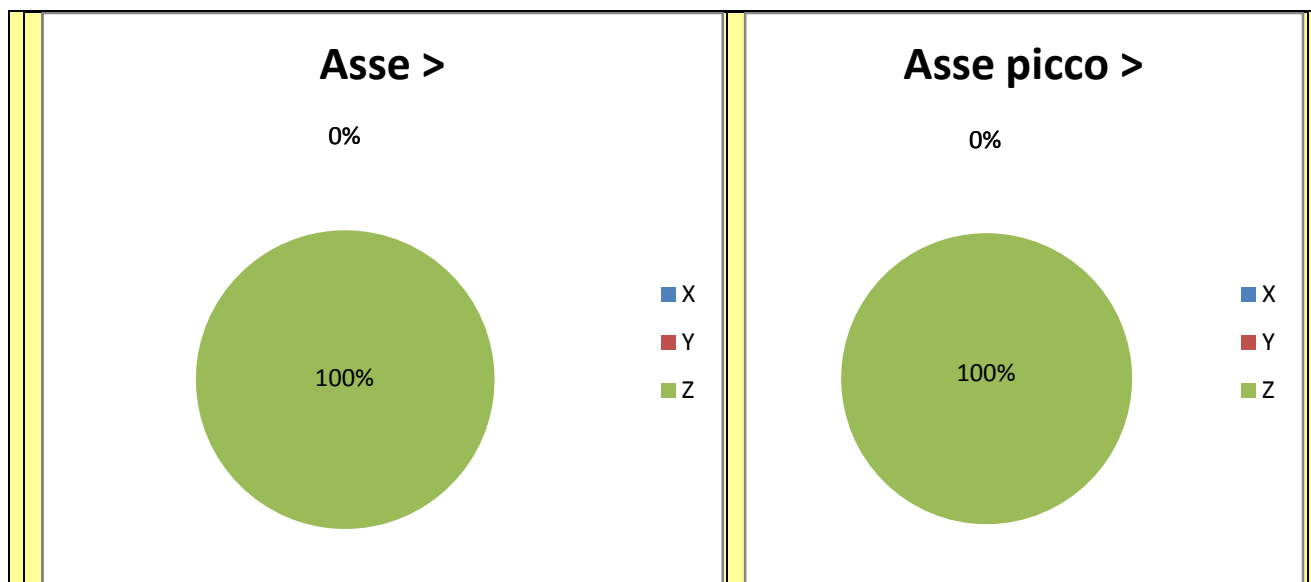
Nei trattori gommati con gli attrezzi portati l'asse più esposto risulta essere l'asse Y (63%). Tale dato può essere giustificato da un incremento di oscillazione sull'asse trasversale dovuta al peso dell'attrezzo. Dove invece l'attrezzo viene a contatto con il terreno, in altre parole ancora la macchina

al terreno, l'asse più esposto risulta essere l'asse Z. Così come l'asse di picco risulta maggiore l'asse Z, eccezion fatta per il trasporto e il trincia (25%).

Risulta in ogni caso superato nella totalità dei casi (si ricorda, per un tempo di esposizione di otto ore), il valore d'azione giornaliero. I tempi di utilizzo possono arrivare anche ai 480 minuti senza oltrepassare il limite. Sono stati infine calcolati i tempi di utilizzo per rientrare al di sotto del valore d'azione di $0,5 \text{ m/sec}^2$.

Tab. 4.38: Verifica dell'asse più sollecitato dei rispettivi trattori cingolati in prova.

	a_w > esposto	ASSE DI PICCO	A(8) m/sec^2	Tempo utilizzo massimo val. azione
TRATTORI CINGOLATI	Z	Z	1,05	100
TRATTORI CINGOLATI – LAVORAZIONE TERRENO	Z	Z	0,98	120
TRATTORI CINGOLATI – TRASPORTO	Z	Z	1,8	-
TRATTORI CINGOLATI– ERPICE	Z	Z	1,24	70
TRATTORI CINGOLATI - ARATURA	Z	Z	0,8	120



I trattori cingolati, nella totalità di casi, l’asse Z risulta essere il più esposto.

La presenza di cingoli non permette oscillazioni in altri piani tranne in quello verticale.

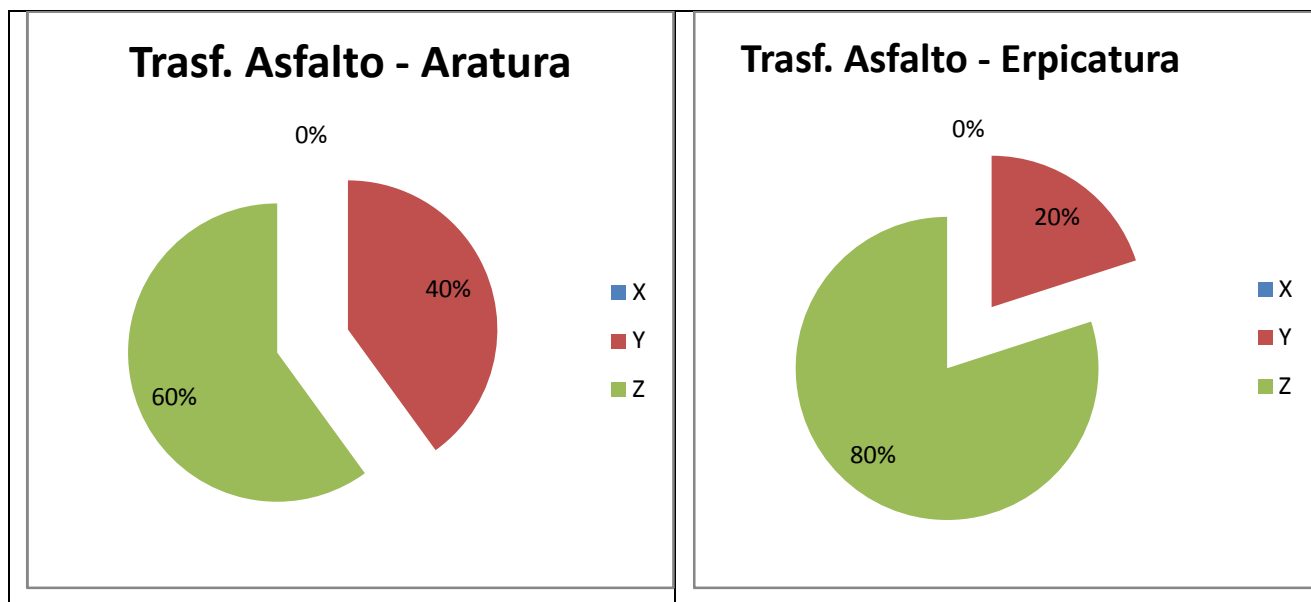
In tre casi è superato il valore limite giornaliero, in un caso viene superato anche il valore massimo per periodi brevi (1,5 m/sec²).

Sono stati calcolati i tempi per l’utilizzo rimanendo al di sotto del valore d’azione.

Ulteriore verifica con le macchine messe a disposizione dal CRA-ING.

Tab. 4.39: Verifica dell’asse più sollecitato al pianale dei rispettivi trattori in prova.

Trattori in Prova	Velocità Aratura (Km h ⁻¹)	Trasf. Asfalto Aratura		Velocità Erpicatura (Km h ⁻¹)	Trasf. Asfalto Erpicatura	
		Asse più sollecitato (a _w)			Asse più sollecitato (a _w)	
Case IH MX 270	6,6	0,190	Y	4,6	0,169	Z
Landini Globus 80 Top	5,1	0,294	Z	2,7	0,198	Z
New Holland M 160	4,0	0,162	Z	2,7	0,213	Z
New Holland TM 175	5,0	0,170	Z	2,8	0,259	Z
John Deere 7710	4,7	0,157	Y	5,6	0,207	Y



Per entrambe le velocità impiegate nelle differenti tipologie di prova, su tre trattori dei cinque esaminati, l'asse z è risultato il più sollecitato. Per il John Deere 7710 l'asse più sollecitato è la y; ed è lo stesso per le differenti tipologie di prova, ma cambia rispetto ai primi tre. Infine per il Case IH MX 270 gli assi non risultano gli stessi.

Detto ciò possiamo affermare che l'asse più sollecitato in questa tipologia di prova è tipico del complesso pneumatici-macchina e solo in un caso al modificare della velocità se pur in maniera minima, (parliamo di una differenza di velocità tra i due trasferimenti di $2,0 \text{ kmh}^{-1}$) il complesso ha dato dei risultati discordanti.

4.2 Calcolo del valore di esposizione al rumore

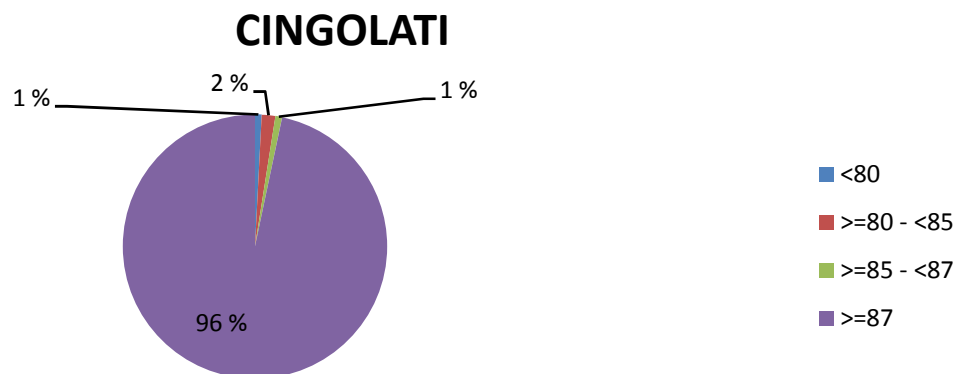
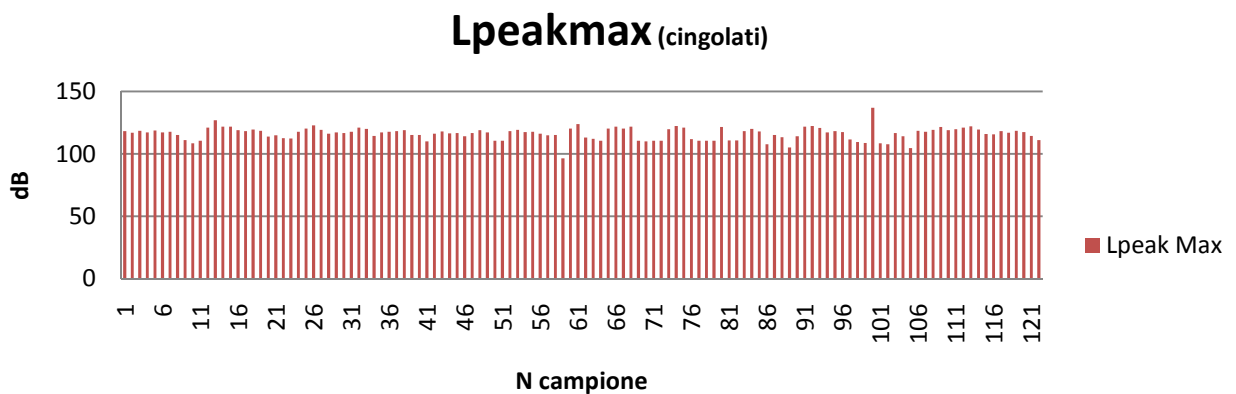
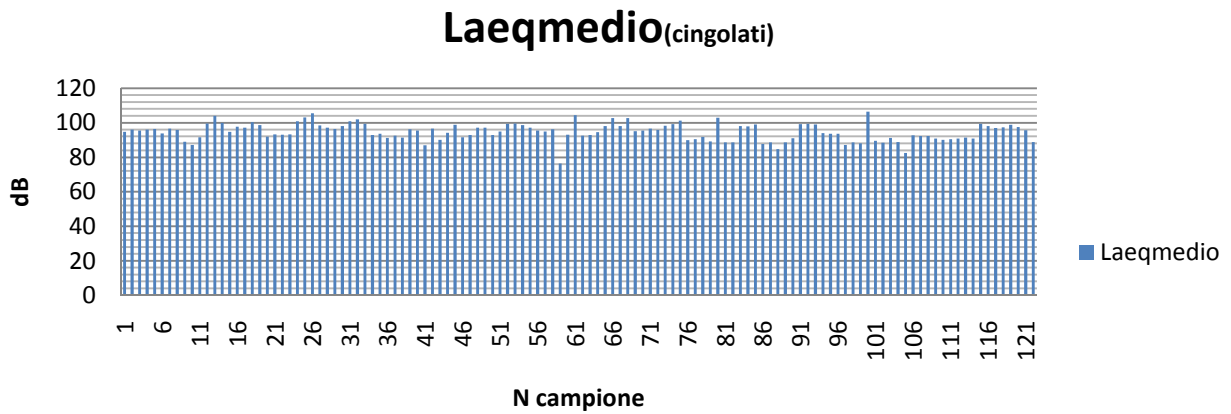
Per analizzare il rumore emesso dai trattori e dalle attrezzature collegate sono state analizzate più di cinquecento misure, effettuate nell'arco di questi anni.

La campagna misure è stata svolta grazie anche al contributo della Servit HSE s.r.l.

L'analisi del rumore emesso dai trattori ha portato ai seguenti risultati:

Tabella 4. 40: Valori rumore trattori cingolati

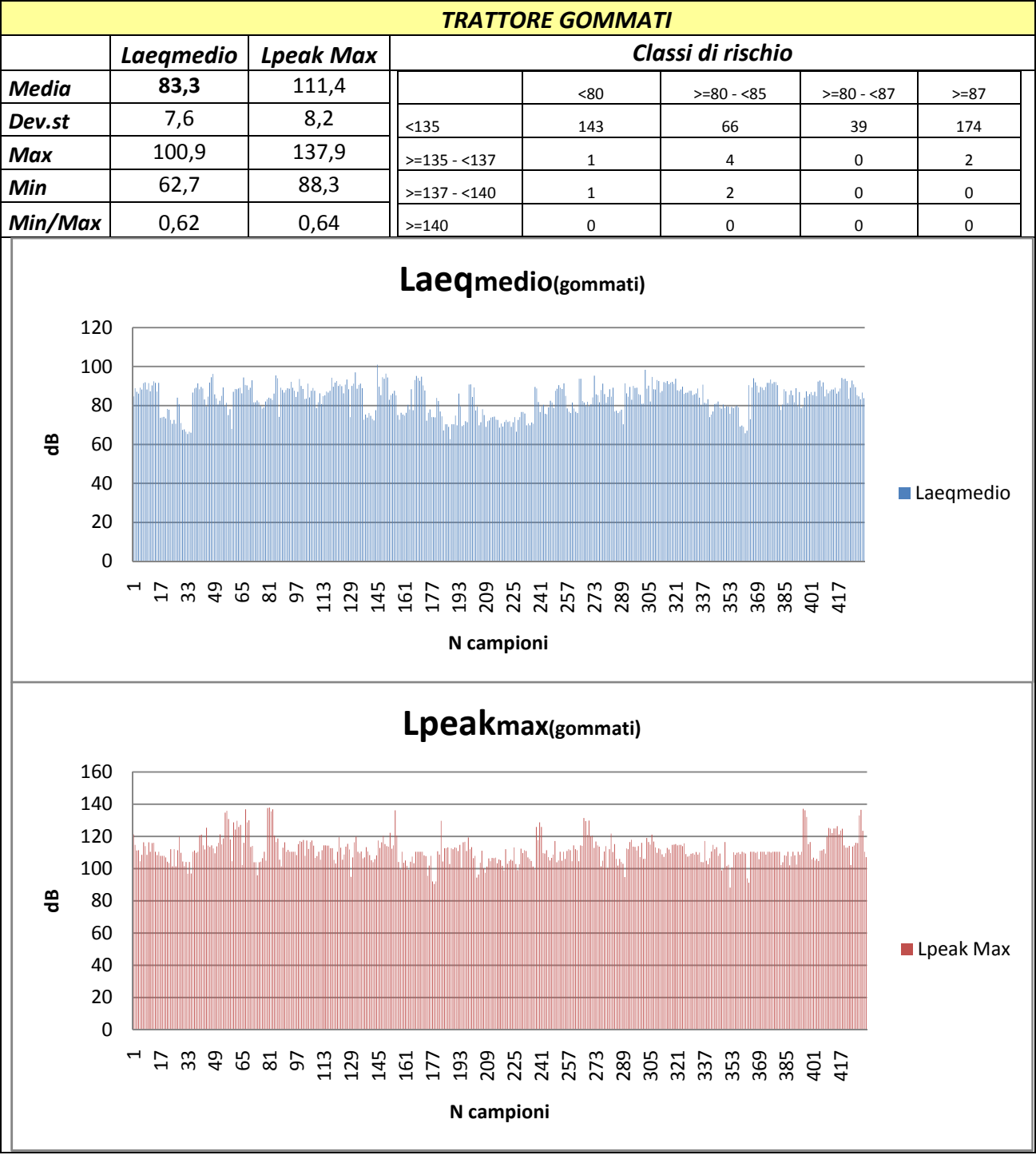
TRATTORE CINGOLATI							
	Laeqmedio	Lpeak Max	Classi di rischio				
Media	94,8	116,3		<80	>=80 - <85	>=85 - <87	>=87
Dev.st	4,9	5,0	<135	1	2	1	117
Max	106,4	136,8	>=135 - <137	0	0	0	1
Min	76,4	96,5	>=137 - <140	0	0	0	0
Min/Max	0,72	0,71	>=140	0	0	0	0



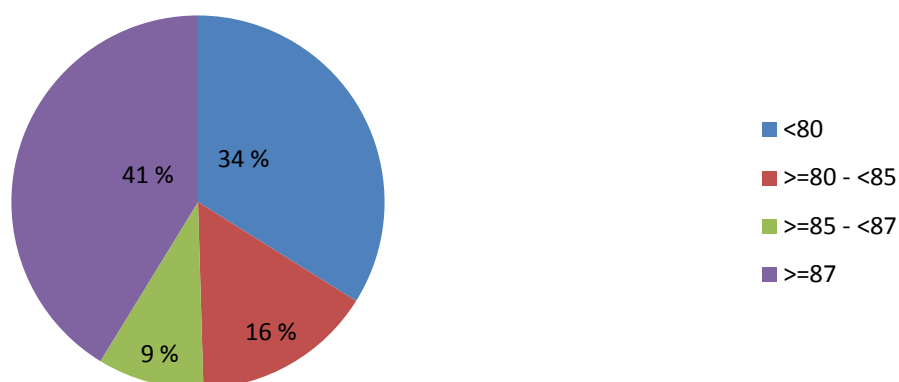
Il livello equivalente medio supera la soglia del valore limite di 87 dB(A), per il 96% dei casi, attestandosi intorno ai 95. Meno del 1% rimane al di sotto degli 80 dB(A)

Il picco rimane sotto la soglia dei 135 dB(C), tranne in un caso.

Tabella 4. 41: Valori rumore trattori gommati



GOMMATI



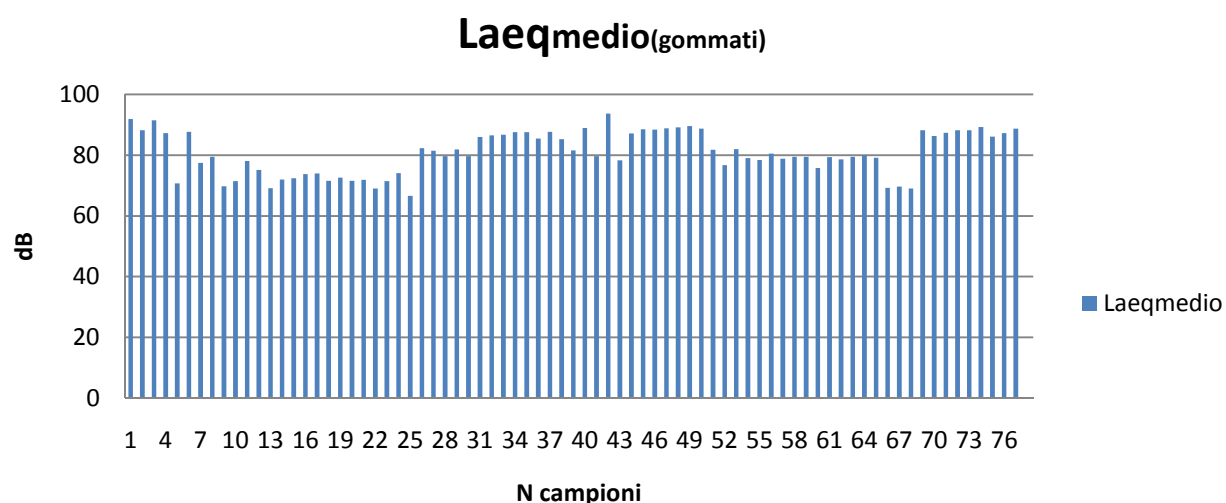
Il livello equivalente medio supera la soglia di rischio, attestandosi intorno ai 83.

Rimane al di sotto del valore inferiore di azione 80 dB(A) per un 34% dei casi, un 41% dei casi maggiore del valore di limite.

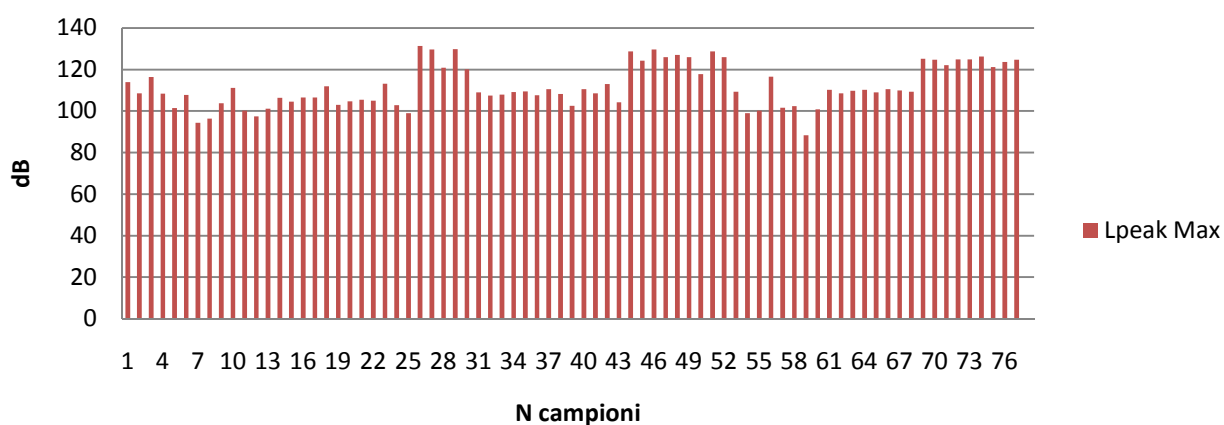
Il picco rimane sotto la soglia dei 135 dB(C) nella maggioranza dei casi, in dieci occasioni (2% dei casi circa) viene superato.

Tabella 4. 42: Valori rumore trattori gommati con cabina

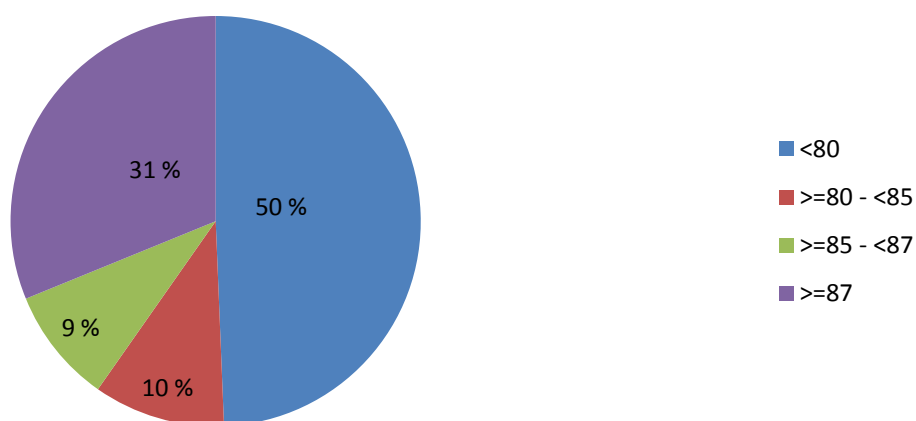
TRATTORE GOMMATI con CABINA							
	<i>Laeqmedio</i>	<i>Lpeak Max</i>	Classi di rischio				
<i>Media</i>	80,8	111,9		<80	>=80 - <85	>=80 - <87	>=87
<i>Dev.st</i>	7,1	10,1	<135	38	8	7	24
<i>Max</i>	93,7	131,4	>=135 - <137	0	0	0	0
<i>Min</i>	66,6	88,3	>=137 - <140	0	0	0	0
<i>Min/Max</i>	0,71	0,67	>=140	0	0	0	0



Lpeakmax(gommati)



GOMMATI CON CABINA

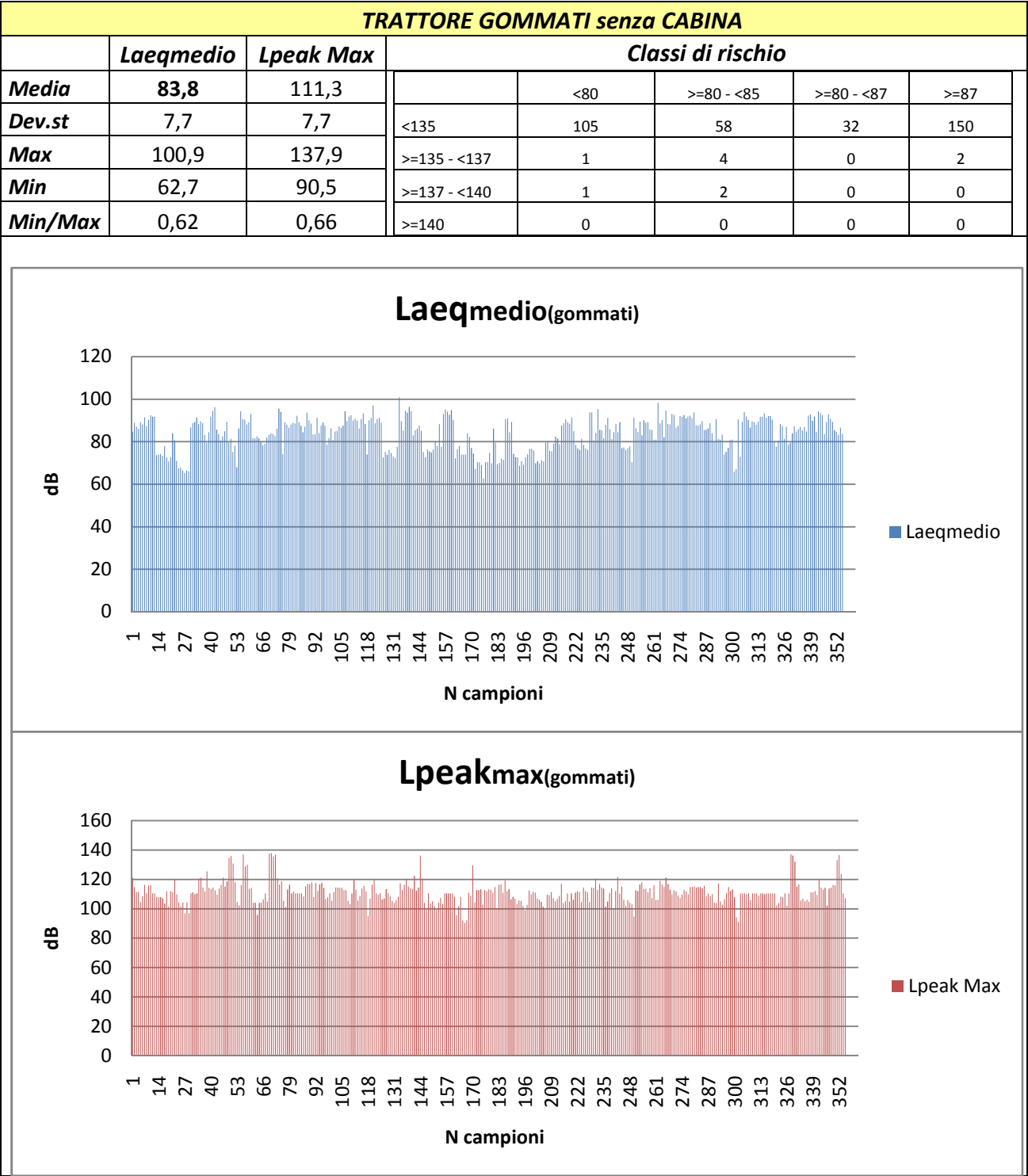


Il livello equivalente medio supera di poco la soglia di rischio ma al di sotto del valore superiore di azione 85 dB(A), attestandosi intorno ai 80.

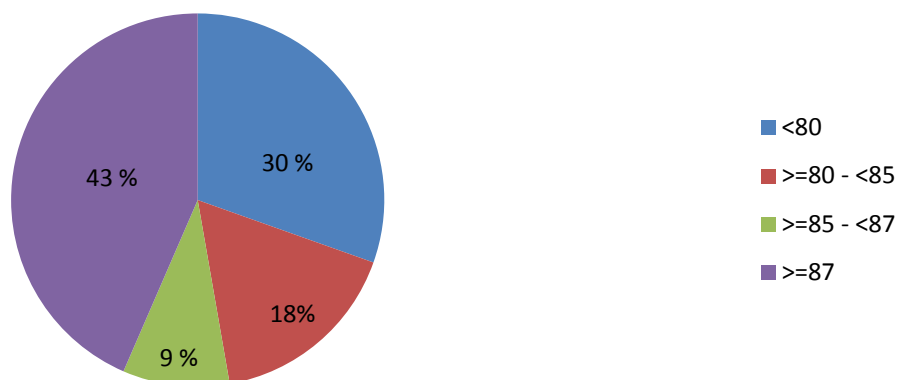
Il 50 % dei casi al di sotto del valore inferiore di azione, il 31 % al di sopra del limite.

Il picco rimane sotto la soglia dei 135 dB(C) nella totalità dei casi.

Tabella 4. 43: Valori rumore trattori gommati senza cabina



GOMMATI SENZA CABINA



Il livello equivalente medio supera la soglia di rischio, si attesta al di sotto del valore superiore di azione 85 dB(A) nel 57% dei casi. Nel 43% dei casi al di sopra del valore limite. Il picco rimane sotto la soglia dei 135 dB(C) nella maggioranza dei casi, in dieci occasioni supera la soglia (3% circa).

Trattore cingolati: Nei trattori cingolati il livello equivalente medio è 95 dB(A), supera di gran lunga la soglia del valore limite di 87 dB(A), per il 95% dei casi. Poche unità, meno del 1% rimane al di sotto degli 80 dB(A). Il tempo di utilizzo massimo per non superare la soglia giornaliera è di circa 75 minuti.

I cingolati per le caratteristiche tecniche, per la mancanza di cabina, rimangono le macchine con i più alti valori di emissioni. Il superamento, in un caso, del valore di picco di 135 dB(C) è significativo per l'obbligatorietà dell'utilizzo dei DPIU per la protezione dal rischio rumore.

Trattore gommati: L'insieme dei trattori gommati (cabinati e non) mostra come il livello equivalente medio supera la soglia di rischio, attestandosi intorno ai 83 dB(A). In questo caso sono possibili le otto ore di lavoro rispettando i limiti normativi.

Rimane al di sotto del valore inferiore di azione 80 dB(A) per un 34% dei casi, un 41% dei casi maggiore del valore di limite.

Il picco rimane sotto la soglia dei 135 dB(C) nella maggioranza dei casi, in dieci occasioni (2% dei casi circa) viene superato. Calcolando le otto

ore di lavoro, il datore di lavoro in questa soglia di rischio mette a disposizione le cuffie, calcolandone l'attenuazione. Anche soltanto nel 2%, il lavoratore che non indossi i DPIU potrebbe essere esposto a un rischio moderato.

Trattore gommati con cabina: La cabina nei trattori fa sì che il livello di esposizione si riduca fino alla soglia di rischio. Superando di poco la soglia di rischio, il livello equivalente medio rimane al di sotto del valore superiore di azione 85 dB(A), attestandosi intorno ai 80 dB(A).

Il tempo di utilizzo è di circa 460 minuti per non oltrepassare la soglia di rischio degli 80 dB(A).

Il 50 % dei casi al di sotto del valore inferiore di azione. Si evidenzia inoltre che il 31 % dei trattori supera la soglia del limite giornaliero.

Il picco rimane sotto la soglia dei 135 dB(C) nella totalità dei casi.

Trattore gommati senza cabina: Il livello equivalente medio supera la soglia di rischio, si attesta al di sotto del valore superiore di azione 85 dB(A) nel 57% dei casi. Nel 43% dei casi al di sopra del valore limite. Il picco rimane sotto la soglia dei 135 dB(C) nella maggioranza dei casi, in dieci occasioni supera la soglia (3% circa). I trattori senza cabina possono essere utilizzati otto ore rimanendo al di sotto del limite legislativo.

I risultati dei rilievi di rumore eseguiti sui trattori in prova presso l'istituto sperimentale del CRA- ING di Roma sono riportati nelle tabelle seguenti:

Tabella 4. 43: Resoconto valori rumore trattori gommati con cabina

Trattore in prova: NEW HOLLAND M 160							
Descrizione prova	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	Media dB(A)	Dev. St. dB(A)
Aratura	73,6	72,7	72,2	73,4	73,6	73,1	0,62
Trasf. Terreno	71,2	70,4	70,2	69,7	69,6	70,2	0,62
Trasf. Asfalto	68,7	69,1	69,0	69,0	68,6	68,9	0,21
Erpicatura	74,0	74,1	73,8	73,5	73,6	73,8	0,25
Trasf. Terreno	71,0	71,1	71,1	71,1	71,0	71,1	0,07
Trasf. Asfalto	70,8	71,2	71,3	71,3	70,6	71,0	0,33
Trattore in prova: NEW HOLLAND TM 175							
Descrizione prova	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	Media dB(A)	Dev. St. dB(A)
Aratura	74,8	76,0	76,0	74,8	74,6	75,3	0,68
Trasf. Terreno	72,9	72,7	73,3	73,2	73,7	73,2	0,40
Trasf. Asfalto	70,7	70,6	71,3	71,7	71,0	71,1	0,43
Erpicatura	76,9	76,8	77,2	77,3	77,1	77,1	0,23
Trasf. Terreno	75,3	75,1	75,5	74,6	75,8	75,3	0,45
Trasf. Asfalto	71,2	70,5	70,5	71,0	71,2	70,9	0,34
Trattore in prova: CASE IH MX 270							
Descrizione prova	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	Media dB(A)	Dev. St. dB(A)
Aratura	73,9	74,2	75,0	74,0	74,5	74,3	0,42
Trasf. Terreno	75,3	74,1	75,1	74,9	75,4	75,0	0,51
Trasf. Asfalto	71,9	72,0	71,7	71,9	71,9	71,9	0,14
Erpicatura	75,3	74,2	75,9	76,0	74,6	75,2	0,78
Trasf. Terreno	71,2	72,3	72,2	74,0	71,9	72,3	1,05
Trasf. Asfalto	73,2	71,8	72,1	72,0	71,6	72,2	0,63
Trattore in prova: LANDINI GLOBUS 80 TOP							
Descrizione prova	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	L _{pA} dB(A)	Media dB(A)	Dev. St. dB(A)

Aratura	80,8	80,5	81,7	81,4	81,2	81,1	0,46
Trasf. Terreno	82,5	82,3	82,2	82,5	82,1	82,3	0,17
Trasf. Asfalto	83,0	83,2	83,4	84,3	83,2	83,4	0,51
Erpicatura	82,0	81,6	81,6	82,1	81,5	81,8	0,25
Trasf. Terreno	79,7	79,6	79,8	80,3	80,3	80,0	0,34
Trasf. Asfalto	80,0	79,8	79,8	79,9	79,7	79,8	0,08
Trattore in prova: JOHN DEERE 7710							
Descrizione prova	L_{pA} dB(A)	L_{pA} dB(A)	L_{pA} dB(A)	L_{pA} dB(A)	L_{pA} dB(A)	Media dB(A)	Dev. St. dB(A)
Aratura	72,0	72,8	72,7	72,5	73,7	72,8	0,59
Trasf. Terreno	74,3	74,5	74,9	74,3	74,2	74,4	0,26
Trasf. Asfalto	74,3	72,5	73,8	74,7	73,9	73,8	0,82
Erpicatura	73,3	73,1	73,3	73,2	73,1	73,2	0,10
Trasf. Terreno	72,4	72,6	72,3	72,9	72,5	72,5	0,24
Trasf. Asfalto	72,5	72,2	72,3	72,5	72,1	72,3	0,17

I valori rilevati di pressione acustica massima ponderata C (Ppeak) rimangono, sotto la soglia di 112 dB(C), mentre i livelli di pressione acustica ponderata A (LAeq,Te) sono, fatta eccezione per il Landini Globus 80 Top, inferiori a 80 dB(A).

Avendo ipotizzando un utilizzo pari ad 8 ore giornaliero l'operatore verrebbe a trovarsi al di sotto del valore inferiore di azione fatta eccezione per il Landini Globus 80 Top.

Quindi anche in questo caso, per il Landini Globus 80 Top è stato calcolato il LEX,8h al fine di individuare il tempo massimo di esposizione:

Tabella 4. 44: Tempo massimo esposizione Landini Globus 80 Top

Trattore in prova	Velocità	Lavorazione	Lpa dB(A)	Valore limite di esposizione [87 dB(A)]	Valore superiore d'azione [85 dB(A)]	Valore inferiore d'azione [80 dB(A)]
				Tempo (h:min)	Tempo (h:min)	Tempo (h:min)
Landini Globus 80 Top	5,1	aratura	81,1	>12	>12	6:00
		trasf. terreno	82,3	>12	>12	4:30
		trasf asfalto	83,4	>12	>12	3:30
	2,7	erpicazione	81,8	>12	>12	5:15
		trasf. terreno	80,0	>12	>12	7:45
		trasf asfalto	79,8	>12	>12	>12

Dai risultati si evince che anche per il Landini non vengono superati il valore limite di esposizione ed il valore superiore di azione, mentre il valore inferiore d'azione viene superato anche se di poco con la conseguenza della riduzione dei tempi di utilizzo giornalieri.

Si è voluta verificare la correlazione del fenomeno acustico. Attraverso il programma ExcelTM, si è costruita una matrice di correlazione delle lavorazioni (aratura o erpicatura) con i relativi trasferimenti a vuoto (terreno ed asfalto), per valutare se le diverse combinazioni ottenute siano significative ($P \leq 0,05$) o altamente significative ($P \leq 0,01$), al fine di trovare, una relazione di tipo lineare per realizzare un modello matematico previsionale in grado di determinare il valore di esposizione quotidiana (o settimanale) dei lavoratori impiegati in agricoltura.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dall'analisi statistica della correlazione, facenti riferimento ai dati del rumore:

Tabella 4. 45: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Case IH MX 270.

Case IH MX 270			
	Aratura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	73,9	75,3	71,9
	74,2	74,1	72,0
	75,0	75,1	71,7
	74,0	74,9	71,9
	74,5	75,4	71,9
Media	74,3	75,0	71,9
Dev. St	0,422	0,515	0,138

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	0,112	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,778	n.s.	-0,556	n.s.	1
t Calcolato					
	0,195				
	-2,142		-1,160		

Tabella 4. 46: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Case IH MX 270.

Case IH MX 270			
	Erpicatura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	75,3	71,2	73,2
	74,2	72,3	71,8
	75,9	72,2	72,1
	76,0	74,0	72,0
	74,6	71,9	71,6
Media	75,2	72,3	72,2
Dev. St	0,782	1,048	0,634

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	0,467	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,310	n.s.	-0,475	n.s.	1
t Calcolato					
	0,914				
	0,565		-0,934		

Tabella 4. 47: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Landini Globus 80 Top.

Landini Globus 80 Top			
	Aratura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	80,8	82,5	83,0
	80,5	82,3	83,2
	81,7	82,2	83,4
	81,4	82,5	84,3
	81,2	82,1	83,2
Media	81,1	82,3	83,4
Dev. St	0,460	0,174	0,513

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	-0,087	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,527	n.s.	0,494	n.s.	1
	t Calcolato				
	-0,151				
	1,074		0,985		

Tabella 4. 48: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del Landini Globus 80 Top.

Landini Globus 80 Top			
	Erpicatura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	82,0	79,7	80,0
	81,6	79,6	79,8
	81,6	79,8	79,8
	82,1	80,3	79,9
	81,5	80,3	79,7
Media	81,8	80,0	79,8
Dev. St	0,247	0,343	0,084

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	0,11	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,90	*	-0,19	n.s.	1
	t Calcolato				
	0,19				
	3,52		-0,33		

Tabella 4. 49: Correlazione statisticamente significativa ($P \leq 0,05$) tra erpicatura e trasferimento asfalto del Landini Globus 80 Top.

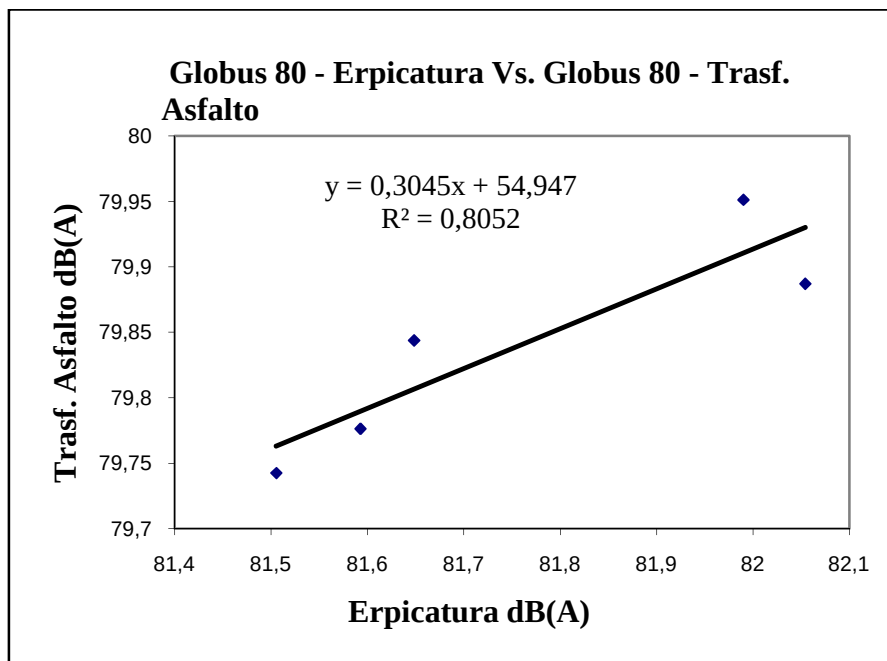


Tabella 4. 50: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland M 160.

New Holland M 160			
	Aratura dB(A)	Trasn. Terreno dB(A)	Trasn. Asfalto dB(A)
	73,6	71,2	68,7
	72,7	70,4	69,1
	72,2	70,2	69,0
	73,4	69,7	69,0
	73,6	69,6	68,6
Media	73,1	70,2	68,9
Dev. St	0,624	0,621	0,206

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	-0,039	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,725	n.s.	-0,012	n.s.	1
	t Calcolato				
	-0,067				
	-1,824		-0,022		

Tabella 4. 51: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland M 160

New Holland M 160			
	Erpicatura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	74,0	71,0	70,8
	74,1	71,1	71,2
	73,8	71,1	71,3
	73,5	71,1	71,3
	73,6	71,0	70,6
Media	73,8	71,1	71,0
Dev. St	0,246	0,066	0,327

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,099	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,070	n.s.	0,719	n.s.	1
	t Calcolato				
	-0,173				
	0,122		1,792		

Tabella 4. 52: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland TM 175

New Holland TM 175			
	Aratura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	74,8	72,9	70,7
	76,0	72,7	70,6
	76,0	73,3	71,3
	74,8	73,2	71,7
	74,6	73,7	71,0
Media	75,3	73,2	71,1
Dev. St	0,682	0,398	0,428

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	-0,525	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,249	n.s.	0,456	n.s.	1
	t Calcolato				
	-1,068				
	-0,445		0,889		

Tabella 4. 53: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del New Holland TM 175

New Holland TM 175			
	Erpicatura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	76,9	75,3	71,2
	76,8	75,1	70,5
	77,2	75,5	70,5
	77,3	74,6	71,0
	77,1	75,8	71,2
Media	77,1	75,3	70,9
Dev. St	0,228	0,447	0,340

Matrice di Correlazione	Erpicatura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,172	n.s.	1	n.s.	
Trasf. Asfalto	0,082	n.s.	0,127	n.s.	1
	t Calcolato				
	-0,302				
	0,143		0,222		

Tabella 4. 54: Analisi statistica della correlazione tra i dati di aratura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del John Deere 7710.

John Deere 7710			
	Aratura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	72,0	74,3	74,3
	72,8	74,5	72,5
	72,7	74,9	73,8
	72,5	74,3	74,7
	73,7	74,2	73,9
Media	72,8	74,4	73,8
Dev. St	0,588	0,264	0,817

Matrice di Correlazione	Aratura	Significatività	Trasf. Terreno	Significatività	Trasf. Asfalto
Aratura	1				
Trasf. Terreno	-0,098	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	-0,319	n.s.	-0,355	n.s.	1
t Calcolato					
	-0,171				
	-0,583		-0,658		

Tabella 4. 55: Analisi statistica della correlazione tra i dati di erpicatura e i dati dei rispettivi trasferimenti a vuoto del John Deere 7710

John Deere 7710			
	Erpicatura dB(A)	Trasf. Terreno dB(A)	Trasf. Asfalto dB(A)
	73,3	72,4	72,5
	73,1	72,6	72,2
	73,3	72,3	72,3
	73,2	72,9	72,5
	73,1	72,5	72,1
Media	73,2	72,5	72,3
Dev. St	0,099	0,240	0,167

<i>Matrice di Correlazione</i>	<i>Erpicatura</i>	<i>Significatività</i>	<i>Trasf. Terreno</i>	<i>Significatività</i>	<i>Trasf. Asfalto</i>
Erpicatura	1				
Trasf. Terreno	-0,505	n.s.	1		
Trasf. Asfalto	0,811	n.s.	0,071	n.s.	1
t Calcolato					
	-1,012				
	2,398		0,123		

Dall'osservazione dei risultati sopra citati si evidenzia come, per tutti i trattori oggetto di studio, eccetto che per il Landini, il t calcolato non supera mai il valore di t tabellare ne per $P \leq 0,05$ ne per $P \leq 0,01$, quindi si può affermare che le correlazioni trovate non sono statisticamente significative (n.s.) come riportato nelle tabelle sopra riportate.

Nel caso del Landini si è trovata una correlazione statisticamente significativa ($P \leq 0,05$) tra i dati di rumorosità in erpicatura e i dati dei trasferimenti a vuoto su pista in asfalto. Questo però, essendo un caso isolato, evidentemente dovuto alla casualità, non può essere ritenuto attendibile per la determinazione di una funzione matematica che permetta di sviluppare un modello matematico attendibile ed affidabile allo stesso tempo.

Di seguito vengono riportate ulteriori tabelle che rappresentano le fasce di rischio del rumore per ciascun attrezzo misurato, differenziati in gommati e cingolati:

Tabella 4. 56: Fasce di rischio attrezzature: trincia

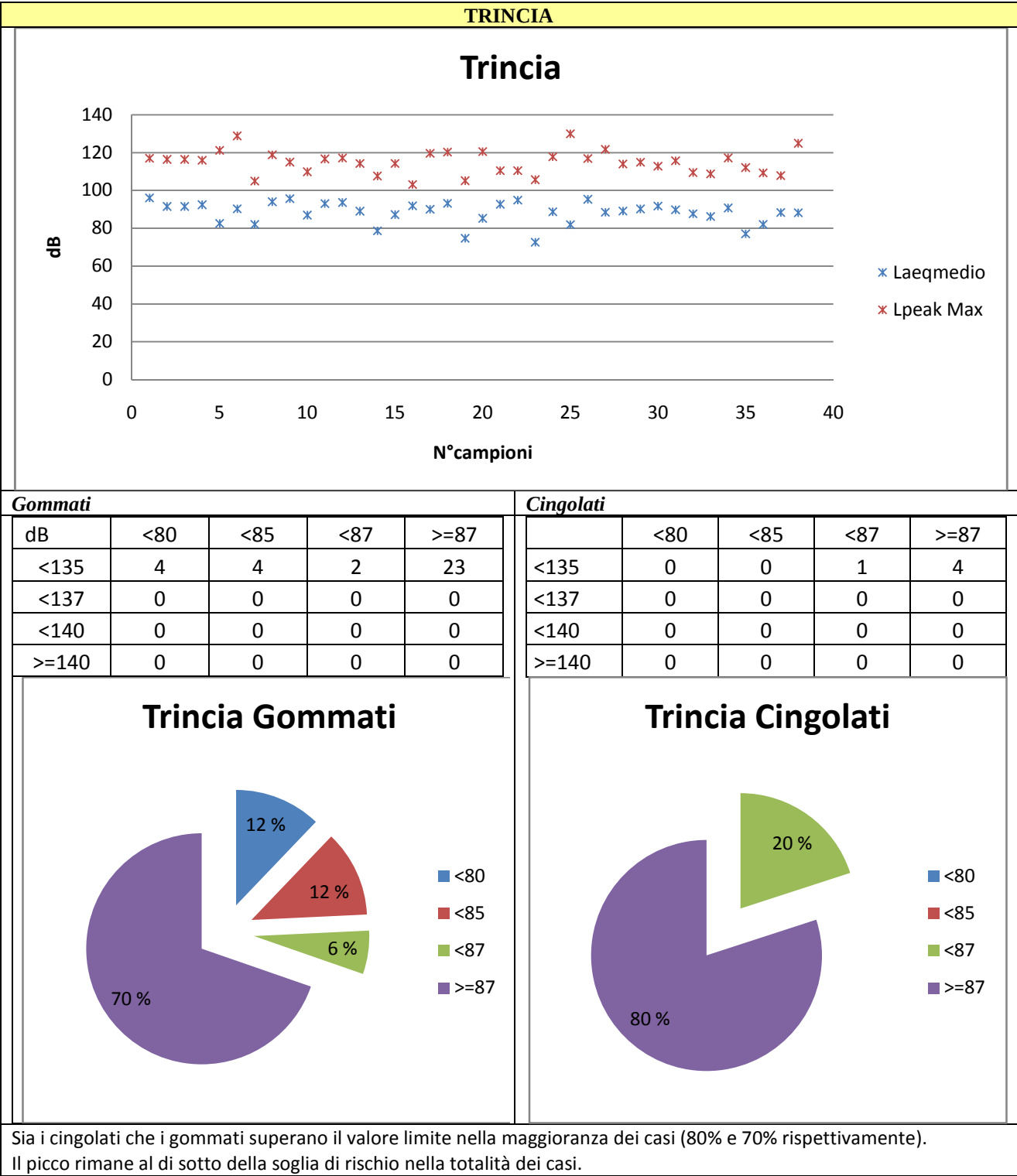


Tabella 4. 57: Fasce di rischio attrezzature: Trasporto

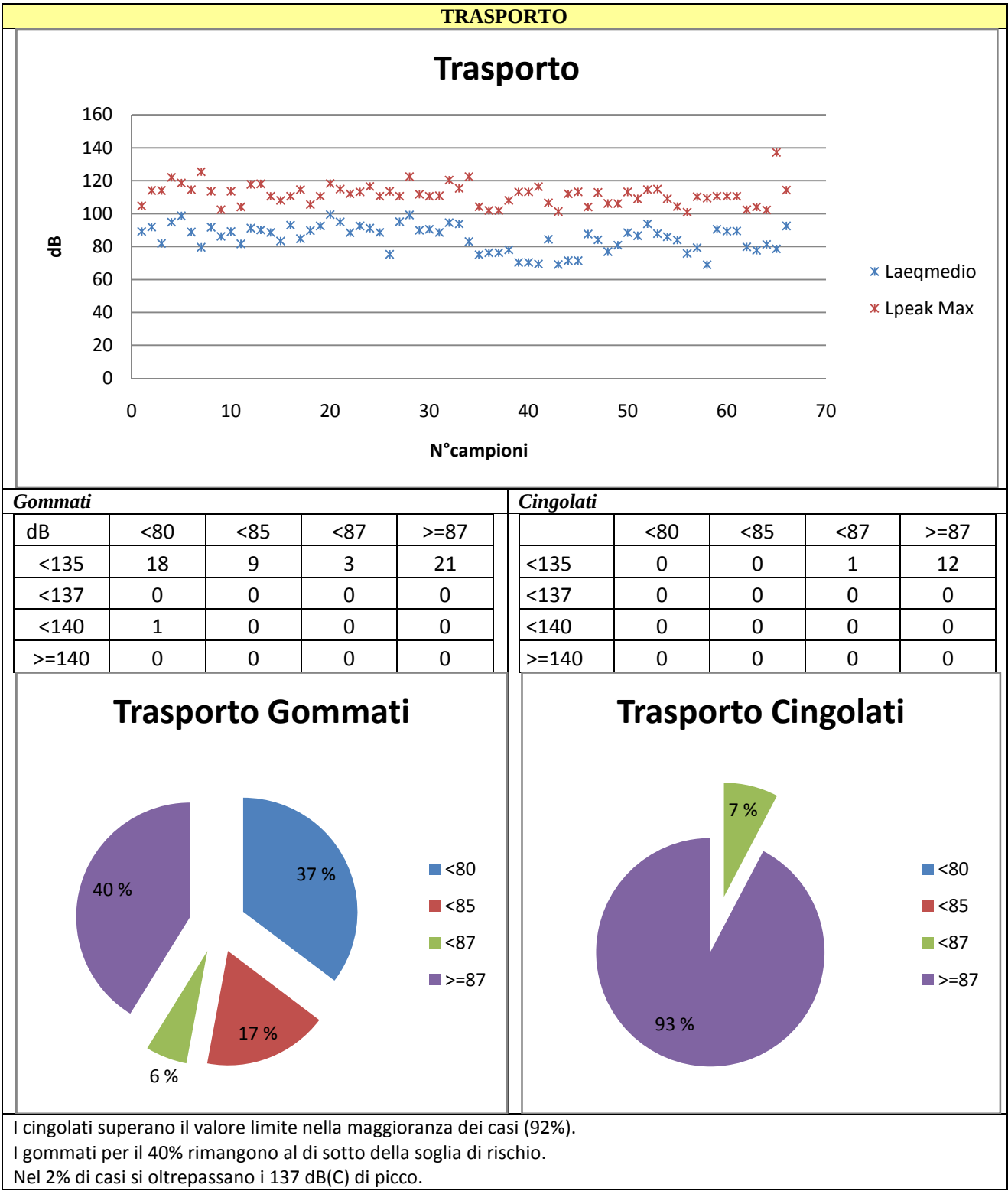


Tabella 4. 58: Fasce di rischio attrezzature: seminatrici

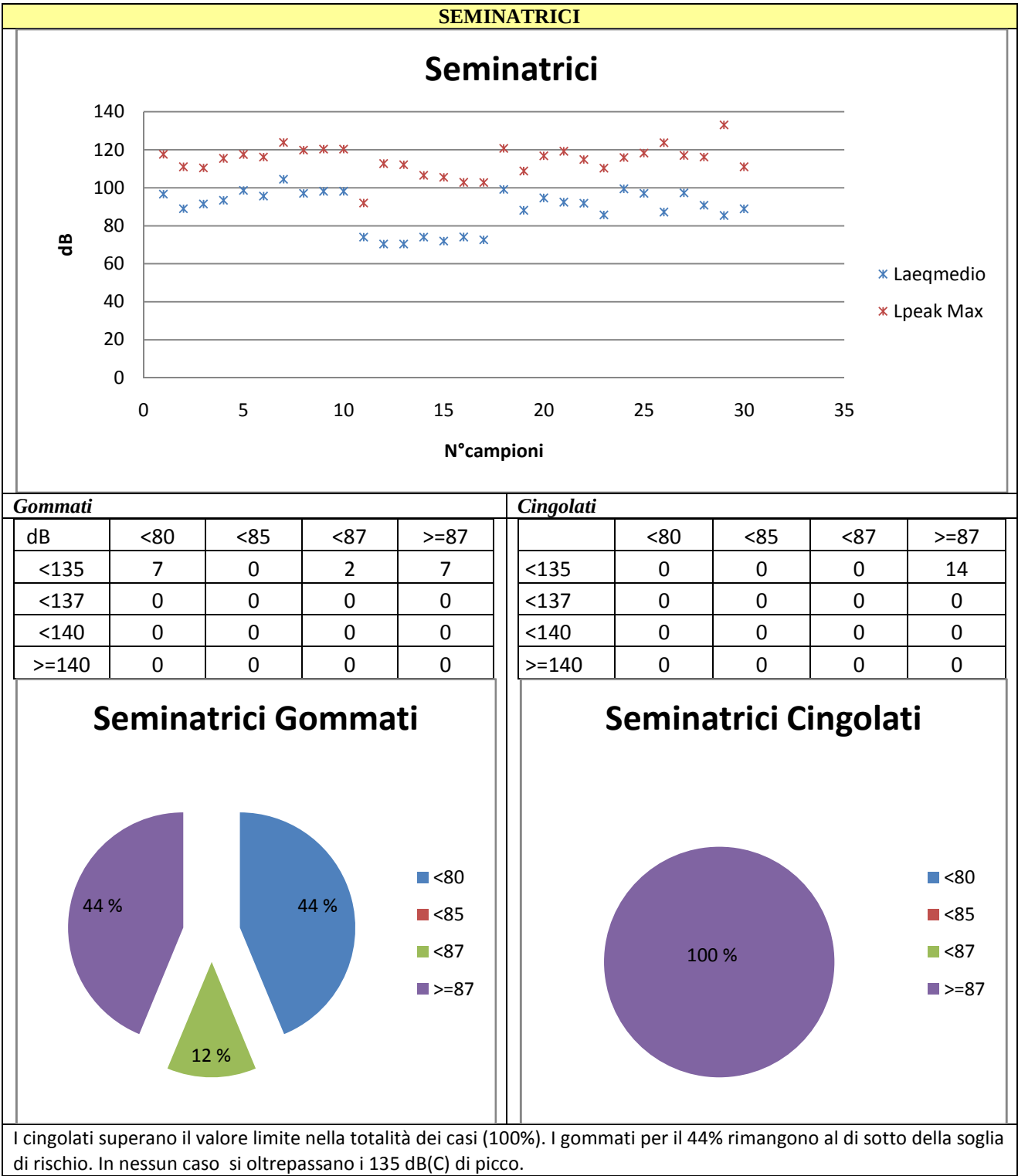


Tabella 4. 59: Fasce di rischio attrezzature: erpice, morgano, frangizolle

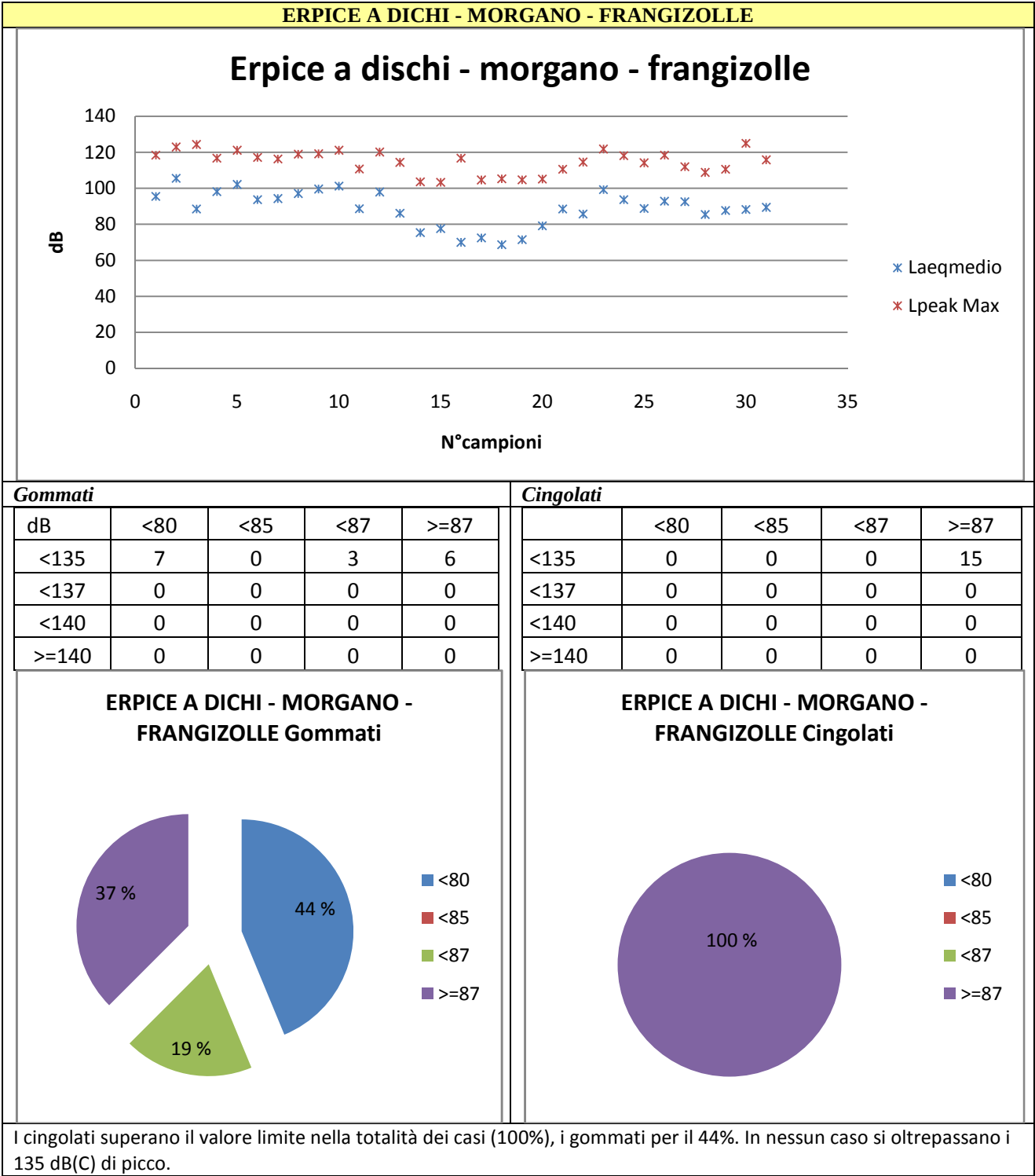


Tabella 4. 60: Fasce di rischio attrezzature: spandiconcime, concimatrice

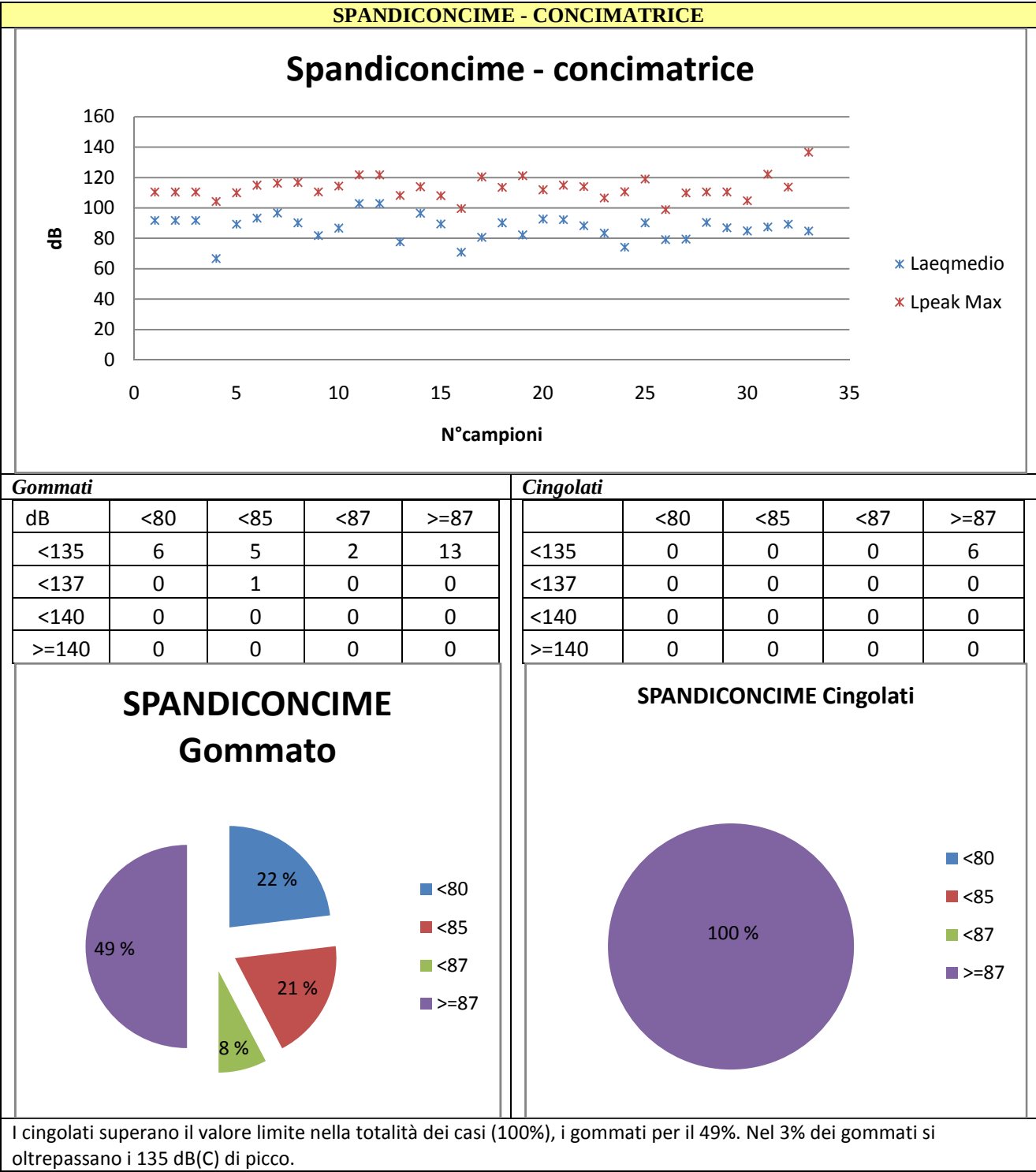
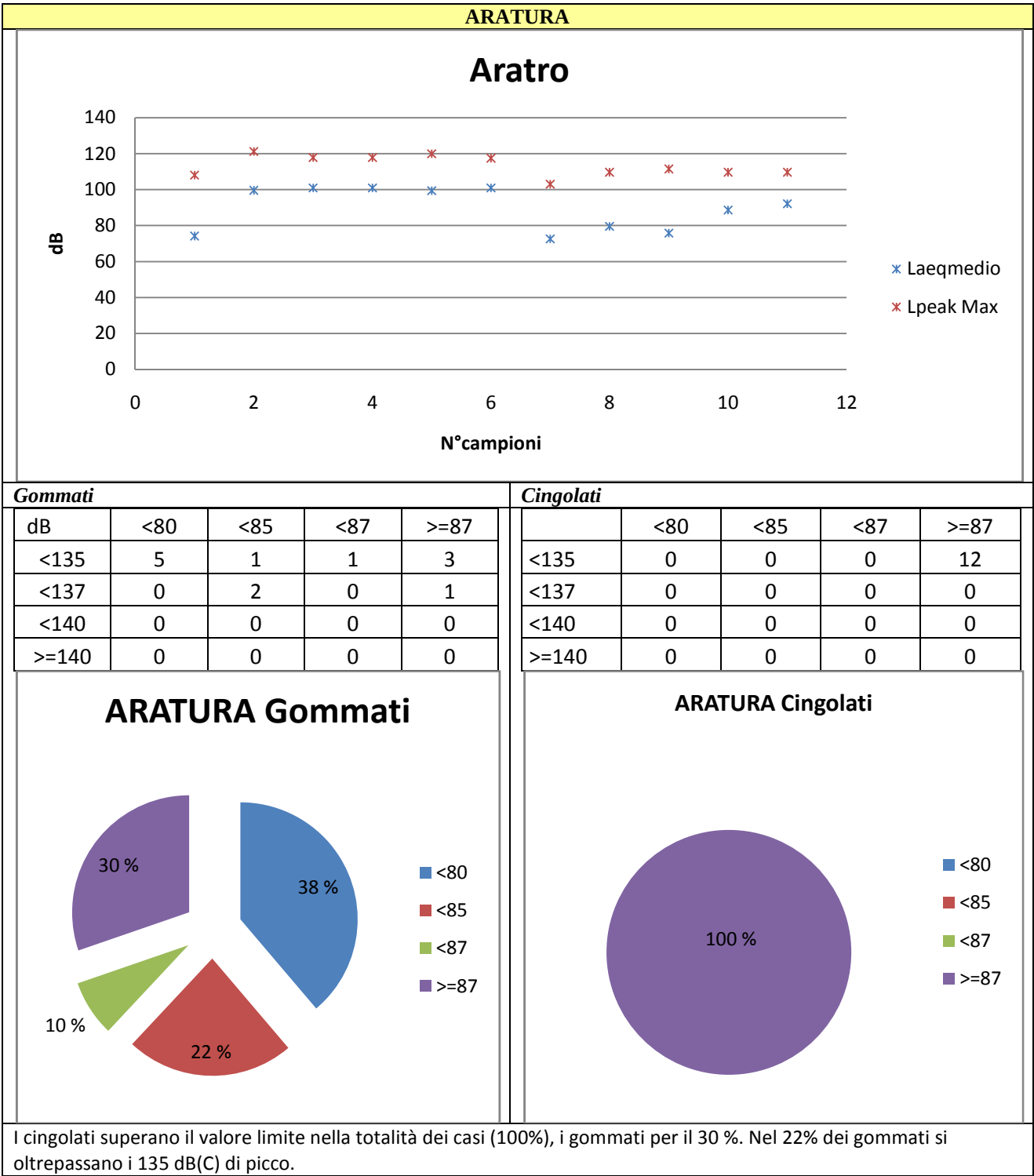


Tabella 4. 60: Fasce di rischio attrezzature: aratro



Altri attrezzi campionati:

Tabella 4. 61: Valori di rumore attrezzature: ripper

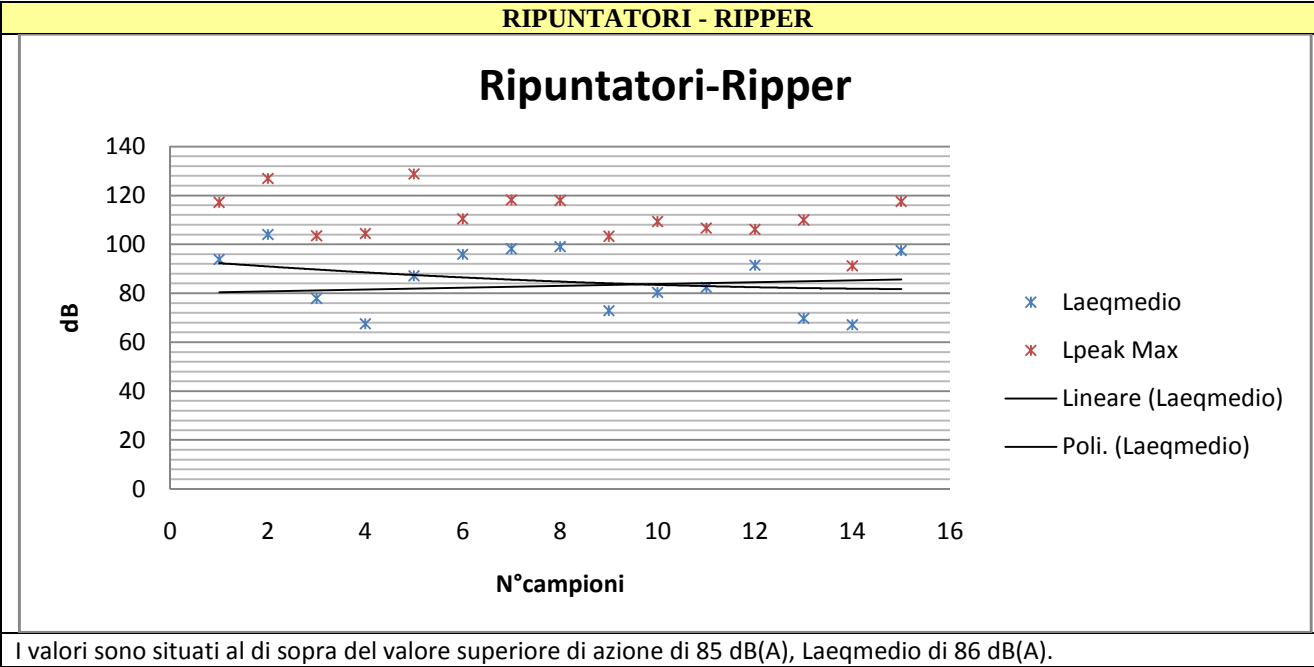


Tabella 4. 62: Valori di rumore attrezzature: rimorchio

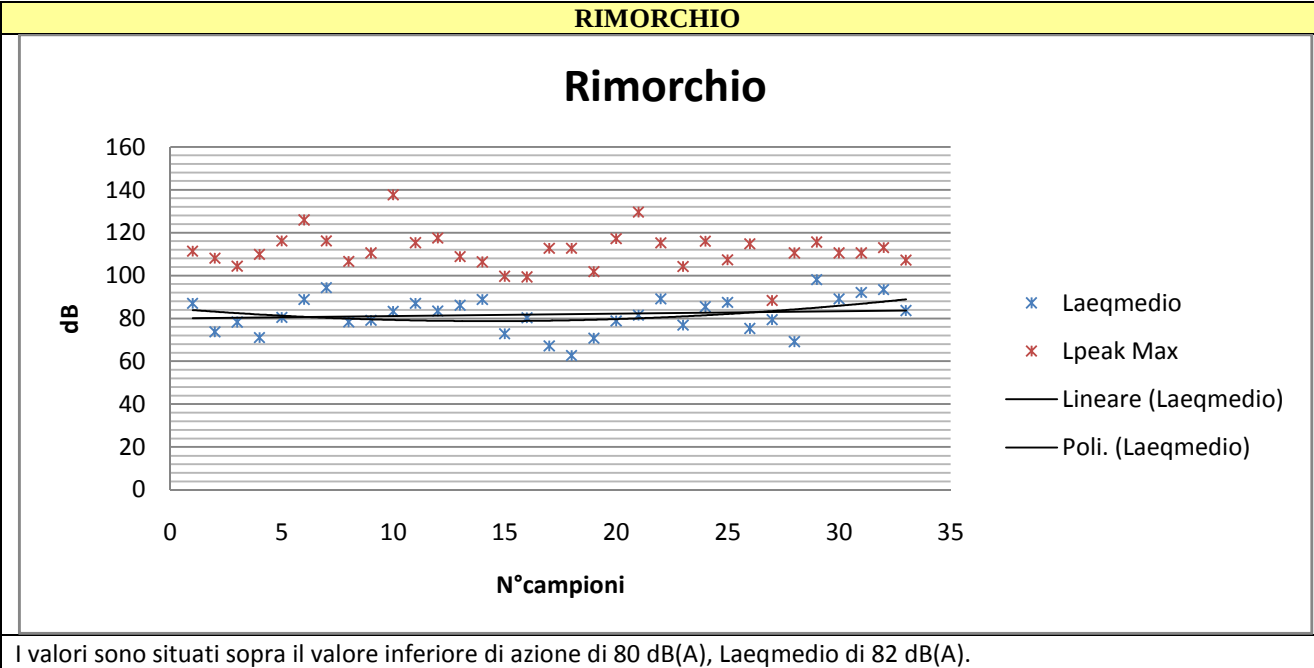


Tabella 4. 63: Valori di rumore attrezzature: ranghinatore

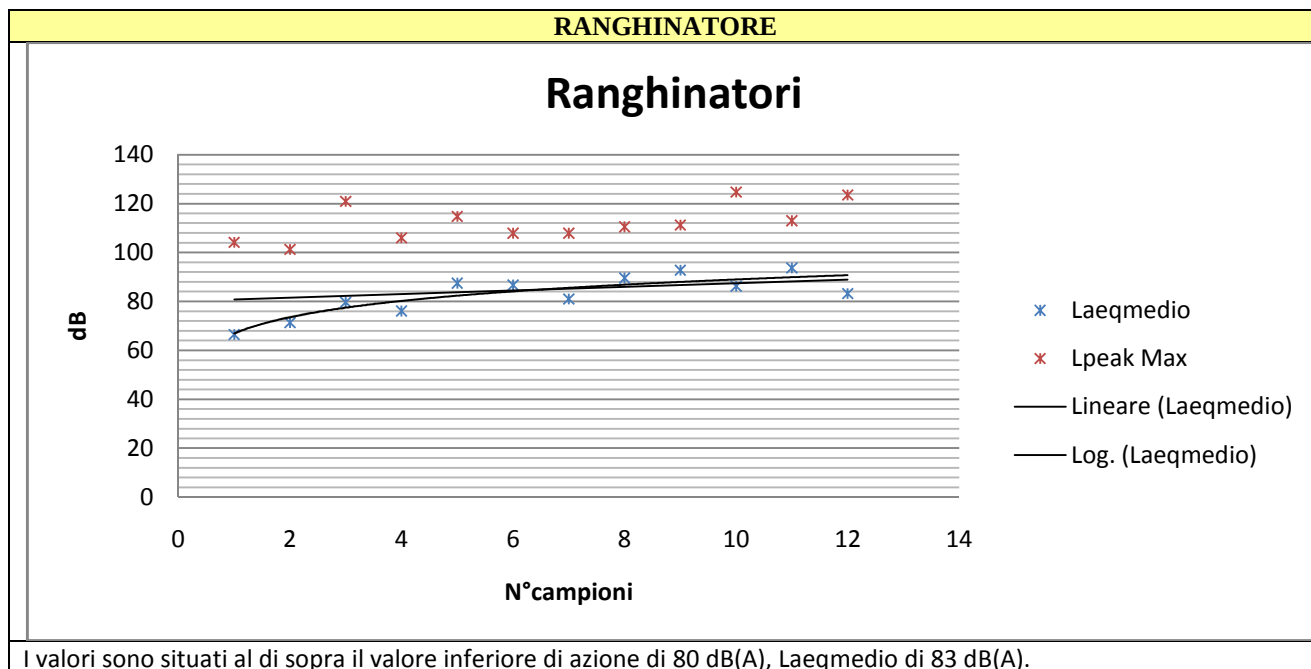


Tabella 4. 64: Valori di rumore attrezzature: raccoglitrici

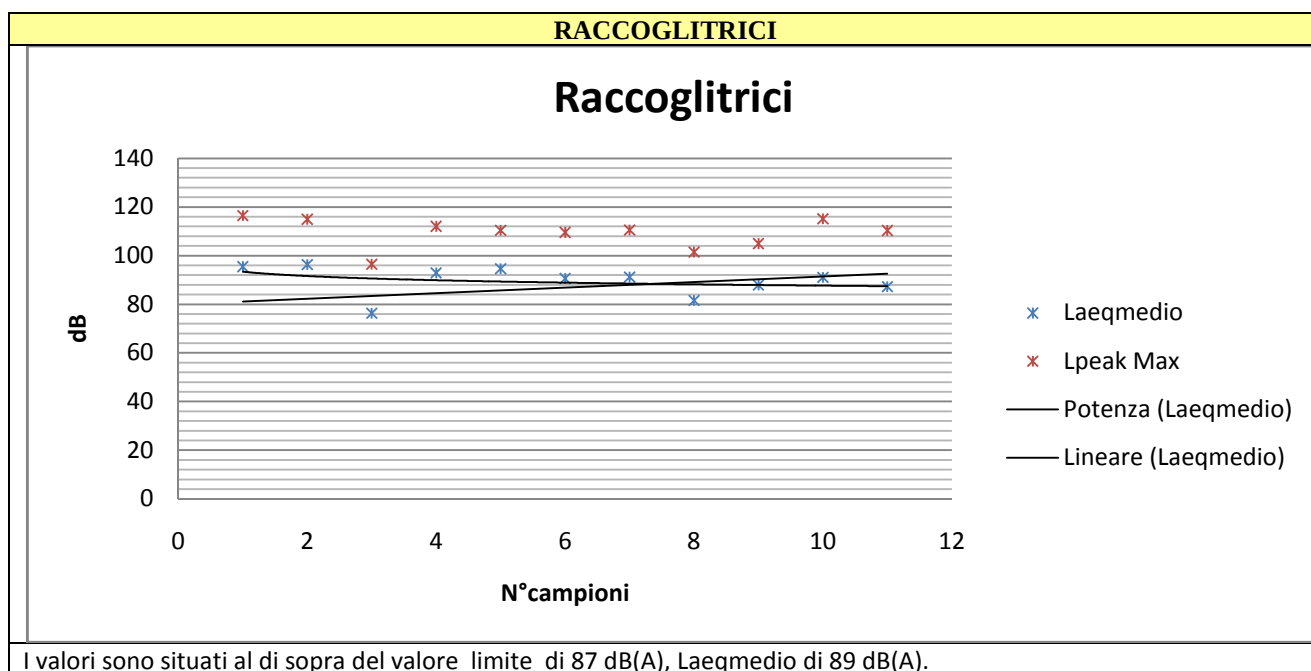


Tabella 4. 65: Valori di rumore attrezzature: rullo-livella

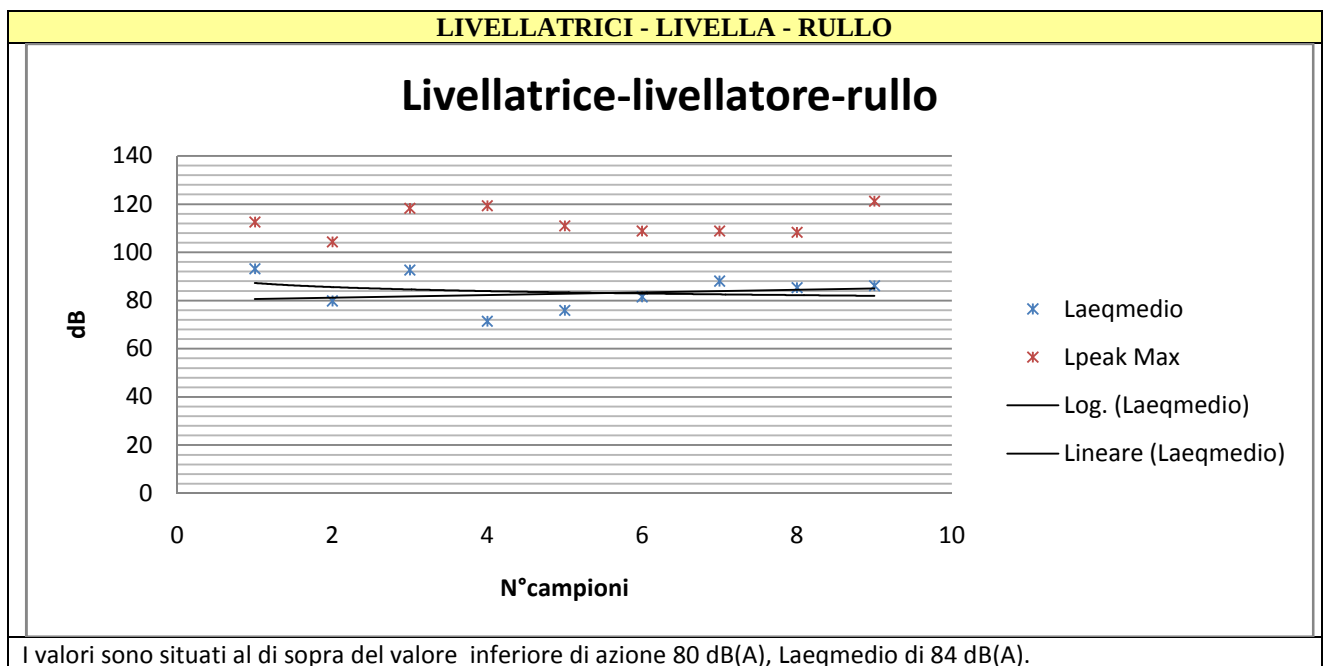


Tabella 4. 66: Valori di rumore attrezzature: aratro bivomere

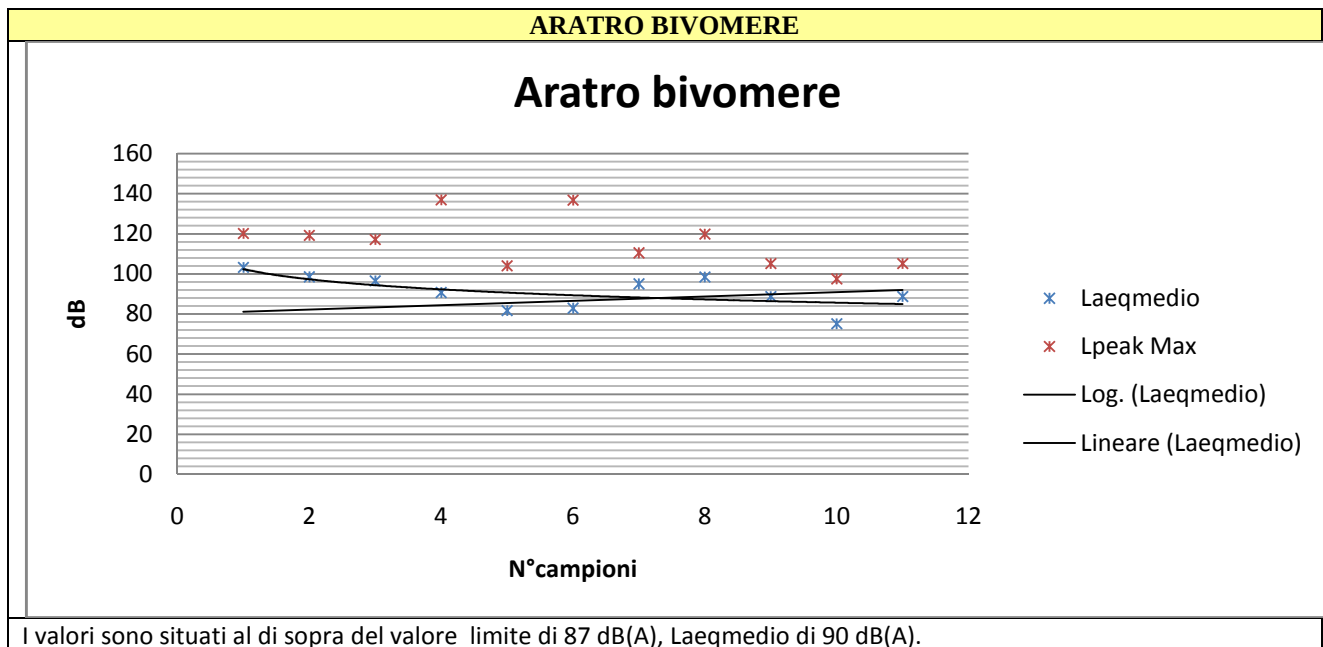


Tabella 4. 67: Valori di rumore attrezzature: atomizzatore e irroratrice

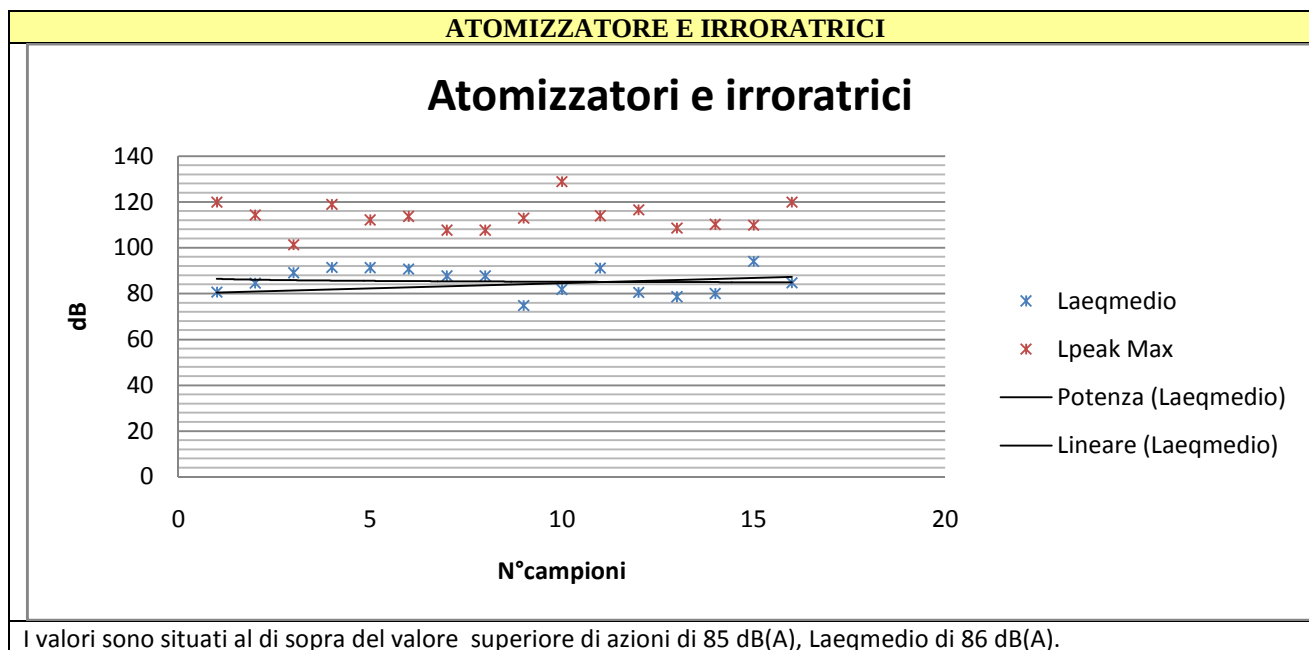


Tabella 4. 68: Valori di rumore attrezzature: barra falciante

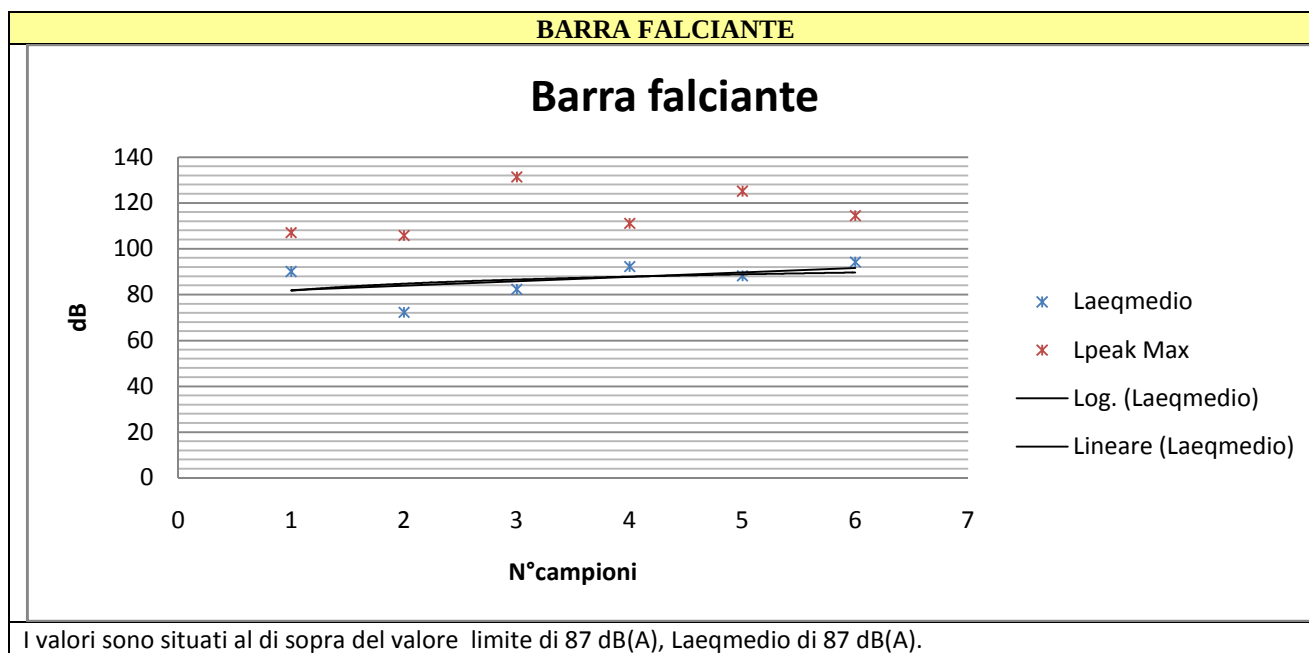


Tabella 4. 69: Valori di rumore attrezzature: botte

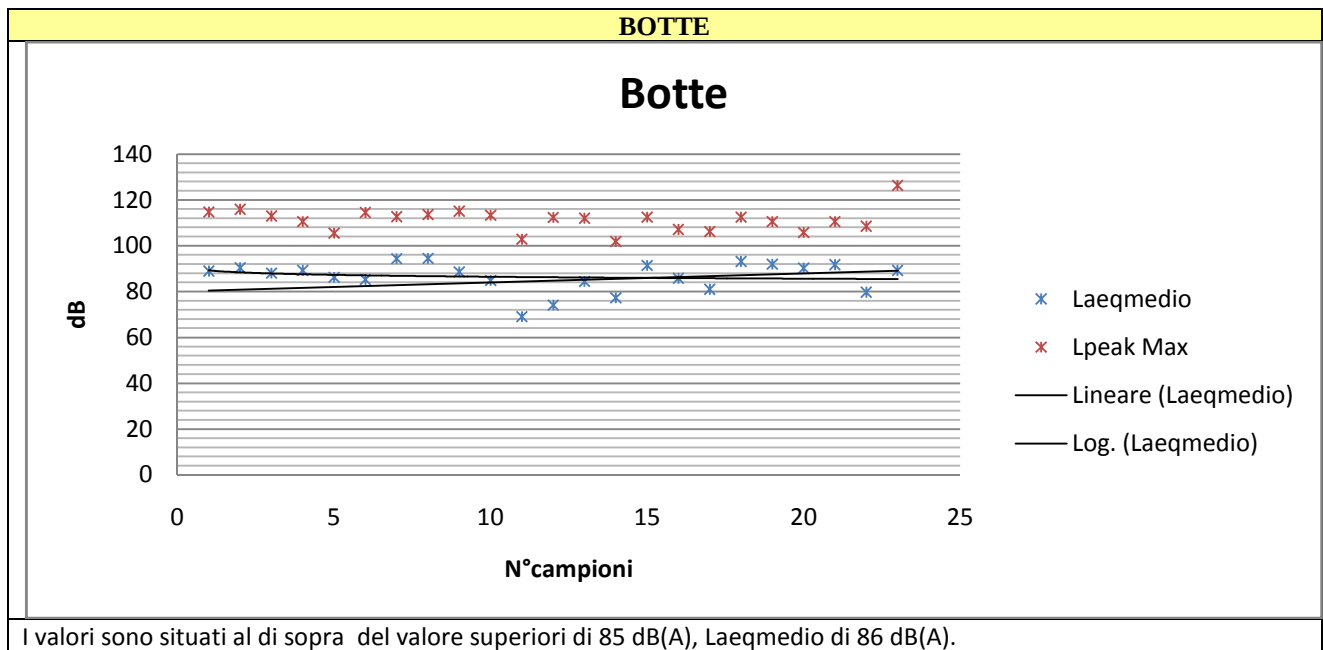


Tabella 4. 69: Valori di rumore attrezzature: pala, braccio

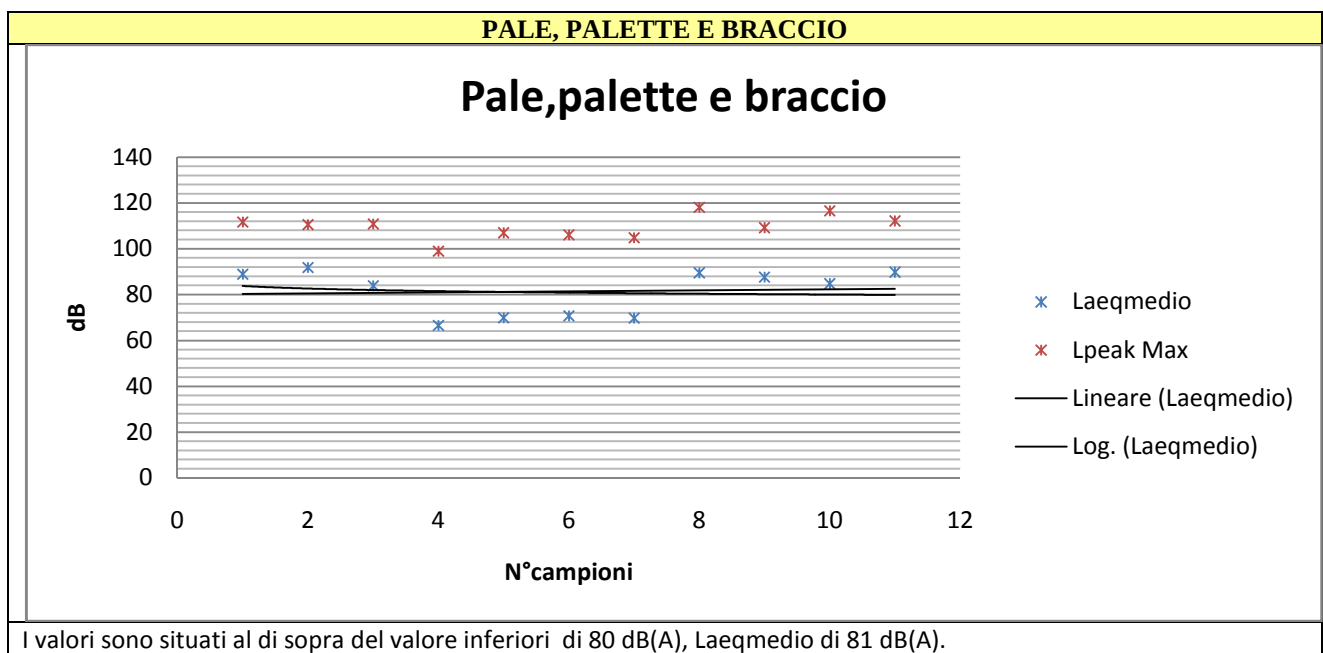


Tabella 4. 70: Valori di rumore attrezzature: carica balle, forche, sollevatore

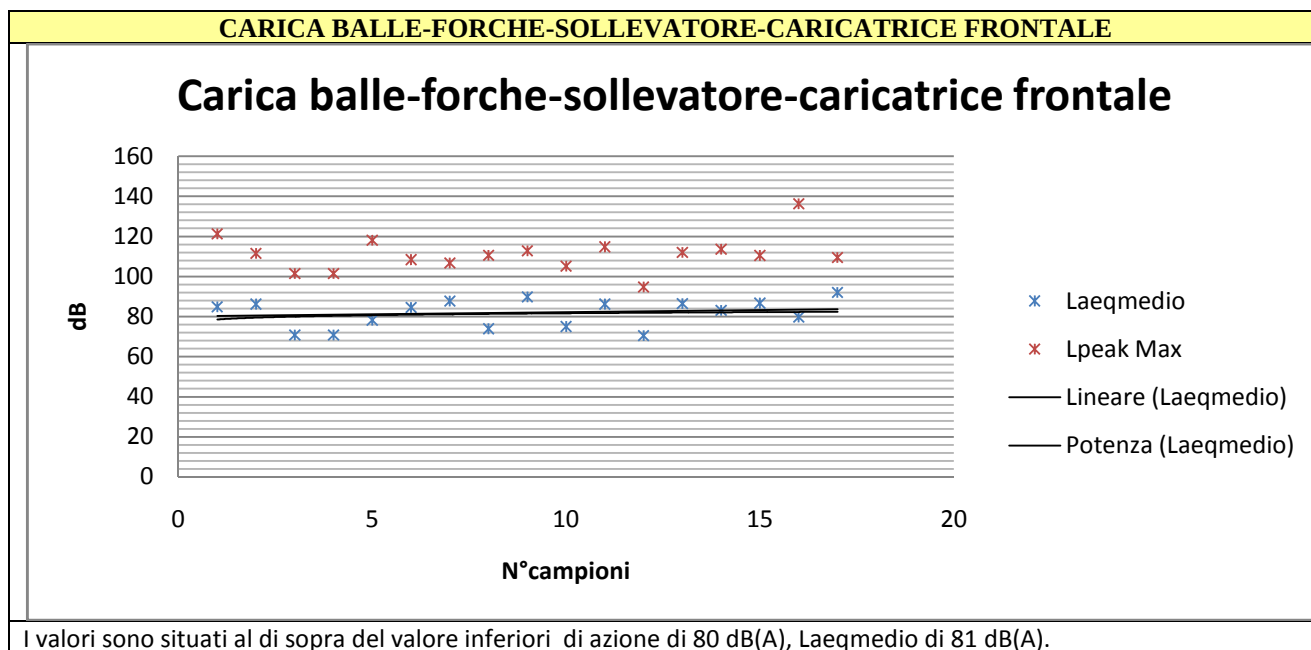


Tabella 4. 71: Valori di rumore attrezzature: carrello

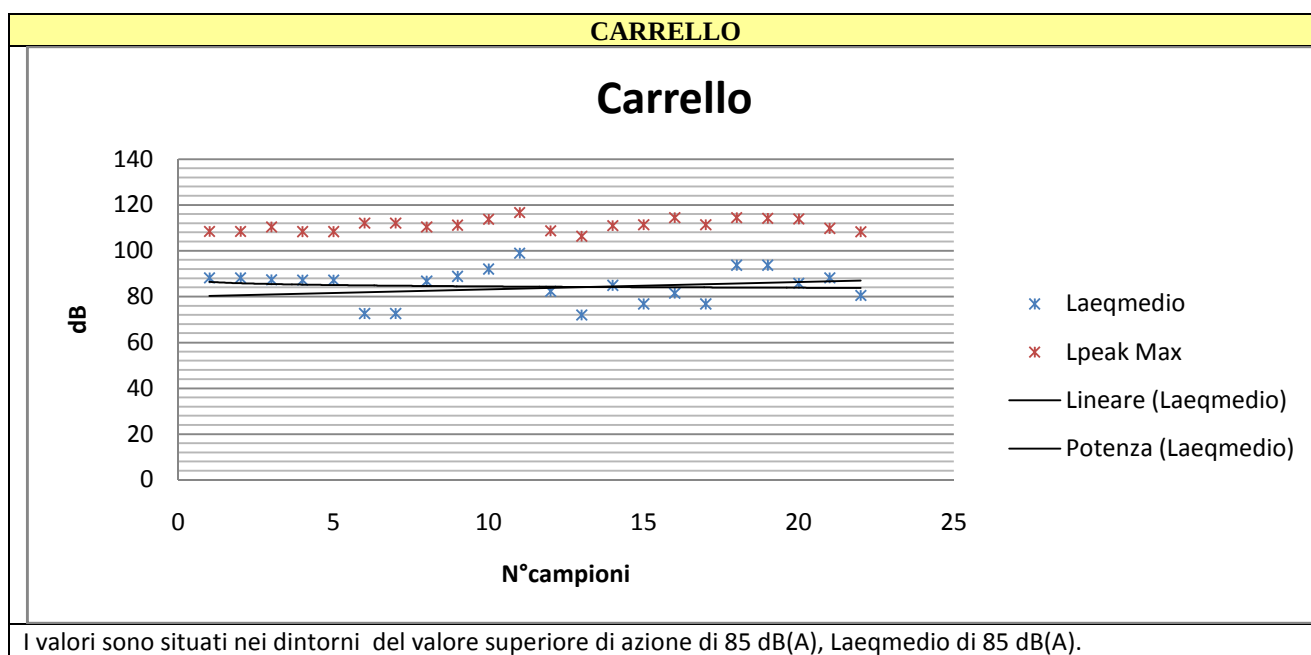


Tabella 4. 72: Valori di rumore attrezzature: carro miscelatore

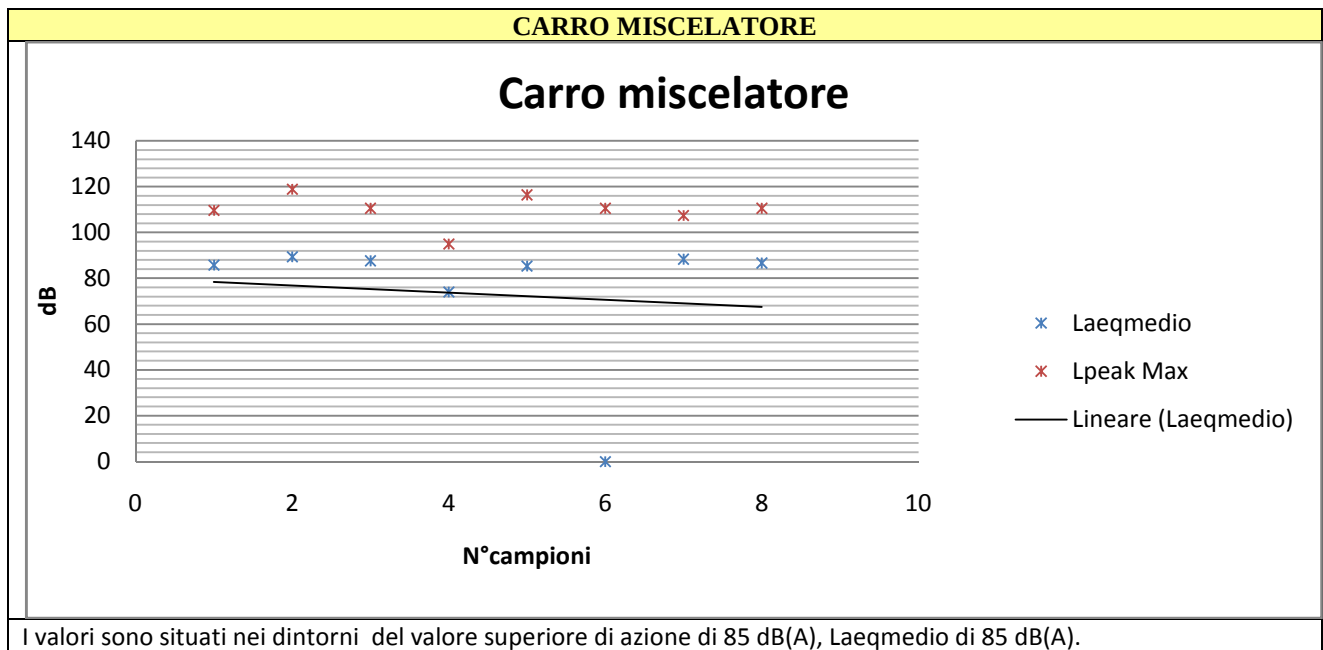


Tabella 4. 73: Valori di rumore attrezzature: coltivatore

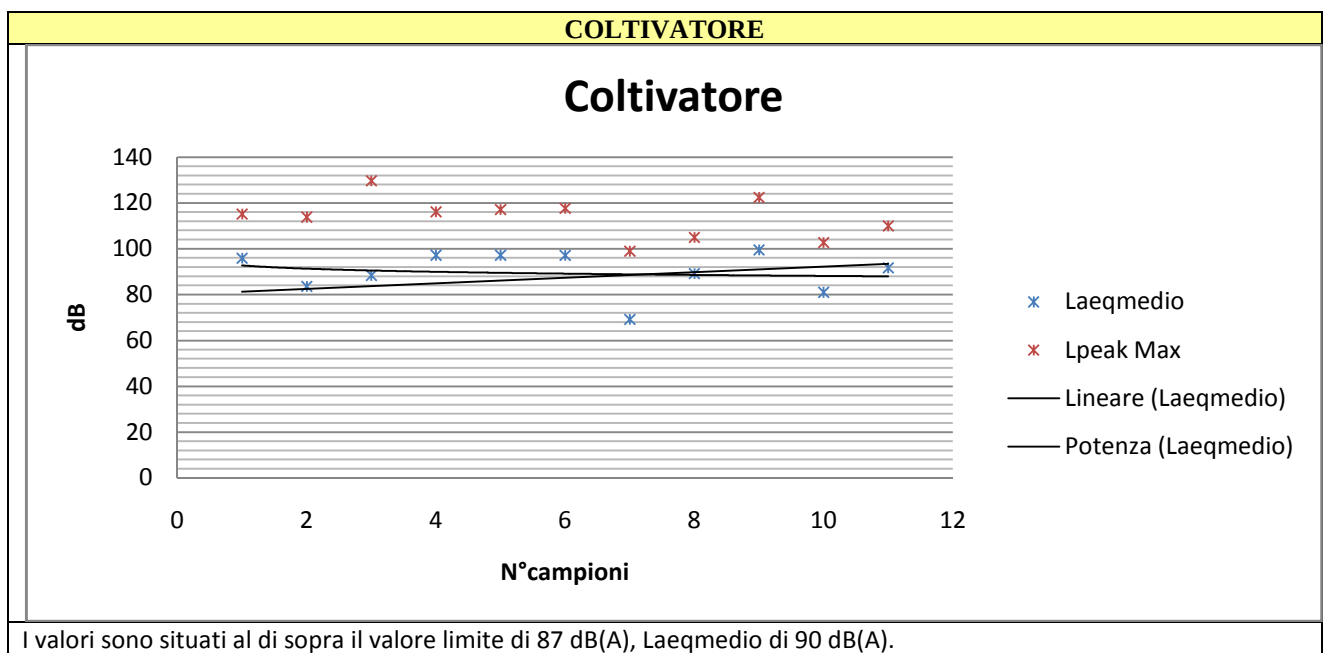


Tabella 4. 74: Valori di rumore attrezzature: estirpatore

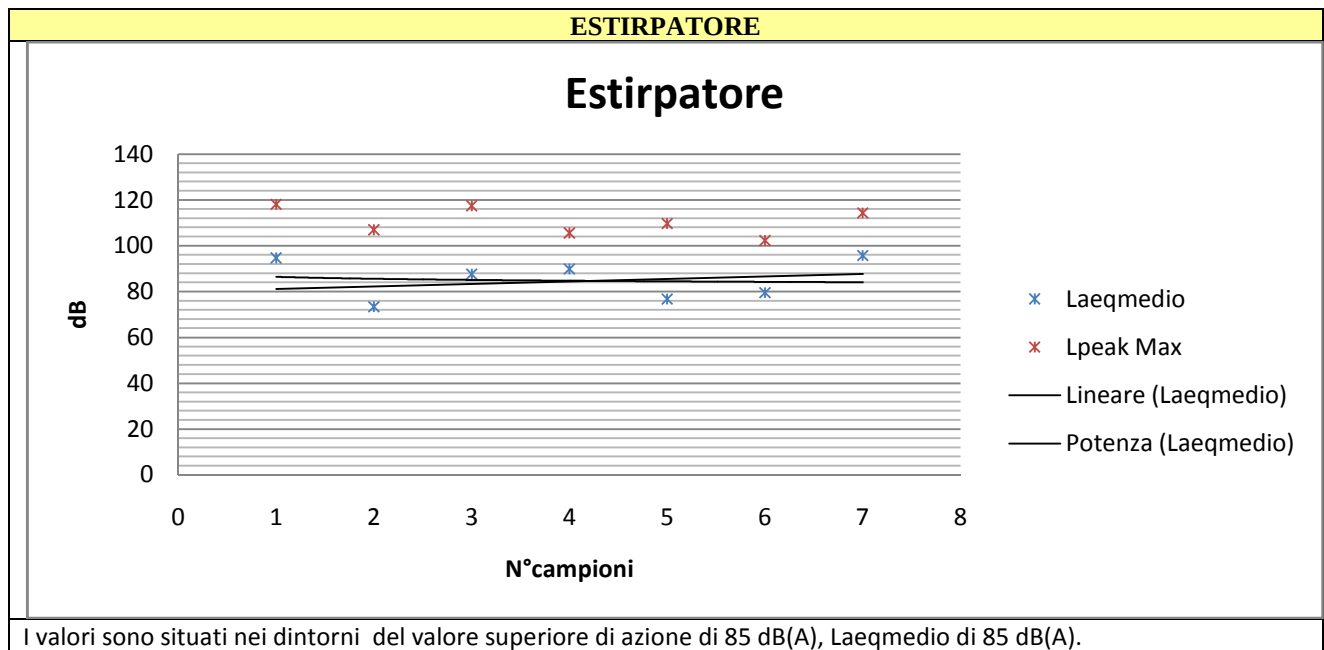


Tabella 4. 75: Valori di rumore attrezzature: falciatrice

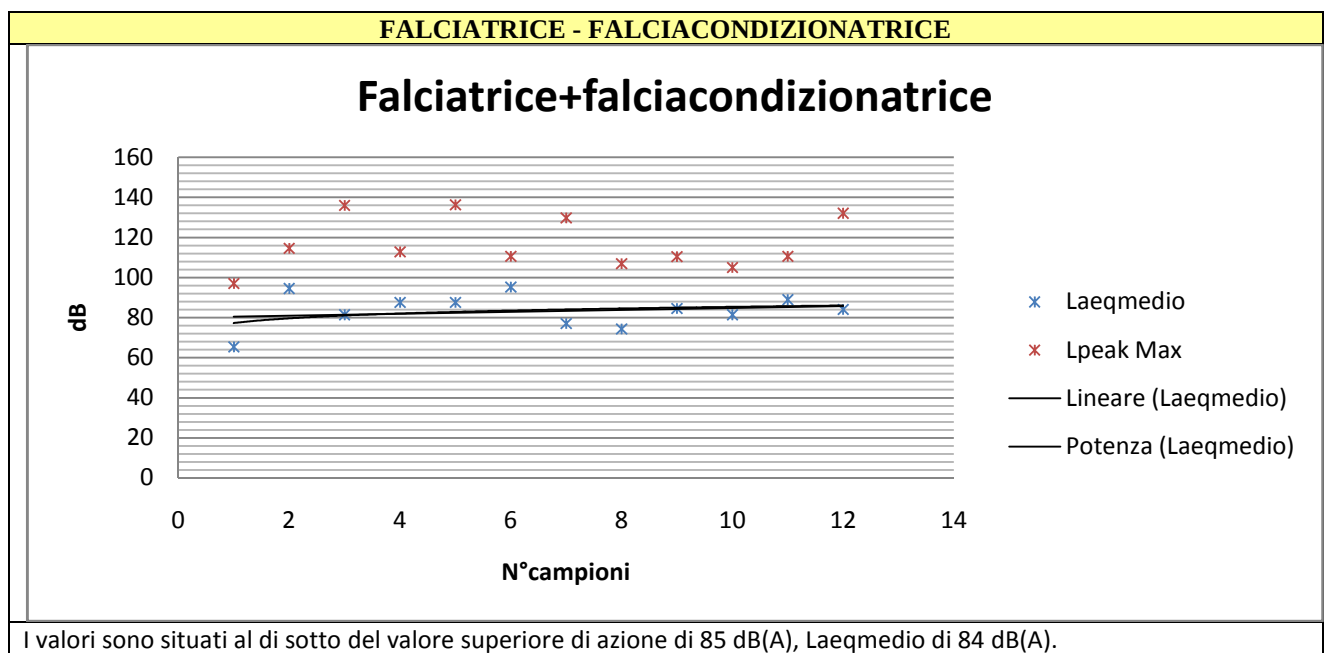


Tabella 4. 76: Valori di rumore attrezzature: fresa

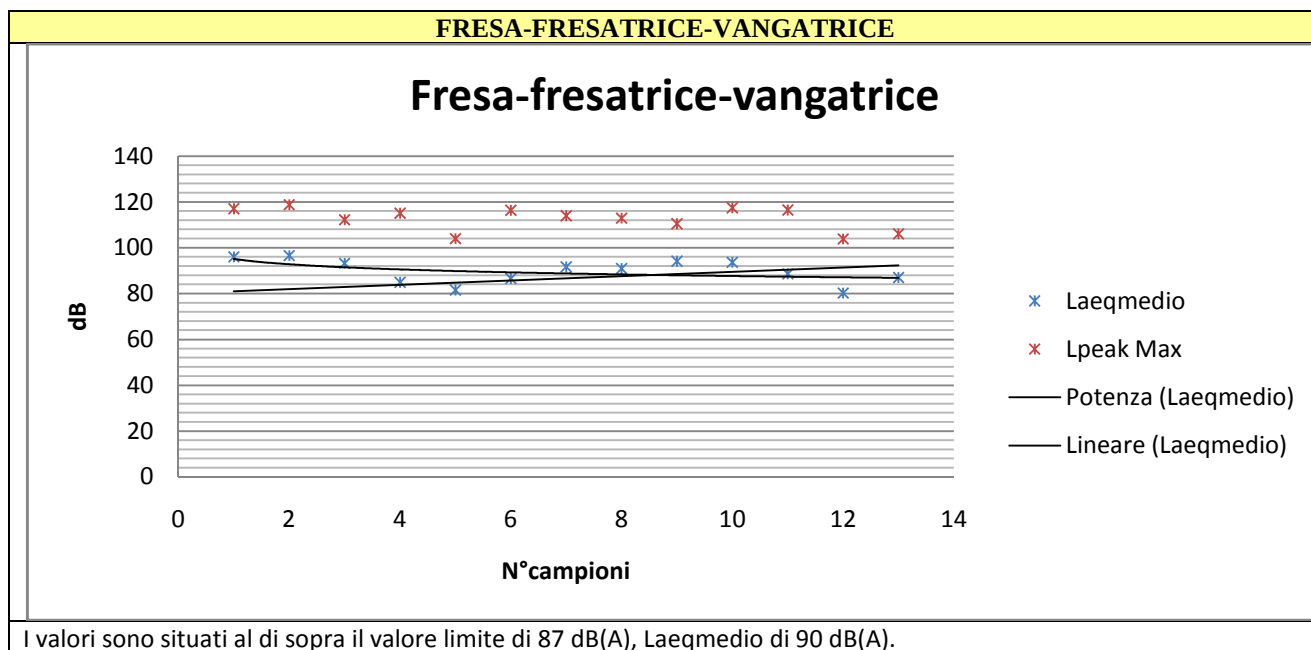


Tabella 4. 77: Valori di rumore attrezzature: spandiconcime

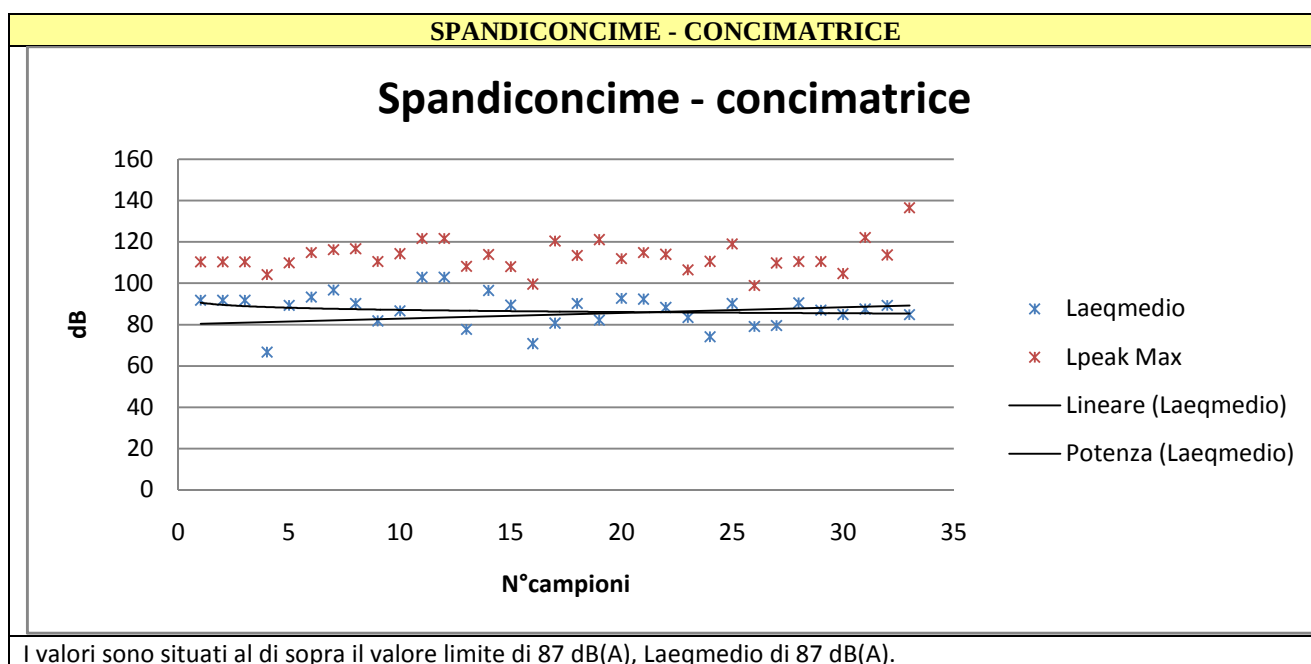


Tabella 4. 78: Valori di rumore attrezzature: erpice a dischi, morgano

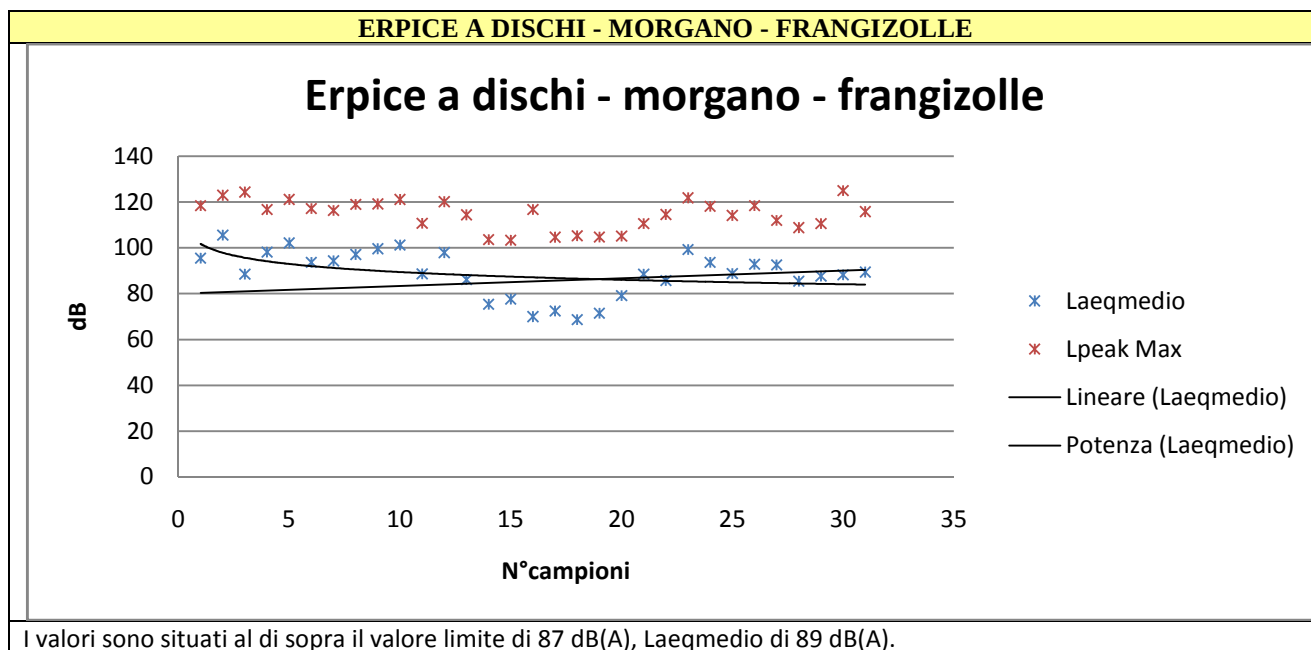


Tabella 4. 79: Valori di rumore attrezzature: pressa, rotopressa

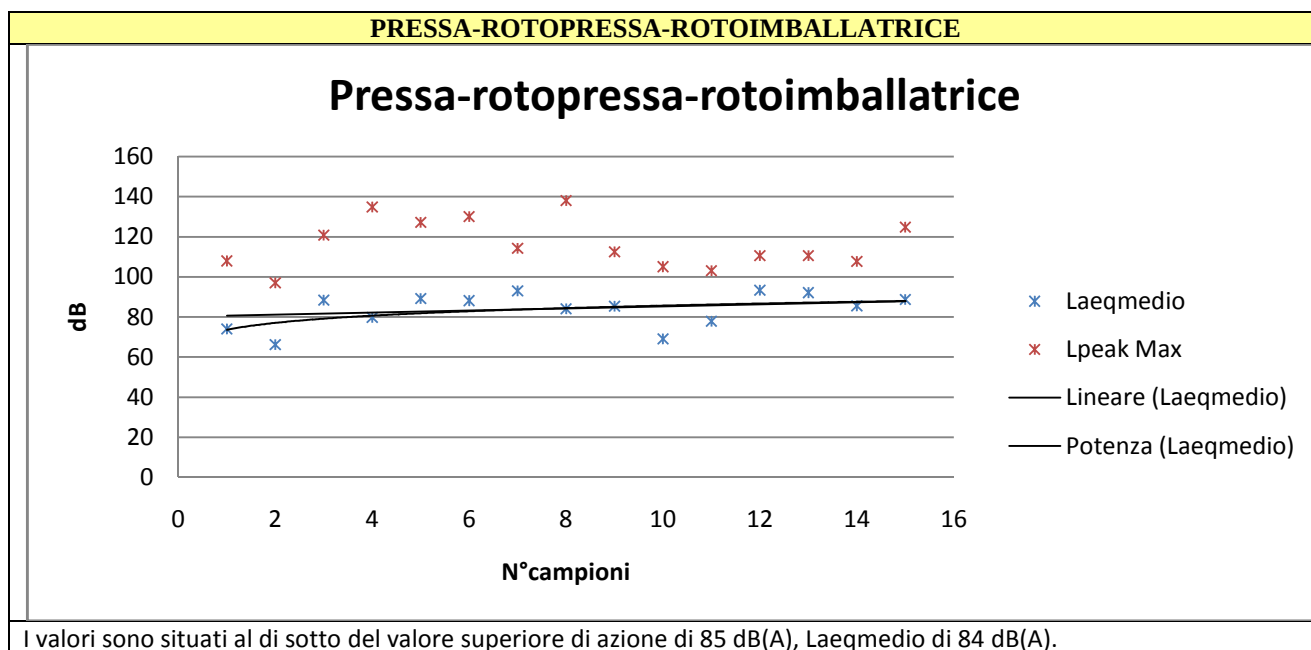


Tabella 4. 80: Valori di rumore attrezzature: seminatrici

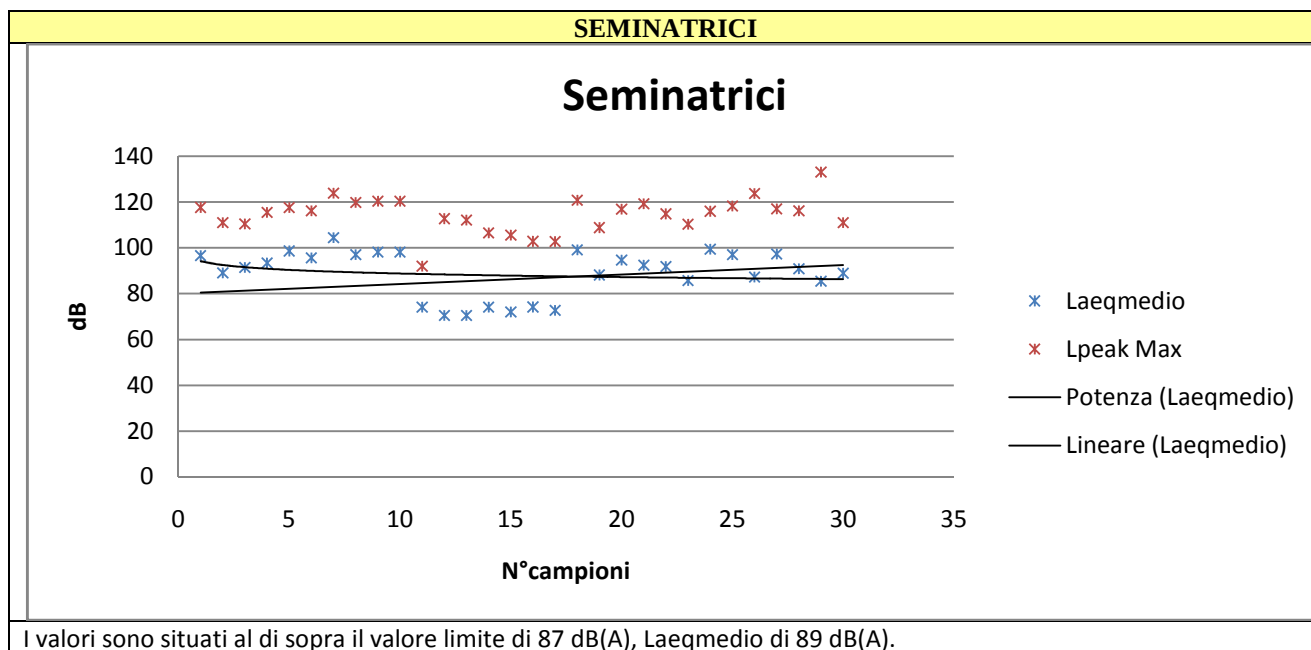


Tabella 4. 81: Valori di rumore attrezzature: trasporto

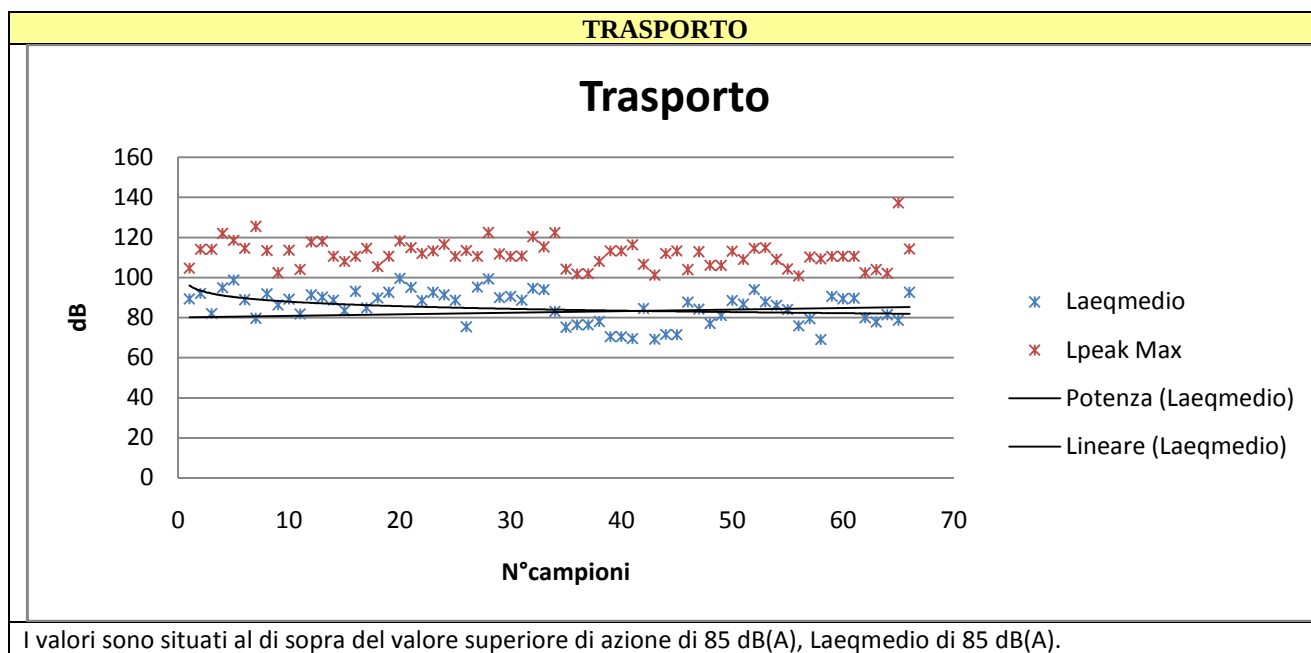
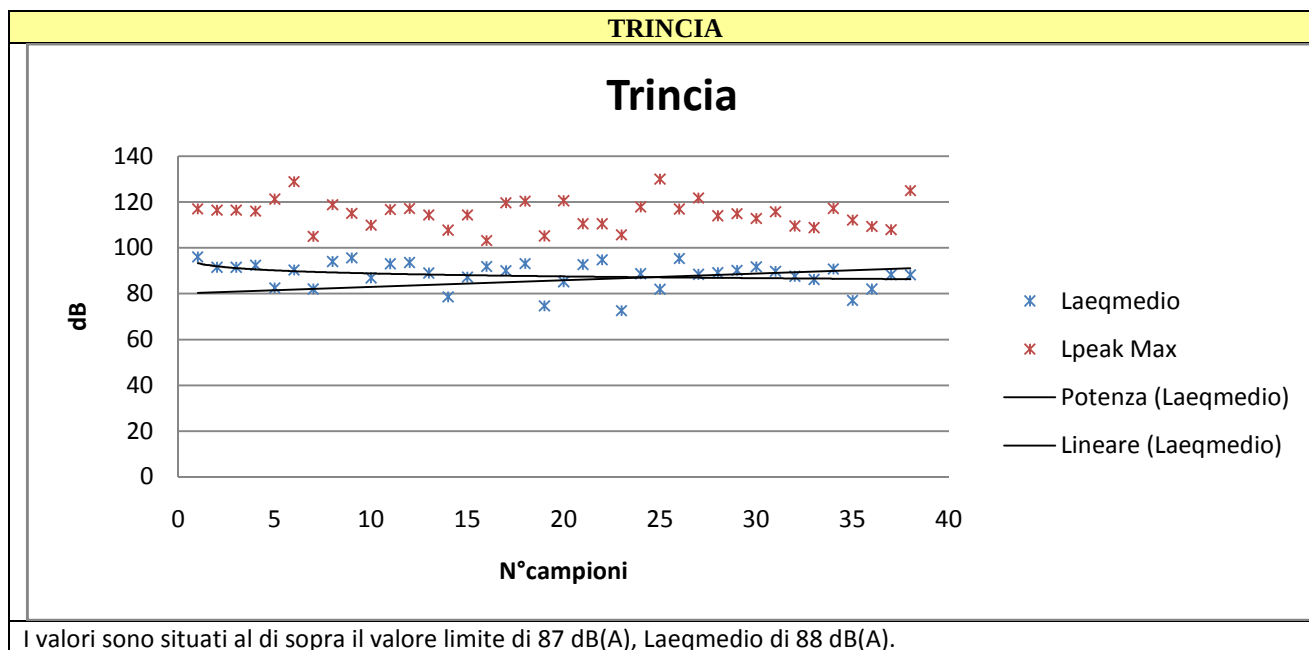


Tabella 4. 82: Valori di rumore attrezzature: trincia



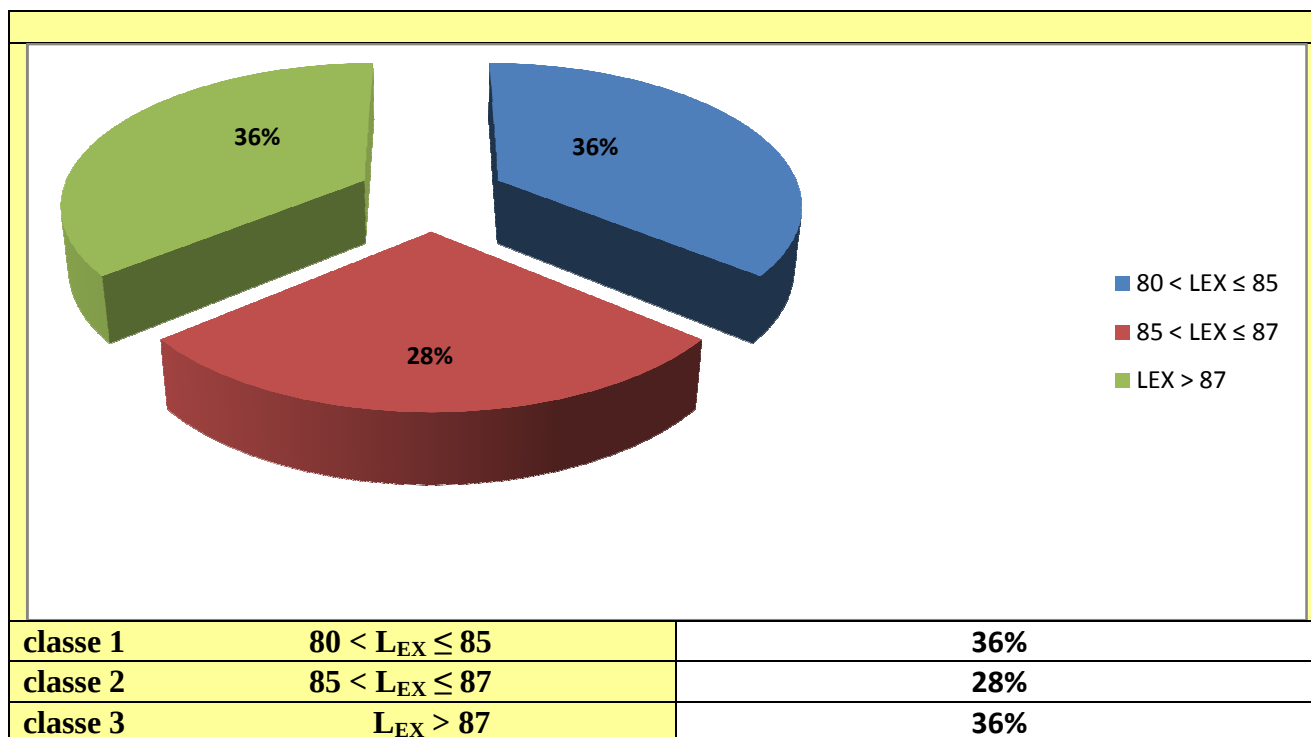
Un sunto delle classi di rischio delle macchine e degli attrezzi:

Tabella 4. 83: Valori di rumore attrezzature: resoconto

	<i>L_{EX} (8h)</i>	RISCHIO	Classe di RISCHIO	Tempo utilizzo massimo(minuti)
TRATTORI GOMMATI	83,3	<i>Basso</i>	1	480
TRATTORI CINGOLATI	94,8	<i>Inaccettabile</i>	3	75
TRATTORI GOMMATI – con cabina	80,8	<i>Basso</i>	1	480
TRATTORI GOMMATI – senza cabina	83,8	<i>Basso</i>	1	480
ARATRO	90	<i>Inaccettabile</i>	3	240
ARATRO BIVOMERE	91	<i>Inaccettabile</i>	3	180
ATOMIZZATORI E IRRORATRICI	86	<i>Medio</i>	2	480
BARRA FALCIANTE	86	<i>Medio</i>	2	480
BOTTE	86	<i>Medio</i>	2	480
PALE-PALETTE-BRACCIO	81	<i>Basso</i>	1	480
CARICA BALLE-FORCHE-SOLLEVATORE-CARICATRICE FRONTALE	81	<i>Basso</i>	1	480
CARRELLO	85	<i>Medio</i>	2	480
CARRO MISCELATORE	85	<i>Medio</i>	2	480
COLTIVATORE	91	<i>Inaccettabile</i>	3	180
SPANDICONCIME - CONCIMATRICE	87	<i>Inaccettabile</i>	3	460
ERPICE A DISCHI - MORGANO -	89	<i>Inaccettabile</i>	3	300

FRANGIZOLLE				
ESTIRPATORE	85	<i>Medio</i>	2	480
FALCIATRICE	84	<i>Basso</i>	1	480
FRESA-FRESATRICE- VANGATRICE	90	<i>Inaccettabile</i>	3	240
LIVELLATRICE-LIVELLATORE- RULLO	84	<i>Basso</i>	1	480
PRESSA-ROTOPRESSA- ROTOIMBALLATRICE	84	<i>Basso</i>	1	480
RANGHINATORI	83	<i>Basso</i>	1	480
RIMORCHIO	82	<i>Basso</i>	1	480
RIPUNTATORI-RIPPER	86	<i>Medio</i>	2	480
SEMINATRICI	89	<i>Inaccettabile</i>	3	300
TRASPORTO	85	<i>Medio</i>	2	480
TRINCIA	88	<i>Inaccettabile</i>	3	360
RACCOGLITRICI	90	<i>Inaccettabile</i>	3	240

Tabella 4. 84: Valori di rumore attrezzature: resoconto grafico



Risultati analisi rumore attrezzi: dai risultati si evidenzia come, in definitiva, l'esposizione all'agente fisico faccia superare la soglia di rischio di 80dB(A), arrivando ad un rischio basso nei gommati (circa 82dB(A)) ed un rischio elevato, inaccettabile, per gli utilizzatori dei cingolati (maggiore di 90dB(A)).

Sono stati calcolati anche i tempi di utilizzo massimo della macchina per rientrare nei limiti, drasticamente bassi nei cingolati, arrivando anche ad un minimo di 75 minuti di utilizzo giornaliero.

La presenza della cabina nei gommati influisce per un abbattimento di 3 dB(A), rimanendo però al di sopra della soglia di rischio.

Nell'uso degli attrezzi si evidenzia come ci sia una parità di classe elevata e di classe bassa (intorno al 36%), dovuta più alla caratteristica dei mezzi più che all'emissione di rumore dell'attrezzatura stessa.

La classe tra il valore superiore di azione e valore limite giornaliero è la classe meno rappresentativa (28%).

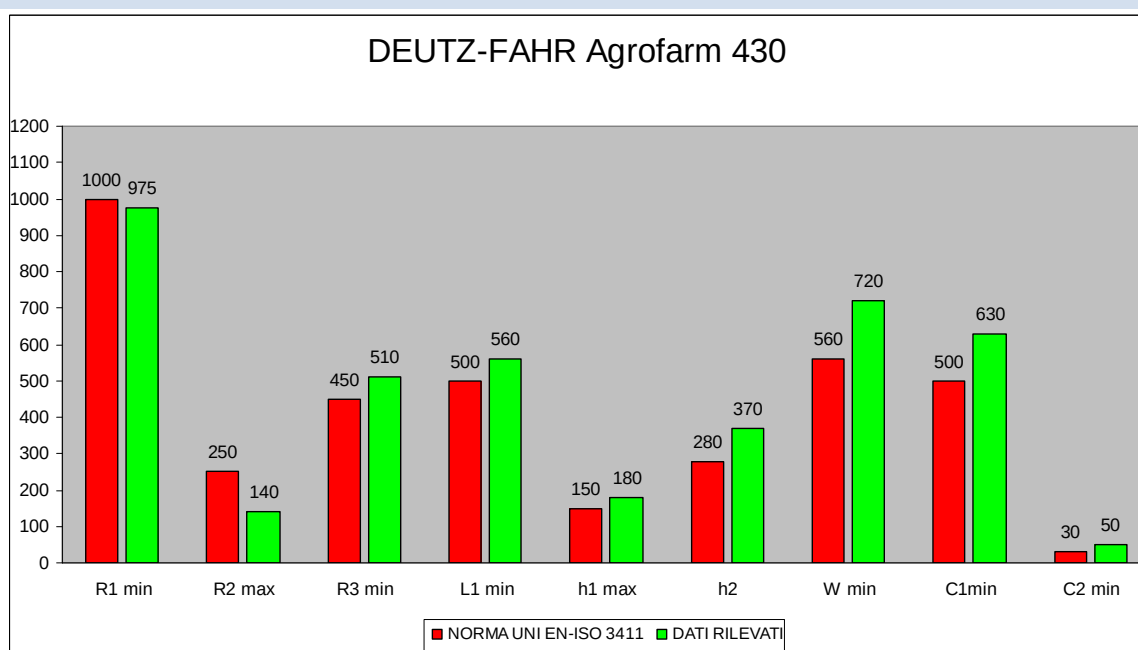
Questo è un dato particolare, poiché se si ipotizza l'uso dei trattori per le otto ore, evento probabile in agricoltura, non giustificherebbe ciò che si attesta con l'art. 191 del D.lgs 81/08: "Fatto salvo il divieto al superamento dei valori limite di esposizione, per attività che comportano un'elevata fluttuazione dei livelli di esposizione personale dei lavoratori, il datore di lavoro può attribuire a detti lavoratori un'esposizione al rumore al di sopra dei valori superiori di azione", appunto, la fascia meno rappresentata.

4.3 Calcolo delle misure antropometriche delle cabine

Oggetto di analisi, 30 macchine agricole, tra cui trattori agricoli a ruote, cingolati tradizionali, cingolati gommate ed anche una mietitrebbiatrice, tutte di nuova costruzione, selezionate appositamente per ottenere una panoramica comparativa tra i modelli di macchine agricole di fascia medio-alta prodotti delle principali case costruttrici mondiali presenti sul mercato nazionale con lo scopo di verificare l'aderenza di queste aziende e dei loro prodotti ai parametri dettati dalla Norma di riferimento UNI EN ISO 3411:2007.

Le prove sono state effettuate presso alcuni rivenditori della provincia di Viterbo.

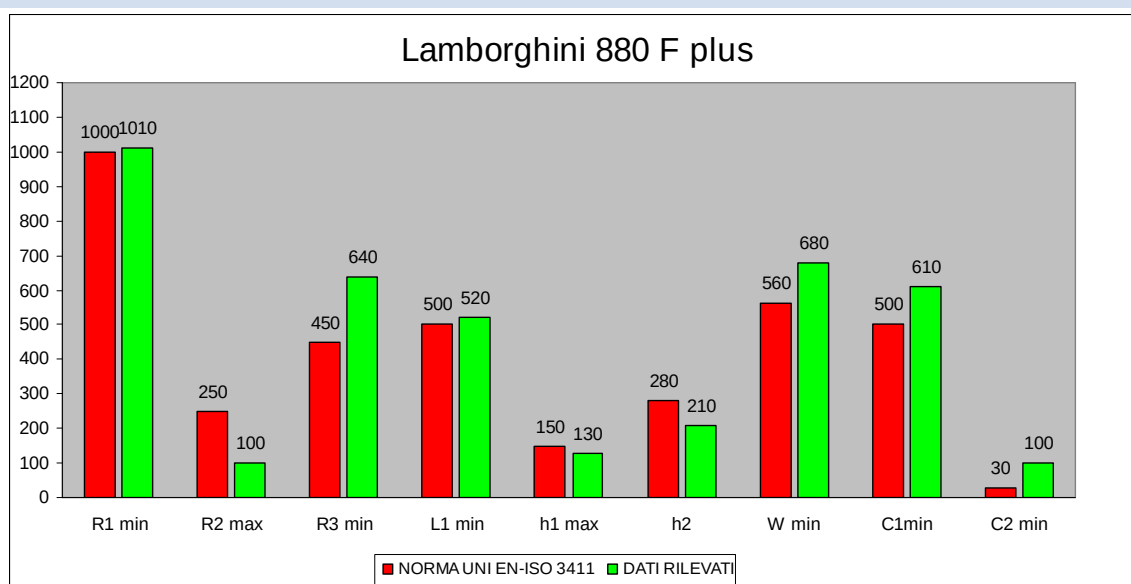
Tabella 4. 84: Deutz-Fahr Agrofarm 430 potenza: 80 kW, anno: 2010



La macchina presenta delle piccole anomalie riguardo ai parametri R1, che risulta essere leggermente al di sotto di quanto stabilito dalla Norma e ad h1 che risulta maggiore di quanto previsto dalla stessa Norma di riferimento.

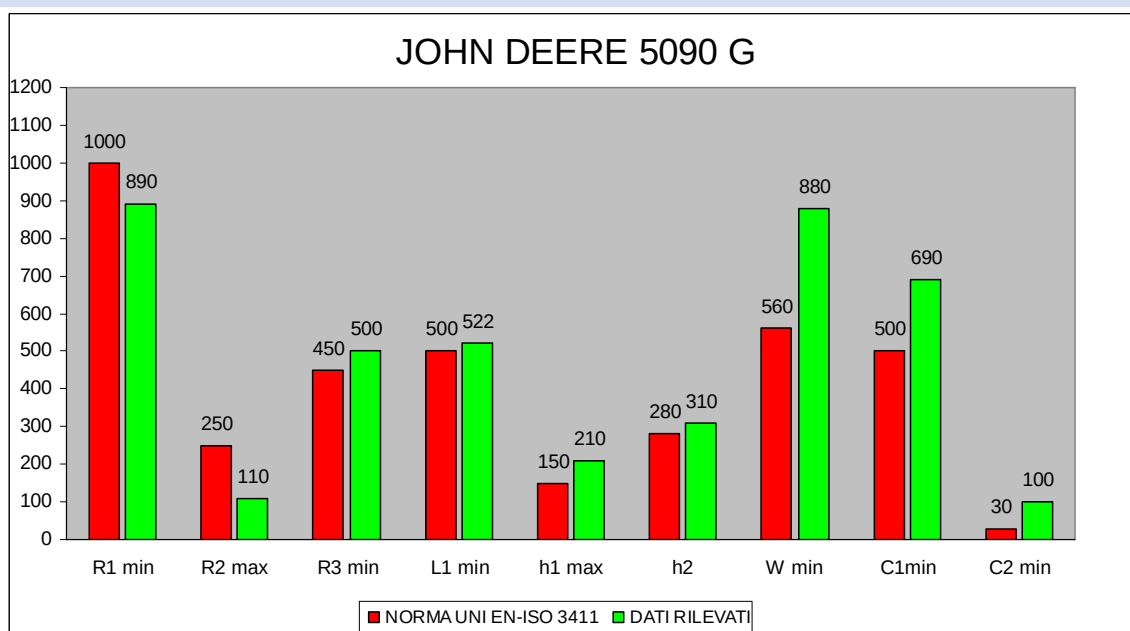
Il parametro h2 (distanza verticale fra il S.I.P. e le estremità inferiori della pareti posteriori superiori della cabina) misurato sul Deutz, come nella quasi totalità delle macchine misurate, risulta favorevolmente maggiore di quello previsto dalla normativa

Tabella 4. 85: Lamborghini 880 F Plus potenza: 58 kW, anno 2010



La macchina pur essendo una tipologia "frutteto", e quindi di dimensioni ridotte, rispetta tutti i parametri.

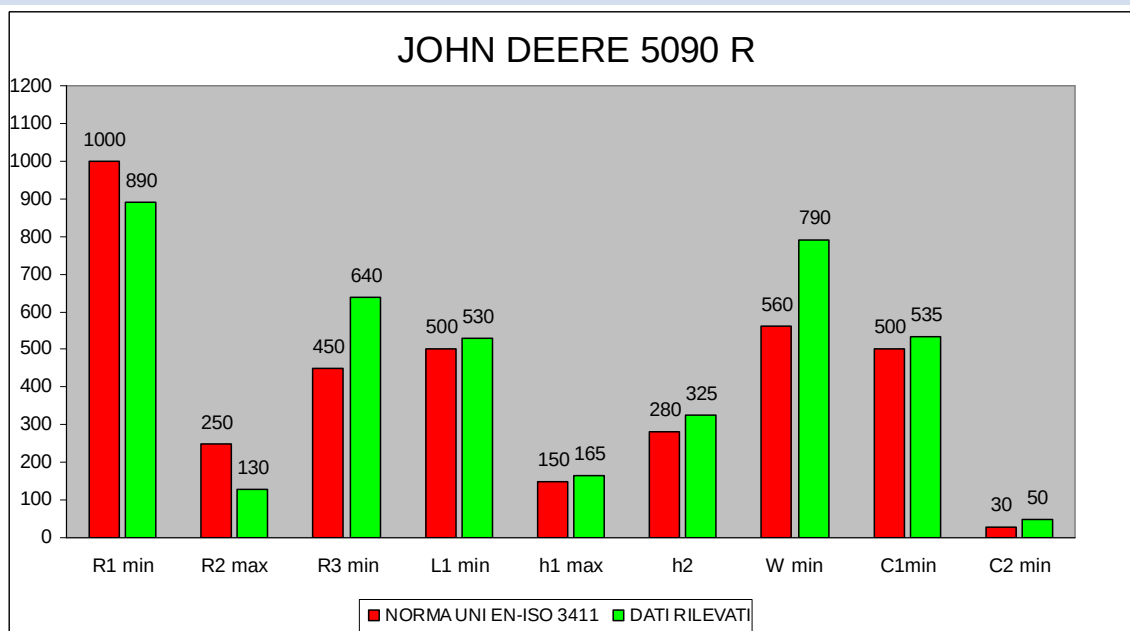
Tabella 4. 86: John Deere 5090 G, potenza: 67 kW , anno: 2010



La macchina non rispetta i parametri R1, h1 e h2.

Il parametro R1 (distanza fra il S.I.P. e il soffitto della cabina) misurato sul 5090 G risulta essere minore di quello della Norma; h1 (distanza fra il S.I.P. e le estremità inferiori delle pareti laterali superiori della cabina) risulta anch'esso maggiore di quello previsto come anche h2.

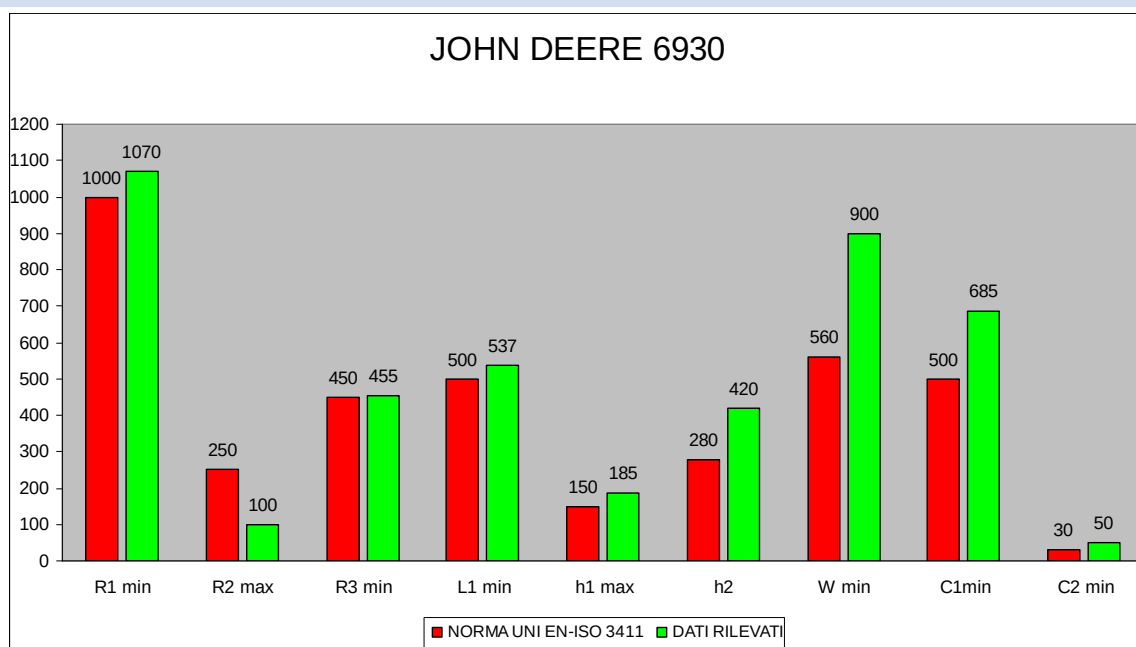
Tabella 4. 87: JOHN DEERE 5090 R Potenza: 66 kW, anno: 2010



Le dimensioni della cabina del 5090R non collimano con la norma nei casi dei parametri R1, h1 e h2.

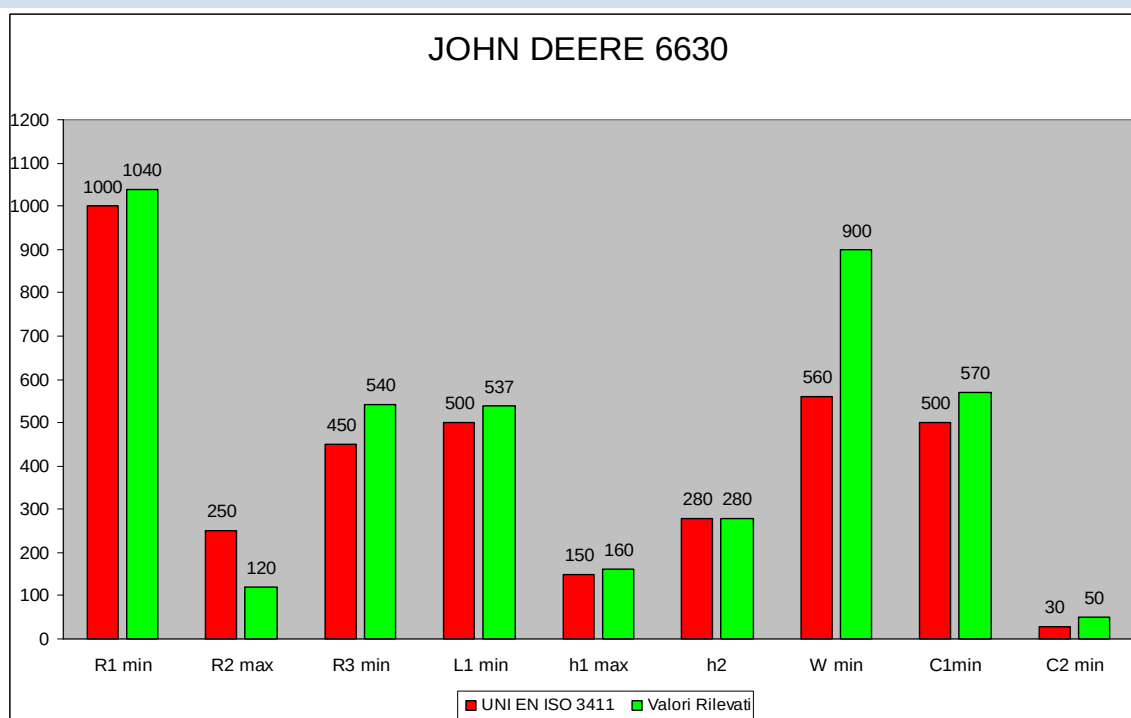
Il primo parametro risulta sottodimensionato rispetto alla Norma, mentre h1 e h2 risultano lievemente sovradimensionati.

Tabella 4. 88: JOHN DEERE 6930 potenza :114 kW, anno: 2010



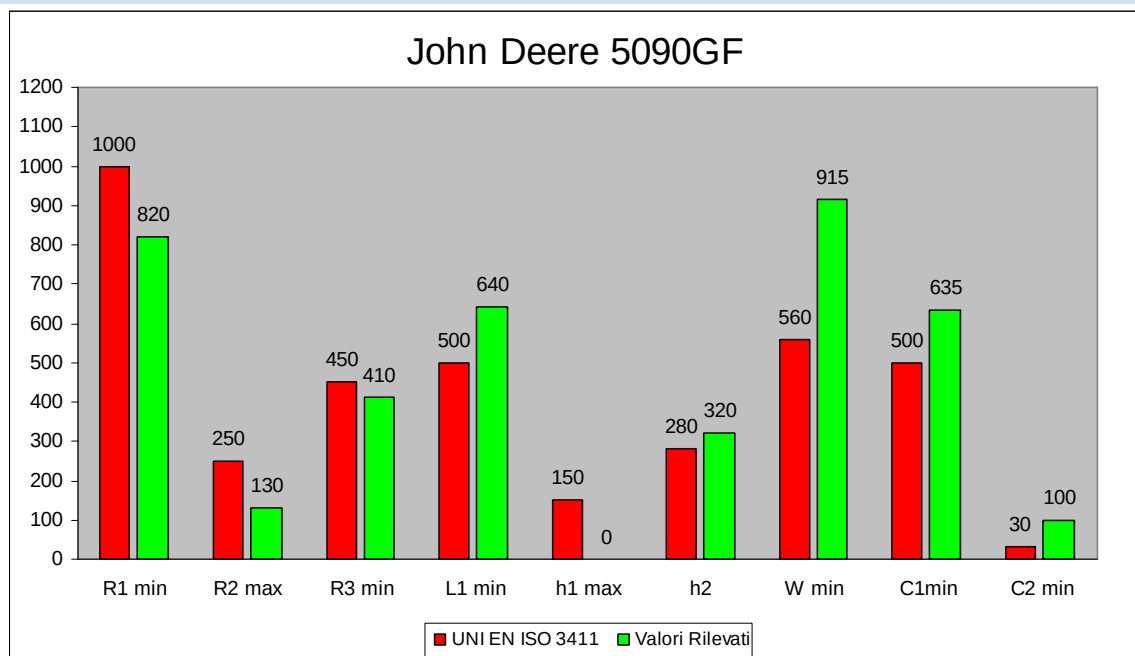
Il John Deere 6930 non rispetta i parametri h1 e h2.

Tabella 4. 89: JOHN DEERE 6630 potenza:99 kW, anno 2010



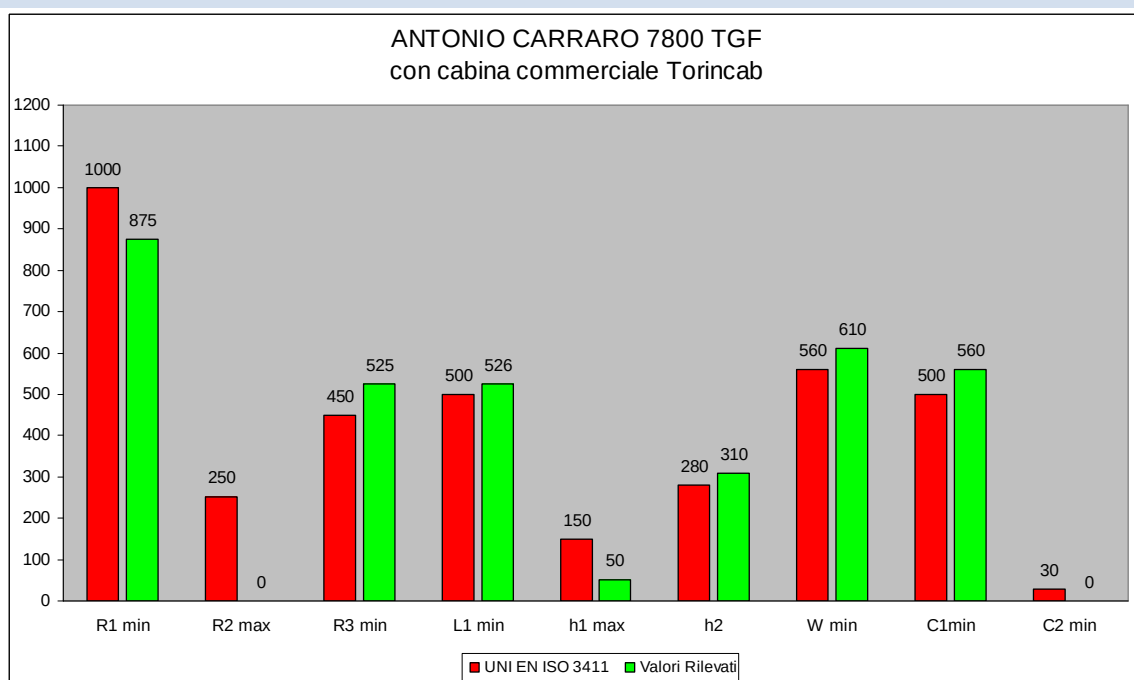
Il John Deere 6630 supera leggermente il limite del parametro h1.

Tabella 4. 90: JOHN DEERE 5090 GF Potenza: 66 kW, anno 2010



Il John Deere 5090 GF è una tipologia frutteto quindi con caratteristiche tipiche della categoria, carreggiata stretta, cabina stretta e alta, e non rispetta il parametro R1 (distanza fra il S.I.P. e il soffitto della cabina) per la conformazione della parte superiore-anteriore del tetto della cabina che risulta essere più bassa del dovuto.

Tabella 4. 91: CARRARO TGF 7800 potenza: 57 kW, anno 2010

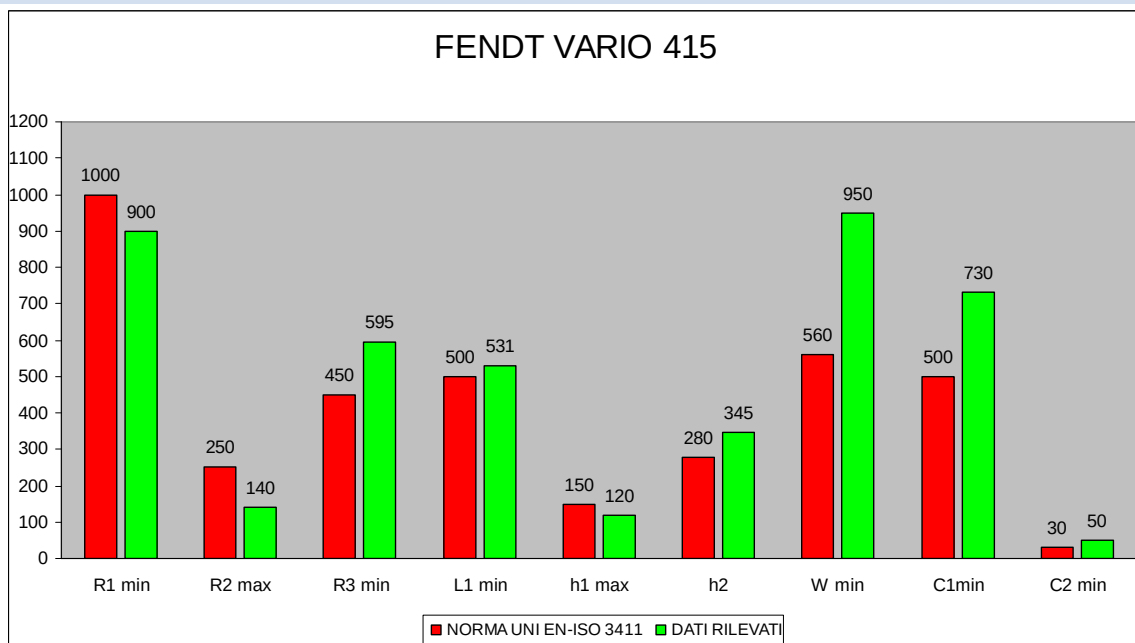


La trattrice TGF 7800 è una versione da frutteto/vigneto, adatta a condizioni di lavoro in ambiti spesso ristretti, quindi anche la cabina, che nel caso della macchina in oggetto di prova era di derivazione commerciale, quindi non proveniente dalla Carraro, presenta degli adattamenti speciali per ridurre al minimo gli ingombri pur mantenendo un'abitabilità e un confort accettabile per l'operatore.

Le misurazioni effettuate rilevano delle anomalie per i parametri R1e C2

R1 riguarda la distanza tra il punto S.I.P. e la parete superiore della cabina che risulta essere minore nella parte superiore anteriore per la presenza della curvatura del tetto della cabina e C2 riguarda il poco spazio che rimane davanti ai pedali di freni e frizione una volta azionati.

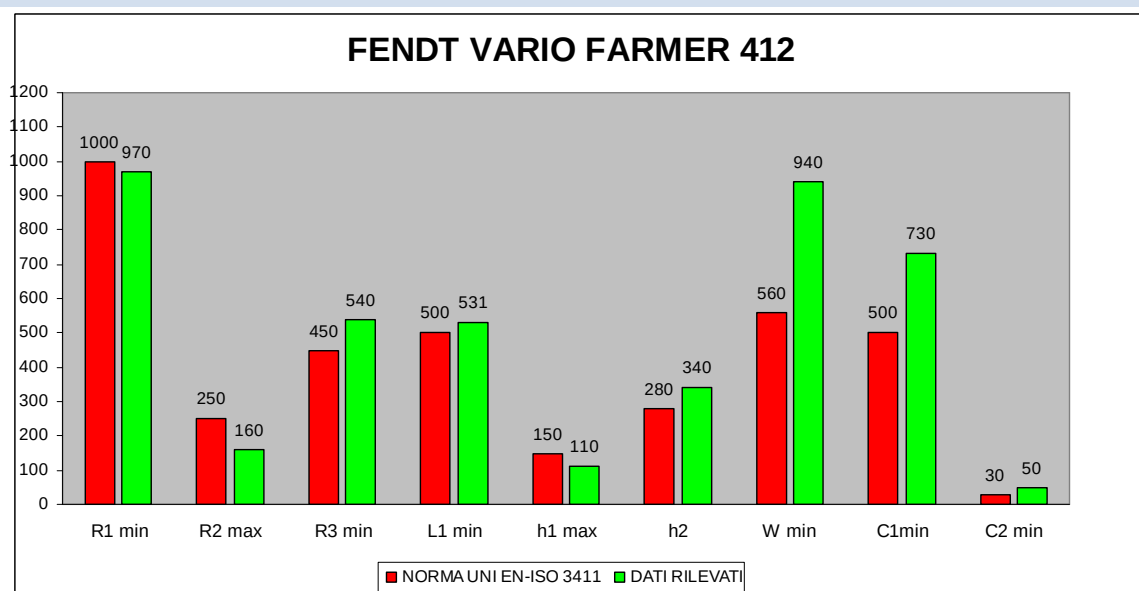
Tabella 4. 92: FENDT VARIO 415 potenza: 114 kW, anno:2010



Il Fendt Vario 415 risulta non rispettare i parametri R1 e h2.

Il parametro R1 risulta leggermente minore del previsto nella Norma mentre il parametro h2 risulta maggiore nella macchina.

Tabella 4. 93: FENDT VARIO FARMER 412 potenza: 92 kW, anno : 2010



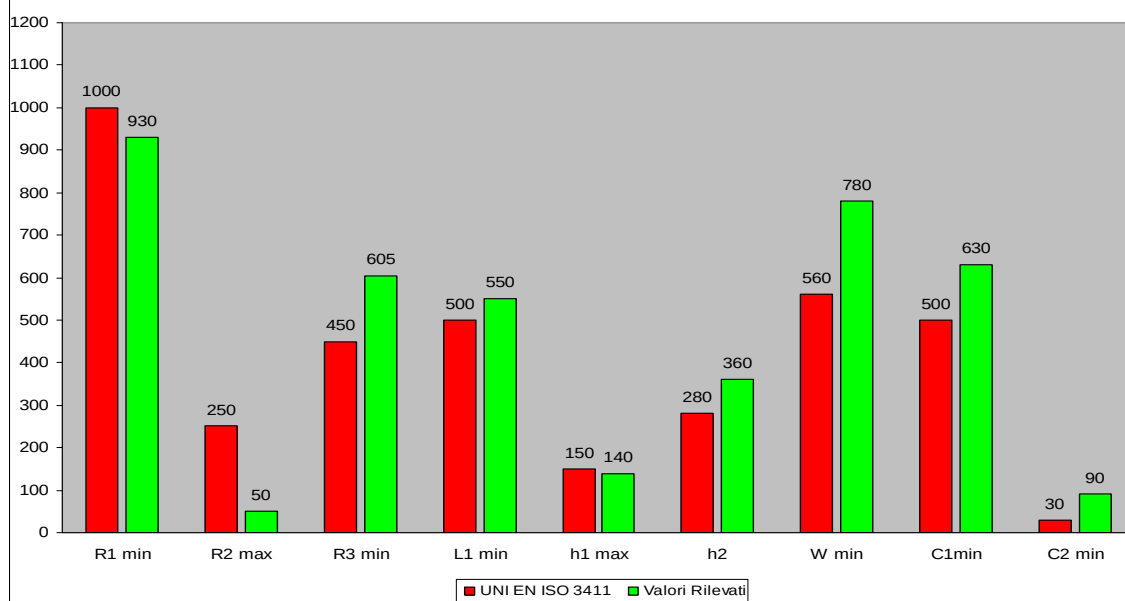
Il Fendt Vario 412 risulta non rispettare i parametri R1 e h2.

Il parametro R1 risulta leggermente minore del previsto nella Norma mentre il parametro h2 risulta maggiore nella macchina.

Tabella 4. 94: LAMBORGHINI R6 165.7 potenza: 127 kW, anno 2010

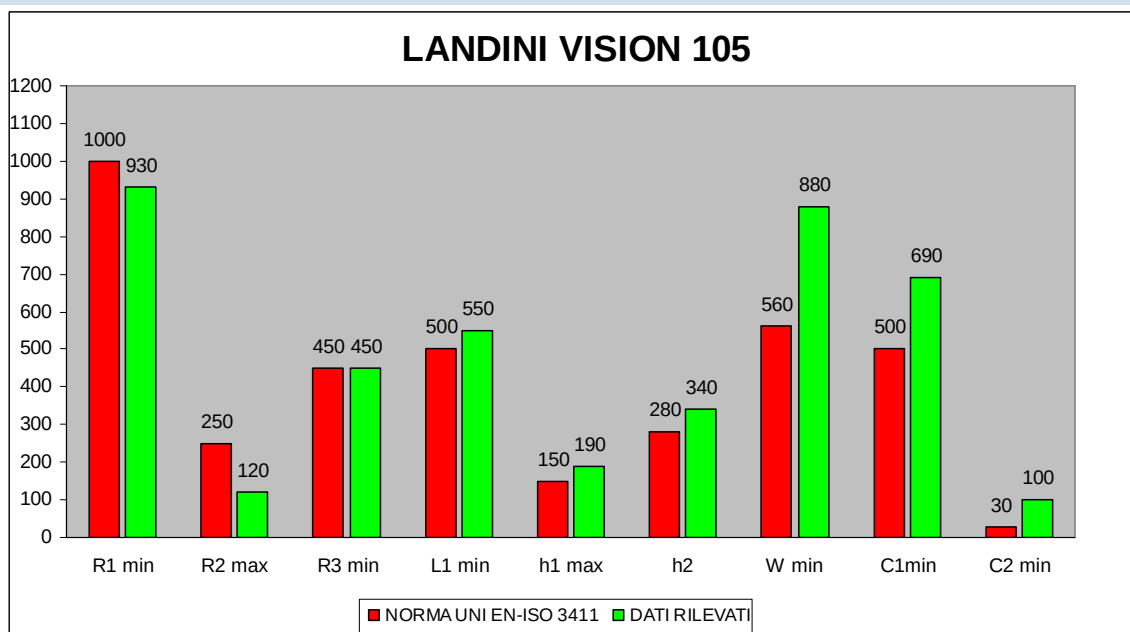


LAMBORGHINI R6 165.7



La trattrice risulta non conforme alla Norma solo per quanto riguarda il parametro R1, che risulta essere leggermente minore di quanto riportato nella normativa

Tabella 4. 95: LANDINI VISION 105 potenza : 77 kW, anno 2009



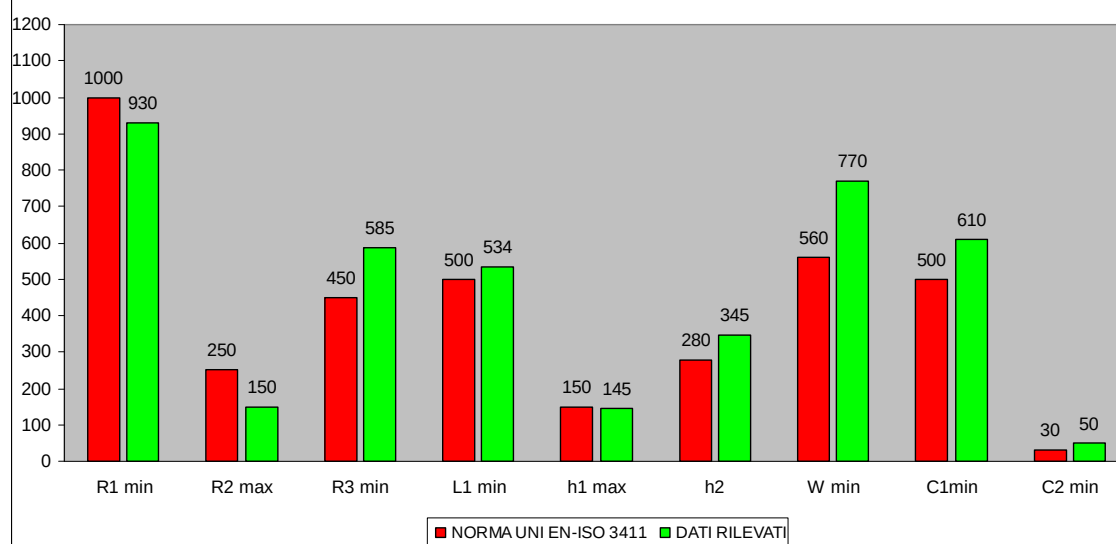
Il Landini Vision 105 non rispetta i parametri R1, h1 e h2.

Il primo risulta di poco sottodimensionato mentre h1 e h2, risultano sovradimensionati.

Tabella 4. 96: MASSEY FERGUSON 5455 potenza:77 kW, anno 2010



MASSEY FERGUSON 5455

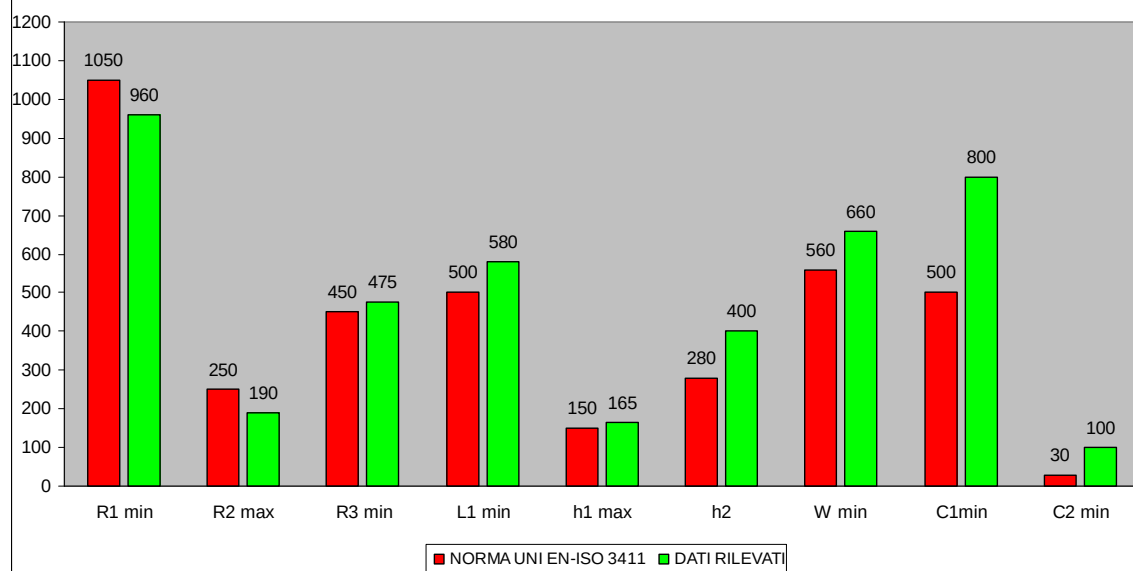


Il Massey Ferguson 5455 risulta non aderire alla normativa per quanto concerne i parametri R1 e h2. Il parametro R1 risulta minore mentre h2 risulta maggiore di quanto previsto nella Norma.

Tabella 4. 97: CAT CHALLENGER MT 765 C potenza: 239 kW, anno: 2010



CAT CHALLENGER MT 765C



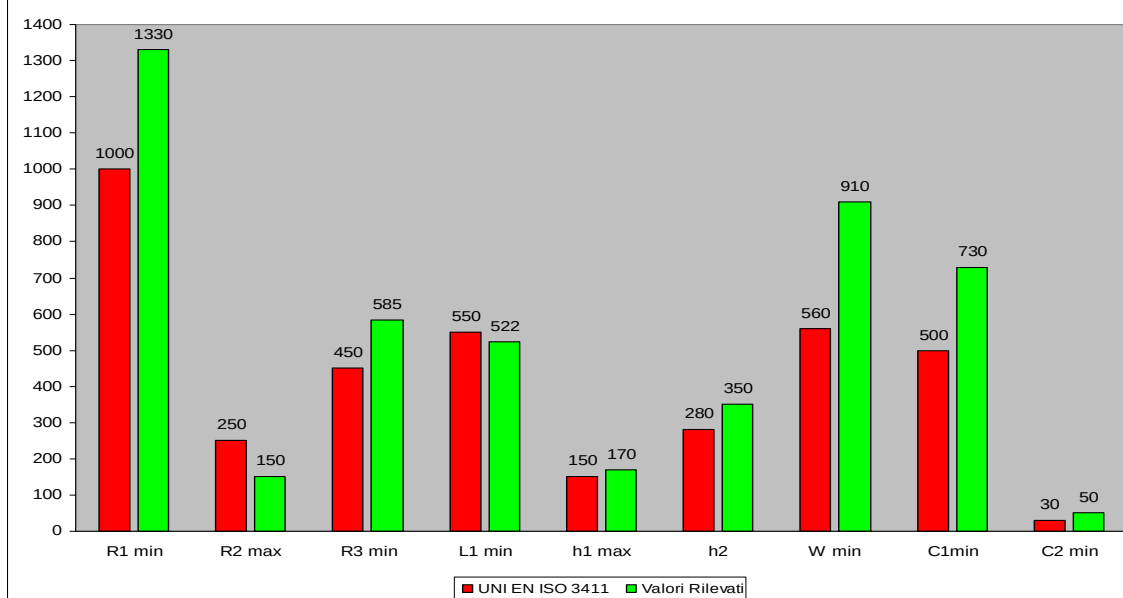
Le misurazioni effettuate sul Cat Mt 765C indicano che i parametri R1, h1 e h2 non rientrano nella Normativa.

R1 risulta minore di quanto indicato dalla normativa mentre h1 e h2 risultano maggiori.

Tabella 4. 98: MASSEY FERGUSON 6480 potenza: 108 kW, anno: 2010



MASSEY FERGUSON 6480 DYNA 6

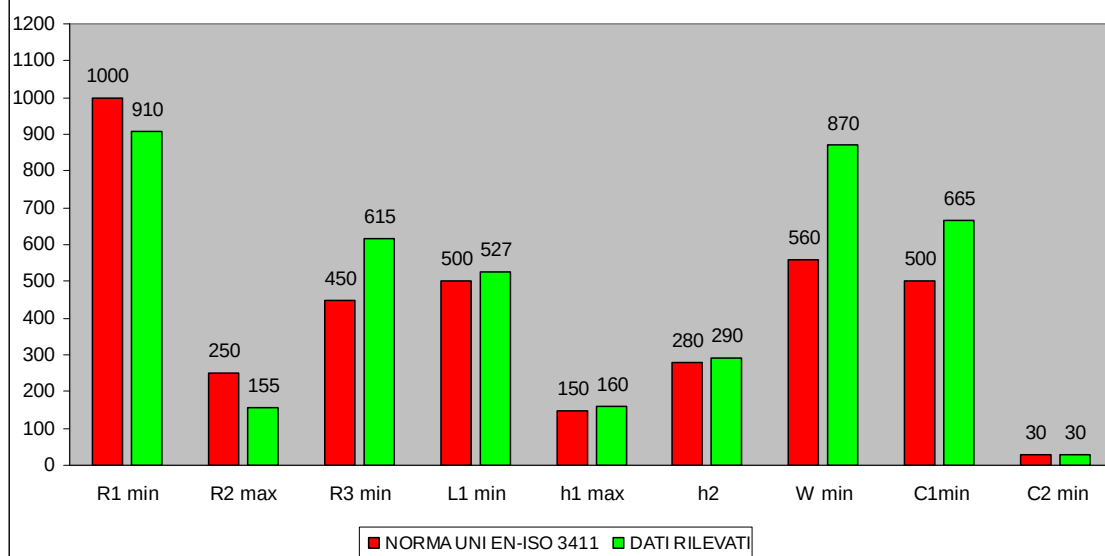


IL 6480 risulta non rispettare la normativa per quanto riguarda il parametro h1 (distanza verticale fra il S.I.P. e l'estremità inferiori delle pareti laterali superiori della cabina) che risulta essere maggiore di quanto previsto e per il parametro h2 (distanza verticale fra il S.I.P. e l'estremità inferiori della parete posteriore superiore della cabina) che ,come in altre occasioni, risulta maggiore di quanto previsto nella Norma.

Tabella 4. 99: MASSEY FERGUSON 6260 potenza: 77 kW, anno: 2005



MASSEY FERGUSON 6260 DYNASHIFT



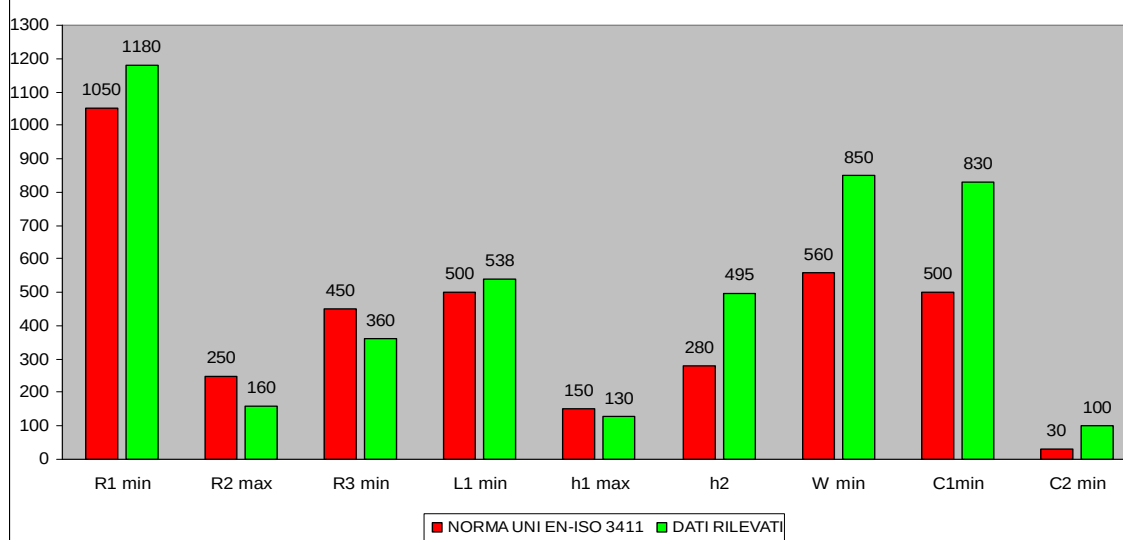
Il Massey Ferguson 6260 non rispetta la Normativa nei parametri R1, h1 e h2.

Il parametro R1 risulta minore di quanto previsto mentre h1 e h2 risultano maggiori del previsto dalla Norma.

Tabella 4. 100: NEW HOLLAND CSX 7040 potenza: 178 kW, anno: 2010



NEW HOLLAND CSX 7040



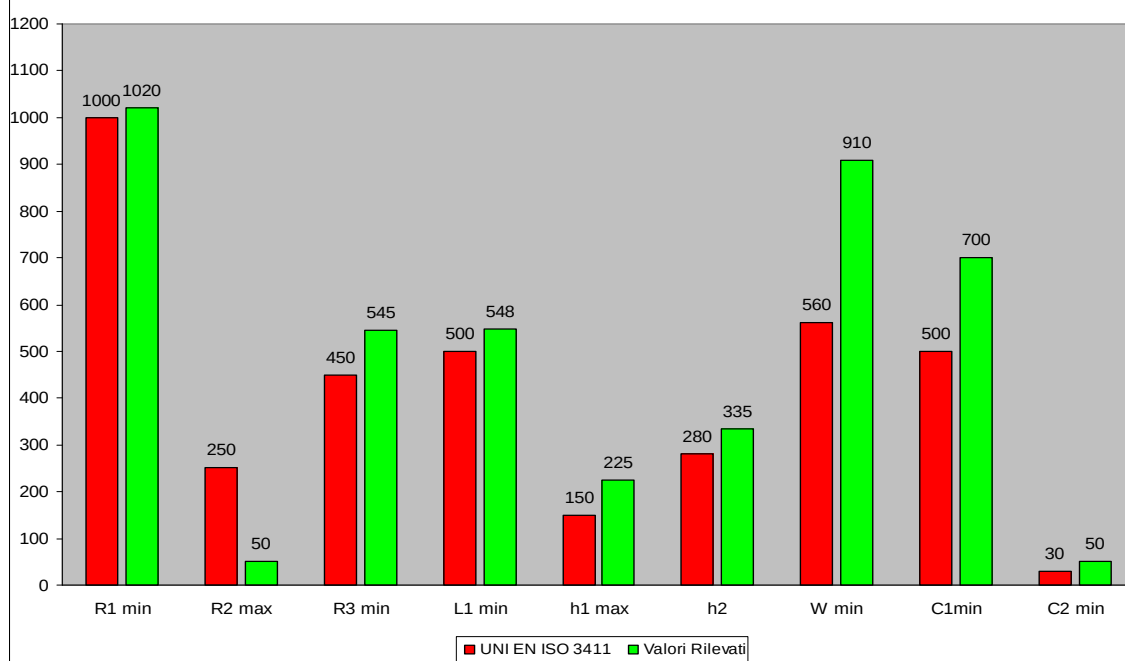
La Csx 7040 è una mietitrebbiatrice di ultima generazione e quindi una tipologia specifica sia di macchina agricola sia di postazione di guida che necessita di una disposizione dei comandi e di una visibilità particolare relativa alle condizioni di lavoro ed alle dimensioni del mezzo.

La cabina della CSX 7040 risulta comunque rispettare tutti i parametri della normativa ad eccezione di h2, parametro che comunque su questa tipologia di macchine è influente in quanto la parete dietro il conducente è cieca in quanto occupata da strutture della macchina stessa.

Tabella 4. 101: NEW HOLLAND T 5060 potenza 78 kW, anno 2010

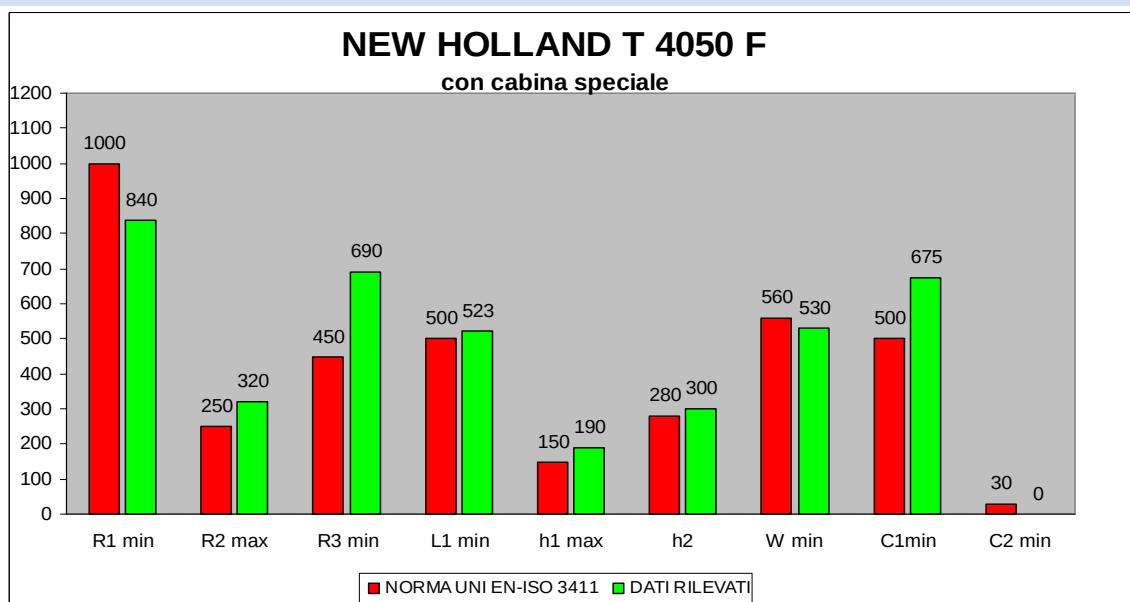


NEW HOLLAND T 5060



Il New Holland T 5060 non rispetta la Norma nei punti h1e h2, le misurazioni effettuate risultano maggiori del previsto nella Normativa.

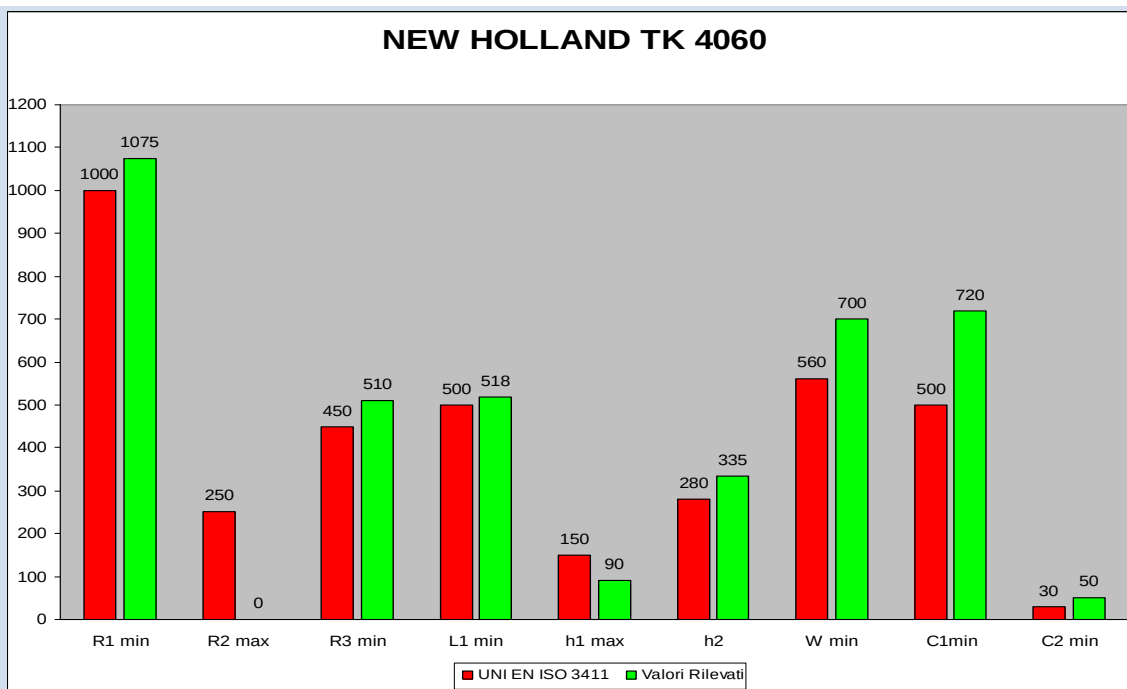
Tabella 4. 102: NEW HOLLAND T 4050 F potenza :71 kW, anno: 2010



Anche il T 4050 F appartiene alla tipologia frutteto/vigneto caratterizzate da dimensioni ridotte sia in larghezza che in altezza e anche la cabina di guida applicata a questa macchina rispecchia questa tendenza costruttiva.

Le misurazioni effettuate mostrano che la cabina in questione non rientra nei valori della Norma per i parametri R1, R2, h1, h2 e W. Il parametro R1 risulta minore del previsto per la conformazione della parte anteriore superiore della cabina che risulta avere una curvatura troppo accentuata e quindi più bassa del valore della Norma, R2 risulta più ampio per la conformazione della cabina stessa che nella parte retrostante ospita il condizionatore per l'aria e h1 e h2 risultano maggiori di quanto previsto nella Norma, mentre W risulta leggermente inferiore.

Tabella 4. 103: NEW HOLLAND TK 4060 potenza 74 kW, anno: 2010



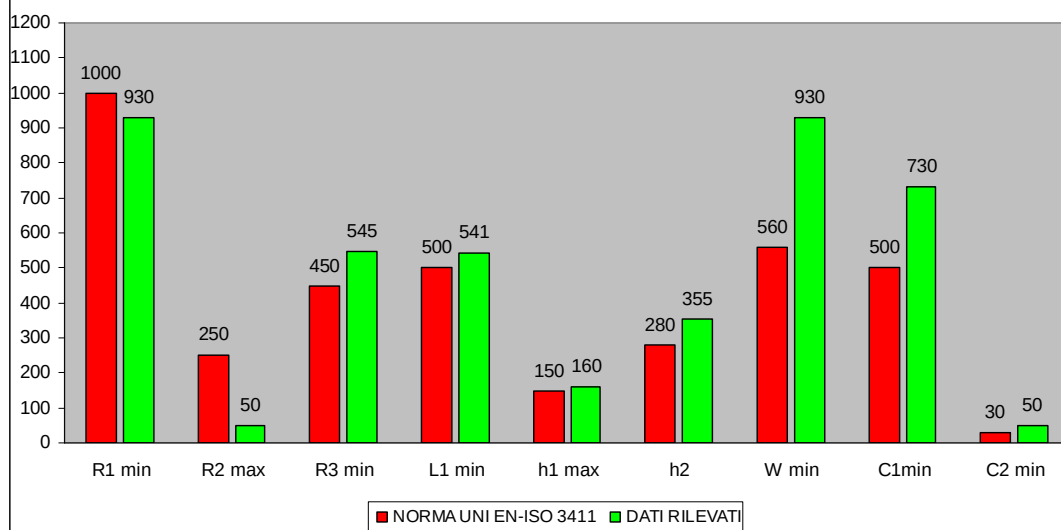
La macchina in questione è una trattrice cingolata di media potenza con una cabina di guida tradizionale.

Le misurazioni effettuate mostrano che la cabina in questa sua applicazione su un modello cingolato non rispetta i limiti della Norma solo nel parametro h2, che risulta maggiore di quello imposto dalla Norma. Tale maggiorazione influisce positivamente sulle condizioni di utilizzo della macchina in quanto aumenta lo spazio visivo dietro il sedile del conducente e verso il basso favorendo così la gestione degli attrezzi attaccati alla macchina.

Tabella 4. 104: NEW HOLLAND T 5070 potenza:83 kW, anno: 2010



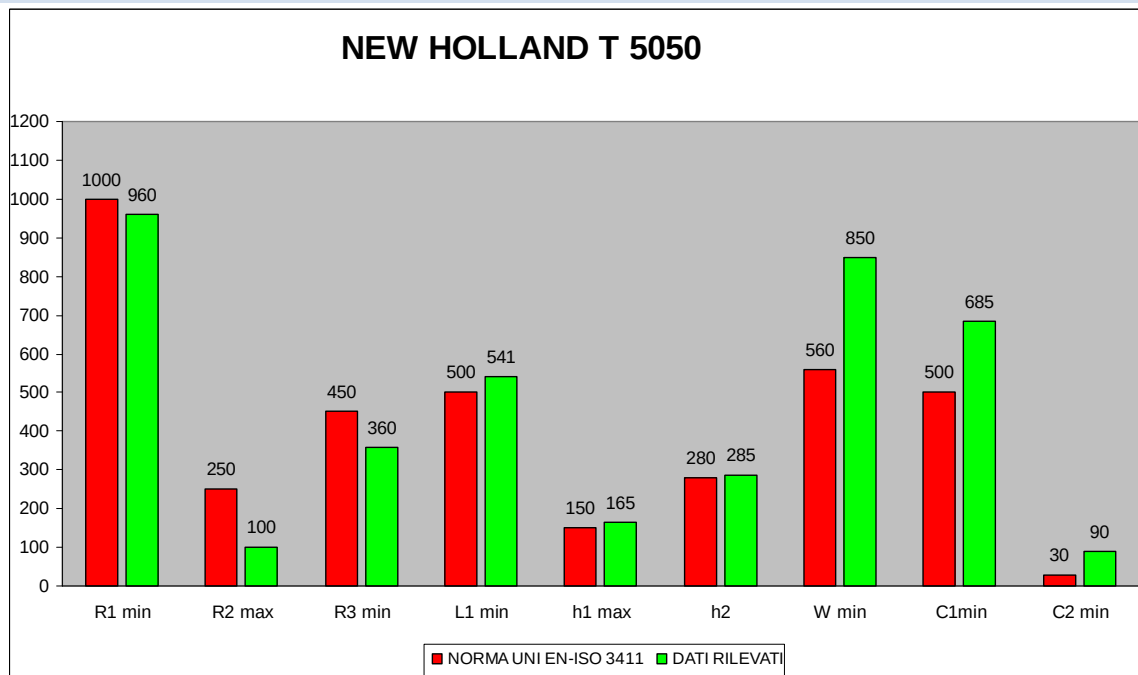
NEW HOLLAND T 5070



La trattrice New Holland 5070 T non rispetta i limiti della Norma per i parametri R1, h1 e h2.

Il parametro R1 risulta minore del previsto dalla Norma, in quanto nella parte anteriore del tetto della cabina trovano posto le bocchette di ventilazione che creano un ingombro frontale e rendono R1 leggermente inferiore al dovuto. Per quanto riguarda h1 e h2 risultano essere sovradimensionati rispetto alla Normativa.

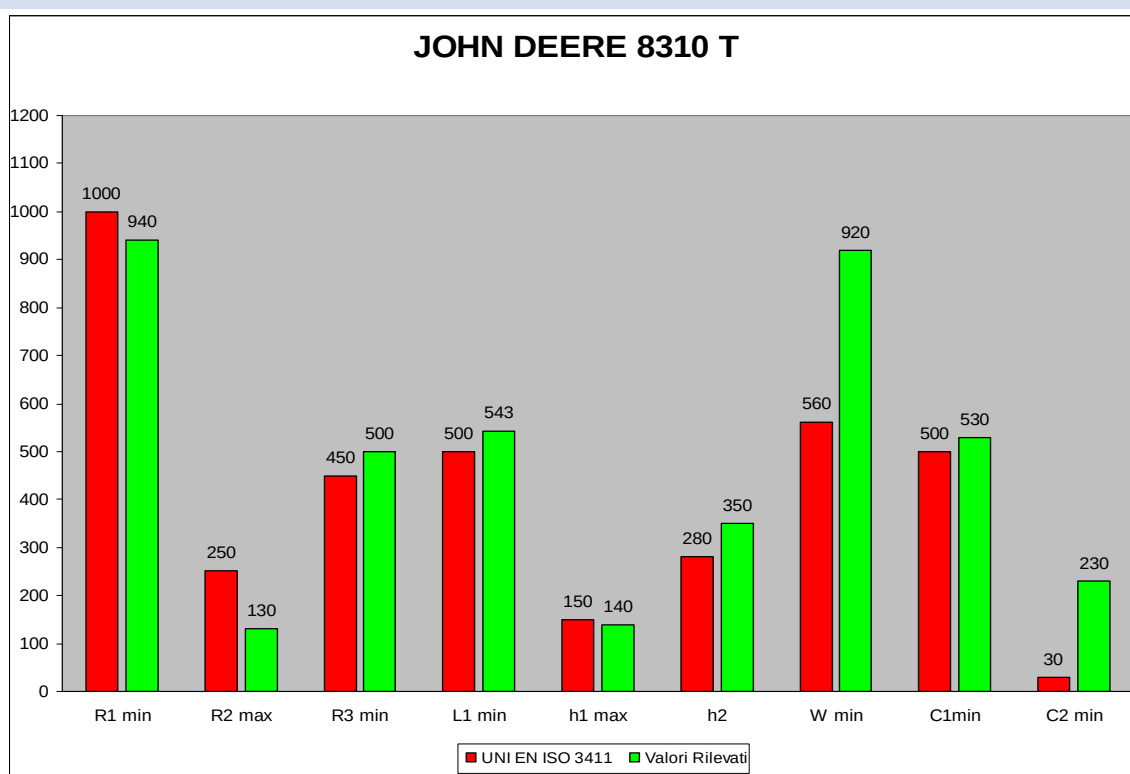
Tabella 4. 105: NEW HOLLAND T 5050 potenza: 71 kW, anno: 2010



Il New Holland 5050 T risulta non aderire alla Normativa, come il suo “fratello” 5070 T, per i parametri R1 h1 e h2. Sostanzialmente questi valori sono dovuti a scelte costruttive tipiche della conformazione della cabina di guida applicata queste due macchine.

Il parametro R1 risulta minore del previsto mentre h1 e h2 risultano maggiori.

Tabella 4. 106: JOHN DEERE 8310T; potenza: 167 kW, anno: 2004

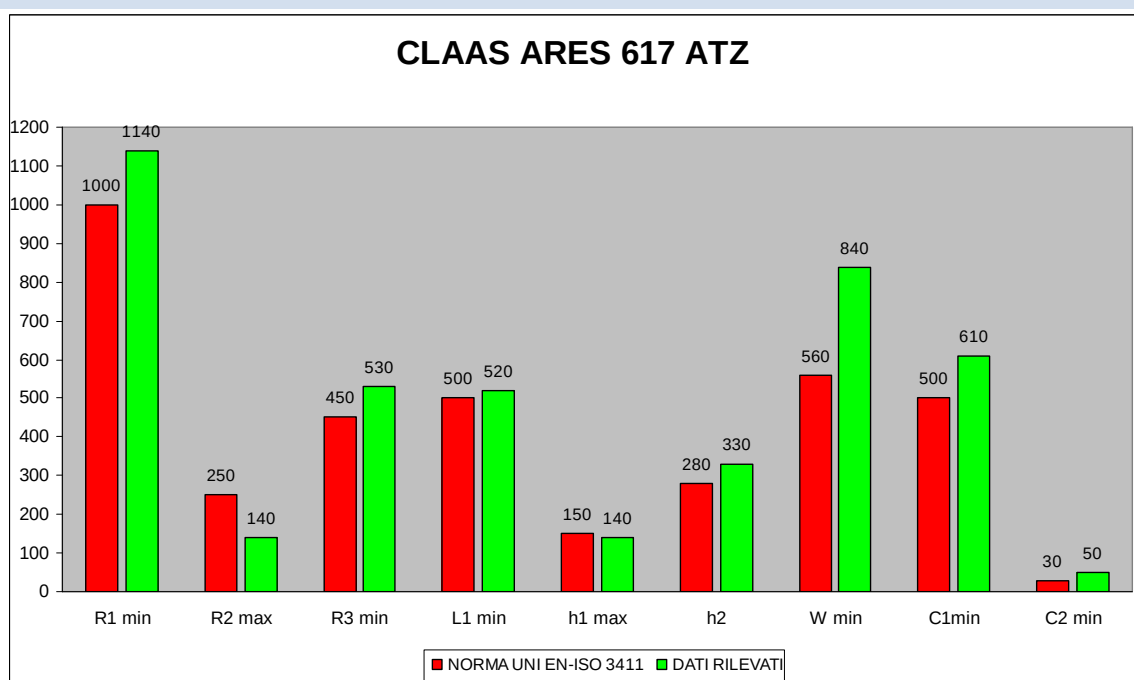


Il John Deere 8310 T appartiene a una nuova categoria di macchine agricole diffusasi negli ultimi anni che unisce le caratteristiche dei trattori gommati a quelle dei trattori cingolati.

Le misurazioni effettuate su questa macchina mostrano che la cabina di guida non rispetta i parametri della Norma nel caso di R1 e h2.

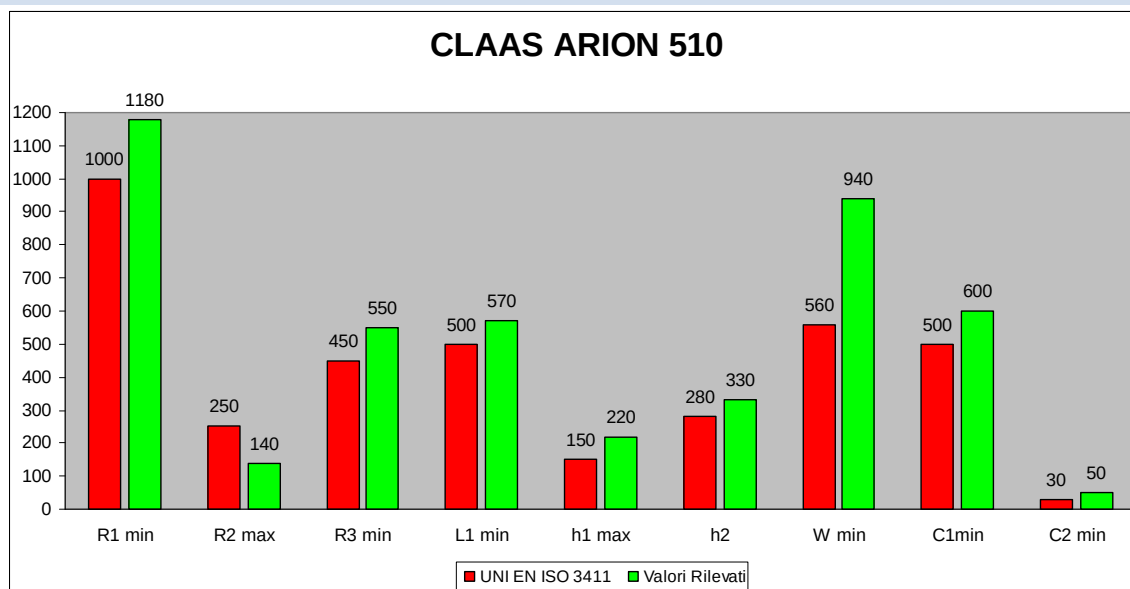
Il parametro R1 risulta leggermente inferiore del previsto mentre h2 risulta essere maggiore

Tabella 4. 107: CLAAS ARES 617 ATZ potenza : 80 kW anno: 2010.



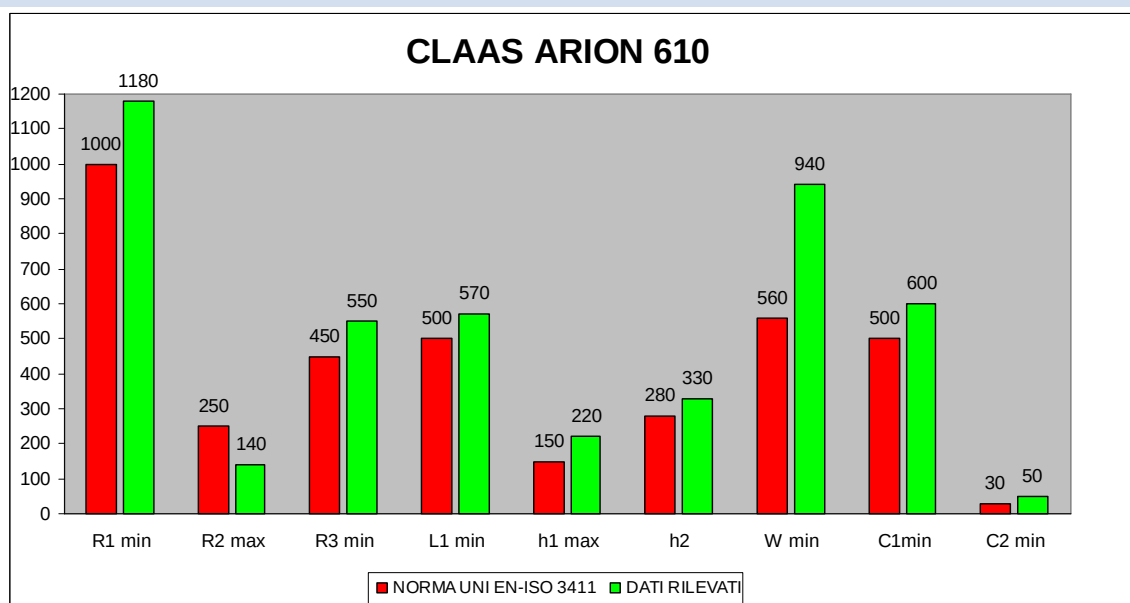
Il Claas Ares 617 ATZ non rispetta la Normativa nel parametro h2.

Tabella 4. 108: CLAAS ARION 510 potenza: 85 kW anno: 2010.



Il Claas Arion 510 non rispetta la Normativa nei parametri h1 e h2.

Tabella 4. 109: CLAAS ARION 610 potenza: 95 kW, anno: 2010.

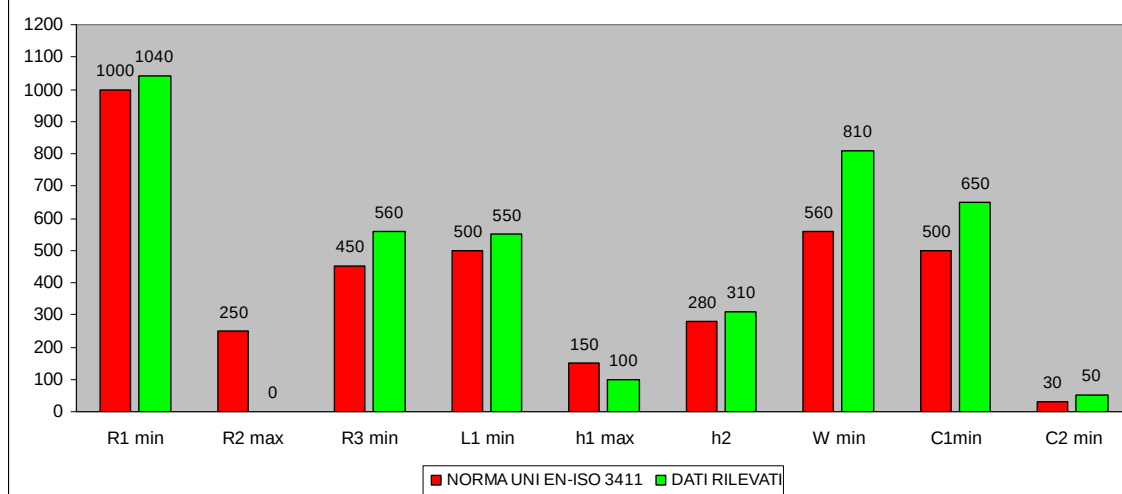


Il Claas Arion 610 non rispetta la Normativa nei parametri h1 e h2.

Tabella 4. 110: KIOTI EX 50 potenza: 37 kW, anno: 2010

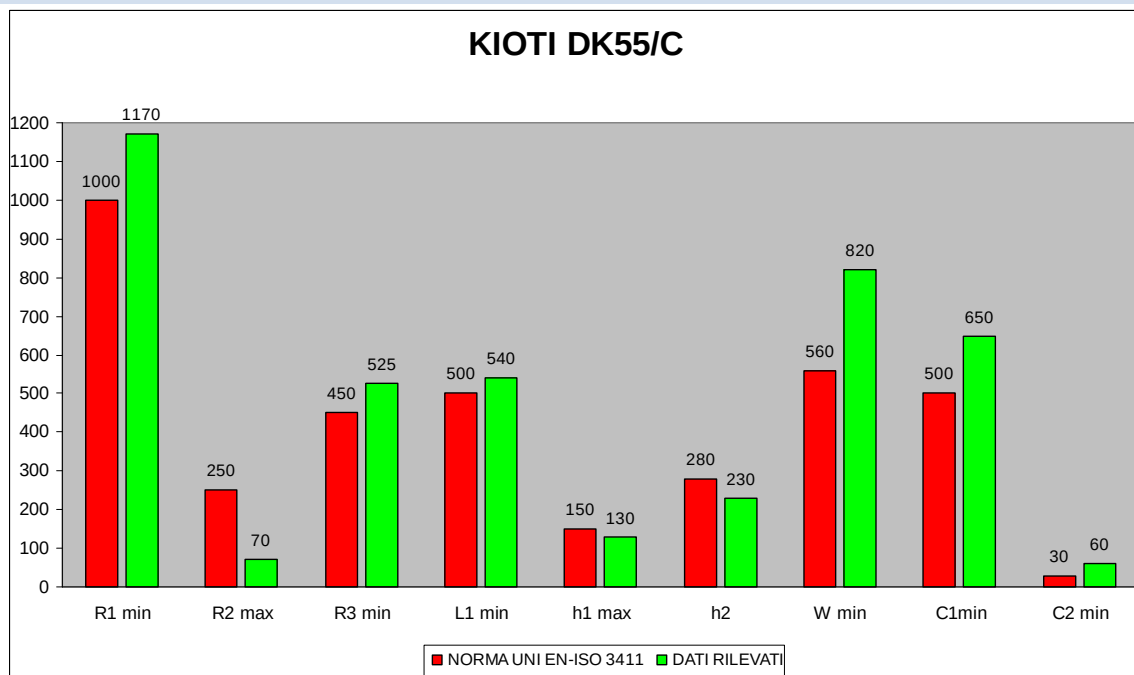


KIOTI EX 50



Il Kioti EX 50 non rispetta la Normativa nel parametro h2.

Tabella 4. 111: KIOTI DK 55/C potenza : 40 kW, anno: 2010

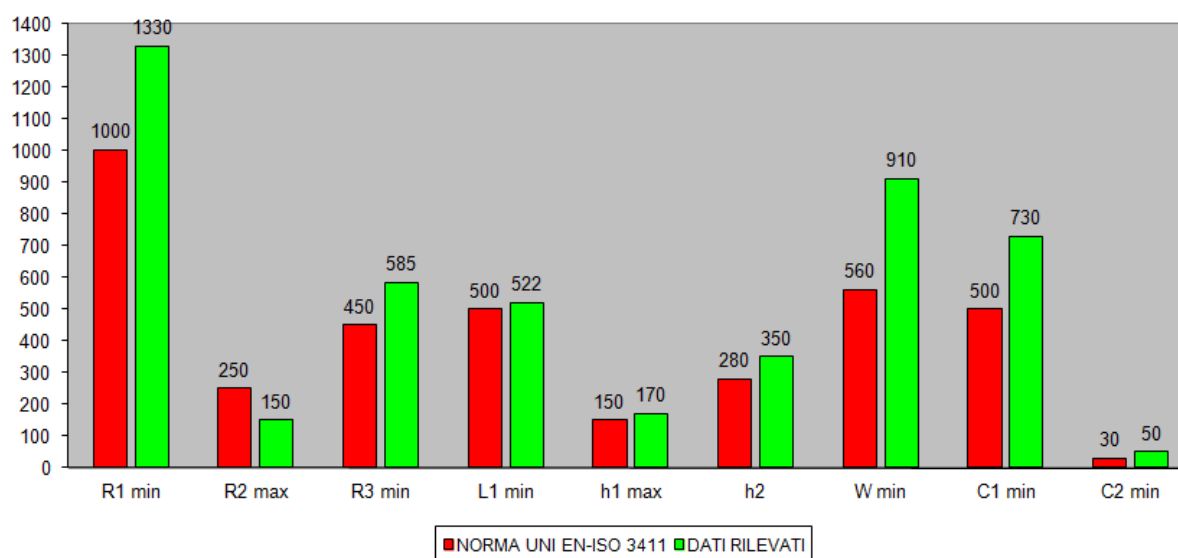


Il Kioti DK 55/C rispetta la Normativa in tutti i parametri.

Tabella 4. 112: MASSEY FERGUSON 6480 potenza: 108 kW, anno: 2010



Massey Ferguson 6488

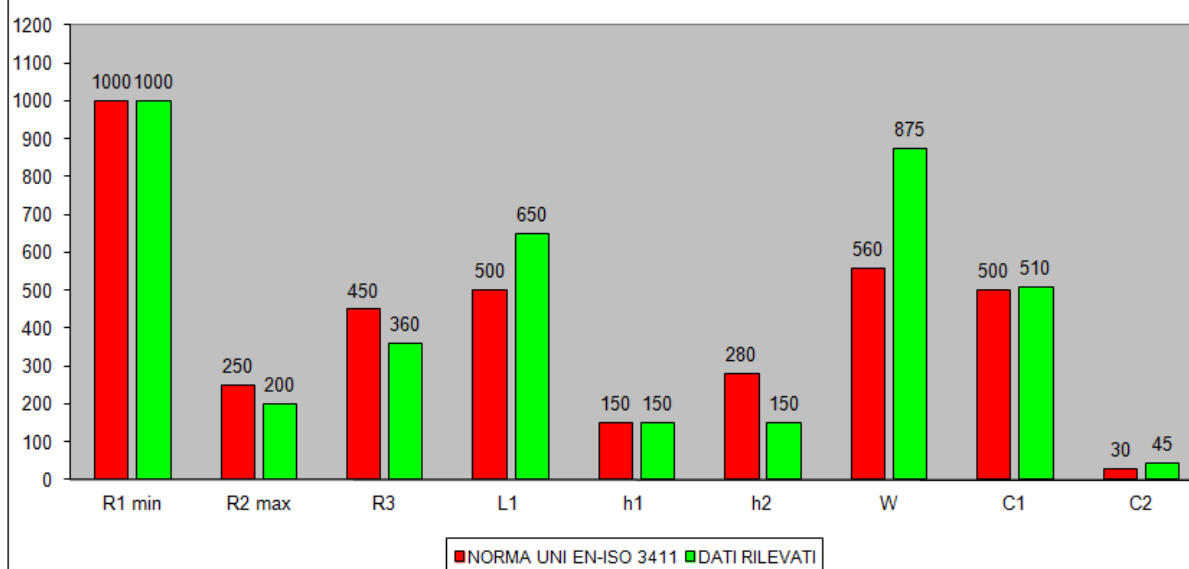


Il 480 risulta non rispettare la normativa per quanto riguarda il parametro h1 (distanza verticale fra il S.I.P. e l'estremità inferiori delle pareti laterali superiori della cabina) che risulta essere maggiore di quanto previsto e per il parametro h2 (distanza verticale fra il S.I.P. e l'estremità inferiori della parete posteriore superiore della cabina) che risulta maggiore di quanto previsto nella Norma.

Tabella 4. 113: MASSEY FERGUSON 7499 POTENZA: 177KW, ANNO:2010



Massey Ferguson 7499 -240 Cv

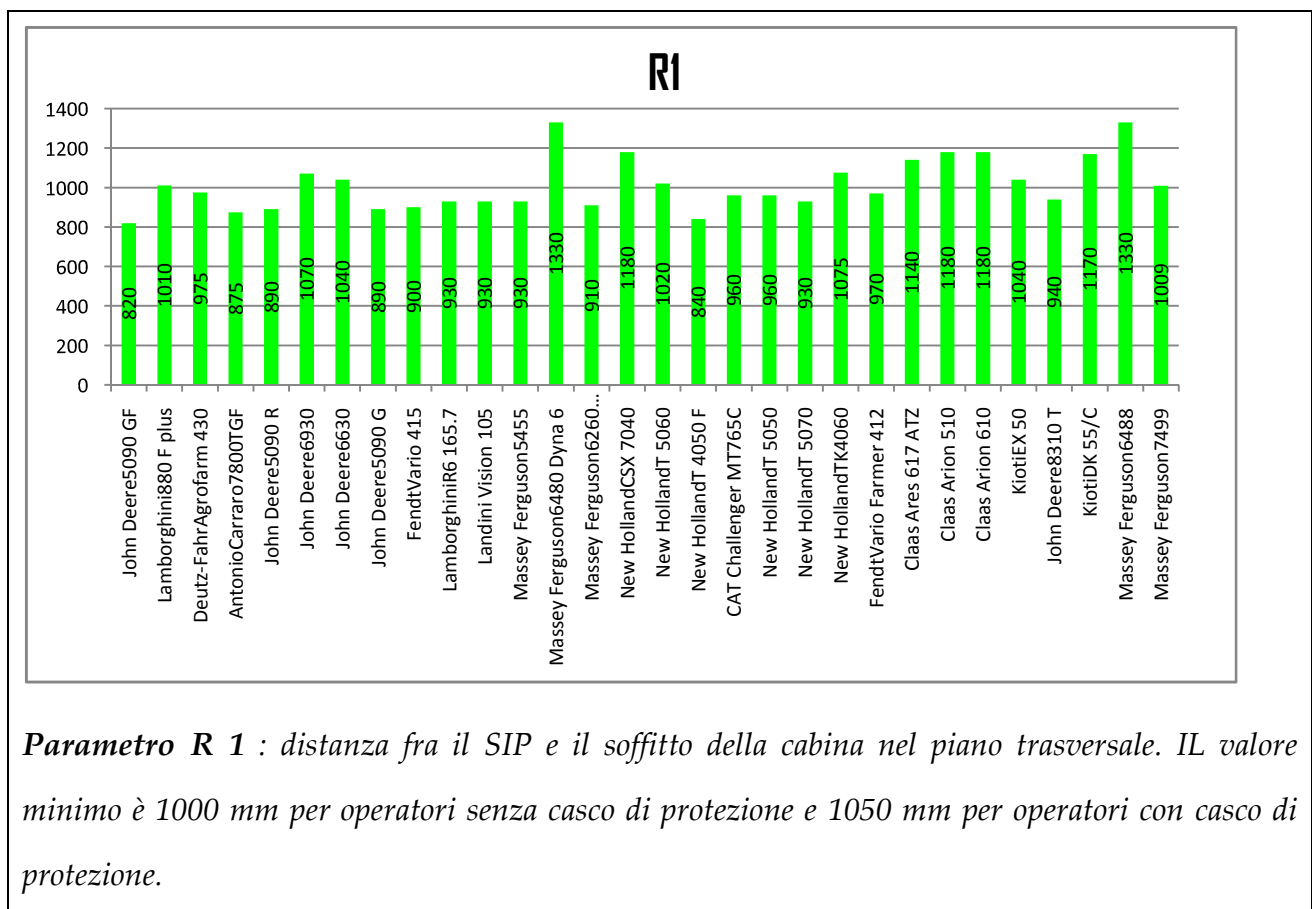


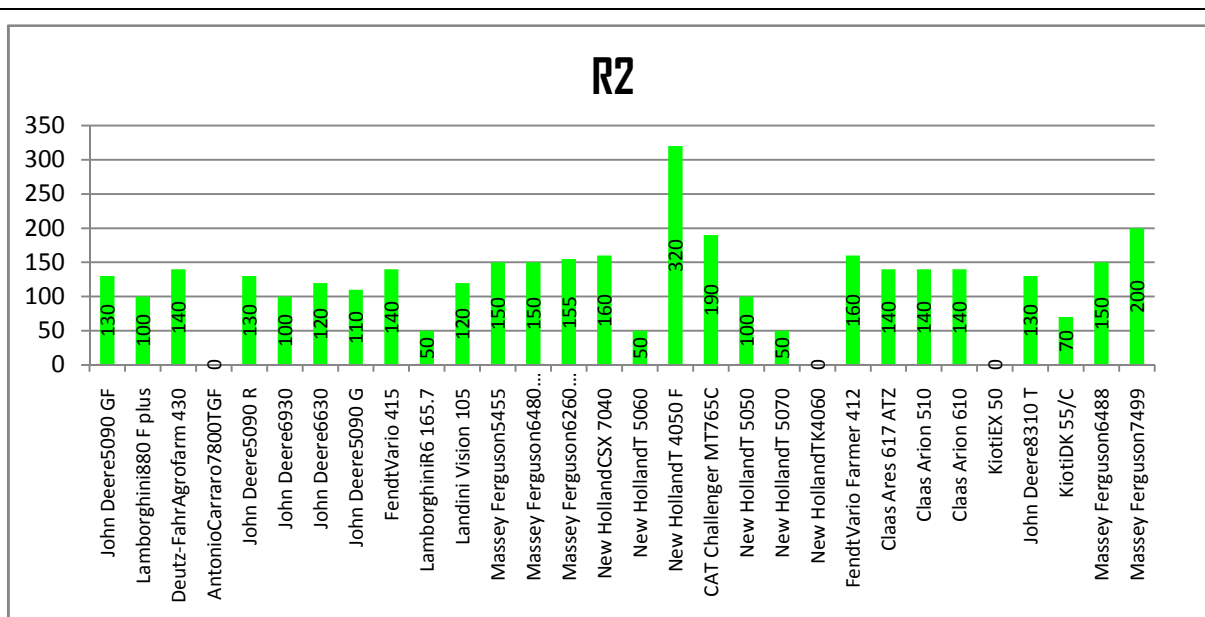
Il 7499 risulta non conforme alla Norma per quanto riguarda il parametro R3 (distanza verso la parete posteriore) dove risulta essere minore di quanto previsto. Per quanto riguarda il parametro h1 (distanza verticale fra il SIP e le estremità inferiori delle pareti laterali superiori della cabina) si trova al limite ma rientra nella Norma. Infine, il parametro h2 (distanza verticale fra il SIP e l'estremità inferiore della parete posteriore superiore della cabina) risulta essere inferiore rispetto alla Norma.

Comparazione resoconti misurazioni: Le misurazioni effettuate tra le cabine delle diverse tipologie di macchine analizzate mostrano una tendenza generale a scostarsi, anche se di poco, da quanto previsto dalla Norma per i parametri, R1 h1 e h2.

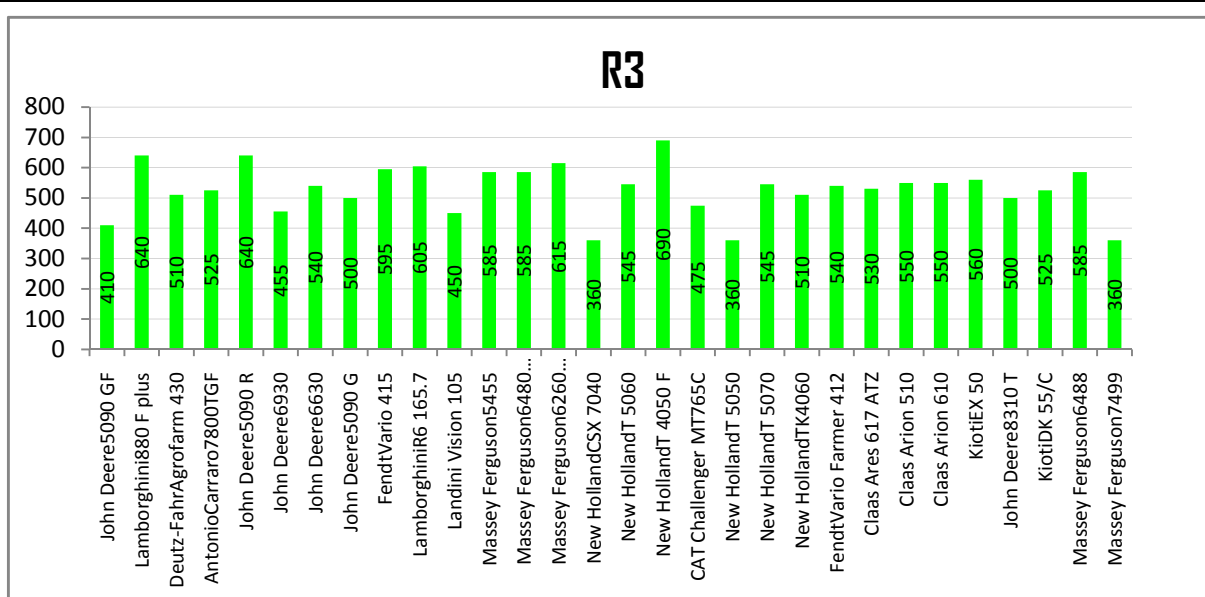
Di seguito si riportano le tabelle con l'andamento dei valori per singolo parametro della Norma UNI EN ISO 3411:2007 relativi alle macchine misurate.

Tabella 4. 114: Resoconto Parametri norma UNI EN ISO 3411:2007

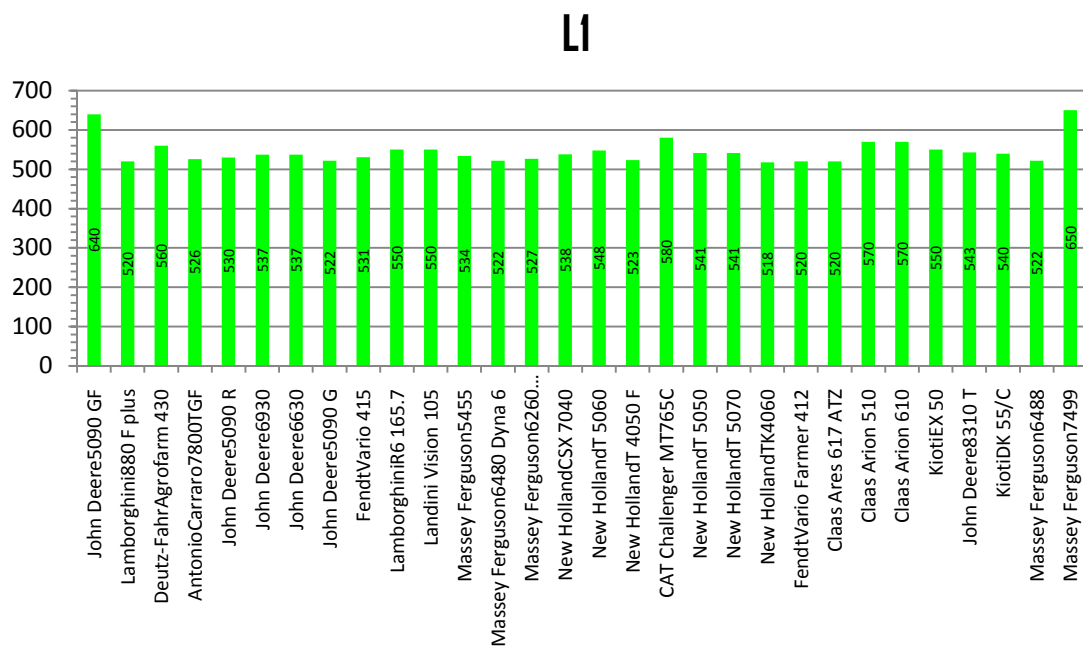




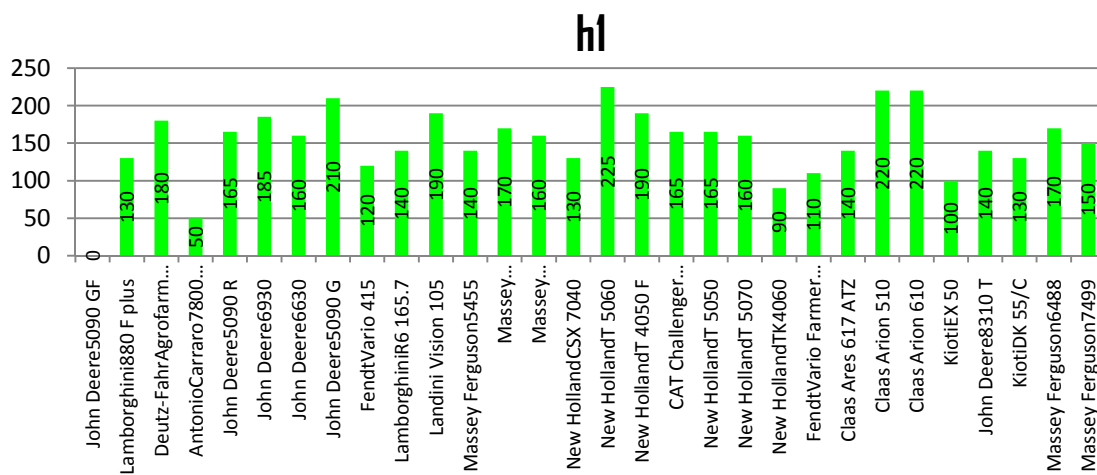
Parametro R 2 : raggio all'intersezione delle pareti interne della cabina fra loro e con il soffitto. Il valore massimo è 250 mm.



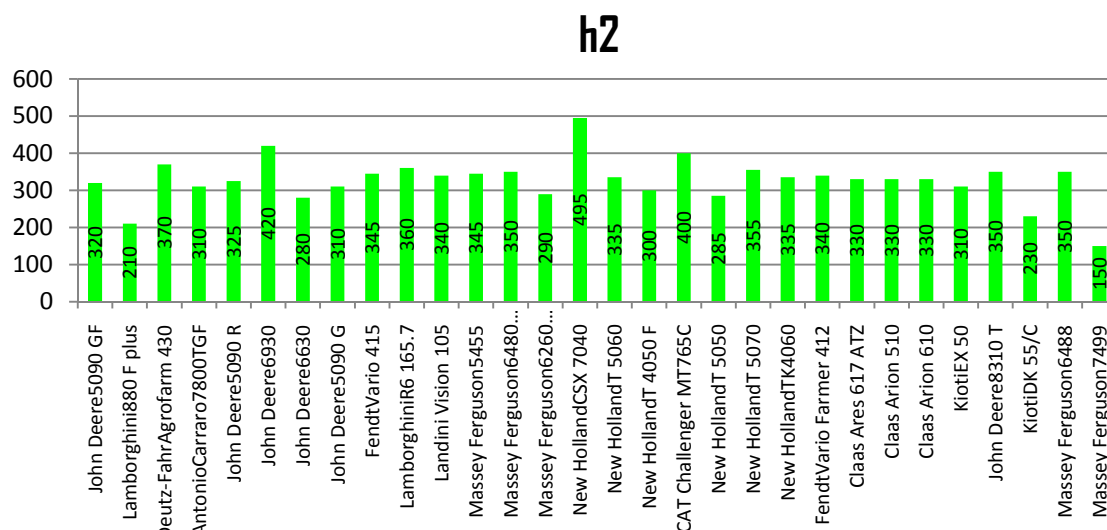
Parametro R 3 : Distanza verso la parete posteriore. Il valore minimo è 440 mm.



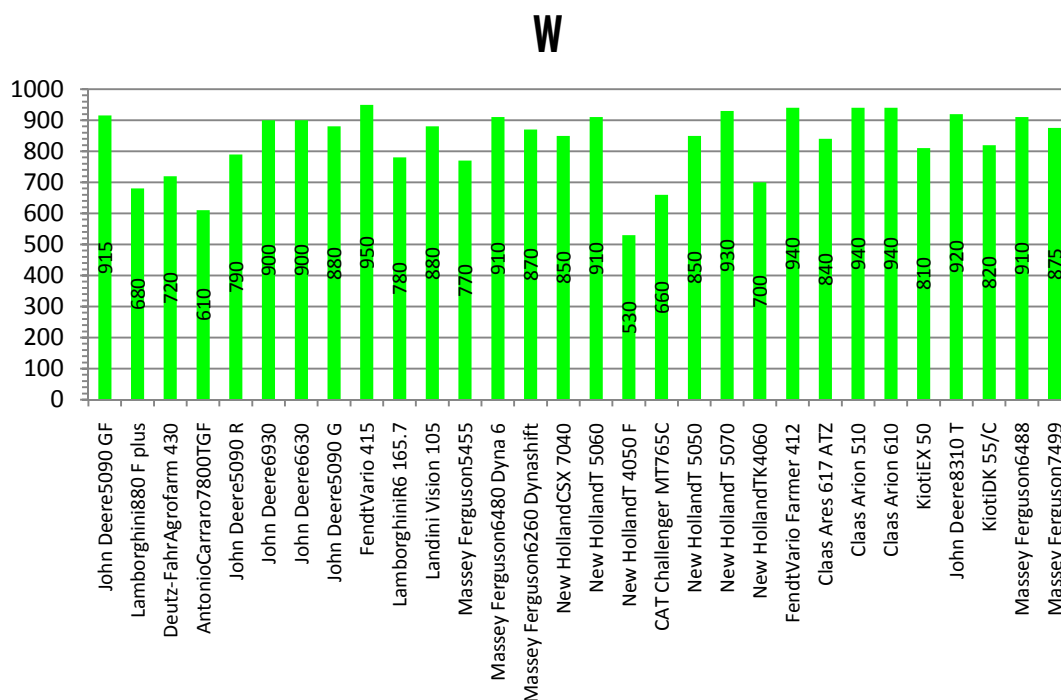
Parametro L 1 : Distanza verticale tra il SIP e il punto nelle estremità anteriore superiore della cabina dove è mantenuta la distanza pari a R1. Il valore minimo stabilito dalla Normativa è di 500 mm.



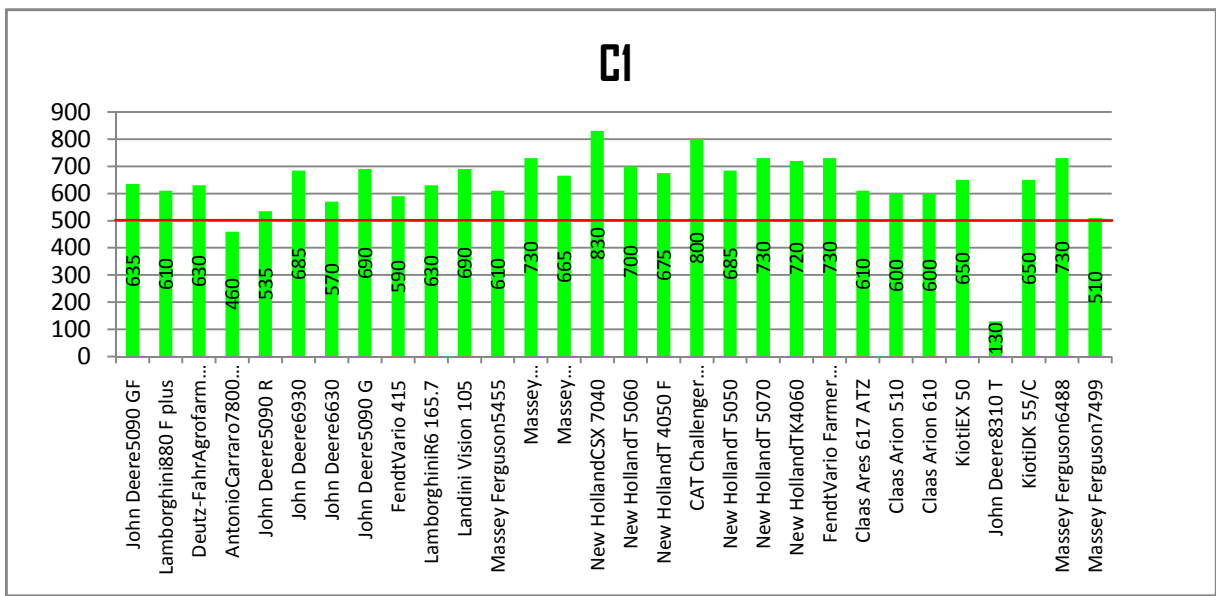
Parametro h 1 : Distanza verticale fra il SIP e le estremità inferiori delle pareti laterali superiori della cabina Il valore è di massimo 150 mm.



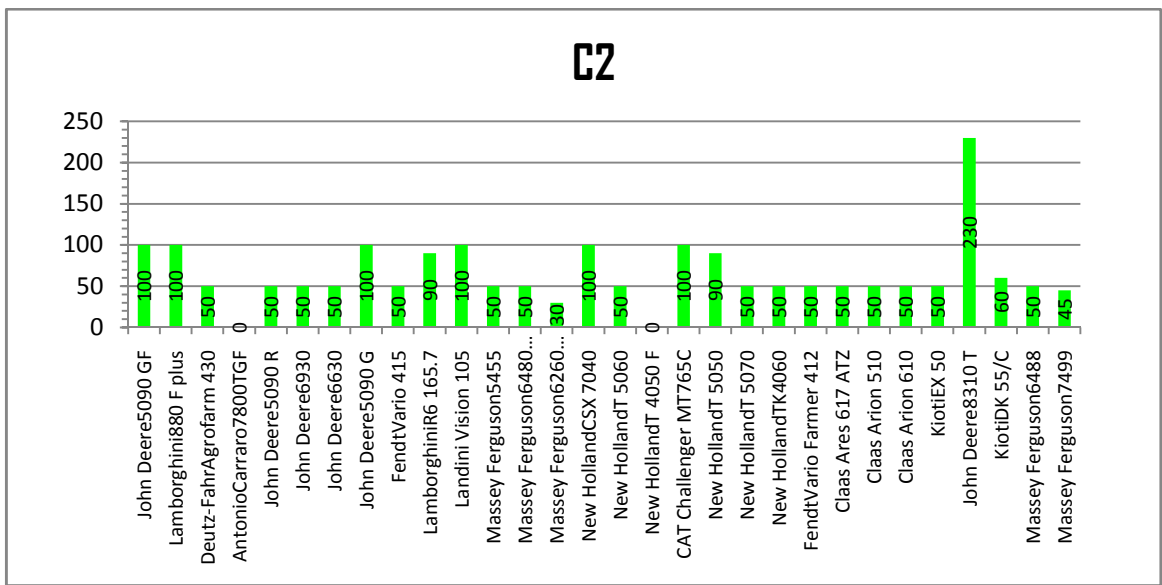
Parametro h 2 : Distanza verticale fra il SIP e l'estremità inferiori della parete posteriore superiore della cabina. Per il parametro h2 il valore deve essere considerato come la distanza verticale tra il S.I.P. e la fine dello schienale del sedile compreso di eventuale poggiatesta, inteso come ostacolo visivo per il conducente nell'atto di girarsi verso la parte posteriore del veicolo. Il valore di riferimento del parametro è di 280 mm.



Parametro W : larghezza entro lo spazio delle gambe. Il valore deve essere uguale o superiore a 560 mm.



Parametro C1: distanza per avambraccio entro le zone laterali superiori della cabina .Il valore deve essere uguale o superiore a 500 mm.



Parametro C 2 : Distanza fra la cabina e la calzatura dell'operatore che aziona un pedale o un comando a pedale in qualsiasi posizione. Il valore deve essere uguale o superiore a 30 mm.

Dall'analisi antropometrica condotta è risultato che tutte le macchine analizzate, qualsiasi sia la tipologia di appartenenza, la grandezza e il settore operativo specifico hanno uno o più parametri che non rispettano la norma.

Primo tra tutti è la misura "h2" (distanza verticale tra il SIP e l'estremità inferiore della parete posteriore superiore della cabina) il 96% dei trattori analizzati risultano essere non conformi alla norma.

Lo scostamento percentuale relativo al gruppo dei trattori non rispondenti alla norma per il valore h2 è in media del 52% dal valore di riferimento, cioè di circa 145 mm.

Questo è dovuto al fatto che i trattori agricoli vengono spesso utilizzati con attrezzi collegati posteriormente all'attacco a tre punti o trainati. Per questo motivo l'estremità inferiore del vetro posteriore è tendenzialmente più bassa di quanto stabilito dalla norma per avere un angolo di visuale maggiore verso il terreno.

Altri parametri che risultano essere frequentemente violati dai trattori sono "R1" e "h1", rispettivamente distanza fra il SIP e il soffitto della cabina nel piano trasversale e distanza verticale fra il SIP e le estremità inferiori delle pareti laterali superiori della cabina.

Per quanto riguarda "R1", in alcuni dei trattori analizzati, viene occupato spazio per l'inserimento nel tettuccio del dispositivo di condizionamento dell'aria o delle bocchette di aerazione relative ad esso, o nelle versioni frutteto o vigneto spesso la porzione superiore del vetro anteriore o più propriamente del tetto stesso della cabina risulta avere un ampio raggio di curvatura per permettere di abbassare ulteriormente il tetto della cabina al fine di ridurre gli ingombri in altezza del mezzo.

Violano R1 il 42,8 % delle macchine analizzate, con uno scostamento percentuale del 11,9 % (119 mm) dal valore di riferimento indicato dalla norma.

Violare "h1" è giustificato per alcuni costruttori dall'inserimento, almeno nella parte destra del sedile di guida, del pannello laterale di comando e dall'utilizzo del bracciolo del sedile con inseriti i comandi più frequentemente utilizzati (questo tipo di dispositivo è ormai presente in tutti i trattori di medie e grandi dimensioni di ultima generazione) e con i sistemi di gestione e controllo della trazione, del cambio di velocità e degli attrezzi sia anteriori che posteriori.

Viola "h1" il 53,5 % delle macchine analizzate con uno scostamento percentuale medio del 22,2% (33 mm) dal valore di riferimento stabilito dalla norma

Soltanto due macchine, le versioni frutteto prodotte dalla New Holland e dalla Carraro, tra i trattori analizzati violano il parametro "C2" (distanza fra la cabina e la calzatura dell'operatore che aziona un pedale o un comando a pedale in qualsiasi posizione). Questa incongruenza si può spiegare con la comune tendenza in queste tipologie di macchine di ridurre al minimo gli ingombri della cabina e sia talvolta alla corsa troppo lunga dei pedali di freni e frizione che, sommata all'ingombro delle scarpe degli operatori con le quali vengono azionati, possono ridurre il parametro "C2" fino ad azzerare tale valore e quindi portare i piedi dell'operatore ad interferire con la pareti della cabina nella zona antistante i pedali stessi.

Solamente il New Holland T 4050 F viola i parametri W (larghezza entro lo spazio delle gambe) e R2 (raggio all'intersezione delle pareti interne della cabina fra loro e il soffitto): il primo per via della presenza della scatola del cambio in posizione centrale e rialzata all'interno della cabina e delle pareti laterali abbastanza avvolgenti intorno al sedile che

riducono lo spazio per eventuali movimenti dell'operatore e R2 per via della forma a cupola della parte interna del soffitto della cabina.

5 – CONCLUSIONI

I dati ottenuti hanno fornito ulteriore conferma, alla problematica agenti fisici nell'utilizzo di macchine agricole. Trattoristi e contoterzisti (figura sempre più presente in agricoltura, data l'incalzante e drammatica crisi del comparto agrario), passano l'intera giornata lavorativa (otto ore lavorative ed a volte anche degli extra orario) sopra i mezzi meccanici, esponendosi così ai rischi derivanti.

Uno dei rischi a maggior magnitudo è di origine meccanica, il ribaltamento del mezzo, il quale causa infortuni mortali con costanza di accadimento mensile.

Le malattie correlate agli agenti fisici e all'ergonomia mantengono il loro primato statistico di malattie denunciate all'INAIL.

Si pensi all'ipoacusia, fenomeno ancora non del tutto marginato, seicentoquindici i casi nel 2011 nel comparto agrario.

Dai risultati ottenuti si evince come, in definitiva, l'esposizione all'agente fisico rumore sia superiore alla soglia di rischio di 80dB(A), arrivando ad un rischio basso nei gommati (circa 82dB(A)) ed un rischio elevato, inaccettabile, per gli utilizzatori dei cingolati (maggiore di 90dB(A)).

La presenza della cabina, utile mezzo di protezione per la riduzione del rischio, nei gommati influisce per un abbattimento di 3 dB(A), lasciando però il rischio al di sopra della soglia del valore inferiore di azione di 80 dB(A).

La classe tra il valore superiore di azione e valore limite giornaliero è la classe meno rappresentativa (28%).

Questo è un dato particolare, poiché se s'ipotizza l'uso dei trattori per le otto ore, evento probabile in agricoltura, non giustificerebbe ciò che si

attesta con l'art. 191 del D.lgs 81/08: "Fatto salvo il divieto al superamento dei valori limite di esposizione, per attività che comportano un'elevata fluttuazione dei livelli di esposizione personale dei lavoratori, il datore di lavoro può attribuire a detti lavoratori un'esposizione al rumore al di sopra dei valori superiori di azione", appunto, la fascia meno rappresentata.

Un particolare approfondimento andrebbe fatto per le malattie osteo-articolari e muscolo-tendinee, per la precisione le affezioni dei dischi intervertebrali, arrivate a 6000 denunce nel 2011, un incremento del 600% rispetto ai dati del 2007.

Queste malattie hanno un'origine multifattoriale.

I fattori di accadimenti possono essere vari, dovuti a vibrazioni, alla movimentazione dei carichi, alla postura nei lavori e all'ergonomia delle postazioni.

Per quanto riguarda l'agente fisico vibrazioni, il superamento del valore d'azione giornaliero ($0,5 \text{ m/sec}^2$), imposto dal D.Lgs. 81/08, è costante.

Il valore limite ($1,0 \text{ m/sec}^2$), rimane sempre rispettato, nel caso dei trattori gommati, mentre nei cingolati è superato in maniera netta, attestandoti anche oltre il valore massimo per periodi brevi ($1,5 \text{ m/sec}^2$).

Nella totalità dei casi che riguardano i cingolati, risulta essere l'asse Z il più esposto, dovuto al complesso cingolo - macchina.

Dallo studio delle correlazioni tra macchina, attrezzo e terreno, si evince che nessuna correlazione è stata trovata statisticamente significativa (n.s.), ne per il rumore ne per le vibrazioni.

Per chi guida mezzi agricoli la movimentazione dei carichi, quando eseguita in azienda, si riduce a qualche settimana durante l'anno, anche se i carichi hanno dei pesi rilevanti. Dai risultati ottenuti si evidenzia come il rischio

vibrazioni invece è pressoché presente per ogni configurazione macchina attrezzo.

La postura e la disposizione dei comandi potrebbero incidere maggiormente sul manifestarsi di fenomeni patologici, data l'alta permanenza del trattorista sul mezzo.

Dall'analisi antropometrica della postazione di guida, un primo parametro non conforme alla norma è la misura di "h2" (distanza verticale tra il SIP e l'estremità inferiore della parete posteriore superiore della cabina), nella quasi totalità dei trattori analizzati. Questo è dovuto al fatto che i trattori agricoli vengono spesso utilizzati con attrezzi collegati posteriormente all'attacco a tre punti o trainati. Per questo motivo l'estremità inferiore del vetro posteriore è tendenzialmente più bassa di quanto stabilito dalla norma per avere un angolo di visuale maggiore verso il terreno e quindi i valori di h2 più grandi.

Per quanto riguarda "R1", in alcuni dei trattori analizzati, l'inserimento nel tettuccio del dispositivo di condizionamento dell'aria o delle bocchette di aerazione relative ad esso riduce tale valore. Lo stesso concetto vale nelle versioni frutteto o vigneto, nelle quali, la porzione superiore del vetro anteriore o più propriamente del tetto stesso della cabina risulta avere generalmente un ampio raggio di curvatura per permettere di abbassare ulteriormente il tetto della cabina al fine di ridurre gli ingombri in altezza del mezzo.

Violare "h1" è giustificato per alcuni costruttori dall'inserimento, almeno nella parte destra del sedile di guida, del pannello laterale di comando e dall'utilizzo del bracciolo del sedile con inseriti i comandi più frequentemente utilizzati (questo tipo di dispositivo è ormai presente in tutti i trattori di medie e grandi dimensioni di ultima generazione) e con i sistemi di gestione e controllo della trazione, del cambio di velocità e degli

attrezzi sia anteriori che posteriori. Gli altri parametri che non vengono rispettati, anche se in percentuali minori, sono: W (larghezza entro lo spazio delle gambe), R2 (raggio all'intersezione delle pareti interne della cabina fra loro e il soffitto) e "C2" (distanza fra la cabina e la calzatura dell'operatore che aziona un pedale o un comando a pedale in qualsiasi posizione).

Tale normativa, va considerato, nasce per l'analisi delle macchine movimento terra e solo successivamente è stata adattata alle macchine agricole. Per questo motivo è comprensibile il fatto che la maggior parte delle macchine agricole analizzate in questi e in altri lavori abbiano parametri che si discostano, talvolta significativamente, da quelli indicati nelle normative. Inoltre, questa discrepanza dei parametri è spesso ricercata dalle case costruttrici che, non avendo l'obbligo di rispettare la normativa, scelgono di apportare delle migliorie al fine di agevolare l'operatore.

Ne è un esempio il parametro "h2" (distanza verticale tra il S.I.P. e le estremità inferiori della parete posteriore superiore della cabina) che, se superiore a quanto previsto dalla norma, migliora la visibilità posteriore per gli attrezzi trainati.

6 – SVILUPPI FUTURI

Per quanto riguarda il fenomeno vibratorio, i trattori, non essendo ammortizzati, hanno un livello di emissione alto.

La tipologia di sedile incide sull'assorbimento da parte del lavoratore di eccessive dosi. Un *sedile* di nuova generazione con molle antivibranti, a bassa trasmissività, e una corretta manutenzione dei silent block limiterebbero il valore di emissione.

Per il rumore, le cabine di ultima generazione hanno delle discrete performance di riduzione del rischio, questo soprattutto nei trattori di ultima generazione misurati, attestando il livello di rischio sotto soglia.

Anche in questo caso una corretta manutenzione della cabina inciderebbe sull'efficienza della stessa (es. il cambio di guarnizioni quando usurate).

Le analisi di correlazione, anche se hanno avuto esito negativo, hanno fornito delle linee guida da prendere in considerazione per eventuali studi futuri sull'argomento.

Inoltre si è data indicazione che l'analisi statistica della correlazione anche se statisticamente non significativa, non indica affatto che non possa esistere un'altra funzione di tipo non lineare che legghi questi dati, ma indica solo che tale eventuale relazione non è di tipo lineare.

L'analisi antropometrica ha portato alla luce una questione fondamentale, vale a dire che la normativa in questione non è completamente applicabile alle macchine agricole e da questa andrebbero eliminati alcuni parametri che risultano fondamentali per le macchine movimento terra ma superflui per i trattori, a favore dell'inserimento di nuovi parametri, specifici per l'attività agricola.

Un nuovo parametro ad esempio potrebbe indicare *la distanza tra il volante e l'ultimo comando posizionato in basso a sinistra*, d'intralcio nell'uscita dell'operatore dalla cabina.

Per aumentare la visuale posteriore un secondo parametro da aggiungere potrebbe essere quello che indica *la larghezza del vetro posto dietro l'operatore e quindi della cabina stessa*.

Infine sarebbe opportuno aggiungere un parametro che indichi *l'altezza da terra dell'ultimo scalino*, che, attualmente, essendo fisso e posto a 30 cm da terra, è spesso soggetto ad urti. Potrebbe essere utile l'applicazione di una scala retrattile che riduca la distanza del primo scalino da terra, di fondamentale importanza nella prevenzione degli infortuni.

Queste sono solo alcune delle possibili modifiche da applicare alle macchine agricole e sarebbe dunque opportuno pensare ad una normativa diversa da quella formulata per le macchine movimento terra che operano in contesti diversi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANDAMENTO E STATISTICHE – Infortuni sul lavoro 2011 – pubblicazione INAIL
- [28] AA.VV. (2001) Linee guida per la valutazione del rischio da rumore negli ambienti di lavoro. ISPESL.
- [4] Berasategui M.R., Marquez L. (2002) Modello di simulazione per l'ottimizzazione del disegno di sedili per trattori agricoli. *Rivista di Ingegneria Agraria*, (2), pp. 29-40.
- [15] Biondi P. - *Meccanica Agraria*, UTET, Torino 1999
- [17] Biondi P., D. Monarca, F. Maraziti - Il rischio di polvere in campo agricolo. *Rivista di Ingegneria Agraria* 1997
- [33] Biondi P., V. Panaro – L'evoluzione della trattrice agricola in Italia. *Macchine & Motori Agricoli* 1992 50-51, 39-47.
- [27] Bovenzi M., Nataletti P., guida alla valutazione del rischio da vibrazioni meccaniche. Il Sole 24 Ore, 2006.
- [20] Covatta A., Vassalini G., Deboli R. (2005) Produzione documentale tecnica sulla problematica delle vibrazioni connessa all'uso delle macchine agricole, ENAMA, marzo 2005, pp. 31-35.
- [32] Cucuzza S., valutazione del rischio da vibrazioni al sistema mano-braccio e al corpo intero emesse da soffiatori portatili a spalla. Tesi di laurea 2006. Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.
- [2] DATI STATISTICI – Eurostat 2012
- [12] Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, per il riassetto e la riforma delle norme vigenti

in materia di salute e sicurezza delle lavoratrici e dei lavoratori nei luoghi di lavoro, mediante il riordino e il coordinamento delle medesime in un unico testo normativo, G. U. n. 101 del 30 aprile 2008.

[34] Del Pelo Pardi G. - Gli attrezzi rurali e il lavoro agricolo nell'antichità. Roma 1940.

[23] Di Simone, Di Giuseppe B., Bianco G. Le malattie muscolo scheletriche

[3] Magnanini G. - La storia delle trattrici importate (dal 1900 al 1950). GAMAE, Reggio Emilia 1996

[14] [www.enama.it/pubblicazioni/monografie/sicurezza delle macchine](http://www.enama.it/pubblicazioni/monografie/sicurezza_delle_macchine)

[16] www.enama.it

[11] Fornaciari L. (2008) Tesi di Dottorato: Analisi dei parametri costruttivi ed operativi di trattori agricoli per la determinazione dell'esposizione a vibrazioni. Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria, Anno accademico 2007-08

[25] Guida all'applicazione della direttiva "macchine 2006/42/CE - 2a edizione - giugno 2010

[18] Hurley J. P., Garrod C. (1982) Principi di fisica. Zanichelli Editore, Bologna.

[19] Halliday D., Resnick R. (1984) Fondamenti di fisica. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

[24] Holmud P. (1998) Tesi di laurea: Absorbed power and mechanical impedance of the seated human exposed to whole-body vibration in horizontal and vertical direction. Arbetslivs institutet Umea – Sweden.

[26] Iaschi C., vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio e al corpo intero da macchine agricole e forestali: indagine in campo per l'aggiornamento della banca dati nazionale. Tesi di laurea 2007

[36] www.imamoter.cnr.it

[35] www.ispesl.it

[37] Merllié, D., Paoli P. 2001. Ten years of working conditions in the European Union. Dublin, Ireland: European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.

[13] Monarca D. Cecchini M. Dispense delle lezioni di Ergonomia e Fisica Tecnica.

[7] Monarca D. Cecchini M. Dispense delle lezioni di Ergonomia e Fisica Tecnica D.Lgs 626/94, Testo Unico 81/2008

[22] Monica P. Le malattie muscolo scheletriche correlate al lavoro

[38] Moore, J. S., Garg A. 1995. The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. American Ind. Hyg. Assoc. J. 56(5): 443-458.

[5] Peretti A., Elia G., Nataletti P., Nicolini O. (2003) Le nuove direttive riguardanti l'esposizione a vibrazioni e a rumore. AIA - Associazione Italiana di Acustica, Modena, 10 luglio 2003, pp. 23.

[8] Ragni L. (1992) Una tavola rotonda in tema di ergonomia. Macchine e Motori Agricoli, (9), pp. 71-72.

[21] Speranza L. (2002) Tesi di laurea: Indagine sperimentale sull'esposizione ai rischi da rumore e vibrazioni durante l'uso dei decespugliatori portatili usati. Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di Agraria, Anno Accademico 2001-02.

[29] Silvestri A., "Esposizione dei lavoratori a rumore in una azienda agroalimentare nel sud del Lazio: valutazione del rischio e definizione delle misure di prevenzione" 2010/11.

[6] Verdel U., Iotti A., Piccioni R. (2000) I dati sui danni professionali da rumore e vibrazioni nell'esperienza dell'INAIL. Atti del Convegno dB(A) 2000, Ambiente Lavoro, Modena, 20-23 settembre 2000, pp. 7-18.

[9] Vicentini M., et al. (1993) Valutazione del rumore cui sono esposti gli addetti alle macchine agricole nelle fasi lavorative di varie colture sul territorio della regione toscana. Atti del Convegno Lavoro e salute in agricoltura, Punta Ala, 5-8 ottobre 1993, pp. 21-28.

[10] Violanti S., et al. (1994) Il rischio rumore in agricoltura: valutazione dell'esposizione dei dipendenti di una azienda agricola. Atti del Convegno Rumore e vibrazioni – Valutazione prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro, Modena, 20-22 ottobre 1994, pp. 383-387.

[30] UNI EN ISO 9612 (2011) Acustica – Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro – Metodo tecnico progettuale.

[31] UNI 9432 (2011) Acustica – Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro.

[39] UNI EN ISO 3411:2007 Dimensioni ergonomiche degli operatori e spazio minimo di ingombro dell'operatore

[40] UNI EN ISO 5353:2010 Macchine movimento terra, trattrici, macchine agricole e forestali "Punto di riferimento del sedile"

Altri riferimenti bibliografici consultati:

Bovenzi M. (1990) Effetti acuti delle vibrazioni trasmesse a tutto il corpo. Convegno Nazionale Rumore e Vibrazioni. Valutazione prevenzionale e bonifica, Monduzzi Editore.

British Standard Institution (1987), British Standard Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock, London BS 6841.

Covatta A., Vassalini G., Deboli R. (2005) Produzione documentale tecnica sulla problematica delle vibrazioni connessa all'uso delle macchine agricole, ENAMA, marzo 2005, pp. 31-35.

Direttiva 83/189/CEE del 28 marzo 1983. Direttiva del Consiglio che prevede una procedura d'informazione nel settore delle norme e delle regolamentazioni tecniche, G. U. n. 109 del 26 aprile 1983.

Fortezza F., et al. (1993) Considerazioni sul rumore emesso dai trattori agricoli in funzione della tipologia costruttiva e dell'età del mezzo. Atti del Convegno Lavoro e salute in agricoltura, Punta Ala, 5-8 ottobre 1993, pp. 113-116.

Mansfield N. J., Griffin M. (1998) Effect of magnitude of vertical whole-body vibration on absorbed power for the seated human body. Journal Sound Vibration, (4), pp. 215.

Monaco E., Battaglia V., Di Girolamo F., Prestigiacomo C. (2008) Testo unico: il ruolo del medico competente. Atti del 26° congresso nazionale AIDII, Università degli Studi di Siena, 25-27 giugno 2008, pp. 12.

Nataletti P., Pinto I. (1999) Procedure operative standardizzate per la valutazione del rischio da vibrazioni: le linee guida del gruppo di lavoro

promosso dall'ISPESL. Atti del Convegno dB(A) Incontri '99 – Rumore e vibrazioni negli ambienti di lavoro: dalla valutazione alla bonifica, Modena, 23 settembre 1999, pp. 139-173.

Norma ISO 1999 (1990) Acoustics - Determination of occupational noise exposure and estimation of noise induced hearing impairment.

Norma UNI 9432 (2011) Acustica – Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro.

Norma UNI EN ISO 5349-1 (2004) Vibrazioni meccaniche – Misura e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano – Parte 1: Requisiti generali.

Norma UNI EN ISO 5349-2 (2004) Vibrazioni meccaniche – Misura e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano – Parte 2: Guida pratica per la misurazione al posto di lavoro.

Norma UNI EN ISO 9612 (2011) Acustica – Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro – Metodo tecnico progettuale.

Norma UNI ISO 2631-1 (2008) Vibrazioni meccaniche e urti – Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero – Parte 1: Requisiti generali.

Pasqualini Salsa C., Bianchi F. (2008) Nuovo testo unico salute e sicurezza sul lavoro, Progetto Sicurezza 3-2008, pp. 48-54.

Peretti A., Elia G., Nataletti P., Nicolini O. (2003) Le nuove direttive riguardanti l'esposizione a vibrazioni e a rumore. AIA - Associazione Italiana di Acustica, Modena, 10 luglio 2003, pp. 23.

Peretti A., Elia G., Nataletti P., Nicolini O. (2003) Le nuove direttive riguardanti l'esposizione a vibrazioni e a rumore, AIA - Associazione Italiana di Acustica, Modena, 10 luglio 2003, pp. 97.

Ragni L. (1992) Una tavola rotonda in tema di ergonomia. *Macchine e Motori Agricoli*, (9), pp. 71-72.

Ragni L. (1993) Molte perplessità per la normativa sul rumore. *L'informatore agrario*, (28), pp. 57-58.

Sandover J. (1988) Behaviour of the spine under shock and vibration: a review. *Clinical Biomechanics*, (3), pp. 249-256.

Santoro G., et al. (1999) La misura dell'esposizione al rumore in agricoltura. Contenuti, interpretazione ed applicazione del D.Lgs. 277/91. CONAMA, Roma.

Speranza L. (2002) Tesi di laurea: Indagine sperimentale sull'esposizione ai rischi da rumore e vibrazioni durante l'uso dei decespugliatori portatili usati. Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di Agraria, Anno Accademico 2001-02.

Tittoni D. (2001) Tesi di laurea: Indagine sperimentale per la valutazione dell'esposizione a vibrazioni trasmesse al sistema mano braccio durante l'uso dei decespugliatori portatili. Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di Agraria, Anno Accademico 2000-01.

Verdel U., Iotti A., Piccioni R. (2000) I dati sui danni professionali da rumore e vibrazioni nell'esperienza dell'INAIL. Atti del Convegno dB(A) 2000, Ambiente Lavoro, Modena, 20-23 settembre 2000, pp. 7-18.

Vicentini M., et al. (1993) Valutazione del rumore cui sono esposti gli addetti alle macchine agricole nelle fasi lavorative di varie colture sul territorio della regione toscana. Atti del Convegno Lavoro e salute in agricoltura, Punta Ala, 5-8 ottobre 1993, pp. 21-28.

Violanti S., et al. (1994) Il rischio rumore in agricoltura: valutazione dell'esposizione dei dipendenti di una azienda agricola. Atti del Convegno

Rumore e vibrazioni – Valutazione prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro, Modena, 20-22 ottobre 1994, pp. 383-387.

Zoppello G., Monarca D., Cecchini M. (1995) Aziende agricole, il rischio da rumore ed il D. Lgs. 277/91. Macchine e Motori Agricoli, (9), pp. 29-34.

UNI EN ISO 3411:2000 Dimensioni ergonomiche degli operatori e spazio minimo di ingombro dell'operatore

ISO 5353:1995 Earth-moving machinery, and tractors and machinery for agriculture and forestry - Seat index point (Macchine movimento terra, trattrici, macchine agricole e forestali - Punto di riferimento del sedile)

ISO 6165:1987 Earth-moving machinery - Basic types - Vocabulary (Macchine movimento terra - Tipi base - Vocabolario)

ISO 6682:1986 Earth-moving machinery - Zones of comfort and reach for controls (Macchine movimento terra - Zone di conforto e raggiungibilità dei comandi)

ISO 6682:1986/Amd. 1:1989, Aggiornamento 1

ISO 6165:2006 Macchine Movimento terra- Tipi base- Identificazione, termini e definizioni

ISO 11112:1995 Macchine Movimento Terra – Sedile operatore:dimensione e requisiti

FIAT Geotech – La storia. Modena 1982

ISO 3339-0:1986 Tractors and machinery for agriculture and forestry – Classification and terminology - Classification system and classification (Trattrici e macchine agricole e forestali - Classificazione e terminologia)

UNI EN ISO 7250-1:2010 “Misurazioni di base del corpo umano per la progettazione tecnologica - Parte 1: Definizioni delle misurazioni del corpo umano e luoghi”

Siti consultati:

www.ausl.mo.it

www.confindustria.ud.it

www.epmresearch.org

www.inail.it

www.sacsrl.eu

web.tiscali.it

www.csa.it

www.enama.it

www.ima.to.cnr.it

www.imamoter.cnr.it

www.rivistedigitali.com

www.zinellifranco.it

www.arpa.emr.it

www.inail.it

www.puntosicuro.it

www.salute.gov.it

www.spisal.it.

www.spisal.it.

www.vibroacoustic.it

<http://www.cen.eu>.

<http://www.etrto.org>.

<http://www.google.it>.

<http://www.iso.org>.

<http://www.raico.it/grammer/Primoprofessional.pdf>.

<http://www.unacoma.it>.

<http://www.uni.com/it/>.

APPENDICE

TIPO	gommata/cing.	MARCA	modello	operatrice	Ax	Ay	Az	AΣ	K*Ax	K*Ay
trattore	gomma	Same	105	Trasporto con rimorchio	0,44	0,58	0,6	1,2	0,62	0,81
trattore	gomma	Landini	135	Trasporto con pianale	0,37	0,44	0,4	0,91	0,52	0,62
trattore	gomma	Landini	135	Trasporto con rimorchio	0,43	0,32	0,36	0,8	0,60	0,45
trattore	gomma	Landini	136	Trasporto con carrello	0,33	0,3	0,33	0,7	0,46	0,42
semovente	gomma	Facma	180	raccolta	0,32	0,28	0,23	0,4	0,45	0,39
semovente	gomma	Facma	200	raccolta	0,33	0,21	0,4	0,6	0,46	0,29
trattore	gomma	Goldoni	233	Atomizzatore	0,35	0,25	0,28	0,67	0,49	0,35
semovente	gomma	Facma	300	raccolta	0,51	0,44	0,35	0,7	0,71	0,62
semovente	gomma	Facma	380	raccolta	0,5	0,4	0,32	0,89	0,70	0,56
trattore	gomma	Fiat	600	Forca	0,5	0,45	0,43	1,04	0,70	0,63
trattore	cingolo	Fiat	605	Spandiconcime	0,38	0,26	1,6	1,7	0,53	0,36
trattore	cingolo	Fiat	605	Tiller	0,48	0,35	1,6	1,8	0,67	0,49
trattore	cingolo	Fiat	605	Seminatrice	0,41	0,32	1,7	1,8	0,57	0,45
trattore	cingolo	Fiat	605	Cavatrice	0,31	0,29	1,69	1,79	0,43	0,41
trattore	cingolo	Fiat	605	Trasporto	0,37	0,31	2	2,1	0,52	0,43
trattore	cingolo	Fiat	665	erpice a dischi	0,63	0,47	0,82	1,3	0,88	0,66
trattore	cingolo	Fiat	665	seminatrice	0,79	0,57	0,67	1,5	1,11	0,80
trattore	gomma	Fiat	666	Pala apripista	0,37	0,42	0,53	0,94	0,52	0,59
trattore	gomma	Fiat	666	Irrigazione	0,39	0,53	0,41	1,03	0,55	0,74
trattore	gomma	Lamborghini	955	Trasporto con rimorchio	0,62	0,59	0,52	1,3	0,87	0,83
trattore	gomma	Lamborghini	955	Tritapaglia	0,15	0,23	0,16	0,42	0,21	0,32
trattore	gomma	John Deere	2850	Trasporto con rimorchio	0,31	0,6	0,52	1,08	0,43	0,84
trattore	gomma	John Deere	2850	Botte trattamenti	0,27	0,54	0,38	0,93	0,38	0,76
trattore	gomma	John Deere	2850	Trincia	0,26	0,41	0,36	0,77	0,36	0,57
trattore	gomma	John Deere	2850	Pala	0,38	0,44	0,47	0,95	0,53	0,62
trattore	gomma	John Deere	2850	Spandiconcime	0,35	0,5	0,39	0,95	0,49	0,70
trattore	gomma	John Deere	3350	seminatrice	0,15	0,12	0,25	0,26	0,21	0,17
trattore	gomma	John Deere	3350	botte concime	0,1	0,1	0,25	0,25	0,14	0,14
trattore	gomma	John Deere	3350	estirpatore	0,2	0,2	0,43	0,59	0,28	0,28
trattore	gomma	John Deere	3350	attrezzo vibrante	0,22	0,23	0,55	0,71	0,31	0,32
Mietitrebbia	gomma	Laverda	3350	mietitrebbiatrice	0,19	0,23	0,38	0,87	0,27	0,32
trattore	cingolo	Massey Ferguson	3350	fresa	0,41	0,48	0,94	1,2	0,57	0,67
trattore	cingolo	Massey Ferguson	3350	aratro	0,37	0,47	1,2	1,4	0,52	0,66
trattore	cingolo	Massey Ferguson	3350	spandiconcime	0,56	0,6	1,6	2	0,78	0,84
trattore	cingolo	Massey Ferguson	3350	rimorchio	0,55	0,56	1,6	1,9	0,77	0,78
trattore	cingolo	Massey Ferguson	3350	pala	0,45	0,42	0,7	1,1	0,63	0,59
trattore	gomma	John Deere	3650	Trasporto	0,38	0,66	0,49	1,19	0,53	0,92
trattore	gomma	John Deere	3650	Trasporto con carrello	0,31	0,47	0,25	0,83	0,43	0,66
trattore	gomma	John Deere	3650	Erpice	0,24	0,17	0,18	0,45	0,34	0,24
trattore	gomma	John Deere	3650	Rullo	0,28	0,27	0,27	0,61	0,39	0,38
trattore	gomma	John Deere	3650	rotoimballatrice	0,14	0,15	0,11	0,31	0,20	0,21
trattore	gomma	John Deere	3650	Ranghinatore	0,3	0,33	0,27	0,69	0,42	0,46
trattore	gomma	John Deere	3650	Estirpatore	0,21	0,17	0,11	0,4	0,29	0,24
trattore	gomma	John Deere	3650	Sollevatore	0,22	0,16	0,15	0,62	0,31	0,22

trattore	gomma	John Deere	3650	Seminatrice	0,31	0,39	0,29	0,77	0,43	0,55
trattore	gomma	Massey Ferguson	5445	forca	0,34	0,3	0,3	0,7	0,48	0,42
trattore	gomma	Massey Ferguson	5445	pala	0,4	0,28	0,24	0,73	0,56	0,39
trattore	gomma	Massey Ferguson	5445	trivella	0,1	0,1	0,1	0,1	0,14	0,14
trattore	gomma	Massey Ferguson	5445	trasporto con rimorchio	0,38	0,33	0,27	0,76	0,53	0,46
trattore	gomma	John Deere	6110	botte diserbo	0,22	0,23	0,31	0,55	0,31	0,32
trattore	gomma	John Deere	6110	trasporto	0,48	0,5	0,74	1,2	0,67	0,70
trattore	gomma	John Deere	6110	seminatrice	0,47	0,74	0,65	1,4	0,66	1,04
trattore	gomma	John Deere	6110	coltivatore Tiller	0,34	0,49	0,55	1	0,48	0,69
trattore	gomma	John Deere	6110	frangizolle	0,46	0,69	0,75	1,4	0,64	0,97
trattore	gomma	John Deere	6110	Rullo	0,49	0,5	0,8	1,2	0,69	0,70
trattore	gomma	John Deere	6110	Ranghinatore	0,36	0,58	0,53	1	0,50	0,81
trattore	gomma	John Deere	6110	Spandiconcime	0,31	0,37	0,41	0,8	0,43	0,52
trattore	gomma	John Deere	6110	Botte trattamenti	0,15	0,22	0,3	0,49	0,21	0,31
trattore	gomma	John Deere	6110	Trasporto con carrello	0,64	0,6	0,93	1,55	0,90	0,84
trattore	gomma	John Deere	6110	seminatrice	0,47	0,74	0,65	1,4	0,66	1,04
trattore	gomma	John Deere	6110	Tiller	0,43	0,62	0,7	1,28	0,60	0,87
trattore	gomma	John Deere	6110	Frangizolle	0,46	0,69	0,75	1,39	0,64	0,97
trattore	gomma	John Deere	6110	Rullo	0,42	0,5	0,79	1,21	0,59	0,70
trattore	gomma	John Deere	6110	Ranghinatore	0,37	0,7	0,5	1,2	0,52	0,98
trattore	gomma	John Deere	6110	Spandiconcime	0,31	0,37	0,41	0,8	0,43	0,52
trattore	gomma	John Deere	6320	Trasporto	0,39	0,54	0,67	1,2	0,55	0,76
trattore	gomma	John Deere	6320	coltivatore Tiller	0,54	0,78	0,63	1,4	0,76	1,09
trattore	gomma	John Deere	6320	Frangizolle	0,54	0,76	0,73	1,5	0,76	1,06
trattore	gomma	John Deere	6320	seminatrice	0,67	1	1,1	2	0,94	1,40
trattore	gomma	John Deere	6320	Trincia	0,35	0,43	0,33	0,85	0,49	0,60
trattore	gomma	John Deere	6320	barra falciante	0,39	0,53	0,53	1	0,55	0,74
trattore	gomma	John Deere	6320	con rullo	0,41	0,42	0,7	1	0,57	0,59
trattore	gomma	John Deere	6320	Ranghinatore	0,56	0,56	0,59	1,2	0,78	0,78
trattore	gomma	John Deere	6320	Spandiconcime	0,51	0,81	0,7	1,5	0,71	1,13
trattore	gomma	John Deere	6320	forca	0,48	0,77	0,78	1,5	0,67	1,08
trattore	gomma	John Deere	6320	Trasporto con rimorchio	0,39	0,54	0,67	1,16	0,55	0,76
trattore	gomma	John Deere	6320	Tiller	0,54	0,78	0,63	1,48	0,76	1,09
trattore	gomma	John Deere	6320	Frangizolle	0,54	0,76	0,73	1,5	0,76	1,06
trattore	gomma	John Deere	6320	Seminatrice	0,53	0,83	0,99	1,71	0,74	1,16
trattore	gomma	John Deere	6320	Trincia	0,35	0,43	0,33	0,85	0,49	0,60
trattore	gomma	John Deere	6320	Barra falciante	0,39	0,53	0,53	1,01	0,55	0,74
trattore	gomma	John Deere	6320	Rullo	0,41	0,42	0,7	1	0,57	0,59
trattore	gomma	John Deere	6320	Ranghinatore	0,56	0,56	0,59	1,26	0,78	0,78
trattore	gomma	John Deere	6320	Spandiconcime	0,51	0,81	0,7	1,51	0,71	1,13
trattore	gomma	John Deere	6320	forca	0,48	0,77	0,78	1,49	0,67	1,08
trattore	gomma	Claas	6507	Frangizolle	0,13	0,22	0,22	0,43	0,18	0,31
trattore	gomma	Claas	6507	Rotopressa	0,12	0,18	0,15	0,34	0,17	0,25
trattore	gomma	Claas	6507	Pressatura	0,11	0,2	0,19	0,37	0,15	0,28
trattore	gomma	Claas	6507	Falciaconzionatrice	0,2	0,35	0,25	0,62	0,28	0,49
trattore	gomma	Claas	6507	Spandiconcime	0,15	0,44	0,25	0,7	0,21	0,62

trattore	gomma	Claas	6507	Rullatura	0,17	0,27	0,31	0,55	0,24	0,38
trattore	gomma	Claas	6507	Erpice a dischi	0,1	0,15	0,15	0,3	0,14	0,21
trattore	gomma	Claas	6507	Trasporto	0,35	0,41	0,46	0,89	0,49	0,57
trattore	gomma	Landini	7500	Falcia condizionatrice	0,17	0,24	0,51	0,66	0,24	0,34
trattore	gomma	Landini	7500	Spandiconcime	0,24	0,37	0,55	0,83	0,34	0,52
trattore	gomma	John Deere	7700	Aratro	0,35	0,35	0,45	0,82	0,49	0,49
trattore	gomma	John Deere	7700	Ripper	0,5	0,32	0,69	1,08	0,70	0,45
trattore	gomma	Ford	7810	Falciacondizionatrice	0,21	0,32	0,25	0,6	0,29	0,45
trattore	gomma	Ford	7810	Trincia	0,18	0,18	0,26	0,45	0,25	0,25
trattore	gomma	Ford	7810	Pressafieno	0,28	0,34	0,28	0,63	0,39	0,48
trattore	gomma	Ford	7810	Erpice a dischi	0,27	0,43	0,33	0,79	0,38	0,60
trattore	gomma	Ford	7810	Spandiconcime	0,24	0,3	0,47	0,72	0,34	0,42
trattore	gomma	Ford	7810	Botte diserbo	0,15	0,23	0,46	0,6	0,21	0,32
trattore	gomma	Ford	7810	Forca	0,2	0,31	0,47	0,7	0,28	0,43
trattore	gomma	John Deere	8310	Trasporto con carrello	0,16	0,16	0,34	0,44	0,22	0,22
trattore	gomma	John Deere	8310	ripuntatore	0,16	0,16	0,16	0,32	0,22	0,22
trattore	gomma	John Deere	8310	frangizolle	0,16	0,17	0,28	0,45	0,22	0,24
trattore	gomma	John Deere	8310	ranghinatore	0,16	0,16	0,3	0,46	0,22	0,22
trattore	gomma	John Deere	8640	Trasporto	0,43	0,46	0,35	0,96	0,60	0,64
trattore	gomma	John Deere	8640	Ripper	0,19	0,22	0,13	0,43	0,27	0,31
trattore	gomma	Landini	8650	forca	0,53	0,49	0,67	1,22	0,74	0,69
trattore	gomma	Landini	8650	Trasporto con rimorchio	0,69	0,5	0,86	1,4	0,97	0,70
trattore	gomma	Landini	8650	Falciacondizionatrice	0,59	0,37	0,69	1,21	0,83	0,52
trattore	gomma	Landini	10000	Botte diserbo	0,2	0,18	0,24	0,35	0,28	0,25
trattore	gomma	Landini	10000	Stipatura	0,31	0,27	0,34	0,67	0,43	0,38
trattore	gomma	Landini	14500	Trincia	0,26	0,26	0,26	0,58	0,36	0,36
trattore	cingolo	Fiat	100/55	Aratura	0,29	0,24	0,46	0,7	0,41	0,34
trattore	cingolo	Fiat	100/55	Ripper	0,36	0,3	0,6	0,9	0,50	0,42
trattore	cingolo	Fiat	100/55	Morgan	0,44	0,4	0,87	1,22	0,62	0,56
trattore	cingolo	Fiat	100C	aratura	0,48	0,62	0,95	1,4	0,67	0,87
trattore	cingolo	Fiat	100C	erpice a dischi	0,97	1,1	1,7	2,7	1,36	1,54
trattore	cingolo	Fiat Allis	120 C	Aratura	0,42	0,34	0,71	1,04	0,59	0,48
trattore	cingolo	Fiat Allis	120 C	Ripper	0,28	0,26	0,53	0,76	0,39	0,36
trattore	cingolo	Fiat Allis	120 C	Morgan	0,32	0,26	0,66	0,87	0,45	0,36
trattore	cingolo	Fiat Allis	120C	Frangizolle	0,48	0,27	0,69	1,05	0,67	0,38
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT	Frangizolle	0,41	0,39	0,47	0,92	0,57	0,55
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT	Trasporto con rimorchio	0,35	0,35	0,45	0,82	0,49	0,49
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT	aratro	0,46	0,46	0,62	1,13	0,64	0,64
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT	Trasporto con rimorchio	0,18	0,14	0,2	0,38	0,25	0,20
trattore	cingolo	Fiat	160/55	aratro	0,55	0,48	0,41	1,1	0,77	0,67
trattore	cingolo	Fiat	160/55	morgano	0,51	0,47	0,49	1,1	0,71	0,66
trattore	gomma	John Deere	355D	Trasporto	0,36	0,64	0,8	1,3	0,50	0,90
trattore	cingolo	OM	50C	seminatrice	0,38	0,24	1,38	1,5	0,53	0,34
trattore	gomma	Fiat	65 66	Trasporto	0,37	0,29	0,6	0,89	0,52	0,41
trattore	gomma	Fiat	65 66	Pala apripista	0,49	0,51	0,46	1,1	0,69	0,71
trattore	gomma	Fiat	65 66	Falciacondizionatrice	0,32	0,39	0,45	0,85	0,45	0,55

trattore	gomma	Fiat	70C	aratro	0,49	0,46	0,96	1,3	0,69	0,64
trattore	gomma	Fiat	70C	erpice a dischi	0,72	0,58	1,2	1,8	1,01	0,81
trattore	gomma	Lamborghini	774/80	seminatrice	0,2	0,2	0,36	0,56	0,28	0,28
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	botte trattamenti	0,51	0,59	0,6	1,2	0,71	0,83
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	falciacondizionatrice	0,65	0,7	0,85	1,6	0,91	0,98
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	andanatore	0,55	0,7	0,83	1,5	0,77	0,98
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	trasporto	0,86	1	1,3	2	1,20	1,40
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	Trincia	0,38	0,42	0,37	0,88	0,53	0,59
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	Trincia con braccio	0,32	0,28	0,29	0,66	0,45	0,39
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	concimatrice	0,56	0,68	0,82	1,4	0,78	0,95
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	forca	0,6	0,57	0,53	1,2	0,84	0,80
trattore	cingolo	Fiat	80-65	Fresatrice	0,59	0,39	0,99	1,4	0,83	0,55
trattore	cingolo	Fiat	80-65	Trincia	0,4	0,32	0,69	1	0,56	0,45
trattore	gomma	Fiat	80-66	Trasporto	0,14	0,14	0,54	0,54	0,20	0,20
trattore	gomma	Fiat	80-66	Trinciasementi	0,1	0,1	0,37	0,38	0,14	0,14
trattore	gomma	Fiat	80-66	Atomizzatore	0,1	0,1	0,47	0,47	0,14	0,14
trattore	gomma	Fiat Agri	82/94 DT	Trasporto con carrello	0,1	0,18	0,77	0,8	0,14	0,25
trattore	gomma	Fiat Agri	82/94 DT	Pala	0,2	0,25	0,46	0,93	0,28	0,35
trattore	gomma	Fiat Agri	82/94 DT	trincia	0,22	0,22	0,48	0,84	0,31	0,31
trattore	gomma	Fiat Agri	82/94 DT	botte trattamenti	0,19	0,44	0,31	1,02	0,27	0,62
trattore	gomma	Fendt	820 DT	Ripuntatore	0,23	0,23	0,14	0,49	0,32	0,32
trattore	gomma	Fendt	820 DT	Ripuntatore	0,33	0,24	0,18	0,6	0,46	0,34
trattore	gomma	Fendt	820 DT	Concimatrice	0,36	0,29	0,21	0,68	0,50	0,41
trattore	gomma	Fendt	820 DT	Falciatura	0,25	0,24	0,17	0,52	0,35	0,34
trattore	gomma	Fendt	820 DT	Ranghinatore	0,29	0,23	0,16	0,54	0,41	0,32
trattore	gomma	Fendt	820 DT	Pressatura	0,29	0,27	0,15	0,58	0,41	0,38
trattore	gomma	Fendt	820 DT	Trasporto	0,37	0,32	0,21	0,72	0,52	0,45
trattore	gomma	Lamborghini	850 premium	seminatrice	0,42	0,32	0,58	0,95	0,59	0,45
trattore	gomma	Lamborghini	850 premium	falciatrice	0,65	0,42	0,81	1,3	0,91	0,59
trattore	gomma	Lamborghini	850 premium	ranghinatore	0,57	0,45	0,99	1,4	0,80	0,63
trattore	gomma	Fiat	880 DT	Trasporto	0,49	0,53	0,7	1,24	0,69	0,74
trattore	gomma	Fiat	880 DT	Spandiconcime	0,29	0,35	0,38	0,74	0,41	0,49
trattore	gomma	Fiat	880 DT	Rullo	0,32	0,34	0,59	0,89	0,45	0,48
trattore	gomma	Fiat	880 DT	Falciatura	0,45	0,36	0,47	0,93	0,63	0,50
trattore	gomma	Fiat	880 DT	Ranghinatura	0,46	0,48	0,58	1,11	0,64	0,67
trattore	gomma	Fiat	880 DT	Erpice	0,4	0,43	0,62	1,04	0,56	0,60
trattore	gomma	Fiat	980 DT	Trincia	0,23	0,29	0,52	0,73	0,32	0,41
trattore	gomma	Fiat	980 DT	botte trattamenti	0,26	0,3	0,55	0,79	0,36	0,42
trattore	gomma	Fiat	980 DT	botte trattamenti	0,2	0,26	0,5	0,68	0,28	0,36
trattore	gomma	Fiat	980 DT	forca	0,39	0,42	0,64	1,04	0,55	0,59
trattore	gomma	Fiat	980 DT	Trasporto	0,31	0,29	0,35	0,69	0,43	0,41
trattore	cingolo	Fiat Allis	AD 10-C	ripuntatore Pianura Luca	0,39	0,3	0,59	0,91	0,55	0,63
trattore	cingolo	Fiat Allis	AD 10-C	frangizolle Nardi	0,49	0,38	0,65	1,1	0,69	0,60
trattore	cingolo	Fiat Allis	AD-14	ripuntatore Pianura Luca	0,33	0,33	0,47	0,8	0,46	0,36
trattore	gomma	Kubota	B1600	carrello	0,36	0,45	0,46	0,93	0,50	0,53
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special	seminatrice	0,3	0,36	1,4	1,5	0,42	0,52

trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special	coltivatore Faza	0,34	0,31	1,8	1,9	0,48	0,42
trattore	cingolo	Agrifull	D70L	Seminatrice	0,35	0,27	0,72	0,95	0,49	0,50
trattore	gomma	Same	Dorado F75	Trasporto	0,28	0,3	0,31	0,66	0,39	0,42
trattore	gomma	Same	Dorado F75	botte diserbo Unigreen	0,34	0,36	0,39	0,8	0,48	0,29
trattore	gomma	Fiat	DT 70-66	trincia Maschio CR	0,23	0,19	0,3	0,51	0,32	0,50
trattore	gomma	Fiat	DT 70-66	trincia Maschio Bella	0,17	0,19	0,36	0,52	0,24	0,43
trattore	gomma	Fiat	DT 70-66	Trasporto con carrello	0,25	0,25	0,38	0,63	0,35	0,42
trattore	gomma	Fiat	DT 70-66	Trasporto con carrello	0,31	0,31	0,54	0,82	0,43	0,53
trattore	gomma	Fiat	DT 70-66	botte trattamenti	0,33	0,32	0,62	0,89	0,46	0,46
trattore	gomma	Fiat	DT 70-66	botte trattamenti	0,28	0,28	0,56	0,8	0,39	0,34
trattore	gomma	Fiat	DT 70-66	stazionario con botte	0,12	0,12	0,33	0,41	0,17	0,17
trattore	gomma	Fiat	DT 70-66	stazionario con botte	0,13	0,1	0,33	0,4	0,18	0,14
trattore	gomma	Fiat	DT 90-90	Falcia condizionatrice	0,17	0,19	0,29	0,47	0,24	0,27
trattore	gomma	Fiat	DT 90-90	Falcia condizionatrice	0,15	0,25	0,31	0,52	0,21	0,35
trattore	gomma	Fiat	DT 90-90	Trasporto con carrello	0,17	0,17	0,41	0,53	0,24	0,24
trattore	gomma	Carraro	Ergit	Trincia	0,43	0,37	0,43	0,91	0,60	0,52
trattore	gomma	Carraro	Ergit	Trasporto con rimorchio	0,27	0,3	0,41	0,71	0,38	0,42
trattore	gomma	Same	Explorer 70	Pala	0,35	0,58	0,44	1	0,49	0,81
trattore	gomma	Same	Explorer 70	Trincia	0,48	0,6	0,4	1,1	0,67	0,84
trattore	gomma	Same	Explorer 70	Trasporto con rimorchio	0,32	0,53	0,75	1,1	0,45	0,74
trattore	gomma	Same	Explorer 70	diserbo	0,91	0,8	1,4	2,2	1,27	1,12
trattore	gomma	Same	Explorer 70	falciacondizionatrice	1	0,83	1,5	2,4	1,40	1,16
trattore	gomma	Same	Explorer 70	andanatore	0,57	0,44	0,6	1,1	0,80	0,62
trattore	gomma	Same	Explorer 70	Trasporto	0,46	0,41	0,48	0,9	0,64	0,57
trattore	gomma	Same	Explorer 70	concimatrice	0,87	0,77	1,3	2,1	1,22	1,08
trattore	gomma	Same	Explorer 70	Morgan	0,41	0,34	0,73	1,05	0,57	0,48
trattore	gomma	Same	Explorer 79	Tiller	0,45	0,47	2	2,2	0,63	0,66
trattore	gomma	Same	Explorer 90	Rullo	0,52	0,4	0,77	1,2	0,73	0,56
trattore	gomma	Same	Explorer 90	Morgan	0,4	0,32	0,71	1,01	0,56	0,45
trattore	gomma	Same	Explorer 90	scavafossi	0,31	0,31	0,88	1,09	0,43	0,43
trattore	cingolo	Fiat Allis	FA 150	aratro	0,48	0,44	0,58	1,1	0,67	0,62
trattore	cingolo	Fiat Allis	FA 150	pala	0,81	0,61	0,83	1,6	1,13	0,85
trattore	cingolo	Fiat Allis	FA 150	ripper	0,47	0,44	1	1,3	0,66	0,62
trattore	cingolo	Fiat Allis	FA 150	aratura	0,63	0,61	1,4	1,8	0,88	0,85
trattore	gomma	Fendt	Farmer 204	Trasporto	0,2	0,37	0,35	0,69	0,28	0,52
trattore	gomma	Fiat	Frutteto 100	Trincia	0,22	0,23	0,31	0,55	0,31	0,32
trattore	gomma	Fiat	Frutteto 100	Trasporto	0,34	0,61	0,51	1,1	0,48	0,85
trattore	gomma	Same	Frutteto 100	Trasporto	0,28	0,3	0,57	0,81	0,39	0,42
trattore	gomma	Same	Frutteto 100	botte trattamenti	0,24	0,21	0,59	0,74	0,34	0,29
trattore	gomma	Case	HXM 175	volta fieno	0,72	1,05	0,82	2	1,01	1,47
trattore	gomma	Case	HXM 175	Morgan	0,39	0,53	0,66	1,14	0,55	0,74
trattore	gomma	Case	HXM 175	Estirpatore	0,3	0,41	0,83	1,13	0,42	0,57
trattore	gomma	Same	Iron 150	aratura	0,26	0,66	0,2	1	0,36	0,92
trattore	gomma	Same	Iron 150	Tiller	0,42	1	0,4	1,6	0,59	1,40
trattore	gomma	Same	Iron 150	Frangizolle	0,42	0,98	0,4	1,5	0,59	1,37
trattore	gomma	Same	Iron 150	Trasporto	0,52	0,99	0,57	1,6	0,73	1,39

trattore	cingolo	Same	Krypton 100	seminatrice	0,52	0,39	0,91	1,3	0,73	0,55
trattore	cingolo	Same	Krypton 100	morgano	0,57	0,41	1	1,4	0,80	0,57
trattore	gomma	Mietitrebbia	Laverda	M152	0,16	0,18	0,26	0,43	0,22	0,25
trattore	gomma	Mietitrebbia	Laverda		0,21	0,2	0,21	0,43	0,29	0,28
Mietitrebbia	gomma	Claas	Medion 330	mietitrebbiatrice	0,37	0,35	0,3	0,78	0,52	0,49
trattore	gomma	Landini	Mitos	Rotopressa	0,21	0,45	0,46	0,83	0,29	0,63
trattore	gomma	Landini	Mitos	barra falciante	0,27	0,44	0,42	0,84	0,38	0,62
trattore	gomma	Landini	Mitos	botte trattamenti	0,19	0,49	0,25	0,78	0,27	0,69
trattore	gomma	Landini	Mitos	volta fieno	0,22	0,22	0,39	0,59	0,31	0,31
trattore	gomma	Landini	Mitos	Trasporto	0,38	0,35	0,54	0,91	0,53	0,49
trattore	gomma	Landini	Mitos	Spandiconcime	0,21	0,39	0,54	0,7	0,29	0,55
trattore	gomma	Landini	Mitos	Rullo	0,21	0,33	0,43	0,71	0,29	0,46
trattore	gomma	Landini	Mitos	Seminatrice	0,32	0,56	0,53	1	0,45	0,78
trattore	gomma	Landini	Mitos	Seminatrice	0,21	0,55	0,39	0,91	0,29	0,77
trattore	gomma	Landini	Mitos	Erpice rotante	0,27	0,44	0,42	0,84	0,38	0,62
trattore	gomma	Landini	Mitos	Seminatrice	0,38	0,82	0,58	1,4	0,53	1,15
trattore	gomma	Case	MX 110	trasporto	0,7	0,73	1,3	1,9	0,98	1,02
trattore	gomma	Case	MX 110	pressatura	0,35	0,46	0,48	0,95	0,49	0,64
trattore	gomma	Case	MX 110	aratura	0,41	0,48	0,58	1	0,57	0,67
trattore	gomma	Lamborghini	Plus 990-f	Trincia	0,38	0,27	0,34	0,74	0,53	0,38
trattore	gomma	Lamborghini	Plus 990-f	soffiatore	0,66	0,9	0,7	1,7	0,92	1,26
trattore	gomma	Lamborghini	Plus 990-f	Trasporto con rimorchio	0,76	1	0,99	2	1,06	1,40
trattore	gomma	Lamborghini	Plus 990-f	Trivella	0,14	0,1	0,1	0,2	0,20	0,14
trattore	gomma	Lamborghini	Plus 990-f	aratro	0,35	0,38	0,38	0,83	0,49	0,53
trattore	gomma	Lamborghini	Plus 990-f	botte con diserbo	0,61	0,75	0,77	1,5	0,85	1,05
trattore	gomma	Lamborghini	Plus 990-f	spanciconcime	0,58	0,9	0,75	1,6	0,81	1,26
trattore	gomma	Lamborghini	R550	rimorchio agricolo Feba TCS60	0,31	0,43	0,74	1	0,43	0,60
trattore	gomma	Carraro	Reversibile	Trincia erba GF	0,35	0,62	0,51	1,1	0,49	0,87
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	decespugliatore	0,24	0,12	0,15	0,41	0,34	0,17
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	ripuntatore	0,4	0,47	0,54	1	0,56	0,66
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	rotoimballatrice	0,27	0,31	0,25	0,63	0,38	0,43
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	erpice a disco	0,32	0,32	0,33	0,72	0,45	0,45
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	falciatrice	0,29	0,4	0,29	0,75	0,41	0,56
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	seminatrice	0,31	0,39	0,29	0,77	0,43	0,55
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	botte diserbo	0,32	0,35	0,25	0,72	0,45	0,49
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	spandiconcime	0,32	0,32	0,24	0,78	0,45	0,45
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	Trasporto con rimorchio	0,37	0,47	0,49	0,98	0,52	0,66
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	trinciasocchi	0,31	0,35	0,28	0,72	0,43	0,49
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	scavafossi	0,32	0,32	0,25	0,78	0,45	0,45
trattore	gomma	Same	Silver 100.4	aratro	0,24	0,3	0,21	0,58	0,34	0,42
trattore	gomma	New Holland	T4050F	rimorchio Menci	0,28	0,26	0,48	0,72	0,39	0,36
trattore	gomma	New Holland	T4050F	trincia	0,42	0,38	0,86	1,1	0,59	0,53
trattore	gomma	New Holland	T4050F	ranghinatore Cesari Rake	0,37	0,37	0,81	1	0,52	0,52
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	aratro	0,37	0,31	0,65	0,95	0,52	0,43
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	seminatrice	0,7	0,73	0,9	1,5	0,98	1,02
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	coltivatore Tiller	0,73	0,73	1,3	1,9	1,02	1,02

trattore	cingolo	New Holland	TK 100	Rullo	0,44	0,43	1,5	1,7	0,62	0,60
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	Spandiconcime	0,53	0,56	1,4	1,8	0,74	0,78
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	aratro	0,38	0,38	0,82	1,12	0,53	0,53
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	seminatrice	0,61	0,65	0,89	1,54	0,85	0,91
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	Tiller	0,73	0,73	1,36	1,99	1,02	1,02
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	Rullo	0,44	0,43	1,54	1,78	0,62	0,60
trattore	cingolo	New Holland	TK 100	Spandiconcime	0,49	0,45	1,37	1,66	0,69	0,63
trattore	gomma	New Holland	TL 100	Falciacondizionatrice	0,25	0,41	0,31	0,75	0,35	0,57
trattore	gomma	New Holland	TL 100	Ranghinatore	0,3	0,52	0,33	0,9	0,42	0,73
trattore	gomma	New Holland	TL 100	Spandiconcime	0,3	0,57	0,39	0,99	0,42	0,80
trattore	gomma	New Holland	TL 100	Erpice a dischi	0,23	0,41	0,27	0,72	0,32	0,57
trattore	gomma	New Holland	TL 90 DT	Trasporto	0,73	0,76	0,42	1,5	1,02	1,06
trattore	gomma	New Holland	TL 90 DT	botte trattamenti	0,64	0,85	0,66	1,63	0,90	1,19
trattore	gomma	New Holland	TL 90 DT	Rotoballa	0,53	0,8	0,46	1,43	0,74	1,12
trattore	gomma	New Holland	TL 90 DT	Trasporto	0,73	0,76	0,42	1,5	1,02	1,06
trattore	gomma	New Holland	TN 90 F	Trasporto con carrello	0,1	0,21	0,52	0,52	0,14	0,29
trattore	gomma	New Holland	TN 90 F	Trincia	0,13	0,15	0,58	0,58	0,18	0,21
trattore	gomma	New Holland	TN 90 F	Fresatrice	0,29	0,45	0,38	0,8	0,41	0,63
trattore	gomma	New Holland	TN75	Ranghinatura	0,67	0,87	0,6	1,65	0,94	1,22
trattore	gomma	New Holland	TN75	Rotopressa	0,36	0,71	0,38	1,17	0,50	0,99
trattore	gomma	New Holland	TN75	solforatrice	0,46	0,73	0,46	1,13	0,64	1,02
trattore	gomma	New Holland	TN75	Seminatrice	0,49	0,8	0,47	1,4	0,69	1,12
trattore	gomma	New Holland	TN75	Trasporto	0,49	0,76	0,44	1,35	0,69	1,06
trattore	gomma	New Holland	TN75	botte trattamenti	0,32	0,44	0,34	0,84	0,45	0,62
trattore	gomma	New Holland	TN75	Concimazione	0,46	0,56	0,52	1,15	0,64	0,78
trattore	gomma	New Holland	TN75	Trincia	0,18	0,27	0,3	0,55	0,25	0,38
trattore	gomma	New Holland	TN90	Braccio decespugliatore	0,36	0,62	0,49	1,13	0,50	0,87
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	erpice a dischi	0,74	0,68	1,2	1,9	1,04	0,95
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	seminatrice	0,89	0,79	1,6	2,3	1,25	1,11
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Lama apripista	0,37	0,46	0,84	1,1	0,52	0,64
trattore	gomma	Landini	Trekker 100	seminatrice	0,37	0,34	0,79	1	0,52	0,48
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Erpice a disco	0,51	0,34	0,81	1,18	0,71	0,48
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Seminatrice	0,57	0,39	0,96	1,37	0,80	0,55
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Vangatrice	0,26	0,17	0,47	0,64	0,36	0,24
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Fresa	0,25	0,21	0,7	0,84	0,35	0,29
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Fresa interfila	0,23	0,16	0,58	0,7	0,32	0,22
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Pala apripista	0,32	0,23	0,76	0,94	0,45	0,32
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Pala	0,4	0,31	0,4	0,82	0,56	0,43
trattore	gomma	Detz Fahr	TT2	Trasporto con rimorchio	0,27	0,18	0,23	0,52	0,38	0,25
trattore	gomma	Detz Fahr	TT2	Pala	0,38	0,42	0,52	0,95	0,53	0,59
trattore	gomma	Ford	TW 35	Aratro	34	0,39	0,17	0,74	47,60	0,55
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Morgan	0,36	0,35	0,46	0,84	0,50	0,49
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	Aratro	0,35	0,34	0,5	0,85	0,49	0,48
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100	seminatrice	0,39	0,35	0,55	0,95	0,55	0,49
trattore	cingolo	Fiat	120 C	aratro	0,33	0,28	0,48	0,77	0,46	0,39
trattore	cingolo	Fiat	120 C	Morgan	0,35	0,31	0,69	0,95	0,49	0,43

trattore	gomma	New Holland	65 TL	Spandiconcime	0,45	0,49	0,43	1,03	0,63	0,69
trattore	gomma	New Holland	65 TL	Trasporto	0,5	0,54	0,45	1,13	0,70	0,76
trattore	gomma	New Holland	3550	Trasporto	0,45	0,49	0,47	1,07	0,63	0,69

TIPO	gommata/cing.	MARCA	modello	immatricolaz.	operatrice	Laeqmedio	Lpeak Max
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special	1983	estripatore	94,7	118,1
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special	1983	trinciasarmenti facma TR180	96	117
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special	1983	erpice a dischi	95,5	118,4
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special	1983	fresa	96	117,1
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special	1983	vangatrice	96,5	118,8
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special	1983	ripuntatore	93,8	117,2
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special		seminatrice	96,6	117,6
trattore	cingolo	Agrifull	C80-70 L special		coltivatore Faza seminatrice Gaspardo	95,9	115,1
trattore	cingolo	Agrifull	toselli		PI450	89	111
trattore	gomma	carraro	98		forca elevatrice botte per diserbo Fullspray	84,7	121,2
trattore	gomma	Carraro	8008			88,9	114,7
trattore	gomma	Carraro	8008		rimorchio	87,1	111,3
trattore	gomma	Carraro	8008		forche posteriori	86,1	111,5
trattore	gomma	carraro	88 DT		trasporto	89,2	104,6
trattore	gomma	carraro	ergit ST		carrello per trasporto	88,2	108,5
trattore	gomma	carraro	ergit ST		trincia Facma	91,5	116,4
trattore	gomma	Carraro	Ergit ST		trasporto	91,9	114
trattore	gomma	Carraro	Ergit ST		carrello	88,2	108,5
trattore	gomma	Carraro	Ergit ST		trincia Facma	91,5	116,4
trattore	gomma	Carraro	Tigrone 7700		carrello	87,3	110,4
trattore	gomma	Carraro	Tigrone 7700		botte	90,3	115,9
trattore	gomma	Carraro	Tigrone 7700		trincia Sicma	92,4	116
trattore	gomma	carraro	tigrone7700		concimatrice	91,7	110,4
trattore	cingolo	carraro	tigrone7700		carrello per trasporto	87,2	108,4
trattore	cingolo	carraro	tigrone7700		concimatrice	91,7	110,4
trattore	gomma	Carraro	Tigrone7700		carrello	87,2	108,4
trattore	gomma	Carraro	Tigrone7700		concimatrice	91,7	110,4
trattore	gomma	Case	MX120	1999	rimorchio Caporicci	73,7	108
trattore	gomma	Case	MX120	1999	rotopressa Feraboli aratro reversibile	73,9	107,9
trattore	gomma	Case	MX120	1999	AngeloniTPV20	74,2	108
trattore	gomma	Case	MX120	1999	estirpatore Mariolin	73,4	107
trattore	cingolo	Caterpillar	D6		aratro nardi 4 BTR ripperposteriore e pala frontale	99,6	121,1
trattore	cingolo	caterpillar	D8		testata per mais a tre file	104	127
trattore	mietitrebbiatrice	Class	Dominator 48			90,5	110,5
trattore	gomma	Deutz-Fahr	agroplus		rimorchio francini ripuntatore dondi	78,3	104,3
trattore	gomma	Deutz-Fahr	agroplus		Sancore	77,9	103,5
trattore	gomma	Deutz-fahr	cabinato		carrello per trasporto	72,6	112,1
trattore	gomma	Deutz-fahr	cabinato		forca Howard FX2017	70,7	101,5
trattore	gomma	Deutz-Fahr	cabinato		carrello	72,6	112,1

trattore	gomma	Deutz-Fahr	cabinato		forca Howard FX2017	70,7	101,5
trattore		Fai	Synt-ter 96		trasporto	81,9	114
trattore	gomma	Farmer	204P	1970	traino carrello	84	111,4
trattore	gomma	fendt	70		barra irroratrice	80,6	119,9
trattore	gomma	Fendt	820 Vario TMS		rimorchio agricolo Feba TCS60	71	109,8
trattore	gomma	Fendt	820 Vario TMS		ripuntatore Deltaplow DL8R	67,5	104,4
trattore	gomma	Fendt	820 Vario TMS		ripassatore Polimak concimatrice Keverneland Futura 4.5	67,8	101,6
trattore	gomma	Fendt	820 Vario TMS		falciatrice Kverneland Vicon FMT	66,6	104,2
trattore	gomma	Fendt	820 Vario TMS		ranghinatore Kverneland Vicon An dex 463	65,4	96,9
trattore	gomma	Fendt	820 Vario TMS		pressa Gallignani Xeon	66,5	104,2
trattore	gomma	Fendt	820 Vario TMS		carrello per trasporto	66,1	97
trattore	gomma	Ferrari	n.c.		carrello	86,7	110,4
trattore	gomma	Ferrari	n.c.		carrello	88,8	111,2
trattore	gomma	fiat	70		spandiconcime Lely	89,2	109,9
trattore	gomma	fiat	71		seminatrice Ubaldi	91,4	110,4
trattore	cingolo	Fiat	100		erpice	99,9	121,9
trattore	cingolo	Fiat	100		trasporto	94,8	121,9
trattore	cingolo	Fiat	100		erpice	97,8	119,1
trattore	cingolo	Fiat	100		a vuoto	97,2	118,2
trattore	cingolo	Fiat	120		erpice	100,3	119,4
trattore	cingolo	Fiat	120		trasporto rotoimballatrice Wolvo columbia	98,6	118,5
trattore	gomma	fiat	450	1969	columbia	88,3	120,7
trattore	gomma	fiat	450	1969	raschiatore	89,6	121,1
trattore	gomma	Fiat	480		trasporo	88,8	114,5
trattore	cingolo	Fiat	605		carrelo trasp. Uva	92	113,8
trattore	cingolo	Fiat	605		spandiconcime	93,2	114,9
trattore	cingolo	Fiat	605		ruzzo	93,1	112,6
trattore	cingolo	Fiat	605		fresa	93,2	112,3
trattore	gomma	Fiat	780		pianale	83,1	111,9
trattore	gomma	Fiat	780		trasporto	79,6	125,4
trattore	gomma	Fiat	780		atomizzatore	84,5	114,3
trattore	gomma	Fiat	880		trasporto	91,8	113,43
trattore	gomma	Fiat	1000		falciacondizionatrice	94,5	114,5
trattore	gomma	fiat	100/90 DT	1988	desaltore luclar	96,3	112,5
trattore	gomma	fiat	100/90 DT		carro miscelatore coltivatore a denti elastici Kongsklide	85,7	109,6
trattore	gomma	fiat	100/90 DT	1988	elastici Kongsklide	83,6	113,8
trattore	gomma	fiat	100/90 DT	1988	rimorchio beranzoni	80,5	116,1
trattore	gomma	fiat	100/90 DT	1988	trinciasocchi nobili fresatrice nardi	82,5	121,2
trattore	gomma	fiat	100/90 DT	1988	zsa235/s carro miscelatore	84,9	115,1
trattore	gomma	fiat	1000 DT	1978	storti	89,3	118,8
trattore	cingolo	Fiat	100C		aratro	100,9	117,73

trattore	cingolo	Fiat	100C	1972	aratro bivomere angeloni B70	103,1	120,2
trattore	cingolo	Fiat	100C	1972	erpice a dischi Viviani PZ24-61	105,5	122,9
trattore	gomma	fiat	110-90 DT		rotoimballatrice	79,7	134,7
trattore	gomma	fiat	110-90 DT		falciacondizionatrice erpice	81,4	135,9
trattore	gomma	fiat	110-90 DT		rotante+seminatrice	75,1	130,8
trattore	gomma	Fiat	115/90		caricatore della bona	78,1	118,03
trattore	gomma	Fiat	115/90		scarico legna ripuntatore Pianura Luca	68	104,63
trattore	gomma	Fiat	115-90 DT			87,1	128,8
trattore	gomma	Fiat	115-90 DT		morgano FA.I.M.A.	88,5	124,3
trattore	gomma	Fiat	115-90 DT		coltivatore Faza	88,4	129,7
trattore	gomma	Fiat	115-90 DT		rimorchio	88,8	125,9
trattore	gomma	Fiat	115-90 DT		rotoimballatrice	89,1	127,1
trattore	gomma	Fiat	1180 DT		trasporto aratro bivomere	86,2	102,3
trattore	cingolo	FIAT	120 C	1980	nardi4BT	98,4	119,2
trattore	cingolo	Fiat	120 C	1979	coltivatore a denti elastici	97,2	116,1
trattore	cingolo	Fiat	120 C	1979	aratro bivomere nardi4BT	96,4	117,1
trattore	cingolo	Fiat	120 C	1979	erpice a dischi nardi	98,1	116,7
trattore	cingolo	Fiat	120 C		aratro	100,9	117,73
trattore	cingolo	Fiat	120 C		morgano	102,1	121,1
trattore	cingolo	Fiat	120 C		aratro rimorchio	99,4	119,9
trattore	gomma	Fiat	1300 DT		spandiletame aratro bivomere	94,4	116,1
trattore	gomma	fiat	140/90 DT		sogema 44BP(misura con finestrini aperti)	90,6	136,9
trattore	gomma	fiat	140/90 DT		trinciacaricatrice gallignani P202	90,3	128,8
trattore	gomma	fiat	140/90 DT		rotopressa Class	88,1	130
trattore	gomma	Fiat	1580DT		trasporto	89,1	113,5
trattore	gomma	Fiat	1580DT		rotoimballatrice	93	114,2
trattore	gomma	FIAT	180/90DT		trasporto	81,7	104
trattore	gomma	FIAT	180/90DT		aratro bivomere otma	81,6	104
trattore	gomma	FIAT	180/90DT		erpice rotante+seminatrice	82,6	95,8
trattore	gomma	FIAT	180/90DT		fresa a lame Kuhn el 100	81,6	104
trattore	gomma	FIAT	180/90DT		livellatrice livellette	79,8	104,3
trattore	gomma	FIAT	180/90DT		rimorchio botte Menci	78,4	106,5
trattore	gomma	FIAT	180/90DT		rimorchio omas trincia mais	79,1	110,5
trattore	gomma	FIAT	180/90DT		Hesston7150	82	105
trattore	gomma	fiat	180/90DT	1993	rimorchio vaianl140- 14t	83,3	137,6
trattore	gomma	fiat	180/90DT	1993	pressa bautz	84	137,9
trattore	gomma	fiat	180/90DT	1993	aratro trivomere	83,6	135,6
trattore	gomma	fiat	180-90 DT		aratrobivomere	82,8	136,8
trattore	gomma	fiat	450 DT H		lama frontale	86,1	120,4
trattore	gomma	fiat	55/66		raccogliatrice facma 300	95,5	116,5
trattore	gomma	fiat	55/66		trinciasarmennti	94	118,8

					Facma PE160		
trattore	gomma	fiat	55/66		gruppo compressore paterlini RP	74,2	105,5
trattore	gomma	fiat	55/66		atomizzatore caim	89,1	101,4
trattore	gomma	FIAT	55-66 DT		botte trattamenti	88	113
trattore	gomma	FIAT	55-66 DT		fresa		86,6 116,4
trattore	gomma	FIAT	55-66 DT		zollatrice		88 110,5
trattore	gomma	fiat	580 DT		pala frontale		88,9 111,6
trattore	cingolo	FIAT	605 C	1973	a vuOTO		93 114,4
trattore	cingolo	FIAT	605 C	1973	ERPICE A DISCHI (16)	93,7	117,1
trattore	cingolo	fiat	605 C	1977	trasporto		91,2 117,7
trattore	cingolo	fiat	605 C	1977	rullo		92,6 118,3
trattore	cingolo	fiat	605 C	1977	barra irroratrice Hardy	91,4	118,9
trattore	cingolo	Fiat	605 C		posto guida trinciasarmenti posto		96,2 115
trattore	cingolo	Fiat	605 C		guida trinciasarmenti a 5	95,6	115
trattore	cingolo	Fiat	605 C		metri	86,9	109,9
trattore	cingolo	Fiat	605 C super		spandiconcime	96,6	116,2
trattore	cingolo	Fiat	605 C super		trasporto	90,1	118
trattore	cingolo	Fiat	605 CM		frangizolle	94,3	116,3
trattore	cingolo	Fiat	605C		carrelo	98,9	116,73
trattore	cingolo	Fiat	60-65		fresa	91,7	114
trattore	cingolo	Fiat	60-65		trincia cosmeg	93	116,7
trattore	gomma	FIAT	640 DT		trasporto		88,6 110,5
trattore	gomma	FIAT	640 DT		autoricante fort botte liquame Omas	92,2	110,5
trattore	gomma	FIAT	640 DT		Mab	89,2	110,5
trattore	gomma	FIAT	640 DT		carro miscelatore Seko	87,6	110,5
trattore	gomma	FIAT	640 DT		forca Scalmana	84,4	108,4
trattore	gomma	fiat	640 DT	1976	rimorchio beranzoni	87,1	115,3
trattore	gomma	fiat	640 DT	1976	trinciastocchi nobili spandiconcime	93,6	117,1
trattore	gomma	fiat	640 DT	1976	centrifugo Lely	90,1	116,7
trattore	gomma	Fiat	640 DT		vasca uva strazzari	88,5	117,8
trattore	gomma	Fiat	640 DT		trasporto		83,4 108
trattore	gomma	Fiat	640DT	1974	rimorchio	83,5	117,5
trattore	gomma	Fiat	640DT	1974	atomizzatore	91,3	112,2
trattore	gomma	Fiat	640DT	1974	gruppo diserbo	84,1	116,5
trattore	gomma	Fiat	640DT	1974	estirpatore a 7ancore trinciasarmenti facma	87,6	117,5
trattore	gomma	Fiat	640DT	1974	TR180 caricatore frontale per	89	114,3
trattore	gomma	Fiat	670H		balle	87,6	106,7
trattore	gomma	Fiat	680 DT H		trincia	78,6	107,7
trattore	gomma	Fiat	680 DT H		spandiconcime	81,7	110,5
trattore	gomma	Fiat	680 DT H		botte	86,2	105,5
trattore	gomma	Fiat	680 DT H		con carrello	80,8	111,5
trattore	cingolo	fiat	70 C	1972	erpice a dischi nardi coltivatore a denti	97,1	118,9
trattore	cingolo	fiat	70 C	1972	elastici imat	97,2	117,1

trattore	cingolo	Fiat	70 C	1975	trasporto		93	110,5
trattore	cingolo	Fiat	70 C	1975	aratro bivo sogema 47bt4		94,9	110,5
trattore	gomma	Fiat	70/66		trasporto		84,8	114,5
trattore	gomma	Fiat	70/66		botte per trattamenti udor sigma100		85,2	114,5
trattore	gomma	Fiat	70/66		trincia stocchi nobili BNE195		87,2	114,3
trattore	gomma	Fiat	70/66		spandiconcime centrifugo Lely		86,6	114,3
trattore	gomma	Fiat	70/66 DT		falciatrice Kuhn		87,6	112,7
trattore	gomma	Fiat	70/66 DT		botte spandiletame		94,3	112,7
trattore	gomma	Fiat	70-66		trasporto		89,7	105,4
trattore	gomma	Fiat	70-66		trinciasarmenti facma TR180		91,8	103,2
trattore	gomma	Fiat	72-86 DT	1993	trasporto		92,5	110,5
trattore	gomma	Fiat	72-86 DT		trinciasarmenti facma TR180		90	119,6
trattore	gomma	Fiat	72-86DT	1993	fresatrice	bellucci	90,9	113
trattore	gomma	Fiat	72-86DT	1993	estirpatore a 7ancore rimorchio		89,9	105,6
trattore	gomma	Fiat	72-86DT	1993	spandiletame		86,2	108,8
trattore	gomma	Fiat	72-86DT	1993	atomizzatore		90,7	113,7
trattore	gomma	Fiat	780/DT		seminatrice		93,4	115,43
trattore	cingolo	Fiat	80/65		trasporto		99,4	118,2
trattore	cingolo	Fiat	80/65		erpice a dischi viviani(20 dischi)		99,6	119,14
trattore	cingolo	Fiat	80/65		seminatrice ubaldi		98,6	117,5
trattore	cingolo	Fiat	80/65		coltivatore a denti elastici Kongskilde		97,1	117,7
trattore	cingolo	Fiat	80/65		seminatrice gaspardo		95,6	116,1
trattore	cingolo	Fiat	80/65		trasporto		95	114,8
trattore	cingolo	Fiat	80/65		raccogliatrice facma		250	96,3
trattore	cingolo	Fiat	80/65		raccogliatrice facma 250 cimina		76,4	96,5
trattore	cingolo	Fiat	80/65		trinciasarmenti facma TR180		93,1	120,3
trattore	cingolo	Fiat	80/65		seminatrice		104,4	123,83
trattore	gomma	Fiat	80/66		trasporto		88,4	111,93
trattore	gomma	Fiat	80/90		carro miscelatore Seko		74	95
trattore	gomma	Fiat	80/90		barra falciante Gaspardo		90,1	107
trattore	cingolo	Fiat	80-65		trasporto		92,5	113,2
trattore	cingolo	Fiat	80-65		raccogliatrice nocciole(trattrice con motore in moto)		92,9	112,1
trattore	cingolo	Fiat	80-65		raccogliatrice nocciole(trattrice in movimento)		94,6	110,5
trattore	gomma	Fiat	80-65		trasporto		91,2	116,4
trattore	gomma	Fiat	80-65		seminatrice gaspardo		97	119,8
trattore	cingolo	Fiat	80-65		seminatrice international510		98,1	120,3
trattore	cingolo	Fiat	80-65		spandiconcime Lely		102,8	121,7
trattore	cingolo	Fiat	80-65		seminatrice international510		98,1	120,3
trattore	cingolo	Fiat	80-65		spandiconcime Lely		102,8	121,7
trattore	gomma	Fiat	80-66		trasporto		88,6	110,5

trattore	gomma	Fiat	80-66		raccogliatrice nocchie - operatore A TERRA RACCOGLIOTORE NOCCIOLE (operatore p.guida) rimorchio spandiletame	90,6	109,6
trattore	gomma	Fiat	80-66			91,2	110,6
trattore	gomma	Fiat	80-66			88,9	106,3
trattore	gomma	FIAT	80-76 DT		pianale trainato	72,7	107
trattore	gomma	Fiat	89/94DT		trasporto caricatore frontale per balle	75,3	113,4
trattore	gomma	Fiat	89/94DT			73,8	110,6
trattore	gomma	Fiat	89/94DT		giroandanatore	76,1	108,4
trattore	gomma	Fiat	89/94DT		trincia	74,7	105,2
trattore	gomma	Fiat	89/94DT		trivella	73,1	103,9
trattore	gomma	Fiat	89/94DT		barrafalcianti	72,3	105,8
trattore	gomma	Fiat	89/94DT		spandiconcime	77,6	108,2
trattore	gomma	Fiat	90/C		aratro	100,9	117,43
trattore	cingolo	FIAT	AD 12 B		trasporto	95,1	110,5
trattore	cingolo	FIAT	AD 12 B		APRIPISTA	95,6	110
trattore	cingolo	FIAT	AD 12 B		aratro trivomere	96,6	110,5
trattore	cingolo	FIAT	AD 12 B		RIPPER aratro bivomere trainato	95,9	110,5
trattore	cingolo	fiat	AD 7C			98,3	119,8
trattore	cingolo	Fiat	AD7		trasporto erpice a dischi otma(22dischi)	99,2	122,4
trattore	cingolo	Fiat	AD7			101,2	121,1
trattore	cingolo	Fiat	AD7		trasporto	89,9	111,7
trattore	cingolo	FIAT	FL 8		trasporto	90,5	110,5
trattore	cingolo	FIAT	FL 8		pala meccanica	91,8	110,5
trattore	cingolo	FIAT	FL 8		retroescavatore forca anteriore e posteriore	89,3	110,5
trattore	gomma	Fiat	780 DT	1979		89,7	112,8
trattore	cingolo	Fiat	Allis AD 7 D	1979	apripista	102,9	121,6
trattore	cingolo	Fiat Allis	120 C		frangizolle	88,6	110,7
trattore	cingolo	Fiat Allis	120C		trasporto ripuntatore Pianura Luca	88,6	110,7
trattore	cingolo	Fiat Allis	AD 10-C			98,2	118,2
trattore	cingolo	Fiat Allis	AD 10-C		frangizolle Nardi ripuntatore Pianura Luca	97,9	120,1
trattore	cingolo	Fiat Allis Fiat New- Holland	AD-14			99	118
trattore	gomma		100/90DT		carro miscelatore AGM	85,3	116,4
trattore	gomma	fiat-allis	AD14		trasporto	94,5	120,3
trattore	gomma	Ford	4830	2005	trasporto	93,8	115,2
trattore	gomma	Ford	4830	2005	spandiconcime	96,4	113,9
trattore	gomma	Ford	4830	2005	botte trattamenti	94,4	113,6
trattore	gomma	Ford	7810	1997	trasporto	83	122,3
trattore	gomma	Ford	7810	1997	pressa fieno	85,3	112,4
trattore	gomma	Ford	7810	1997	erpice a dischi	86,1	114,4
trattore	gomma	Ford	7810	1997	falciacondizionatrice	87,6	136,2
trattore	gomma	Ford	7810	1997	trinciatrice	85,2	120,5
trattore	gomma	Ford 110	cabinato	1993	trasporto	75,1	104,1
trattore	gomma	Ford 110	cabinato	1993	rimorchio ad un asse	72,8	99,6

trattore	gomma	Ford 110	cabinato	1993	carro miscelatore 84,1	76,3	110,5
trattore	gomma	Ford 110	cabinato	1993	erpice a dischi	75,4	103,6
trattore	gomma	Ford 110	cabinato	1993	forca	74,9	105,1
trattore	gomma	Ford 160	8730	1993	trasporto	76,3	101,8
trattore	gomma	Ford 160	8730	1993	rimorchio a due assi	80,3	99,3
trattore	gomma	Ford 160	8730	1993	bivomere sogema	78	104,3
trattore	gomma	Ford 160	8730	1993	carromiscelatore AGM	88,3	107,4
trattore	gomma	Ford 160	8730	1993	erpice a dischi	77,6	103,3
trattore	gomma	Goldoni	614 D compact		A VUOTO	93,1	110,5
trattore	gomma	Goldoni	614 D compact		falciacondizionatrice	95,2	110,5
trattore	gomma	Goldoni	614 D compact		fresa calderoni	94,1	110,5
trattore	gomma	Goldoni	614 D compact		trincia erba	92,7	110,5
trattore	gomma	Goldoni	614 D compact		trinciastocchi nobili	94,8	110,5
trattore	gomma	Goldoni	n.c.		spazzolatrice	90,3	108,3
trattore	cingolo	Goldoni	n.c.		atomizzatore	87,7	107,7
trattore	cingolo	Goldoni	n.c.		botte Hilary's Pagani	88,6	115,1
trattore	cingolo	Goldoni	n.c.		botte Projects Spayers Maxi 1100	84,8	113,3
trattore	gomma	Goldoni	n.c.		atomizzatore	87,7	107,7
trattore	gomma	Hurliman	XT 9104		elevatore frontale	72,2	95,6
trattore	gomma	Hurliman	XT 9104		trasporto	76,3	101,9
trattore	gomma	Hurliman	XT908		trasporto	78	108
trattore	gomma	Hurliman	XT908		seminatrice gaspardo	74	92
trattore	gomma	Hurliman	XT908		sarchiatrice gaspardo HPF6	74	90,5
trattore	gomma	Hurliman	XT908		OMB 1233 eurospand	73,9	92,1
trattore	cingolo	JD	6410		aratura con bivomere	88,6	105,1
trattore	gomma	John Deere	3140		pala	83,9	110,8
trattore	gomma	John Deere	3140		carrello	82,3	108,73
trattore	gomma	John Deere	5820		falciacondizionatrice	77	129,63
trattore	gomma	John Deere	5820		erpice rimorchio Stima	74,4	104,5
trattore	gomma	john Deere	6110		RS42/Id seminatrice	67,2	112,7
trattore	gomma	john Deere	6110		international510	70,4	112,7
trattore	gomma	john Deere	6110		trasporto	70,4	113,2
trattore	gomma	john Deere	6110		botte diserbo Hardy	69,1	102,9
trattore	gomma	john Deere	6110		rimorchio Stima RS42/Id seminatrice	62,7	112,7
trattore	gomma	john Deere	6110		international510	70,4	112,1
trattore	gomma	john Deere	6110		trasporto	70,4	113,2
trattore	gomma	John Deere	6210		atomizzatore	74,8	112,9
trattore	gomma	John Deere	6210		muletto caricatore frontale per balle	69,9	110,9
trattore	gomma	John Deere	6320		scuotitrice olice posteriore Picker	86,1	114,8
trattore	gomma	john Deere	6320			79,6	100,5
trattore	gomma	John Deere	6410		trasporto	69,4	116,3
trattore	gomma	John Deere	6410		erpice a dischi	70	116,7
trattore	gomma	John Deere	6410		Eliterra Kuhn	72	110,9

trattore	gomma	John Deere	6410	livellatrice trainata	71,4	119,3
trattore	gomma	John Deere	6505	tagliaerba .Deere 1465	90,7	112,1
trattore	gomma	John Deere	6505	erpice a denti Kongsklide 540	90,9	113,4
trattore	gomma	John Deere	6505	trasporto		84,4 106,5
trattore	gomma	john deere	6505	spandiletame Annovi	89,3	108
trattore	gomma	John Deere	6620	in sosta a m.5		77,4 94,4
trattore	gomma	John Deere	6620	in sosta a m.3 spostamenti da interno cabina		79,4 96,3
trattore	gomma	John Deere	6620	carico e trasporto fieno	69,8	103,7
trattore	gomma	John Deere	6620		71,4	111,1
trattore	gomma	John Deere	6620	erpice rotante		78,1 100,2
trattore	gomma	John Deere	6620	aratro bivomere	75,1	97,5
trattore	gomma	John Deere	6620	trasporto botte		69,1 101,2
trattore	gomma	John Deere	6620	carrello		72 106,4
trattore	gomma	John Deere	6620	frangizolle		72,4 104,6
trattore	gomma	John Deere	6620	andanatore		73,8 106,6
trattore	gomma	John Deere	6620	seminatrice		74 106,5
trattore	gomma	John Deere	6620	falciacondizionatrice	74,3	106,8
trattore	gomma	John Deere	6620	ripuntatore		72,8 103,3
trattore	gomma	John Deere	6620	triniastocchi frangizolle Nardi 28		72,6 105,7
trattore	gomma	John Deere	6910	FME	68,7	105,2
trattore	gomma	John Deere	6910	rimorchio Beranzoni	70,8	101,8
trattore	gomma	John Deere	6910	coltivatore		69,2 98,9
trattore	gomma	John Deere	6920	trasporto		71,5 112
trattore	gomma	John Deere	6920	aratura		72,6 103
trattore	gomma	John Deere	6920	frangizolle		71,5 104,7
trattore	gomma	John Deere	6920	seminatrice		71,9 105,5
trattore	gomma	John Deere	6920	rotoimballatrice	69	105
trattore	gomma	John Deere	6920	trasporto		71,4 113,2
trattore	gomma	John Deere	6920	seminatrice		74,1 102,8
trattore	gomma	John Deere	6920	pala		66,6 99
trattore	gomma	John Deere	3350 AS	seminatrice		72,6 102,73
trattore	gomma	John Deere	3350 AS	botte concime		74,1 112,33
trattore	gomma	John Deere	3350 AS	estirpatore		76,7 109,73
trattore	gomma	John Deere	3350 AS	attrezzo vibrante	76,7	111,43
trattore	gomma	John Deere	3350 AS	rullo		75,9 110,93
trattore	gomma	John Deere	5090 R	braccio J.deere 583	69,9	107
trattore	gomma	John Deere	5090 R	braccio J.deere 583 con forza	70,8	106,1
trattore	gomma	John Deere	5090 R	braccio j.deere pala	69,8	104,8
trattore	gomma	John Deere	5090 R	ranghinatore Khun GA4121 GM	71,3	101,3
trattore	gomma	John Deere	5090 R	spandiconcime Omat	70,7	99,6
trattore	gomma	John Deere	5615F	vendemmiatrice	89,6	125,9
trattore	gomma	John Deere	5615F	trincia erba seppi	88,7	117,8
trattore	gomma	John Deere	5615F	irroratrice agricolmeccanica	81,8	128,8

trattore	gomma	John Deere	5615F		zolfaratrice sarticcioi	76,7	125,9	
trattore	gomma	John Deere	7700 AS		aratro	79,6	109,63	
trattore	gomma	John Deere	7700 AS		ripper	80,3	109,33	
trattore	gomma	john Deere	8310 T		aratro	75,8	111,4	
trattore	gomma cingoli in	john Deere	8310 T		erpice	75,5	107,2	
trattore	gomma cingoli in	John Deere	8310 T		frangizolle	79,1	105,1	
trattore	gomma cingoli in	John Deere	8310 T		ripuntatore	82,4	106,7	
trattore	gomma cingoli in	John Deere	8310 T		livellatore	81,5	108,8	
trattore	gomma	John Deere	8310 T		rimorchiomonoasse	78,8	117,1	
trattore	gomma	Jonh Deere	7520		trasporto	87,6	103,9	
trattore	gomma	Jonh Deere	7520		aratro bivomere nardi4BT	88,6	105,1	
trattore	gomma	Jonh Deere	7520		aratro pentavomere J.deere A150	90,4	110,4	
trattore	gomma	Jonh Deere	7520		coltivatore john deere 210	89,2	104,9	
trattore	gomma	Jonh Deere	7520		frangizolle j.deere410 ripuntatore j.deere 4	88,5	110,5	
trattore	gomma	Jonh Deere	7520		ancore	91,4	106,1	
trattore	gomma	Kubota	B1600		carrello	84,9	111	
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT		erpice alpego RH-300	78,5	112,1	
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT		carrello per trasporto dissodatore alpego K2-	76,8	111,4	
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT		5-250	76,1	104,6	
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT		carrello per trasporto	81,5	114,5	
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT		erpice alpego RH-300	78,5	112,1	
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT		carrello	76,8	111,4	
trattore	gomma	Lamborghini	150 VDT		dissodatore alpego	76,1	104,6	
trattore	gomma	Lamborghini	660F		carrello per trasporto	93,7	114,5	
trattore	gomma	Lamborghini	660F		carrello	93,7	114,2	
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	2002	barrafalcianti	gaspardo	82,3	131,4
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	2002	rimorchio bicchi	81,5	129,6	
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	2002	ranghinatore	agra	79,7	120,9
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	2002	trinciapaglia Meat160	81,9	129,9	
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	2002	carro Unifeed italmix spandiconcime	79,7	120,1	
trattore	gomma	Lamborghini	774-80	2002	Rolex600	80,6	120,4	
trattore	gomma	lamborghini	775-F turbo		trasporto trinciasocchi facma	84,1	112,8	
trattore	gomma	lamborghini	775-F turbo		TR180BPE	95,3	116,9	
trattore	gomma	lamborghini	775-F turbo		erpice a 16 dischi viviani OS16	85,7	114,5	
trattore	gomma	lamborghini	775-F turbo		pianale trainato raccogliatrice facma	85,3	113,7	
trattore	gomma	lamborghini	775-F turbo		cimina120	81,6	101,5	
trattore	gomma	lamborghini	775-F turbo		raccogliatrice facma cimina120	87,9	105	
trattore	gomma	Lamborghini	784 DT		posto guida	91,3	110,6	
trattore	gomma	Lamborghini	784 DT		carrelo cerquetiani CACRP120B	85,8	113,9	
trattore	gomma	Lamborghini	784 DT		a 3 metri	81,4	100,5	
trattore	gomma	Lamborghini	956-100		botte	84,4	112	

trattore	gomma	Lamborghini	990-f		trincia	facma TR180BPEL	88,4	121,7
trattore	gomma	Lamborghini	990-f		falciatrice superiore	84,5		110,3
trattore	cingolo	lamborghini	C774-80		atomizzatore		91,1	114
trattore	cingolo	lamborghini	C774-80		erpicefrangizolle	99,2		121,8
trattore	cingolo	lamborghini	C774-80		coltivatore		99,5	122,4
trattore	cingolo	lamborghini	C774-80		seminatrice		99,1	120,7
trattore	cingolo	lamborghini	C774-80	1990	scavallatore viviani	94,1		117,2
trattore	cingolo	lamborghini	C774-80	1990	erpice a 20 dischi	93,7		118,1
trattore	cingolo	lamborghini	C774-80	1990	vangatrice tortella rimorchio agricolo Feba TCS60	93,6		117,5
trattore	gomma	Lamborghini	R550			89,2		115,2
trattore	gomma	Lamborghini	SLH 874/90 DT		trasporto botte diserbo carpi c130		76,9	106,1
trattore	gomma	Lamborghini	SLH 874/90 DT			77,3		101,9
trattore	gomma	Lamborghini	SLH 874/90 DT		ranghinatore Otma	76,1		106
trattore	gomma	Lamborghini	SLH 874/90 DT		rimorchio schalvenzi rotoimballatrice	76,9		104,1
trattore	gomma	Lamborghini	SLH 874/90 DT		Gallignani9250S	77,8		103
trattore	gomma	Lamborghini	SLH 874/90 DT		sollevatore nobili20- 320	70,4		94,8
trattore	gomma	Landini	10000		botte per diserbo Fullspray	91,4		112,5
trattore	gomma	Landini	10000		forche		86,3	112
trattore	gomma	Landini	8560L	1999	escavatore		84,6	116,5
trattore	gomma	Landini	Power farm 85		pala Argnani e Monti	89,5		118
trattore	gomma	Landini	Power farm 85		forca spandiconcime		83	113,6
trattore	gomma	Landini	Power farm 85		CornagliaRX850E	90,1		113,5
trattore	gomma	Landini	Power farm 85		pompa con serbatoio projects Spyers	89		111,2
trattore	gomma	Landini	Power farm 85		trincia Maschio CR botte per diserbo	89,1		114
trattore	gomma	Landini	Power farm 85		Fullspray	85,8		107,1
trattore	gomma	Landini	Power farm 85		rimorchio Francini	85,5		116
trattore	gomma	Landini	TL 40 DT/J		trasporto botte per trattamenti		80,9	106
trattore	gomma	Landini	TL 40 DT/J		udor sigma100 macchina raccogli	81		106,2
trattore	gomma	Landini	TL 40 DT/J		nocciole	98,3		119
trattore	gomma	Landini	TL 40 DT/J		fresatrice celli Hff 160 trincia erba maschio	88,6		116,5
trattore	gomma	Landini	TL 40 DT/J		TSM	90,2		114,9
trattore	gomma	Landini	TL 40 DT/J		spandiconcime		82,1	121,1
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100		trattrice con pala	87,2		111,5
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100		aratro		88,6	109,6
trattore	cingolo	Landini	Trekker 100		seminatrice Marzia seminatrice Marzia	88,1		108,8
trattore	gomma	Landini	Trekker 100		GSC285 biotrituratore Peruzzo	94,6		116,8
trattore	cingolo	Landini	Trekker 105		T3 nastro T	106,4		136,8
trattore	cingolo	Landini	Trekker 105		Lama apripista rip a carrello Dondi		89,5	108,4
trattore	cingolo	Landini	Trekker 105		Fa2a	88,5		107,8
trattore	cingolo	Landini	Trekker 105		rete affinaterra puntata	91,3		116,7
trattore	cingolo	Landini	Trekker 105		morgano 22 dischi	88,8		114,1

trattore	cingolo	Landini	Trekker 105		avvolgitelo idraulico	82,5	104,7
trattore	cingolo	Landini	Trekker 95	1999	erpice a dischi agrim	92,8	118,4
trattore	cingolo	Landini	Trekker 95	1999	zappatrice a dischi		
trattore	cingolo	Landini	Trekker 95	1999	olmi	92,3	117,6
trattore	cingolo	Landini	Trekker 95	1999	seminatrice marzia		
trattore	cingolo	Landini	Trekker 95	1999	giove	92,4	119,2
trattore	mietitrebbiatrice	Laverda	3550		mietitrebbiatrice	81,8	110,6
trattore	mietitrebbia	Laverda	MX 300		mietitrebbiatrice	80,9	108,5
trattore	mietitrebbiatrice	Laverda	mietitrebbiatrice		mietitrebbiatrice	86,5	109,5
trattore	gomma	Massey Ferguson	254		trasporto	88,4	113,1
trattore	gomma	Massey Ferguson	254		carrelo trasp. Uva	88,2	109,8
trattore	gomma	Massey Ferguson	254		botte nardi	93,1	112,5
trattore	gomma	Massey Ferguson	254		spandiconcime	92,6	111,9
trattore	gomma	Massey Ferguson	274		trasporto	86,6	108,9
trattore	gomma	Massey Ferguson	274		rimorchio	87,5	107,3
trattore	gomma	Massey Ferguson	274		aratro del Marino	92,1	109,6
trattore	gomma	Massey Ferguson	274		trinciasarmenti facma		
trattore	gomma	Massey Ferguson	274		TR180	91,7	112,8
trattore	gomma	Massey Ferguson	274		erpice a dischi	92,5	111,9
trattore	gomma	Massey Ferguson	274		trivella	91	109,7
trattore	gomma	Massey Ferguson	875	1985	seminatrice		
trattore	gomma	Massey Ferguson	875	1985	pneumatica Gaspardo	91,8	114,8
trattore	gomma	Massey Ferguson	875	1985	spandiconcime		
trattore	gomma	Massey Ferguson	394 A		SPC/600	92,2	114,9
trattore	gomma	Massey Ferguson	394 A		raccogliatrice	91,1	115,2
trattore	gomma	Massey Ferguson	394 A		trasporto	93,8	114,5
trattore	gomma	Massey Ferguson	MF 165	1967	trasporto	87,8	114,8
trattore	gomma	Massey Ferguson	MF 165	1967	ranghinatore	87,5	114,8
trattore	gomma	Massey Ferguson	MF 165	1967	spandiconcime	88,2	114
trattore	gomma	Massey Ferguson	MF 165	1967	trincia Zanon	89,7	115,7
trattore	gomma	New Holland	80-66S		trasporto	86	109
trattore	gomma	New Holland	80-66S		sfalciatrice	86,5	107,5
trattore	gomma	New Holland	80-66S		ranghinatore	86,7	107,9
trattore	gomma	New Holland	80-66S		pala	87,6	109,2
trattore	gomma	New Holland	80-66S		trincia	87,6	109,5
trattore	gomma	New Holland	88-85		frangizolle	85,4	108,8
trattore	gomma	New Holland	88-86		seminatrice	85,7	110,3
trattore	gomma	New Holland	88-87		trincia	86,2	108,8
trattore	gomma	New Holland	90 FDT		decespugliatore	becchio e mandrile	88,8 110
trattore	gomma	New Holland	T4050F		trasporto	84	104,2
trattore	gomma	New Holland	T4050F		fresatrice calderoni	80,3	103,9
trattore	gomma	New Holland	T4050F		trincia calderoni 141	90,7	117,2
trattore	gomma	New Holland	T4050F		falciatrice enoagricola rossi	81,4	104,9

trattore	gomma	New Holland New	T4050F		coltivatore a denti elastici	81	102,7
trattore	gomma	Holland New	T4050F		spandiconcime	83,3	106,5
trattore	gomma	Holland New	T4050F		spandiconcime Leli	74	110,6
trattore	gomma	Holland New	T4050F		rimorchio Menci	75,3	114,8
trattore	gomma	Holland New	T4050F		trincia	77	112,1
trattore	gomma	Holland New	T4050F		Dragone ranghinatore Cesari	80,7	113,3
trattore	gomma	Holland New	T4050F		Rake vendemmiatrice	81	107,9
trattore	cingolo	holland New	TK 95 H	2003	pellenc	90,9	121,5
trattore	cingolo	holland New	TK 95 H	2003	spandiconcime viviani	90,1	119
trattore	cingolo	holland New	TK 95 H	2003	legatrice pellenc	90,6	119,8
trattore	cingolo	holland New	TK 95 H	2003	scavallatore viviani	90,8	121
trattore	cingolo	holland	TK 95 H	2003	spingipali volentieri	91,5	122
trattore	cingolo	New holland	TK 95H	2003	prepotatrice pellenc	90,8	119,5
trattore	gomma	Holland New	TN 75 F		trincia erba nobili	82	109,33
trattore	gomma	Holland New	TN 75 F		spandiconcime	79	98,93
trattore	gomma	Holland New	TN 75 F		zolfaratrice sarticcioi	78,4	100,23
trattore	gomma	Holland New	TN 75 F		irroratrice nobili 600	80,5	116,53
trattore	gomma	Holland New	TN 75 F		scavallatore	78,8	101,63
trattore	gomma	Holland New	TN 75 F		estirpatore rinieri	79,5	102,33
trattore	gomma	Holland New	TN 75 F		rimorchio bicchi	79,4	88,33
trattore	gomma	Holland New	TN 75 F		trasporto	75,8	100,83
trattore	gomma	holland New	TN 95 F	2002	trasporto cassette uva	79,3	110,2
trattore	gomma	holland New	TN 95 F	2002	irroratrice full Spray	78,6	108,6
trattore	gomma	holland New	TN 95 F	2002	spandiconcime eurospand	79,4	109,8
trattore	gomma	holland New	TN 95 F	2002	atomizzatore Cimina	80	110,2
trattore	gomma	holland New	TN 95 F	2002	solforatrice ESS cimina	79,1	109
trattore	gomma	holland New	TS 110 A	2005	rimorchio	69,2	110,5
trattore	gomma	holland New	TS 110 A	2005	ripuntatore idraulico CRAR	69,7	110
trattore	gomma	holland New	TS 110 A	2005	trasporto grano	69	109,3
trattore	gomma	Holland New	TS 110 A		carro botte	65,8	94
trattore	gomma	Holland New	TS 110 A		ripuntatore idraulico	67,1	91,2
trattore	mietitrebbiatrice	Holland	mietitrebbiatrice		mietitrebbiatrice	78,8	107,1
trattore	gomma	OM	35-40 R		trasporto	90,5	110,5
trattore	gomma	OM	35-40 R		compressore Nobili	73	110,5
trattore	cingolo	OM	50 C	1962	seminatrice da grano	99,4	115,9
trattore	cingolo	OM	50 C	1962	rimorchio menci	98,1	115,6
trattore	cingolo	OM	50C		seminatrice	97	118,2
trattore	gomma	OM	513 R		trasporto	89,3	110,5

trattore	gomma	OM	513 R		atomizzatrice amica A 280 NP 5	94	109,9
trattore	gomma	OM	513 R		botte diserbo carpi c90	91,9	110,5
trattore	gomma	OM	513 R		botte diserbo Gambetti PM 600	90,2	105,8
trattore	gomma	OM	513 R		caricaballe N.Holland	86,6	110,5
trattore	gomma	OM	513 R		ranghinatore friuli	89,6	110,5
trattore	gomma	OM	513 R		rimorchio botte Menci	89,1	110,5
trattore	gomma	OM	513 R		rullo sogema	88	108,8
trattore	gomma	OM	750 DT S		trasporto botte diserbo carpi	89,5	110,5
trattore	gomma	OM	750 DT S		c130	91,7	110,5
trattore	gomma	OM	750 DT S		coltivatore john deere 210	91,7	110
trattore	gomma	OM	750 DT S		pressa gallignani150F	93,3	110,5
trattore	gomma	OM	750 DT S		retroiruspa Giovannetti	91,3	110,5
trattore	gomma	OM	750 DT S		rimorchio rotoimballatrice	92,1	110,5
trattore	gomma	OM	750 DT S		Gallignani9250S	92,1	110,5
trattore	gomma	OM	750 DT S		spandiconcime SPC/600	90,4	110,5
trattore	gomma	Same	75		trasporto botte	79,8	102,3
trattore	gomma	Same	75		trasporto fieno	77,7	103,9
trattore	gomma	Same	90		carrello	80,5	108,3
trattore	gomma	Same	90		trincia Facma raccogli castagna	88,3	107,9
trattore	gomma	Same	90		Facma cimina 380	87,3	110,4
trattore	gomma	Same	100.4 silver	1997	trasporto rotoimballatrice class	81,3	102,1
trattore	gomma	Same	100.4 silver	1997	rollant 44	85,5	107,6
trattore	gomma	Same	100.4 silver	1997	erpice a dischi gherardi	87,7	110,5
trattore	gomma	Same	100.4 silver	1997	rullo	85,3	108,3
trattore	gomma	Same	100.4 silver	1997	pianale	81,6	102,5
trattore	gomma	Same	100.4 silver	1997	falciatrice Omma	88,9	110,5
trattore	gomma	Same	100.4 silver	1997	botte diserbo Hardy	79,7	108,5
trattore	gomma	Same	100.4 silver	1997	spandiconcime Faza	86,9	110,5
trattore	gomma	Same	antares 110VDT	1997	trasporto	78,6	137,1
trattore	gomma	Same	antares 110VDT	1997	forca	79,6	136,2
trattore	gomma	Same	antares 110VDT	1997	falciacondizionatrice fort f-14	84	132
trattore	gomma	Same	centauro 60	1970	escavatore portato Morris AT	87,3	115,2
trattore	gomma	Same	centauro 70	1980	paletta posteriore per trasp.	84,8	116,5
trattore	gomma	Same	centauro 70	1980	trivella	85,9	105,7
trattore	gomma	Same	centauro 70	1980	cimatrice pellenc	86,9	106,9
trattore	gomma	Same	centauro 70	1980	raccolta sassi	85,3	105,1
trattore	gomma	Same	centauro 70	1980	fresa per filare olmi	87	106,1
trattore	gomma	Same	centauro 70	1980	concimazione barra falciante	84,8	104,7
trattore	gomma	Same	Corsaro		Gaspardo	92,3	111,1
trattore	gomma	Same	Corsaro		ranghinatore	92,8	111,2
trattore	gomma	Same	Corsaro		pala	89,8	112,1
trattore	gomma	Same	Corsaro		carica balle	91,9	109,4

trattore	gomma	Same	explorer	1992	barra irroratrice Hardy	84,7	119,9
trattore	gomma	Same	explorer 65		barra falciante Gaspardo	88,2	125,2
trattore	gomma	Same	explorer 65		ranghinatore spandiconcime Lely Industries	86,3	124,7
trattore	gomma	Same	explorer 65		trincia Ferri ZMT160	87,4	122,1
trattore	gomma	Same	explorer 65		morgano FA.I.M.A. botte per diserbo	88,2	124,9
trattore	gomma	Same	explorer 65		Fullsray	89,2	126,3
trattore	gomma	Same	explorer 65		ruzzo	86,1	121,2
trattore	gomma	Same	explorer 65		seminatrice	87,2	123,7
trattore	gomma	Same	explorer 65		pressa balle barrafalciante Gaspardo	88,7	124,7
trattore	gomma	Same	explorer 70	1988		94,2	114,5
trattore	gomma	Same	explorer 70	1988	rimorchio bicchi	93,5	113
trattore	gomma	Same	explorer 70	1988	ranghinatore	93,7	113
trattore	gomma	Same	explorer 80		trasporto	92,5	114,2
trattore	gomma	Same	explorer 80		trapiantatrice spapperi	83,5	102,2
trattore	cingolo	Same	explorer 80C		seminatrice	97,3	117
trattore	cingolo	Same	explorer 80C		vibrocoltivatore	98,8	118,4
trattore	cingolo	Same	explorer 80C		ripper	97,5	117,5
trattore	cingolo	Same	explorer 80C		estirpatore spandiconcime SPC/600	95,7	114,3
trattore	gomma	Same	export			89,2	113,7
trattore	gomma	Same	export		essiccatoio gt270	92,8	114,4
trattore	gomma	Stayr	8160	1985	semina erpice a dischi Nardi24	90,8	116,1
trattore	gomma	Stayr	8160	1985	D	89,4	115,8
trattore	gomma	steyr	8090		seminatrice	85,4	133
trattore	gomma	steyr	8090		spandiconcime	84,7	136,5
trattore	gomma	steyr	8090		ranghinatore	83,2	123,5
trattore	gomma	steyr	8120		carro miscelatore	86,6	110,5
trattore	gomma	Fiat	600	1971	rimorchio seminatrice Gaspardo	83,7	107,1
trattore	cingolo	Agriful	Toselli		PI450	88,9	111
trattore	mietitrebbiatrice		Hidro4		mietitrebbiatrice	74,4	107,63

RINGRAZIAMENTI: Ringrazio tutte le persone che hanno contribuito, contribuiscono e contribuiranno all'Opera.