



**Produzione documentale tecnica
sulla problematica delle vibrazioni
connessa all'uso delle macchine agricole**

Roma, marzo 2005

*Dott. Antonella Covatta – CIA Confederazione Italiana Agricoltori
P.A. Gennaro Vassalini¹ – Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione
Agricola – CRA Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Ing. Roberto Deboli² – Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra –
CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche*

¹ Si ringrazia per la realizzazione della figura in copertina Iliana Niciarelli - Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola – CRA Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura.

² Ringraziamenti da parte mia, alle persone che con il loro fattivo operare mi hanno permesso di contribuire alla stesura di questo opuscolo: Dr. Angela Calvo – DEIAFA, Università degli Studi di Torino, Dr. Christian Preti – Assegnista CNR presso l'Istituto IMAMOTER, Sig. Giuseppe Paletto – Istituto IMAMOTER.

INDICE

	Pagina
1. INTRODUZIONE	5
2. LE VIBRAZIONI: CHE COSA SONO, LA LORO TRASMISSIONE ED IL LORO EFFETTO SUL CORPO UMANO	5
2.1 Che cosa sono le vibrazioni	5
2.2 Attività lavorative e le vibrazioni	6
2.3 La trasmissione delle vibrazioni nel corpo umano	7
2.4 Effetti nocivi delle vibrazioni sul corpo umano	9
2.4.1 Vibrazioni dell'intero corpo - <i>Whole body vibration (WBV)</i>	9
2.4.2 Vibrazioni del sistema mano-braccio - <i>Hand arm vibration (HAV)</i>	10
3. PANORAMA LEGISLATIVO	12
3.1 Premessa	12
3.2 DPR 303/56	13
3.3 DLGS 626/94	13
3.4 DPR 459/96	13
3.5 Direttiva 2002/44/CE	14
3.6 Circolare INAIL n. 25 del 15.4.2004	15
4. LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA VIBRAZIONI	15
4.1 La valutazione del rischio da vibrazione ai sensi della Direttiva 2002/44/CE	15
4.2 Misure preventive	16
4.3 Sorveglianza sanitaria	17
5. LA MISURAZIONE DELLE VIBRAZIONI	17
5.1 Strumentazione per la misurazione delle vibrazioni	17
5.2 ISO 5349-1: Misura delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio	19
5.2.1 Misurazione delle vibrazioni	20
5.2.2 Criteri di valutazione del rischio	22
5.3 ISO 2631-1: Misura delle vibrazioni trasmesse al corpo intero	22
5.3.1 Misurazione delle vibrazioni	25
5.4 Norme di buona tecnica: linee guida ISPESL	26
6. VIBRAZIONI TRASMESSE DALLE MACCHINE AGRICOLE E FORESTALI	26
6.1 Vibrazioni trasmesse al corpo intero	26
6.1.1 Macchine motrici	26
6.1.2 Macchine agricole semoventi	27
6.2 Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio	29
6.2.1 Motocoltivatori	29
6.2.2 Decespugliatori	29
6.2.3 Motoseghe	29

APPENDICE

A.1 - Descrizione fisica delle vibrazioni	31
A.2 - Approfondimenti su ISO 5349-2001: misurazione dell'esposizione a vibrazioni del sistema mano-braccio	31
A.3 - Approfondimenti su ISO 2631-1997: misura delle vibrazioni trasmesse al corpo intero	36
A.4 - Istruzioni per l'utilizzo del file Excel per calcolare l'A(8) e i relativi tempi di esposizione per le vibrazioni trasmesse al corpo intero e al sistema mano-braccio	38
	40

1. INTRODUZIONE

L'esposizione umana a vibrazioni meccaniche, come noto, può rappresentare un fattore di rischio rilevante per i lavoratori esposti e la crescente rilevanza che questo rischio sta assumendo in Europa e nei paesi industrializzati, sia in termini di danni per la salute dei lavoratori esposti, che in termini di danni economici, ha portato alla stesura di normative sempre più specifiche atte a ridurlo.

Da ultimo la Direttiva 2002/44/CE del 25 giugno 2002 "sulle prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici" è la tappa fondamentale per garantire l'attuazione di specifiche misure di tutela ai fini della prevenzione dei rischi da esposizione a vibrazioni nei luoghi di lavoro.

Questo elaborato vuole essere un utile strumento per l'utilizzatore di macchine ed attrezzature che possono esporre al rischio vibrazioni nell'ambito del comparto agricolo in modo da poter essere in linea con quanto disposto dalle normative vigenti in tema di sicurezza nei luoghi di lavoro.

2. LE VIBRAZIONI: CHE COSA SONO, LA LORO TRASMISSIONE ED IL LORO EFFETTO SUL CORPO UMANO

2.1 CHE COSA SONO LE VIBRAZIONI

Nella vita quotidiana siamo esposti continuamente a diversi tipi di vibrazioni, ad esempio nelle nostre case, in automobile, durante il lavoro ecc....

Le vibrazioni meccaniche sono i movimenti oscillatori (impulsivi o costanti) di un materiale aventi carattere ripetitivo nel tempo.

Le vibrazioni meccaniche possono essere anche definite come un **movimento oscillatorio** di un **corpo solido intorno ad un punto o posizione di riferimento**.

Le loro caratteristiche fisiche sono definite dalla **frequenza f** , che è il numero di oscillazioni compiute in un secondo (espressa in cicli/s, o in hertz, Hz), dal **periodo T** , che è l'inverso della frequenza (espresso in secondi, s), dalla **lunghezza d'onda λ** , che è la distanza tra due creste d'onda successive (espressa in metri, m), dall'**ampiezza A** , che è il valore massimo che la grandezza misurata può presentare (espresso in m, m/s, m/s²).

I fenomeni fisici associati alle vibrazioni sono essenzialmente tre: accelerazione, velocità e spostamento. Per la semplicità d'uso e l'efficacia dei sensori disponibili per la misura, l'accelerazione è il fenomeno fisico che viene normalmente utilizzato per caratterizzare le vibrazioni, e viene espressa in m/s².

È da evidenziare che il potenziale lesivo degli strumenti vibranti è correlato quasi esclusivamente alla frequenza ed all'accelerazione.

Mentre dal punto di vista ergonomico oltre alle caratteristiche elencate vanno anche considerate il tempo di esposizione e l'asse di percezione.

2.2 ATTIVITÀ LAVORATIVE E LE VIBRAZIONI

Dovendo inquadrare, in modo sintetico, le caratteristiche vibratorie più salienti che si riscontrano nel vasto e diversificato mondo delle macchine agricole è necessario stabilirne una tipologia di massima:

- uomo appiedato che opera tenendo sollevata la macchina da terra tramite due impugnature (motoseghe, decespugliatori, smerigliatrici angolari ecc.);
- uomo appiedato che segue e indirizza la macchina appoggiata sul terreno ed opera guidandola tramite manubri (motocoltivatori, motofalciatrici, troncatrici, martelli demolitori ecc.);
- uomo portato dalla macchina che opera seduto guidandola tramite volante (trattori agricole e stradali, macchine movimento terra, carrelli industriali ecc.).

Stabilita detta tipologia è necessario avere una certa conoscenza delle macchine, per inquadrare in modo univoco ed esauriente i regimi vibratorie che le animano, e del loro rapporto con l'uomo che le guida e che ne diviene parte integrante.

La trasmissione delle vibrazioni dipende in linea di massima dalla postura del soggetto, dalle sue caratteristiche fisiche (massa dell'intero corpo e delle sue masse componenti, impedenza meccanica della mano, ecc.) ed in particolare dalla direzione della sollecitazione.

Nei primi due casi, dunque, sono prevalenti le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio, mentre nel terzo quelle che interessano l'intero corpo. (tabella 1 e 2).

Tabella 1 - ESEMPI DI SORGENTI DI RISCHIO DI ESPOSIZIONE A VIBRAZIONI DEL SISTEMA MANO-BRACCIO IN AGRICOLTURA

TIPOLOGIA DI UTENSILE	PRINCIPALI LAVORAZIONI
Utensili di tipo percussorio	
Trapani a percussione	Lavorazioni meccaniche
Avvitatori ad impulso	Lavorazioni meccaniche
Cesoie	Lavorazioni di potatura
Bacchiatrici	Lavorazioni di raccolta delle olive
Utensili di tipo rotativo	
Levigatrici orbitali e roto-orbitali	Lavorazioni meccaniche e del legno
Seghe circolari e seghetti alternativi	Lavorazioni del legname
Smerigliatrici angolari ed assiali	Lavorazioni meccaniche e del legno
Smerigliatrici dritte per lavori leggeri	Lavorazioni meccaniche e del legno
Motoseghe	Lavorazioni agricole-forestali
Decespugliatori	Manutenzione del verde e lavorazioni forestali
Altri macchinari	
Tagliaerba	Manutenzione del verde
Motocoltivatori	Lavorazioni del terreno

Tabella 2 - ESEMPI DI SORGENTI DI RISCHIO DI ESPOSIZIONE A VIBRAZIONI DEL CORPO INTERO IN AGRICOLTURA

TIPOLOGIA DI MACCHINA	PRINCIPALI LAVORAZIONI
Macchine agricole e forestali	
Trattrici gommate	Lavorazioni del terreno e trasporti
Trattrici cingolate	Lavorazioni del terreno
Mietitrebbiatrici	Lavorazioni di raccolta
Macchine semoventi (es. carri miscelatori, rasaerba, vendemmiatrici, macchine per la difesa delle colture ecc.)	Lavorazioni agricole varie
Muletti	Lavorazioni di movimentazione dei carichi
Macchine movimento terra	Lavorazioni agricole e forestali

2.3 LA TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI NEL CORPO UMANO

Il corpo umano può essere considerato un sistema molto particolare perché composto da una serie di sottoinsiemi con proprietà differenti e costantemente interagenti. Ogni organo od apparato ha massa, caratteristiche elastiche e smorzanti diverse.

In un sistema con tali caratteristiche, sottoposto ad una sollecitazione avente uno spettro distribuito nell'intervallo tra 2 e 80 Hz, i diversi organi possono essere sottoposti a sollecitazioni differenziate e compiere spostamenti relativi l'uno rispetto all'altro.

Per sollecitazioni a frequenza inferiore a 2 Hz l'organismo si comporta come una massa unica, seguendo in modo omogeneo gli spostamenti della struttura vibrante con la quale è in contatto.

Le vibrazioni a frequenza superiore a 80 Hz coinvolgono la zona prossima all'area di ingresso e gli strati sottostanti, grazie alle proprietà di attenuazione, provocano un rapido smorzamento della sollecitazione che non si propaga in profondità nell'organismo.

La risposta della vibrazione dipende anche dalla direzione d'azione della vibrazione. La sollecitazione verticale che si trasmette dalla zona di appoggio verso il capo per i soggetti in posizione eretta o seduta, provoca risposte differenti rispetto a quelle generate da una sollecitazione che agisce sul piano orizzontale.

In figura 1 è riportato un modello semplificato del corpo umano, dove i numeri rappresentano le gamme di frequenza di risonanza, espresse in Hz, di alcuni componenti.

Le vibrazioni sono distinte in:

- **Vibrazioni inferiori a 2 Hz:** agiscono su tutto l'organismo. Sono provocate da alcuni mezzi di trasporto e determinano nell'uomo effetti noti come "mal di mare", "mal d'auto", ecc.
- **Vibrazioni comprese fra 2 e 20 Hz:**
 1. agiscono su tutto l'organismo e sono prodotte dagli autoveicoli, dai treni, dai trattori, dalle gru, ecc. e sono trasmesse all'uomo attraverso i sedili e il pavimento e determinano nell'uomo alterazioni degenerative a carico della colonna vertebrale;

2. agiscono su settori limitati del corpo e sono prodotte da utensili come martelli, scalpelli pneumatici ecc. e determinano sull'uomo lesioni osteoarticolari a carico dell'arto superiore.

- **Vibrazioni superiori a 20 Hz:** prodotte principalmente da utensili portatili e trasmesse agli arti superiori. Agiscono:

1. su settori limitati del corpo e sono prodotte da trapani elettrici, motoseghe, ecc e determinano sull'uomo lesioni osteoarticolari a carico dell'arto superiore;

2. su settori limitati del corpo e sono prodotte da perforatrici e frese e determinano sull'uomo disturbi neurovascolari (angioneurosi) a carico dell'arto superiore.

Per tenere conto, poi, della diversa incidenza che le frequenze, comprese nella banda 1-80 Hz, hanno sugli effetti psicofisici indotti sull'uomo dalle vibrazioni interessanti tutto il corpo (banda che si estende sino a 1250 Hz per il sistema mano-braccio), i valori efficaci di accelerazione vengono attenuati in modo differenziato, eccezion fatta per la banda di frequenza 4-8 Hz (banda che diviene 6,3-16 Hz per il sistema mano-braccio) mediante una serie di filtri e i segnali, così ottenuti, sono detti di accelerazione efficace ponderata in frequenza.

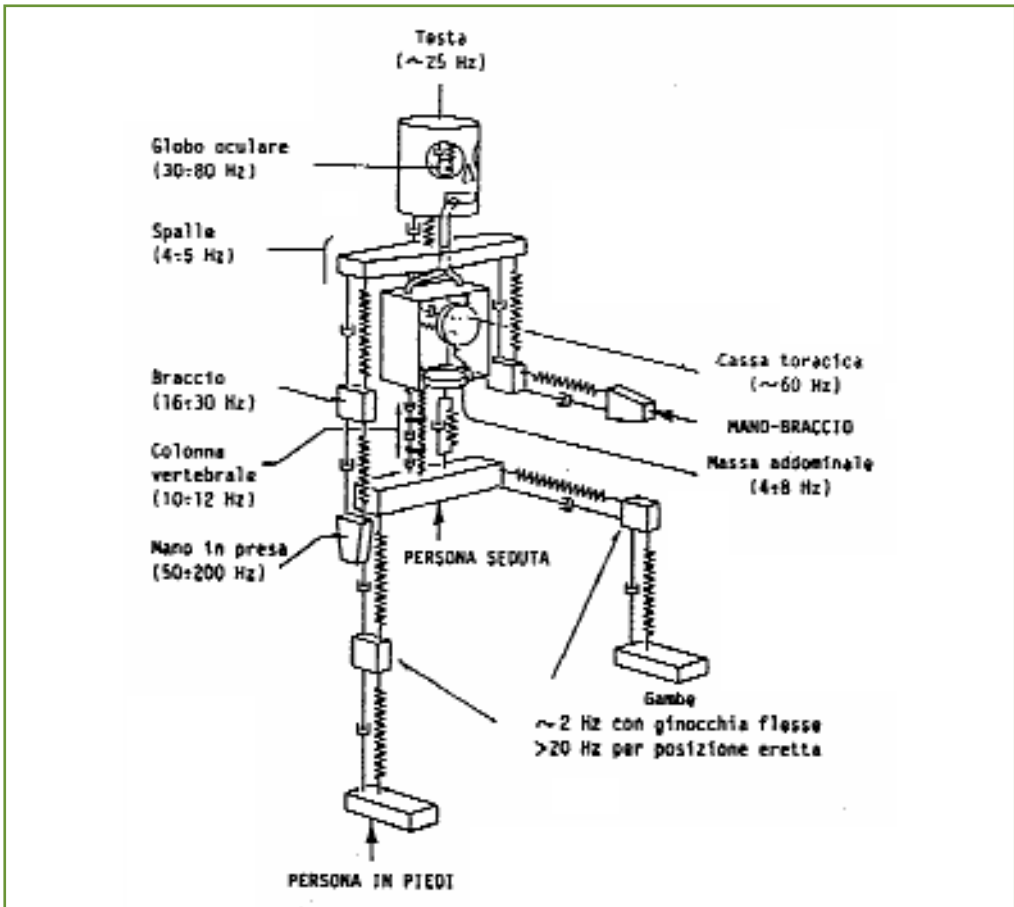


Fig. 1 - Modello meccanico per il corpo umano

2.4 EFFETTI NOCIVI DELLE VIBRAZIONI SUL CORPO UMANO

La vibrazione è in genere un effetto secondario, non voluto, che può generare problematiche di vario tipo.

Le problematiche che insorgono per effetto della vibrazione sul corpo umano sono di diversa entità e qualità.

La vibrazione può essere fonte di fastidio se interferisce con lo svolgimento desiderato di una attività, basti pensare alla difficoltà che si ha nella lettura sui mezzi di trasporto che può causare malessere momentaneo, come la cinetosi.

La vibrazione può causare affaticamento con progressiva riduzione nelle capacità di svolgere un'attività come ad esempio essere causa primaria o scatenante di patologie circolatorie a carico degli arti, specie superiori.

Si rende, comunque, necessario differenziare la valutazione dell'esposizione umana alle vibrazioni, in considerazione alle frequenze attenuate e a quelle trasmesse da parte dei distretti del corpo umano, in due tipologie: sistema mano-braccio e corpo intero.

Per le problematiche connesse con l'interazione tra organismo umano e vibrazione bisogna differenziare la valutazione dell'esposizione umana alle vibrazioni in due tipologie:

- ***Vibrazioni dell'intero corpo – whole body vibration (WBV)***
- ***Vibrazioni del sistema mano-braccio – hand arm vibration. (HAV)***

2.4.1 Vibrazioni dell'intero corpo - Whole body vibration (WBV)

Per vibrazione dell'intero corpo si intende una sollecitazione meccanica di natura oscillatoria che coinvolge l'organismo umano nella sua totalità. Ciò è quanto avviene su un mezzo di trasporto (autobus, camion, autovettura), su un mezzo movimento terra, su un trattore (a ruote o cingolato) nelle lavorazioni agricole, su mezzi di trasporto militari.

L'esposizione a questa tipologia di vibrazioni può comportare per i lavoratori esposti l'insorgenza di disturbi e lesioni a carico del rachide lombare ed anche, come segnalato da alcuni studi, alterazioni del distretto cervico-brachiale (disturbi a tale livello sono legati oltre che alle vibrazioni anche a diversi fattori ergonomici quali torsione e rotazione del capo, movimenti ripetitivi del sistema mano-braccio-spalla per azionare i comandi del veicolo), dell'apparato gastroenterico (disturbi digestivi per aumento dell'attività gatro-intestinale come gastrite ed ulcera peptica), del sistema venoso periferico (disturbi circolatori quali emorroidi e varici arti inferiori legati oltre che alle vibrazioni anche alla prolungata postura assisa), dell'apparato riproduttivo femminile (disturbi del ciclo mestruale, processi infiammatori, anomalie del parto ed aborto spontaneo rilevati in donne esposte a vibrazioni con frequenze tra 40 e 55 Hz) e del sistema cocleo-vestibolare (con spostamento temporaneo della soglia uditiva alle alte frequenze e iporeflettività vestibolare).

Tuttavia, una relazione causale tra esposizione professionale a vibrazioni trasmesse a tutto il corpo e patologia del rachide lombare è l'unica adeguatamente documentata da studi di biodinamica, che hanno evidenziato che questa tipologia di vibrazioni può determinare lesioni dell'apparato muscolo-scheletrico del rachide

tramite fenomeni di risonanza della colonna vertebrale nell'intervallo tra 3 e 10 Hz a cui segue un danno strutturale dei corpi vertebrali, dei dischi ed articolazioni intervertebrali ed una eccessiva risposta contrattile dei muscoli paravertebrali conseguente ad intenso stimolo vibratorio con fenomeni di tensione (strain) ed affaticamento muscolare.

Gli studi sino ad ora eseguiti hanno dimostrato una maggior frequenza di lombalgie e lombosciatalgie, di alterazioni degenerative della colonna vertebrale (spondiloartrosi, spondilosi, osteocondrosi intervertebrale), discopatie ed ernie discali lombari e/o lombosacrali nei conducenti dei mezzi di cui anzidetto ed il rischio di insorgenza di patologie del rachide lombare aumenta con l'aumentare della durata e dell'intensità dell'esposizione a tali vibrazioni.

Il ruolo che le vibrazioni rivestono nella eziopatogenesi delle alterazioni del rachide lombare non è ancora completamente chiarito in quanto la guida di veicoli e macchine quali quelle enunciate comporta non solo l'esposizione a vibrazioni, ma anche a fattori di stress ergonomico quali ad esempio una prolungata posizione seduta e i frequenti movimenti di flessione e torsione del rachide, nonché a fattori di natura extraoccupazionale quali l'età, la costituzione, eventuali pregressi traumi della colonna vertebrale, le abitudini voluttuarie ecc.

Comunque, lo stato attuale delle conoscenze sulla risposta del corpo umano all'esposizione a vibrazioni è ancora alquanto incompleto e lacunoso per poter consentire la formulazione di modelli biomeccanici idonei alla definizione di criteri di valutazione del rischio esaustivi. Ciò in quanto molteplici fattori di natura fisica, fisiologica e psicofisica, quali ad esempio: intensità, frequenza, direzione delle vibrazioni incidenti, costituzione corporea, postura, suscettibilità individuale, risultano rilevanti in relazione alla salute ed al benessere dei soggetti esposti. Inoltre, alcuni degli effetti possono riscontrarsi in concomitanza di altri, ed influenzarne l'insorgenza.

2.4.2 Vibrazioni del sistema mano-braccio - *Hand arm vibration (HAV)*

Per vibrazione del sistema mano-braccio si intende una sollecitazione meccanica di natura oscillatoria che penetra nell'organismo attraverso le mani e le braccia, lungo le quali si propaga, attenuandosi gradatamente. Questa tipologia di vibrazioni coinvolge entrambi gli arti impegnati nella presa e nell'esercizio della lavorazione, ma l'interessamento non sempre è simmetrico. In conseguenza dell'assorbimento progressivo dell'energia trasmessa dalla vibrazione da parte del tessuto osseo e dai muscoli, gli effetti della vibrazione del sistema mano-braccio si esauriscono al livello dell'articolazione scapolo-omerale o della colonna vertebrale cervicale.

Sono molti i processi lavorativi o gli attrezzi utilizzati nelle attività sia industriali che agricole (motoseghe, decespugliatori, motozappe, motocoltivatori, bacchiatici, cesoie pneumatiche ecc.) che espongono gli arti superiori (in specie le mani) degli operatori alle vibrazioni.

L'esposizione alle vibrazioni interessanti le mani è facilmente riscontrabile in quelle attività che prevedono l'utilizzo di quegli attrezzi, sorretti e guidati a mano, che normalmente vengono impiegati durante svariate lavorazioni. Tali attrezzi sono muniti di un motore interno in grado di generare atti rotativi o percussivi.

È stato stimato che dal 1,7% al 3,6% dei lavoratori europei ed americani sono potenzialmente esposti ai danni generati dalle esposizione alle vibrazioni trasmesse alle mani.

L'esposizione a questa tipologia di vibrazioni può comportare per i lavoratori esposti disturbi neurologici e circolatori digitali e lesioni osteoarticolari a carico degli arti superiori e cioè la "sindrome da vibrazioni mano-braccio".

La componente vascolare di questa sindrome è rappresentata da un fenomeno di Raynaud di tipo occupazionale – sindrome del dito bianco-. Questo insorge dopo un'esposizione per circa 2-5 anni a vibrazioni con frequenze tra 40 e 300 Hz ed un'ampiezza da 0,2 a 0,5 mm.

Il microtraumatismo vibratorio determina una ipereccitazione del sistema nervoso periferico (SNP) con vasocostrizione eccessiva (per aumento della liberazione di noradrenalina a livello delle terminazioni nervose periferiche) e conseguente compromissione della circolazione nutrizionale cutanea – dito bianco. A questa si associa perdita di sensibilità sulle dita delle mani che assumono inizialmente un colorito pallido, poi cianotico e poi iperemico. Il soggetto avverte sensazione di freddo, parestesie, fitte dolorose alle dita delle mani ed agli avambracci, ipoparestesie, riduzione della sensibilità tattile e termica e limitazione della capacità di manipolazione fine. Le turbe neurosensitive tendono ad essere localizzate alle estremità distali degli arti superiori, coinvolgendo il territorio di distribuzione del nervo mediano e ulnare e talora anche quello radiale.

Vari autori identificano tre fasi di progressione della Sindrome da vibrazioni mano-braccio riconoscendo nella durata e nella qualità dell'esposizione la causa principale dei tempi di evoluzione.

Nella I° fase vi è una lieve alterazione della microcircolazione a carico della mano e del braccio (spasmo arteriolare di lieve entità e di breve durata) con associate alterazioni della sensibilità tattile e dolorifica, specie dopo l'uso dello strumento vibrante e dopo esposizione a freddo.

Nella II° fase vi è una accentuazione dei sintomi già presenti nella I° fase con associate parestesie alle mani, a tutto l'arto superiore con intorpidimento e facile stancabilità della muscolatura delle braccia e sensazione di freddo. Le mani appaiono pallide, cianotiche e fredde.

Nella III° fase si manifestano intensi spasmi arteriolari durante l'attività lavorativa, con riduzione della forza prensile delle mani e fitte dolorose alle mani e agli arti superiori, tali da indurre l'operaio a sospendere il lavoro con lo strumento vibrante. In tale fase le parestesie sono costanti e la sintomatologia si manifesta anche dopo molte ore dopo l'interruzione del lavoro. Le dita sono fredde, pallide ed è presente ipoestesia a carico delle mani, degli avambracci e poi di tutto il braccio.

Le lesioni osteoarticolari sono di tipo cronico-degenerativo a carico dei segmenti ossei ed articolari degli arti superiori. In particolare si rilevano:

- alterazioni trofiche ossee del carpo, metacarpo, delle epifisi distali del radio e dell'ulna come ad esempio la decalcificazione del carpo con danno del semilunare (malattia di Kienbok), o con danno dello scafoide (malattia di Kohler);
- alterazioni articolari e dei tendini, come artrosi delle mani, dei polsi, dei gomiti, delle spalle, del tratto di rachide cervicale e del I° tratto di rachide dorsale e retrazione progressiva dell'aponeurosi palmare (malattia di Dupuytren).

Di recente si è posta attenzione ad altri disturbi correlati all'esposizione di vibrazioni del sistema mano-braccio. Sono stati, infatti, individuati vari quadri patologici muscolo-scheletrici (sindrome cervicale, tendinite, peritendiniti, tenosinoviti) e sindromi da intrappolamento dei tronchi nervosi (sindrome del tunnel carpale e sindrome di Guyon).

Nell'eziopatogenesi di queste affezioni oltre alle vibrazioni giocano un ruolo rilevante anche fattori ergonomici quali postura incongrua, movimenti ripetitivi, elevata forza di prensione e di spinta sull'impugnatura degli utensili.

3. PANORAMA LEGISLATIVO

3.1 PREMESSA

L'esposizione umana a vibrazioni meccaniche può essere un fattore di rischio elevato per i lavoratori esposti alle stesse. Questo è il motivo per cui a livello legislativo sono state create leggi e decreti specifici.

L'angiopatia e l'osteoartropatia dovute all'esposizione ripetuta a vibrazioni sono riconosciute come malattie professionali dalla Commissione dell'UE (90/326/EEC, Annex I, voci 505.01 e 505.02) e dalla legislazione italiana (DPR 336/94: voce 52 della tabella relativa a malattie professionali nell'industria e voce 27 della tabella relativa a malattie professionali nell'agricoltura, limitatamente alle lavorazioni forestali con uso di motoseghe portatili; DM del 27/4/04 del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali che prevede l'obbligo di denuncia, ai sensi dell'art.139 del TU 1124/65 e succ. mod. ed integrazioni, al gruppo 2-malattie da agenti fisici, la cui origine lavorativa è di elevata probabilità, di patologie correlate all'esposizione di vibrazioni meccaniche trasmesse al sistema mano-braccio e al gruppo 2-malattie da agenti fisici, la cui origine lavorativa è di limitata probabilità, di patologie correlate all'esposizione di vibrazioni meccaniche trasmesse al corpo intero per le attività di guida di automezzi pesanti e conduzione di mezzi meccanici).

La legislazione italiana vigente in materia di vibrazioni, attualmente tratta soltanto marginalmente le problematiche inerenti il rischio da vibrazioni, in attesa del recepimento della direttiva Europea specifica prevista per luglio 2005.

Per il rischio da vibrazioni, infatti, è ancora in vigore l'art.24 del DPR 303/56 che recita: "Nelle lavorazioni che producono scuotimenti, vibrazioni o rumori dannosi ai lavoratori, devono adottarsi i provvedimenti consigliati dalla tecnica per diminuirne l'intensità".

Il D.Lgs 626/94, art.4, impone al datore di lavoro la valutazione di tutti rischi presenti in azienda e di attuare le misure appropriate di prevenzione, protezione e sorveglianza sanitaria e quindi prevede anche di valutare il rischio vibrazioni.

Il DPR 459/96 recepimento della “direttiva macchine” stabilisce i requisiti essenziali delle macchine, tra cui le vibrazioni, per la libera circolazione sul mercato europeo.

A livello Europeo è dal 1993 che si susseguono proposte di direttiva sulla tutela del lavoratore dai rischi derivanti dall’esposizione ad agenti fisici e la recente Direttiva 2002/44/CE rappresenta il passo fondamentale necessario per garantire l’attuazione di specifiche misure di tutela ai fini della prevenzione del rischio da esposizione a vibrazioni nei luoghi di lavoro e la stessa dovrà essere recepita dagli stati membri dell’UE entro il 6 luglio 2005.

Nell’attesa della direttiva l’ISPESL in Italia ha costituito un gruppo di lavoro formato da esperti di Università, Enti di ricerca, Regioni, ASL ecc. e nel gennaio del 2000 ha pubblicato delle Linee Guida per la valutazione del rischio da vibrazioni negli ambienti di lavoro.

3.2 DPR 303/56

Art. 24 del DPR 303/56 relativo a “Rumori e scuotimenti”:

“Nelle lavorazioni che producono scuotimenti, vibrazioni o rumori dannosi ai lavoratori, devono adottarsi i provvedimenti consigliati dalla tecnica per diminuirne l’intensità”.

3.3 DLGS 626/94

Questo prevede l’obbligo per il datore di lavoro di valutare il rischio e di attuare le appropriate misure di prevenzione, protezione e sorveglianza sanitaria anche ai fini dell’esposizione professionale a vibrazioni.

3.4 DPR 459/96

Detto DPR ha recepito in Italia la “Direttiva macchine” (89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE, 93/68/CEE) e stabilisce i requisiti essenziali cui devono rispondere i macchinari per poter circolare sul mercato europeo, in relazione alla sicurezza intrinseca degli stessi ed alla tutela da rischi specifici associati al loro uso.

Il paragrafo 1.5.9 della Direttiva Macchine così recita: “La macchina deve essere progettata e costruita in modo tale che i rischi dovuti alle vibrazioni trasmesse dalla macchina siano ridotti al livello minimo, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità dei mezzi atti a ridurre le vibrazioni, in particolare alla fonte”.

Il paragrafo 2.2. della stessa Direttiva dal titolo “Macchine portatili tenute o condotte a mano” impone ai costruttori di dichiarare, tra le informazioni incluse nell’istruzione per l’uso, “Il valore medio quadratico ponderato in frequenza dell’accelerazione cui sono esposte le membra superiori quando superi i $2,5 \text{ m/s}^2$. Se l’accelerazione non supera i $2,5 \text{ m/s}^2$ occorre segnalarlo”.

Per quanto riguarda il corpo intero il paragrafo 3.6 al punto 3.6.3 recita che nel libretto delle istruzioni per l’uso della macchina deve essere riportato il valore quadrati-

co medio ponderato, in frequenza, della accelerazione cui è sottoposto il corpo (piedi o parte seduta) quando superiori $0,5 \text{ m/s}^2$; se tale livello è inferiore o pari a $0,5 \text{ m/s}^2$, occorre indicarlo. Allorché non sono applicate le norme armonizzate, i dati sulle vibrazioni devono essere misurati usando il codice di misurazione più appropriato adeguato alla macchina.

3.5 DIRETTIVA 2002/44/CE

La Dir. 2002/44/CE del 25.6.02, che dovrà essere recepita dall'Italia entro il 6 luglio 2005, definisce:

- **Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio:** le vibrazioni meccaniche che comportano un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici o muscolari.
- **Vibrazioni trasmesse al corpo intero:** le vibrazioni meccaniche che comportano rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare lombalgie e traumi del rachide.

Campo d'applicazione della Direttiva 2002/44/CE

È generale e comprende tutte le attività in cui i lavoratori sono esposti o possono essere esposti a rischi derivanti da vibrazioni meccaniche durante il lavoro.

Valori limite di esposizione

I valori di accelerazione cui fare riferimento nel caso di esposizione sono suddivisi in tre fasce:

1. **fascia di sicurezza:** per essa non è prevista l'insorgenza di patologie relativamente al tipo di esposizione per un individuo in condizioni normali di salute;
2. **fascia di attenzione:** essa fa scattare l'azione e si devono intraprendere tutte quelle procedure che sono volte a ridurre l'esposizione;
3. **fascia di pericolo:** prevede l'interruzione dell'attività lavorativa perché viene superato il valore limite.

Le grandezze fisiche su cui sono stati posti questi limiti sono definite nell'allegato della Direttiva e per il loro calcolo si fa riferimento alle norme ISO 2631 e 5349.

Sono enunciate formule per il calcolo dell'esposizione riferita alle 8 ore di lavoro giornaliero. Per particolari situazioni è ammesso parametrare l'esposizione ad un valore settimanale. I valori di accelerazione che individuano le fasce di esposizione sono:

Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio:

- valore giornaliero riferito ad 8 ore di esposizione che fa scattare l'azione prevenzionistica: $2,5 \text{ m/s}^2$.
- valore limite giornaliero riferito ad 8 ore di esposizione: 5 m/s^2 ;

Vibrazioni trasmesse al corpo intero:

- valore limite giornaliero riferito ad 8 ore di esposizione: $1,15 \text{ m/s}^2$;
- valore giornaliero riferito ad 8 ore di esposizione che fa scattare l'azione prevenzionistica: $0,5 \text{ m/s}^2$.

Questa direttiva obbliga il datore di lavoro a valutare il rischio da vibrazioni presenti nell'ambito delle lavorazioni svolte con macchine ed attrezzature nella sua azienda.

Nella direttiva è indicato un periodo transitorio di 5 anni a partire dal 6 luglio 2005 nel quale si potranno utilizzare attrezzature di lavoro (messe a disposizione dei lavoratori prima del 6 luglio 2007) le cui caratteristiche tecnico-costruttive non permettano di rispettare i valori limite previsti nella direttiva stessa. Per le attrezzature agricolo-forestali, è previsto un ulteriore periodo transitorio di altri 4 anni al massimo.

Per il settore della navigazione marittima ed aerea è prevista deroga applicativa.

3.6 CIRCOLARE INAIL N. 25 DEL 15.4.2004

Con la circolare 25/04 l'INAIL ha modificato le modalità della trattazione delle pratiche di malattie del rachide da sovraccarico biomeccanico, cambiando l'iter per il riconoscimento dell'origine professionale di queste patologie (circ. INAIL 81/00).

Nella circolare vengono affrontati la valutazione del rischio professionale, il quadro clinico e l'iter diagnostico che ogni pratica di malattie del rachide da sovraccarico biomeccanico deve seguire ai fini dell'indennizzo.

In merito alla **valutazione del rischio professionale**, le condizioni di rischio da prendere in considerazione ai fini del riconoscimento dell'origine professionale della malattia sono le **vibrazioni trasmesse al corpo intero (WBV)** e la **movimentazione manuale dei carichi (MMC)**.

In questa sede si riporta solo quanto esplicitato per la malattia da vibrazioni trasmessa al corpo intero.

Le più comuni attività lavorative che comportano il rischio da esposizione a WBV sono quelle connesse alla guida dei mezzi di trasporto e delle macchine semoventi, industriali ed agricole.

Per la valutazione del rischio assumono rilievo la durata e l'intensità dell'esposizione così come riportato nella direttiva 2002/44/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da agenti fisici.

Ai fini dell'eventuale riconoscimento della natura professionale della malattia, l'INAIL indica come compatibile un periodo di esposizione al rischio di almeno 5 anni con valori di A(8) che si avvicinano al valore limite imposto dalla direttiva 2002/44/CE (1,15 m/s²).

4. LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA VIBRAZIONI

4.1 LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA VIBRAZIONI AI SENSI DELLA DIRETTIVA 2002/44/CE

Il datore di lavoro deve essere in possesso di una valutazione dei rischi e precisare quali misure devono essere adottate.

Per poter valutare correttamente il rischio da esposizione a vibrazioni è necessario che il datore di lavoro:

1. identifichi le fasi lavorative comportanti l'esposizione a vibrazioni e valuti i tempi di esposizione effettiva a vibrazioni associati a ciascuna fase;
2. individui macchinari ed utensili utilizzati in ciascuna fase.

Il datore di lavoro dovrà quindi acquisire le seguenti informazioni:

- **Tipologia di macchinari vibranti usati e principali utensili ad essi collegati e modalità di impiego di ciascun utensile.**
- **Condizioni operative ove siano percepite le vibrazioni di maggiore intensità da parte degli operatori.**
- **Livelli di vibrazioni** (espressi come accelerazione ponderata in m/s^2). Questi livelli devono risultare dalla certificazione rilasciata dal costruttore della macchina o della attrezzatura. Infatti, le macchine e le attrezzature devono essere certificate, sotto l'aspetto vibrazionale, prima della loro messa in commercio tramite le norme ISO ed EN. In assenza di tale certificazione, per macchine prodotte prima del recepimento della Direttiva 392 del 1989, i livelli di vibrazione possono essere desunti dai dati di letteratura o tramite misure effettuate durante le fasi lavorative.
- **Tempo di impiego medio per lavoratore espresso in ore-giorno, giorni-anni e anzianità lavorativa nella mansione comportante esposizione a questo rischio.**
- **Manutenzione e vetustà del mezzo.**
- **Eventuale addestramento specifico effettuato dal lavoratore.**
- **Tipo di terreno: es. terreni non lavorati e /o ricchi di scheletro.**
- **Sinergismo con altri fattori di rischio: es. basse temperature.**

È possibile effettuare una valutazione del rischio da vibrazioni senza misurazioni utilizzando i dati delle linee guida ISPEL o della banca dati europea del National Institute for Working Life North (<http://umetech.niwl.se/vibration/>), ove sono riportati i valori ponderati in frequenza delle accelerazioni rilevate sulle impugnature di macchinari ed utensili di diffuso impiego industriale e sui sedili di macchinari o veicoli di comune impiego in differenti comparti produttivi.

L'uso di tali dati può consentire di stimare preliminarmente, evitando di effettuare misurazioni spesso difficili e costose, se e in che misura il livello di esposizione a vibrazioni del lavoratore riferita al tempo effettivo di esposizione superi o meno i livelli d'azione e limiti stabiliti dalla direttiva 2002/44/CE.

In allegato viene distribuito anche un file in excel "calcolo dell'esposizione a vibrazioni" per determinare l'A(8) e calcolare i tempi massimi di utilizzo giornalieri per non superare il valore di sicurezza, il valore di azione e il valore limite.

4.2 MISURE PREVENTIVE

Quando i valori limite di esposizione sono superati il datore di lavoro elabora e applica un programma di misure tecniche e/o organizzative, volte a ridurre al minimo l'esposizione alle vibrazioni meccaniche e i rischi che ne conseguono a mezzo di:

- **sostituzione delle attrezzature più vecchie con modelli ad emissione di livelli inferiori di vibrazioni: trattrici con assale ammortizzato, cingoli in gomma,**

scelta della tipologia di pneumatici con caratteristiche di attenuazione delle vibrazioni;

- **programmazione periodica della manutenzione dei mezzi (es. verifica dei livelli della pressione di gonfiaggio dei pneumatici, funzionalità del sedile, equilibratura delle parti rotanti ecc.);**
- **organizzazione del lavoro in modo da ridurre i tempi di esposizione nelle operazioni a maggior rischio con opportune pause dal lavoro;**
- **utilizzo di Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) anti-vibrazioni quali guanti antivibranti (certificati secondo la norma europea armonizzata EN ISO 10819:1996);**
- **fornitura di attrezzature accessorie per ridurre i rischi di lesioni provocate da vibrazioni come ad esempio sedili e pneumatici che attenuino efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero o maniglie che riducano la vibrazione trasmessa al sistema mano-braccio;**
- **adeguata formazione ed informazione dei lavoratori per insegnare agli stessi ad utilizzare correttamente e in modo sicuro le attrezzature di lavoro, riducendo al minimo l'esposizione a vibrazioni meccaniche.**

4.3 SORVEGLIANZA SANITARIA

È tesa alla prevenzione ed alla diagnosi precoce di ogni danno connesso all'esposizione a vibrazioni meccaniche.

I lavoratori esposti ad un livello di vibrazioni meccaniche superiore a $2,5 \text{ m/s}^2$ (per sistema braccio) e $0,5 \text{ m/s}^2$ (per corpo intero) hanno diritto ad essere sottoposti a sorveglianza sanitaria adeguata.

- Una sorveglianza sanitaria adeguata può prevedere un supplemento di indagini specialistiche quali ad esempio:
 1. cold test (perfrigerazione locale con osservazione delle variazioni di colorito della cute delle dita e delle mani), che se positivo supporta in modo definitivo la diagnosi clinico-anamnestica di fenomeno di Raynaud;
 2. termometria;
 3. pletismografia, oscillometria, fotoplestimografia;
 4. capillaroscopia e flussimetria laser-doppler;
 5. elettromiografia;
 6. esami x-grafici della colonna vertebrale, delle mani, dei polsi, dei gomiti, del cingolo scapolo-omerale.

5. LA MISURAZIONE DELLE VIBRAZIONI

5.1 STRUMENTAZIONE PER LA MISURAZIONE DELLE VIBRAZIONI

Per la misura delle vibrazioni è necessario disporre almeno di una catena strumentale (fig. 2-3-4) formata da un sensore di tipo accelerometrico, possibilmente

triassiale, un condizionatore di segnale, un sistema di archiviazione digitale, un analizzatore in frequenza, dei cavi di collegamento ed un calibratore.

Gli accelerometri utilizzati sono normalmente di tipo piezoelettrico e si dividono essenzialmente in due categorie: in carica e in tensione. Gli accelerometri in carica sono più resistenti, ma anche maggiormente influenzabili da interferenze esterne, inoltre, hanno bisogno di un preamplificatore. Quelli in tensione subiscono minori interferenze dall'esterno ma risultano anche più delicati sotto l'aspetto meccanico.

L'utilizzo di un sistema di archiviazione digitale del segnale permette di effettuare ulteriori analisi al fine di ottenere dei valori più affidabili. Tutta la strumentazione utilizzata deve essere sottoposta ad una taratura periodica presso un centro abilitato.



Fig. 2 - Esempio di catena strumentale portatile per il rilievo delle accelerazioni al sistema mano-braccio. A sistema di acquisizione - B modulo per le vibrazioni - C calibratore per accelerometri - D accelerometri con adattatore al sistema mano-braccio.

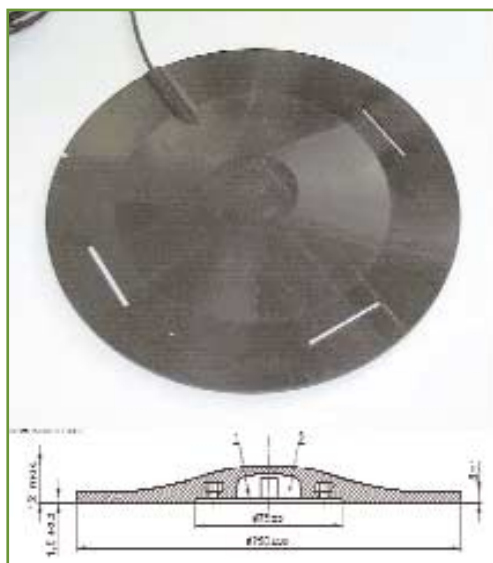


Fig. 3 - Esempio di accelerometro triassiale con adattatore a cuscino per il rilievo delle vibrazioni al corpo intero.



Fig. 4 - Esempio di accelerometro triassiale con adattatore da applicare sulla impugnatura degli attrezzi per il rilievo delle vibrazioni al sistema mano-braccio.

5.2 ISO 5349-1: MISURA DELLE VIBRAZIONI TRASMESSE AL SISTEMA MANO-BRACCIO

La normativa tecnica che costituisce lo standard di riferimento per la valutazione dell'esposizione alle vibrazioni del sistema mano-braccio è la ISO 5349-1:2001.

Come già avvenuto per la versione precedente (1992) la norma internazionale sta per essere inserita nelle norme tecniche europee del CEN.

La stessa descrive tutto ciò che serve per valutare l'esposizione e di relazionarla con la possibilità dell'insorgenza del danno. I parametri fondamentali che devono essere presi in considerazione per una corretta valutazione sono: intensità e direzione dell'accelerazione, spettro di frequenza, durata giornaliera dell'esposizione ed esposizione cumulativa dell'attività lavorativa. Altri fattori da non sottovalutare e che influenzano le modalità di esposizione e quindi i suoi effetti sono: la forza di prensione, la postura assunta durante la lavorazione, le condizioni climatiche, l'esperienza del lavoratore ecc. (appendice D della norma)

La norma definisce gli assi di misura con due sistemi di coordinate uno biodinamico e quindi incentrato sulla anatomia della mano e del braccio, l'altro basicentrico che si basa sulla costituzione dell'impugnatura dell'attrezzo (fig. 5).

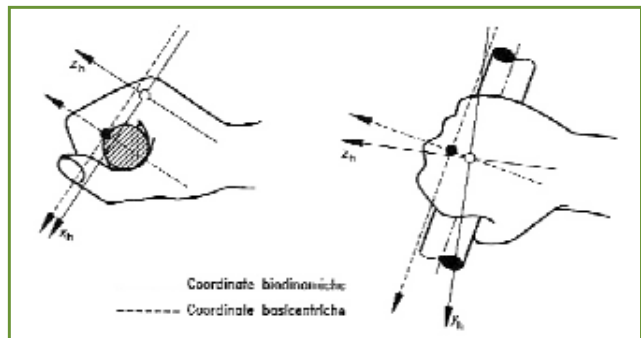


Fig. 5 - Sistemi di coordinate per il rilievo delle vibrazioni al sistema mano-braccio definiti dalla normativa ISO 5349-1:2001.

Infatti, il sistema mano-braccio reagisce alla trasmissione della vibrazione in maniera diversa in funzione della frequenza come riportato in tabella 3.

Tabella 3 - LE FREQUENZE DELLE VIBRAZIONI E ORGANI DEL CORPO UMANO INFLUENZATI DALLE STESSE

FREQUENZA (HZ)	ORGANI INFLUENZATI DALLA VIBRAZIONE
< 8	Il sistema si comporta come un corpo unico che viene attraversato dalla vibrazione fino a raggiungere la spalla
> 8	Tutto il sistema riceve sempre la vibrazione ma le parti di collegamento, legamenti, tendini ecc. intervengono nella trasmissione delle vibrazioni.
10	Con l'aumentare della frequenza la vibrazione interessa una parte inferiore del sistema (solo il braccio)
20	Avambraccio
50-100	Dita
>200	Pelle nell'area di contatto con l'attrezzatura vibrante

Per tener conto di questo comportamento i valori di accelerazione alle varie frequenze vengono “ponderati”, cioè viene assegnato un peso differente alle varie componenti che costituiscono il segnale. In tabella 4 sono riportati i coefficienti di ponderazione che devono essere moltiplicati con i valori di accelerazione identificati alle varie frequenze.

Tabella 4 - IL FILTRO DI PONDERAZIONE DEL SISTEMA MANO-BRACCIO PER SINGOLA FREQUENZA CON IL RISPETTIVO COEFFICIENTE DI PONDERAZIONE

FREQUENZA (HZ)	COEFFICIENTE DI PONDERAZIONE (m/s ²)	FREQUENZA (HZ)	COEFFICIENTE DI PONDERAZIONE (m/s ²)
8	0,873	125	0,127
10	0,951	160	0,101
12,5	0,958	200	0,0799
16	0,896	250	0,0634
20	0,782	315	0,0503
25	0,647	400	0,0398
31,5	0,519	500	0,0314
40	0,411	630	0,0245
50	0,324	800	0,0186
63	0,256	1000	0,0135
80	0,202	1250	0,00894
100	0,160		

5.2.1 Misurazione delle vibrazioni

La misura viene effettuata rilevando l’accelerazione quanto più possibile in prossimità del punto di contatto tra l’impugnatura dell’attrezzo vibrante ed il sistema mano-braccio attraverso l’accelerometro (possibilmente triassiale, o con tre accelerometri monoassiali, al fine di rilevare contemporaneamente le accelerazioni sui tre assi e non perdere le correlazioni degli stessi nei rilevati in campo) (fig. 6).



Fig. 6 - Accelerometri triassiali montati, con un adattatore, sulle impugnature di un decespugliatore e di una motosega.

Le accelerazioni assiali ponderate in frequenza saranno sommate come somma energetica al fine di ottenere un valore unico per ogni asse di misura. Infine i tre valori ottenuti per gli assi x,y, e z, saranno elevati al quadrato, sommati, ed estratta la radice quadrata relativa ottenendo così il valore unico rappresentativo dell'accelerazione provocata dal macchinario (a_{hw}). La sommatoria dell'accelerazione equivalente ponderata (a_{hw}) dovrà essere rapportata alla giornata lavorativa normalizzata di 8 ore per la definizione dell'A(8) quale indicatore dell'entità d'esposizione alle vibrazioni.

Esempio: Calcolo di un'esposizione giornaliera di un operatore che lavora con un decespugliatore che ha un'accelerazione media (a_{hw}) sulle impugnature di 6 m/s^2 , e che normalmente lo utilizza per 4 ore al giorno.

Svolgimento: Utilizzando la formula $A(8) = a_{hw} \sqrt{\frac{T_e}{8}}$

Si ottiene come risultato un A(8) di $4,24 \text{ m/s}^2$ indicatore dell'esposizione giornaliera alle vibrazioni del nostro operatore.

In una giornata lavorativa tipica di 8 ore, 4 ore (T_e) vengono spese nell'utilizzo del decespugliatore. Poiché viene superato il livello di azione ($2,5 \text{ m/s}^2$), il datore di lavoro dovrà:

elaborare e applicare un programma di misure tecniche e/o organizzative, volte a ridurre al minimo l'esposizione alle vibrazioni meccaniche e i rischi che ne conseguono, considerando in particolare (articolo 5 della Direttiva 2002/44/CE):

- 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 producano, 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, per esempio sedili che attenuano efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero e maniglie che riducano la vibrazione trasmessa al sistema bracciomano;
- d) adeguati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro e dei sistemi sul luogo di lavoro;
- e) la progettazione e l'assetto dei luoghi e dei posti di lavoro;
- f) l'adeguata informazione e formazione per insegnare ai lavoratori ad utilizzare correttamente e in modo sicuro le attrezzature di lavoro, riducendo così al minimo la loro esposizione a vibrazioni meccaniche;
- g) la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- h) 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.

5.2.2 Criteri di valutazione del rischio

I criteri igienistici formulati nell'ambito degli attuali standard e linee guida sono basati su previsioni di insorgenza del fenomeno di Raynaud, a seguito dell'esposizione a vibrazioni mano-braccio.

In tabella 5 vengono forniti i valori di esposizione a vibrazioni A(8) che, allo stato attuale delle conoscenze, possono indurre il 10% di insorgenza del fenomeno di Raynaud, in funzione degli anni di esposizione.

Tabella 5 - VALORI DI ESPOSIZIONE GIORNALIERA RIFERITA AD 8 ORE DI LAVORO -A(8)

ANNI DI ESPOSIZIONE	1	2	4	8
A(8) in 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 insorgenza prevista del fenomeno di Raynaud del 10% in gruppi di persone esposte, in funzione dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita a 8 ore di lavoro.

I valori riportati in tabella 5 sono derivati da studi condotti su gruppi di lavoratori esposti ad attrezzi vibranti in grado di generare ampiezze di accelerazioni sino a $30 m/s^2$ e con 25 anni di servizio.

Quasi tutti gli studi hanno coinvolto gruppi di persone che hanno utilizzato, nella loro attività lavorativa attrezzi vibranti e con cui ne sono stati a contatto con le mani.

Tramite la figura n. 7 è possibile, conoscendo il valore A(8) riportato sull'asse delle ascisse, definire il tempo di latenza – in anni di esposizione – affinché possa manifestarsi il fenomeno di Raynaud.

Per fare questo è sufficiente entrare nel grafico dal basso individuando un valore di esposizione A(8). Si sale, parallelamente all'asse delle ordinate, sino ad incontrare la retta inclinata. Si prosegue, ora, verso sinistra con una retta parallela all'asse delle ascisse sino ad incontrare l'asse verticale delle ordinate. Il punto di incontro con quest'ultimo asse indica il tempo stimato in anni per cui potrebbero manifestarsi problemi di circolazione sanguigna nelle mani.

Per un approfondimento delle metodiche di valutazione dell'esposizione alle vibrazioni del sistema mano-braccio ai sensi della norma ISO 5349-2001 si rimanda all'appendice A.2 "Approfondimenti sulla ISO 5349-2001".

5.3 ISO 2631-1: MISURA DELLE VIBRAZIONI TRASMESSE AL CORPO INTERO

La norma che fa da riferimento per la valutazione dell'esposizione del corpo intero alle vibrazioni è la ISO 2631-1:1997.

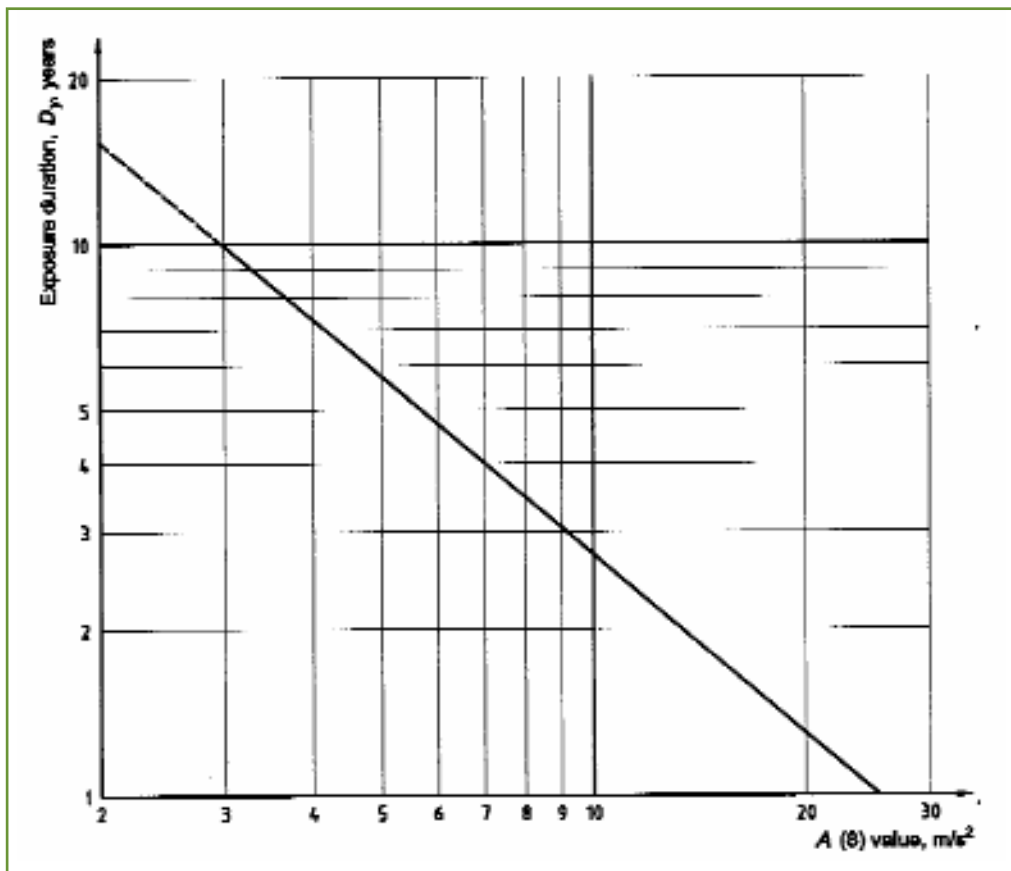


Fig. 7 - Valori della esposizione giornaliera alle vibrazioni, $A(8)$, che, allo stato attuale delle conoscenze, possono indurre il 10% di insorgenza del fenomeno di Raynaud, in funzione degli anni di esposizione.

Essa definisce metodiche standardizzate di misura delle vibrazioni trasmesse al corpo e fornisce alcune linee guida ai fini della valutazione degli effetti sulla salute.

La norma descrive come effettuare la misurazione, le caratteristiche della strumentazione da utilizzare per il rilievo delle accelerazioni e come valutare l'esposizione relazionandola con l'insorgenza di possibili patologie.

L'ingresso di tali vibrazioni può avvenire tramite i piedi, persona in posizione eretta o seduta su un sedile, attraverso i glutei e la schiena, persona seduta, o, per una persona supina, l'area di appoggio.

Per la valutazione dell'esposizione alle vibrazioni al corpo intero devono essere presi in considerazione lo spettro di frequenza, la direzione e l'intensità dell'accelerazione. Inoltre ci sono altri fattori (macchina, operatore) che possono influenzare l'esposizione tra cui: area di contatto, capacità ammortizzante dei pneumatici, dei sedili o di altri sistemi (assali ammortizzati), costituzione corporea, postura e peso dell'operatore. La norma definisce i sistemi di coordinate per la misura delle

accelerazioni in funzione del punto di ingresso delle vibrazioni mantenendo gli assi x,y e z sempre diretti nello stesso verso ma con origine diversa a secondo che la posizione dell'operatore sia seduta o in piedi (fig. 8). Nelle vibrazioni al corpo intero l'asse z che è diretto nel verso della colonna vertebrale rappresenta l'organo maggiormente a rischio per l'esposizione a vibrazioni. La grandezza rilevata è l'accelerazione come valore r.m.s. (Valore quadratico medio) ponderato in frequenza campionato nell'intervallo di frequenze che parte da 0,5 fino a 80 Hz. Infatti gli effetti riconosciuti come potenzialmente associati all'esposizione a vibrazioni al corpo intero sono riportati nella tabella 6.

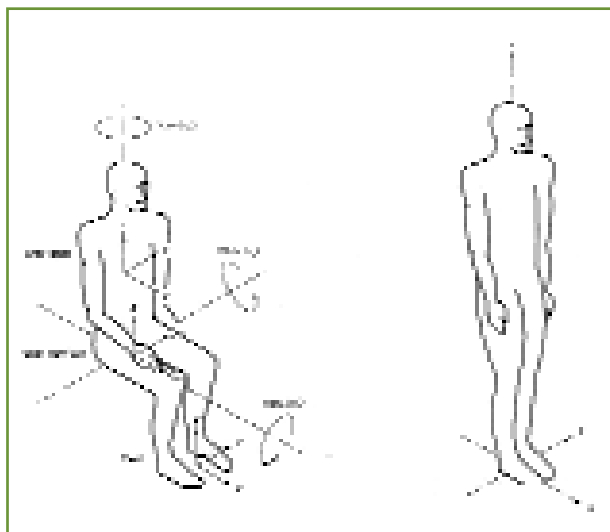


Fig. 8 - Sistema basicentrico di coordinate per operatore seduto e in piedi (ISO 2631-1).

Tabella 6 - EFFETTI RICONDUCEBILI ALL'ESPOSIZIONE A VIBRAZIONI AL CORPO INTERO E FREQUENZE CARATTERISTICHE

TIPOLOGIA DI DISTURBI	FREQUENZE CARATTERISTICHE (Hz)
Alterazioni a carico della colonna vertebrale	3-10
Disturbi dell'apparato digerente	4-8
Disturbi all'apparato riproduttivo (femminile)	40-55
Disturbi circolatori	-
Effetti cocleo-vestibolari	4-8
Mal di moto	< 0,5

Considerando che il corpo umano ha una differente sensibilità in funzione della frequenza della vibrazione, e che quindi, una stessa accelerazione a frequenze diverse non dà gli stessi effetti, la normativa definisce dei filtri di ponderazioni in frequenza, al fine di valutare dal punto di vista bio-fisico una determinata accelerazione in funzione del danno che può provocare al corpo umano. La norma definisce i filtri di ponderazione in frequenza, uno da applicare agli assi x e y e uno da applicare all'asse z. La differenziazione serve a compensare i diffe-

renti effetti delle vibrazioni che si propagano sui tre assi nel corpo dell'operatore esposto.

La misura viene effettuata interponendo l'accelerometro triassiale tra il sedile e l'operatore (fig. 9) o sul pianale quanto più possibile in prossimità del punto di contatto con il piede (operatori in piedi).

Le accelerazioni (a_w) rilevate sugli assi x, y vanno ulteriormente ponderati con un fattore di 1,4, quindi i valori di x e y così ottenuti insieme al valore di accelerazione dell'asse z saranno elevati al quadrato, sommati ed estratta la loro radice quadrata ottenendo così un valore unico rappresentativo dell'accelerazione prodotta dalla macchina (a_v).



Fig. 9 - Sedile di un un rasaerba semovente con l'accelerometro triassiale a cuscino.

5.3.1 Misurazione delle vibrazioni

Al fine di calcolare la valutazione del rischio vibrazioni bisogna correlare la misura dell'accelerazione con il tempo effettivo di esposizione. Nel calcolo dell'A(8) bisogna comunque tenere conto che, per la valutazione dei rischi per la salute dell'operatore viene normalmente considerato l'asse più sollecitato, soltanto nel caso in cui due o tre valori sono comparabili allora si utilizzerà il vettore somma (a_v) per calcolare il valore di accelerazione normalizzato ad una giornata di 8 ore lavorative.

Esempio n. 1: Calcolo di un'esposizione giornaliera di un operatore che lavora con una trattoria a ruote in aratura che ha un'accelerazione media (a_v) sul sedile pari a $0,745 \text{ m/s}^2$ e normalmente la utilizza per 7 ore al giorno.

Svolgimento: Utilizzando la formula
$$A(8) = a_v \sqrt{\frac{T_e}{8}}$$

Si ottiene come risultato un A(8) di $0,697 \text{ m/s}^2$ indicatore dell'esposizione giornaliera alle vibrazioni del nostro operatore.

In una giornata lavorativa tipica di 8 ore, 7 ore (T_e) vengono spese alla guida della trattoria a ruote. Poiché viene superato il livello di azione (0.5 m/s^2), il datore di lavoro dovrà applicare le disposizioni miranti a escludere o a ridurre l'esposizione del lavoratore come riportato nell'articolo 5 della Direttiva 2002/44/CE.

Per un approfondimento delle metodiche di valutazione dell'esposizione alle vibrazioni al corpo intero ai sensi della norma ISO 2631-1997 si rimanda all'appendice A.3 "Approfondimenti sulla ISO 2631-1997".

5.4 NORME DI BUONA TECNICA: LINEE GUIDA ISPESL 1ª EDIZIONE 2000 (SITO WWW.ISPESL.IT)

Le linee guida hanno lo scopo di semplificare la valutazione dell'esposizione a vibrazioni in ambienti di lavoro, queste si articolano in due parti: la prima è dedicata alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio; la seconda riguarda la valutazione della esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero. Inoltre è anche presente una banca dati, dove sono riportati i valori di accelerazione riscontrati in diverse misurazioni di un buon numero di attrezzature di lavoro che espongono a vibrazioni l'operatore, questa banca dati permette di effettuare una prima valutazione del rischio senza misurazioni.

6. VIBRAZIONI TRASMESSE DALLE MACCHINE AGRICOLE E FORESTALI

6.1 VIBRAZIONI TRASMESSE AL CORPO INTERO

Le vibrazioni trasmesse al corpo intero durante le lavorazioni con macchine agricole avviene attraverso il sedile ed è correlata alla tipologia della lavorazione ed alla velocità della macchina stessa.

6.1.1 Macchine motrici



Fig. 10 - Trattore a ruote in lavoro.

Le trattori a cingoli (fig. 11) possono dar luogo a valori di accelerazioni (a_v) compresi tra 0,6 e 1,2 m/s^2 . Le frequenze tipiche sono comprese tra i 10 e i 20 Hz.

Gli assi su cui incidono le vibrazioni sono solitamente l'asse Z e l'asse X.

Le trattori a ruote (fig. 10) possono dar luogo a valori di accelerazioni (a_v) compresi tra 0,5 e 1,6 m/s^2 a seconda delle operazioni colturali eseguite. Le frequenze tipiche sono comprese tra i 2 e i 5 Hz.

L'asse su cui incidono le vibrazioni è solitamente l'asse Z.



Fig. 11 - Trattore a cingoli in lavoro.

6.1.2 Macchine agricole semoventi



Fig. 12 - Mietitrebbiatrice.

I rasaerba semoventi (fig. 13) con conducente a bordo possono dar luogo a valori di accelerazioni (a_v) compresi tra 0,4 e 1,6 m/s^2 . Le frequenze tipiche sono: da 2,5 a 5 Hz (da 1 a 2 Hz).

L'asse su cui incidono le vibrazioni è solitamente l'asse Z (X).

Le mietitrebbiatrici (fig. 12) possono dar luogo a valori di accelerazioni (a_v) compresi tra 0,4 e 0,8 m/s^2 . Le frequenze tipiche sono comprese tra i 2,5 e i 5 Hz.

L'asse su cui incidono le vibrazioni è solitamente l'asse Z



Fig. 13 - Rasaerba semovente.

Nella tabella 7 sono riportati i valori di accelerazione verticale, ponderata in frequenza, misurata sui sedili di 77 trattrici impiegate nelle fasi operative indicate, mentre in figura 14 sono riportati i relativi tempi di esposizione che fanno scattare l'azione.

Tabella 7 - VALORI DI VIBRAZIONE MEDI RILEVATI SUL SEDILE DI TRATTRICI AL LAVORO E TEMPI DI ESPOSIZIONE (TE) PRIMA CHE SCATTI L'AZIONE

N.	FASI OPERATIVE	VALORI MEDI m/s^2	TEMPI DI ESPOSIZIONE T_e (Ore-minuti)
1	Pressatura foraggio	0,50	8 - 00
2	Trebbiatura	0,45	9 - 53
3	Manutenzione di siepi e fossati	0,42	11 - 20
4	Estirpazione e raccolta di barbabietole	0,70	4 - 05
5	Spandi concime	1,30	1 - 11
6	Lavorazione leggera terreno (erpice, disco)	1,20	1 - 23

Segue Tabella 7

N.	FASI OPERATIVE	VALORI MEDI m/s ²	TEMPI DI ESPOSIZIONE Te (Ore-minuti)
7	Sfalcio	1,00	2 - 00
8	Aratura	1,01	1 - 58
9	Erpicatura con erpice rotativo	1,70	0 - 42
10	Operazioni di carico e scarico	1,20	1 - 23
11	Voltafieno e andanatura	1,00	2 - 00
12	Rullaggio	0,60	5 - 33
13	Trasporto con rimorchio	0,93	2 - 19
14	Spandi letame	0,60	5 - 33
15	Trattamento colture	1,15	1 - 31
16	Lavoro con retroescavatore	0,74	3 - 39
17	Esbosco	1,14	1 - 32

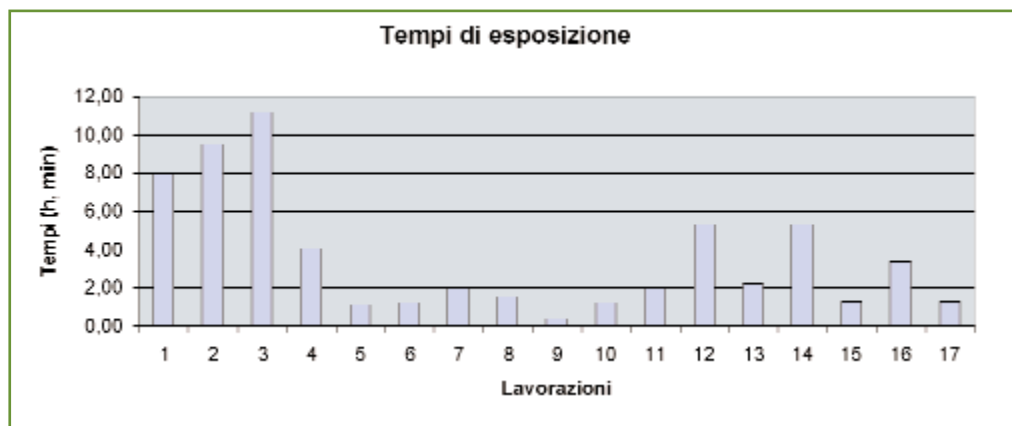


Fig. 14 - Tempi di esposizione massimi (Te), in funzione dei valori di vibrazione verticale (asse z) rilevati sui sedili delle trattrici impegnate nelle lavorazioni riportate in tabella 7 calcolati per il valore relativo all'azione, 0,5 m/s².

Come si può notare dalla figura 14 la severità di 9 lavorazioni portano ad un tempo di esposizione inferiore alle 2 ore nell'arco dell'intera giornata. Lavorazioni come quella di erpicatura con erpice rotante, quindi, dovrebbero essere condotte solo per circa un'ora prima che scatti l'azione.

6.2 VIBRAZIONE TRASMESSE AL SISTEMA MANO-BRACCIO

Le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio durante le lavorazioni con attrezzature agricole avviene attraverso l'impugnatura ed è correlata alla tipologia della lavorazione e del materiale lavorato.



Fig. 15 - Motocoltivatore.

6.2.1 Motocoltivatori

I motocoltivatori (fig. 15) e le motozappe possono dar luogo a valori di accelerazioni (a_{hw}) compresi tra i 5 e i 10 m/s^2 , ma a seconda del tipo di motore e della lavorazione eseguita si possono riscontrare valori di 16-19 m/s^2 .

Le frequenze tipiche sono comprese tra i 30 e 50 Hz.

Queste macchine non presentano una direzione particolare di vibrazione a livello delle impugnature di guida.

6.2.2 Decespugliatori

I Decespugliatori (fig. 16) a filo possono dar luogo a valori di accelerazioni (a_{hw}) compresi tra 3 e 6 m/s^2 , mentre quelli forestali forniscono valori compresi tra 6 e 10 m/s^2 . Le frequenze tipiche sono legate alla velocità di rotazione del motore ed oscillano dai 130 ai 160 Hz.



Fig. 17 - Motosega.



Fig. 16 - Decespugliatore.

Queste macchine non presentano una direzione particolare di vibrazione a livello delle impugnature di guida.

6.2.3 Motoseghe

Le motoseghe (fig. 17) possono dar luogo a valori di accelerazioni (a_{hw}) compresi tra 5 e 10 m/s^2 . Le frequenze tipiche sono da 100 a 315 Hz. L'impugnatura maggiormente interessata è la posteriore e l'asse su cui incidono le vibrazioni è solitamente l'asse Y (Z).

Tabella 8 - VALORI DI VIBRAZIONE TOTALI MEDI E TEMPI DI ESPOSIZIONE (Te) RILEVATI SULLE IMPUGNATURE DI GUIDA DI MACCHINE AL LAVORO. I TEMPI DI ESPOSIZIONE RIPORTATI SONO STATI CALCOLATI PER IL VALORE DI VIBRAZIONE RELATIVO ALLA IMPUGNATURA POSTERIORE

N.	ATTREZZATURA		IMPUGNIATURA		TEMPI DI ESPOSIZIONE Te (Ore-minuti)
			Anteriore m/s ²	Posteriore m/s ²	
1	Motosega	" 50 cm ³	4,8	7,10	1 - 0
2	Motosega	50 < cm ³ " 80	5,9	8,40	0 - 43
3	Motosega	> 80 cm ³	7,1	9,40	0 - 34
4	Deceppatrice		9	9,70	0 - 32
5	Decespugliatore forestale		9,8	5,70	1 - 32
6	Decespugliatore a filo		2,7	5,80	1 - 29
7	Tosasierpi		8,6	7,40	0 - 55
8	Rasaerba		5,9	6,20	1 - 18
9	Mototrivella		18,1	18,00	0 - 09
10	Motocoltivatore	" 5 CV	4,7	3,80	3 - 28
11	Motocoltivatore	5 < CV " 10	7,6	6,80	1 - 05
12	Motocoltivatore	> 10 CV	9,9	8,50	0 - 42
13	Motozappa	" 5 CV	5,6	4,90	2 - 05
14	Motozappa	5 < CV " 10	9,7	8,90	0 - 38
15	Minitrasportatore		7,9	7,40	0 - 55
16	Atomizzatore		=	3,30	4 - 35
17	Arieggiatore per prati		5,2	5,50	1 - 39
18	Scuotitore per la raccolta della frutta		16,2	20,50	0 - 7

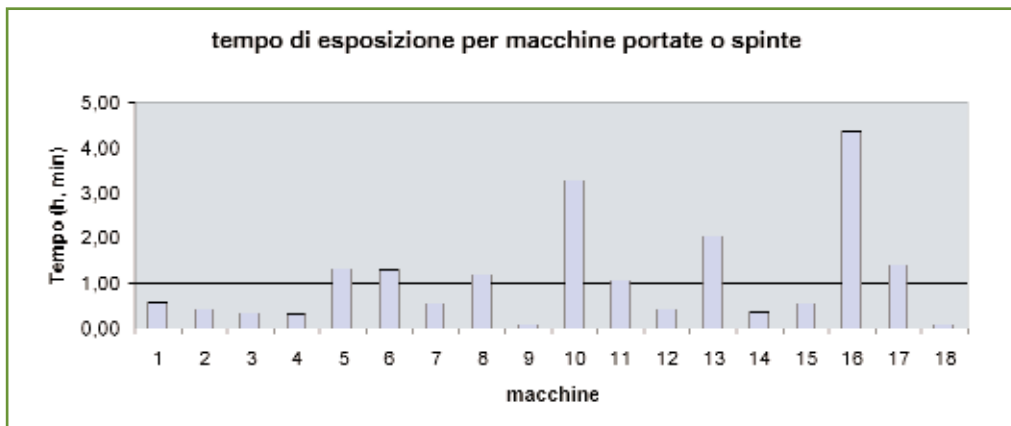


Fig. 18 - Tempi di esposizione massimi (T_e), in funzione dei valori di vibrazione totali rilevati sulle impugnature di guida delle macchine riportate in tabella 8, calcolati per il valore relativo all'azione, 2.5 m/s^2 .

Come si può notare dalla figura 18 la severità di 10 lavorazioni portano ad un tempo di esposizione inferiore ad 1 ora nell'arco dell'intera giornata. Lavorazioni come quella eseguibile tramite mototrivella, quindi, dovrebbero essere condotte solo per circa 10 minuti prima che scatti l'azione.

APPENDICE

A.1 DESCRIZIONE FISICA DELLE VIBRAZIONI

Un corpo vibra quando questo descrive un movimento oscillatorio nell'intorno di una posizione di riferimento.

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 potremo considerare la sua dinamica anche in termini di velocità espressa in metri al secondo (m/s) e, poiché quest'ultima varia in continuazione, potremo parlare anche di accelerazioni, espresse in metri al secondo quadro (m/s^2). La relazione tra questi tre parametri la si può notare in figura 19.

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 m 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.

In figura 20 è rappresentata la più semplice delle funzioni periodiche, nota anche come “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, che viene misurata in Hertz (Hz) ed è legata al periodo T dalla seguente relazione:

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Hz})$$

dove T è espresso in secondi.

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. In figura 21 sono riportate le ampiezze dei segnali di vibrazione di un diapason, del pistone di un motore e di un insieme di ingranaggi. Se si osserva l’andamento nel tempo della vibrazione (al centro) si può notare come per certi segnali (insieme di ingranaggi) non sia facile estrarre informazioni utili all’analisi del fenomeno. Utilizzando la tecnica dell’analisi

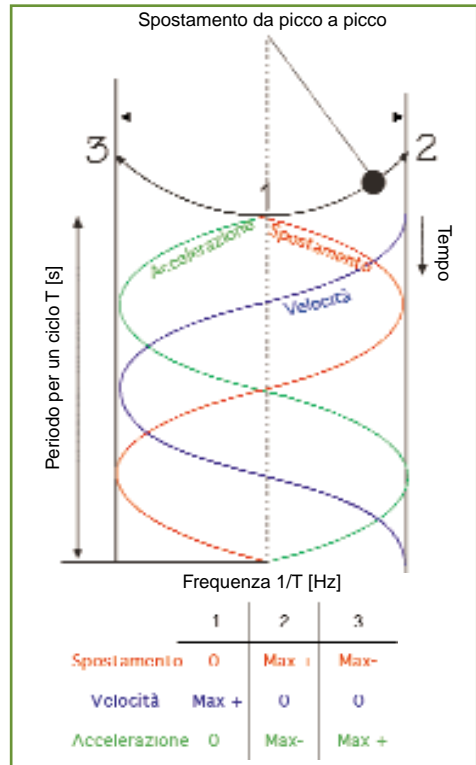


Fig. 19 - Accelerazione, spostamento e velocità.

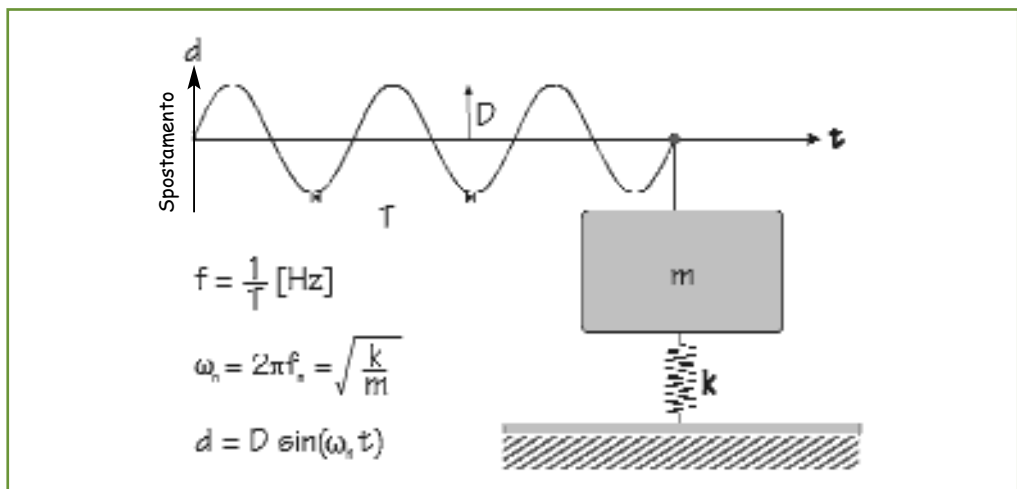


Fig. 20.

in frequenza è possibile, invece, avere un grafico con l'ampiezza della vibrazione come funzione della frequenza, il così detto spettro di vibrazione (a destra).

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 senoide 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:

$$\omega = 2\pi f \quad (\text{rad/s})$$

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 (fig. 22). Infatti queste ultime sono legate alla velocità angolare (e quindi alla frequenza) dalla relazione:

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

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

Si nota, 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:

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

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

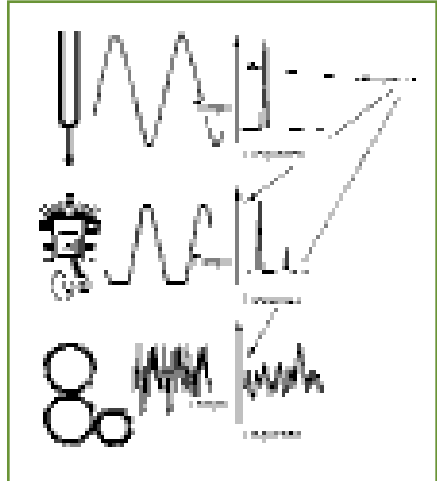


Fig. 21 - Ampiezze dei segnali di vibrazione, in funzione del tempo (a sinistra) e della frequenza (a destra), di un diapason, del pistone di un motore e di un insieme di ingranaggi.

Da quanto detto finora, si può quindi affermare che per caratterizzare completamente il fenomeno, dovendo descriverlo in termini di velocità angolare e di spostamento d , 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 e

D è lo spostamento massimo o di picco.

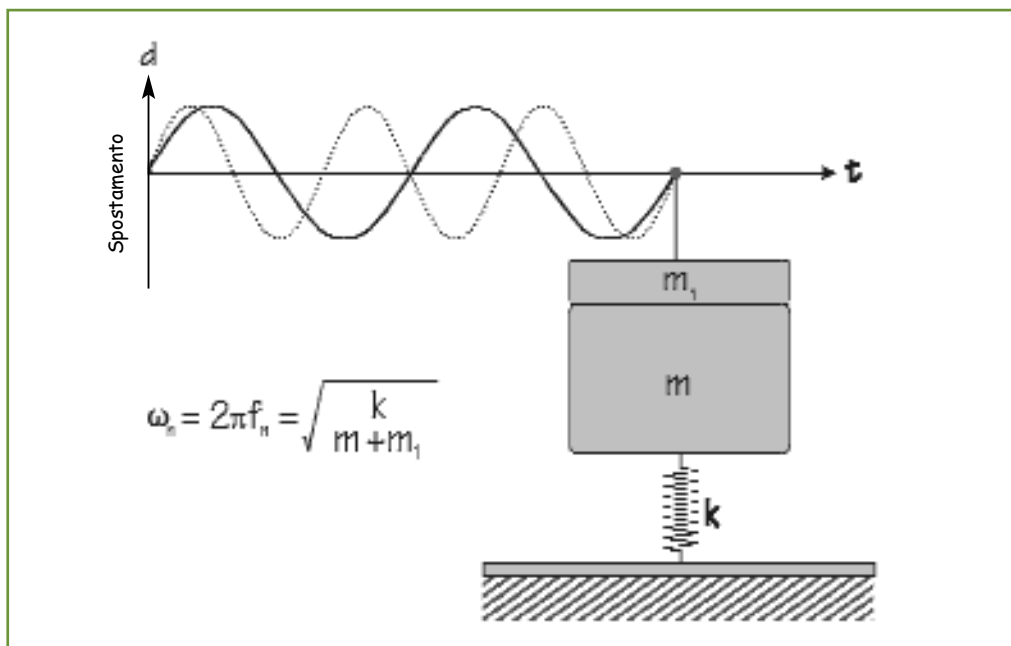


Fig. 22 - Incremento della massa.

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 (fig. 23).

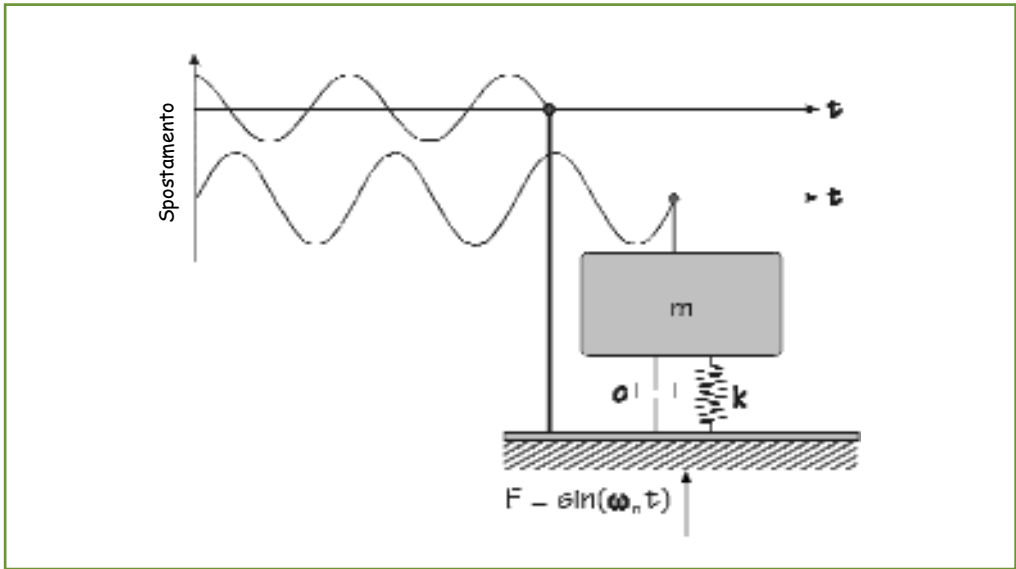


Fig. 23 - Vibrazione forzata.

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 (fig. 24) con seri problemi sulla integrità del sistema.

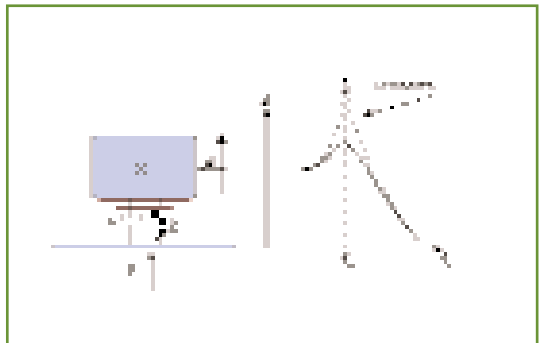


Fig. 24 - Sistema ad un grado di libertà

A.2 APPROFONDIMENTI SU ISO 5349-2001: MISURAZIONE DELL'ESPOSIZIONE A VIBRAZIONI DEL SISTEMA MANO-BRACCIO

Per la valutazione dell'esposizione a vibrazioni del sistema mano-braccio la grandezza fondamentale presa in considerazione è rappresentata dal valore quadratico medio (r.m.s.) dell'accelerazione ponderata in frequenza, che viene espresso in m/s^2 . Esso rappresenta, con un solo numero, il contenuto energetico di un segnale variabile nel tempo.

$$a_{hw} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{hw}^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (m/s^2)$$

Dove $a_{hw}(t)$ rappresenta il valore istantaneo della accelerazione lungo una direzione e T è il tempo di misurazione.

Il valore quadratico medio va rilevato nella struttura vibrante che viene a contatto con il corpo umano, ad esempio le impugnature di guida di una macchina od un utensile. Poiché la superficie vibrante si muove nello spazio è necessario misurare il valore quadratico medio della accelerazione lungo tre direzioni ortogonali fra di loro (vedi figura 5).

Sempre la norma in oggetto tratta anche il metodo della valutazione della ponderazione in frequenza. Una curva di ponderazione corrisponde ad una curva variabile inversa. Ponderare in frequenza un segnale vuol dire assegnare un peso diverso alle varie componenti che costituiscono il segnale. Infatti, il sistema mano braccio è molto sensibile alle frequenze comprese tra gli 8 ed i 16 Hz, mentre lo è in misura minore per quelle frequenze che si presentano al di fuori di questo campo.

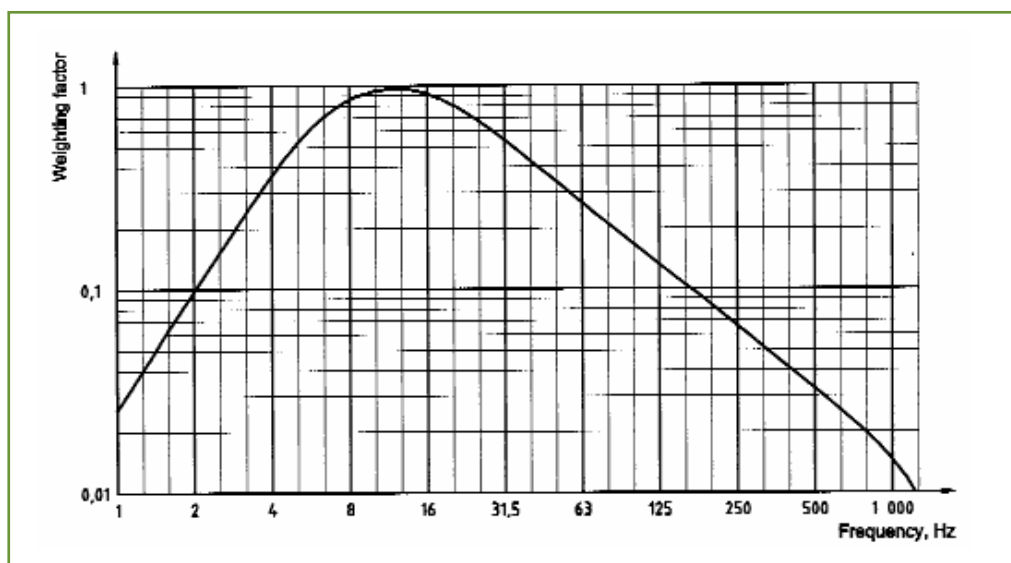


Fig. 25 - Filtro di ponderazione in frequenza per il sistema mano braccio.

La figura 25 mostra la curva di ponderazione delle vibrazioni del sistema manobraccio (Wh). La curva di ponderazione in frequenza W_h definita dallo standard è la stessa per ciascuno dei tre assi di misura dell'accelerazione. Da tale grafico appare che, in accordo con tale standard, l'intervallo di frequenze di interesse igienistico si estende da 6,3 Hz a 1250 Hz.

Un segnale ponderato in frequenza, fornisce, dopo il suo rilevamento, un numero unico per una valutazione in maniera molto diretta.

Come precedentemente accennato l'energia vibratoria prodotta dagli attrezzi presenta un contributo che agisce lungo tre direzioni, e poiché si assume che tutte e tre queste direzioni sono egualmente dannose è necessario misurare le vibrazioni lungo esse. La valutazione alla esposizione alle vibrazioni è, quindi, basata su di una quantità che combina i contributi dei tre assi. Questa quantità è detta valore di vibrazione totale, a_{hv} , ed è definita come il valore r. m. s. dei tre valori componenti:

$$a_{hv} = (a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2)^{1/2} \quad (\text{m/s}^2)$$

In alcuni casi può non essere possibile eseguire le misure di vibrazione lungo le tre direzioni. Se le misure sono fatte solo lungo uno o due assi si dovrà includere quello che presenta il valore più elevato. Il valore di vibrazione totale sarà così stimato utilizzando sia i valori disponibili sia un opportuno fattore moltiplicativo. L'ampiezza della vibrazione lungo l'asse di maggior vibrazione richiede un fattore moltiplicativo variabile tra 1,0 e 1,7 per dare il valore di vibrazione totale.

L'esposizione alle vibrazioni dipende sia dalla ampiezza della sollecitazione che dalla durata alla sua esposizione.

La durata giornaliera di esposizione è il tempo totale nel quale la(e) mano(i) è(sono) a contatto di una superficie vibrante durante una giornata lavorativa. La durata di esposizione giornaliera alle vibrazioni può essere più corta dell'intero tempo trascorso nella sede di lavoro. Infatti, quest'ultimo comprende anche le interruzioni richieste dal ciclo di lavoro eseguito e i periodi di pausa.

L'esposizione giornaliera alle vibrazioni (T_e) deriva dalla ampiezza delle vibrazioni (valore totale di vibrazione, a_{hv}) e dalla durata giornaliera di esposizione.

Al fine di facilitare la comparazione tra esposizioni giornaliere di differente durata, l'esposizione giornaliera alle vibrazioni dovrà essere espressa in termini di 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 seguente formula:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T_e}{T_o}} \quad (\text{m/s}^2)$$

dove:

T_e è la durata complessiva giornaliera di esposizione a vibrazioni (ore)

a_{hv} è il valore di vibrazione totale

T_o è la durata di riferimento di 8 ore

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

$$A(8) = \left[\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^N a_{hwi}^2 \cdot T_i \right]^{1/2} \quad (m/s^2)$$

dove:

a_{hwi} è la somma del valore totale di vibrazione, ponderata in frequenza, relativa all'operazione i -esima

T_i è il tempo di esposizione relativo alla operazione i -esima (ore)

N è il numero delle esposizioni durante la giornata

A.3 APPROFONDIMENTO SU ISO 2631-1997: MISURA DELLE VIBRAZIONI TRASMESSE AL CORPO INTERO

Come già detto al punto 5.3., questa norma definisce metodiche standardizzate di misura delle vibrazioni trasmesse al corpo e fornisce alcune linee guida ai fini della valutazione degli effetti sulla salute.

La grandezza fondamentale da misurare è l'accelerazione cui viene sottoposto il corpo umano. Essa viene rappresentata dal valore quadratico medio (r.m.s.) ponderato in frequenza, che viene espresso in m/s^2 . Esso rappresenta, con un solo numero, il contenuto energetico di un segnale variabile nel tempo.

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

Dove $a_w(t)$ rappresenta il valore istantaneo della accelerazione lungo una direzione e T è il tempo di misurazione.

Il valore quadratico medio va rilevato nella struttura vibrante che viene a contatto con il corpo umano, ad esempio le impugnature di guida di una macchina od un utensile. Poiché la superficie vibrante si muove nello spazio è necessario misurare il valore quadratico medio della accelerazione lungo tre direzioni ortogonali fra di loro. A tal fine lo standard ISO 2631 definisce il sistema di assi cartesiani riportato in figura 8.

La (1) rappresenta il valore quadratico medio (r.m.s.) dell'accelerazione ponderata in frequenza, espresso in m/s^2 . Tale quantità va rilevata lungo ciascuna delle tre componenti assiali del vettore accelerazione. In tabella 9 è riportato uno schema dei differenti filtri di ponderazione definiti dallo standard e del loro campo di impiego. Da quanto riportato in tabella 9 si evince che i filtri di ponderazione W_k e W_d sono gli uni-

ci 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) si determina, in accordo con lo standard, mediante la seguente relazione:

$$a_v = (k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2)^{1/2} \quad (\text{m/s}^2) \quad (2)$$

ove k_x e k_y sono fattori moltiplicativi che assumono valore 1.4, nel caso di esposizioni in posizione seduta, e valore unitario per la posizione eretta, mentre il coefficiente k_z assume in entrambe i casi valore unitario. Va rilevato in proposito che la (2) è da applicarsi ai fini della valutazione del disagio prodotto da vibrazioni; 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 .

Tabella 9 - GUIDA ALL'APPLICAZIONE DELLE CURVE DI PONDERAZIONE

PONDERAZIONE	SALUTE	COMFORT	PERCEZIONE	MAL DI TRASPORTI
W_k	asse z, sedile	asse z, sedile asse z, in piedi x,y,z piedi (pos. seduta) z pos. supina	asse z, sedile asse z, in piedi z posiz supina	-
W_d	assi x,y sedile	assi x,y sedile assi x,y in piedi y,z schienale x,y pos. supina	assi x,y, sedile assi x,y, in piedi x,y pos. supina	
W_f				verticale
W_c	x, schienale	x, schienale	x, schienale	-
W_e	-	rx, ry, rz sedile	rx, ry, rz sedile	-
W_j	-	pos. supina z (testa)	pos. supina z (testa)	-

Nel caso di vibrazioni impulsive e di transienti vibratorii, lo standard definisce una metodica valutativa addizionale, in quanto si ritiene che la metodica primaria, basata sulla valutazione delle quantità definite in (1) e (2), potrebbe portare a sottostimare l'esposizione, in relazione agli effetti sulla salute e sul comfort.

La norma afferma, infatti, che l'esposizione a vibrazioni contenenti urti ripetuti genera transienti di pressione alle vertebre lombari e questo può ripercuotersi, nel lungo periodo, in avverse condizioni per la salute umana. Fattori essenziali che caratterizzano questo tipo di esposizione sono il numero e l'ampiezza dei picchi di compressione a carico della spina dorsale. I picchi di compressione nella spina sono correlati ai dati antropometrici, massa del corpo, e dalla postura.

A.4 ISTRUZIONI PER L'UTILIZZO DEL FILE EXCEL PER CALCOLARE L'A(8) E I RELATIVI TEMPI DI ESPOSIZIONE PER LE VIBRAZIONI TRASMESSE AL CORPO INTERO ED AL SISTEMA MANO-BRACCIO

Utilizzo del foglio excel “calcolo dell’esposizione a vibrazioni” (disponibile nel sito internet www.enama.it) per determinare l’A(8) e calcolare i tempi massimi di utilizzo giornalieri per non superare il valore di sicurezza, il valore di azione e il valore limite.

Utilizzo del foglio excel per il calcolo dell’ A(8) e i relativi tempi di esposizione per le vibrazioni trasmesse al corpo intero

Esempio n. 1: Calcolo di un’esposizione giornaliera di un operatore che lavora con una trattoria a ruote in aratura che ha un’accelerazione media (a_v), sul sedile del conducente, di $0,745 \text{ m/s}^2$ e che lavora normalmente per 6 ore e 30 minuti al giorno.

Inserire i dati dell’accelerazione ed i tempi di utilizzo nel foglio “dati da inserire corpo intero” come segue:

	Accelerazione del complesso trattoria - operatrice	Tempi di utilizzo massimi nella giornata lavorativa	
	m/s^2	ore	minuti
Lavorazione 1	0,745	6	30
Lavorazione 2			
Lavorazione 3			

Inserire il valore dell’accelerazione a di $0,745$ nella colonna Accelerazione del complesso trattoria - operatrice nella riga lavorazione 1

Inserire le ore di utilizzo massimo 6 della lavorazione 1

Inserire i minuti di utilizzo 30 della lavorazione 1

Una volta inseriti i dati, selezionare il foglio “A(8) corpo intero T esposizione” dove verranno visualizzati i seguenti valori:

Valore dell’A(8) calcolato

Accelerazione m/s ² A(8) trasmessa dalle macchine agricole al corpo intero						0,672
Accelerazioni m/s ²	Valore di sicurezza		Valore di azione		Valore limite	
	<0,50		0,50		1,15	
Tempi massimi di esposizione alle vibrazioni	ore	minuti	ore	minuti	ore	minuti
	3	19	3	36	19	4

Tempo massimo di utilizzo giornaliero per non superare il valore di sicurezza

Tempo massimo di utilizzo giornaliero per non superare il valore di azione

Tempo massimo di utilizzo giornaliero per non superare il valore limite

I tempi massimi di utilizzo giornalieri elaborati nel foglio “A(8) corpo intero T esposizione” sono validi soltanto quando si effettua una sola lavorazione giornaliera. Qualora siano effettuate più lavorazioni nella stessa giornata una volta inseriti i dati relativi alle lavorazioni successive nelle righe “lavorazione 2” e “lavorazione 3” si dovrà selezionare il foglio “calcolo T esp corpo intero + La” per poter visualizzare i rispettivi tempi massimi di esposizione.

Macchine agricole utilizzate nella giornata lavorativa	Tempi massimi di utilizzo nella giornata lavorativa per non superare il valore limite		Tempi massimi di utilizzo nella giornata lavorativa per non superare il valore di azione		Tempi massimi di utilizzo nella giornata lavorativa per non superare il valore di sicurezza	
A(8)	1,15		0,50		<0,50	
	ore	minuti	ore	minuti	ore	minuti
Lavorazione 1	19	4	3	36	3	19
Lavorazione 2	0	0	0	0	0	0
Lavorazione 3	0	0	0	0	0	0
Totale ore di utilizzo giornaliero	19	4	3	36	3	19

Tempi massimi di utilizzo giornaliero per singola lavorazione e per soglie di rischio definite dalla Direttiva 2002/44/CE

Utilizzo del foglio Excel per il calcolo dell' A(8) e i relativi tempi di esposizione per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.

Esempio n. 2: Calcolo di un'esposizione giornaliera di un operatore che utilizza due attrezzature di lavoro che lo espongono alle vibrazioni del sistema mano-braccio. La prima attrezzatura di lavoro è una motosega che ha un'accelerazione media (a_{hw}), sull'impugnatura posteriore, di $7,10 \text{ m/s}^2$ e che viene utilizzata normalmente per 2 ore e 30 minuti al giorno. La seconda attrezzatura è un decespugliatore a filo che ha un'accelerazione media (a_{hw}), sull'impugnatura posteriore, di $5,80 \text{ m/s}^2$ e che viene utilizzata normalmente per 1 ore e 30 minuti al giorno.

Inserire i dati dell'accelerazione ed i tempi di utilizzo nel foglio “dati da inserire mano braccio” come segue:

Inserire i valori dell'accelerazione a_{hw} dell'attrezzatura 1 e 2 nella colonna Accelerazione (attrezzatura 1 $7,10 \text{ m/s}^2$ e attrezzatura 2 $5,80 \text{ m/s}^2$).

Inserire i minuti di utilizzo delle attrezzature (30 minuti)

	Accelerazione dell'attrezzatura	Tempi di utilizzo massimi nella giornata lavorativa	
	m/s^2	ore	minuti
attrezzatura 1	7,10	2	30
attrezzatura 2	5,80	1	30
attrezzatura 3			
attrezzatura 4			
attrezzatura 5			
attrezzatura 6			
attrezzatura 7			

Inserire le ore di utilizzo delle attrezzature (attrezzatura 1 2 ore e attrezzatura 2 1 ora)

Una volta inseriti i dati, selezionare il foglio “A(8) mano braccio T esposizione” dove verranno visualizzati i seguenti valori:

Valore dell'A(8) calcolato

A(8) m/s² - Accelerazione trasmessa dalle attrezzature al sistema mano-braccio						4,70
Accelerazioni m/s²	Valore di sicurezza		Valore di azione		Valore limite	
	<2,50		2,50		5	
Tempi massimi di esposizione alle vibrazioni	ore	minuti	ore	minuti	ore	minuti
	1	7	1	8	4	32

Tempi totali massimi di utilizzo giornaliero per delle attrezzature per soglie di rischio definite dalla Direttiva 2002/44/CE

I tempi massimi di utilizzo giornalieri elaborati nel foglio “A(8) mano braccio T esposizione” sono validi soltanto quando si utilizza una sola attrezzatura nella giornata. Qualora siano utilizzate più attrezzature nella stessa giornata come nell’esempio i tempi massimi di esposizione per singola attrezzatura sono calcolati nel foglio “calcolo T esp mano-braccio + At” e sono visualizzati nella modalità seguente:

Attrezzature utilizzate nella giornata lavorativa	Tempi massimi di utilizzo nella giornata lavorativa per non superare il valore limite		Tempi massimi di utilizzo nella giornata lavorativa per non superare il valore di azione		Tempi massimi di utilizzo nella giornata lavorativa per non superare il valore di sicurezza	
A(8)	5		2,50		<2,50	
	ore	minuti	ore	minuti	ore	minuti
attrezzatura 1	2	50	0	42	0	42
attrezzatura 2	1	42	0	25	0	25
attrezzatura 3	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Totale ore di utilizzo giornaliero	4	32	1	8	1	7

Tempi massimi di utilizzo giornaliero per non superare il valore limite (rispettivamente 2 ore e 50 minuti per l’attrezzatura 1 e 1 ora e 42 minuti per l’attrezzatura 2)

Tempi massimi di utilizzo giornaliero per non superare il valore di azione (42 minuti per l’attrezzatura 1 e 25 minuti per l’attrezzatura 2)

Tempi massimi di utilizzo giornaliero per non superare il valore di sicurezza (42 minuti per l’attrezzatura 1 e 25 minuti per l’attrezzatura 2)

BIBLIOGRAFIA

1. Atzeri S.: “Sviluppi normativi nella valutazione degli effetti sull’uomo delle vibrazioni”. - www.cantieri-sicurezza.it.
2. Azzaretto E., Pieroni A., Santonocito E., Vassalini G.: “Confronto tra le norme in uso per la valutazione delle vibrazioni indotte al sistema mano-braccio. Individuazione dei tempi di latenza maggiormente cautelativi”. Atti del Convegno dBA Rumore e vibrazioni: Valutazione e bonifica in ambiente di lavoro, Modena, 20-22 Ottobre 1994, p. 247-256.
3. Balsari P., Calvo A., Deboli R. - Analisi del decadimento dei parametri di rumorosità e di vibrazioni delle motoseghe utilizzate nei cantieri forestali. Atti del Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria. Alghero, 11-15 Settembre 2002, p.1002-1011.
4. Calvo A., Deboli R., Paletto G., Preti C.: “Comparison among actual normative and draft proposals to determine and verify noise and vibration in forestry hand held machines”. Inter-noise 2004, 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Prague, Czech Republic, 2004, August 22-25.
5. Cantarelli C e Fabbri A.: “Vibrazioni trasmesse dai motocoltivatori” - M&ma. N.4 - 1997.
6. Deboli R., Miccoli G., Rossi G.L., 1999, ‘Human Hand Transmitted Vibration Measurements on Subjects Using a Pedestrian Controlled Tractor by a Laser Scanning Vibrometer’, Ergonomics, paper N. ERG 100673, Vol. 42, N. 6, pp. 880-888.
7. Deboli R., Maggiorana P., Miccoli G., Rossi G.L., 2002, 'Pressure distribution measurement over chain saw handles by the application of a new capacitive matrix', Proc. of the 9th Int. Congress on Sound and Vibration, ICSV9, Orlando, FL, USA.
8. Deboli R., Cavallo E., Miccoli G.: Misure di vibrazioni sui motocoltivatori: studio sulla riproducibilità dei risultati tra laboratori. Atti 6° Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria. Ancona, 11-12 Settembre 1997, 109-118.
9. Deboli R., Miccoli G.; Paone N.: “Nuove metodologie di indagine in supporto alla normazione nel settore delle vibrazioni mano-braccio”. Atti del Convegno Nazionale La sicurezza delle macchine agricole e degli impianti agro-industriali. Aspetti normativi, tecnici, ergonomici e anti-infortunistici. Alghero - 11-15 settembre 2002.
10. Decreto del Presidente della Repubblica 19 marzo 1956, n. 303: Norme generali per l’igiene del lavoro.
11. Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626: Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro.

12. Decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1996, n. 459: Regolamento per l'attuazione delle direttive 89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE e 93/68/CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine.
13. Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002, sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni) (sedicesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE), Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee del 6 luglio 2002.
14. Circolare INAIL n. 25 del 15 aprile 2004.
15. Marsili A., Ragni L., Santoro G., Servadio P., Vassalini G.: "Innovative system to reduce vibrations on agricultural tractors: comparative analysis of acceleration transmitted from the driver's seat" - Biosystems Engineering n. 1 2002, p. 35-47.
16. Meloni M. e coll.: "Flussimetria laser-doppler in soggetti esposti a rischio da vibrazioni" - Acta Cardinal. Med. 10, 1992, 103-106.
17. Meloni M.: "Le vibrazioni meccaniche in ambito lavorativo". <http://www.cantieri-sicurezza.it>.
18. Monarca D., Cecchini M., Vassalini G.: "Livelli di emissione di vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio dai principali modelli di decespugliatori presenti sul mercato italiano" - Atti del VII Convegno Nazionale AIIA "Ingegneria Agraria per lo sviluppo dei paesi mediterranei" 11-12 settembre 2001.
19. Monarca D., Cecchini M., Parisi G., Vassalini G.: "Valutazione del rischio rumore e vibrazioni al sistema mano-braccio nell'uso dei decespugliatori portatili" - Atti del Convegno dBA 2002 Rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione, onde elettromagnetiche. Valutazione, prevenzione e bonifica negli ambienti di lavoro. Modena, 25-27 settembre 2002, p. 327-339.
20. Monarca D., Cecchini M., Vassalini G.: "Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio: la normativa di riferimento per le motoseghe" - Rivista di Ingegneria Agraria n. 1, MARZO 2003, p. 45-52.
21. Monarca D., Cecchini M., Vassalini G.: "Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio dai principali modelli di motoseghe presenti sul mercato italiano" - Rivista di Ingegneria Agraria n. 1 MARZO 2003, p. 53-64.
22. Monarca D., Cecchini M., Ciaccasassi A., Vassalini G.: "Indagine sperimentale sull'esposizione del corpo intero ai rischi da vibrazione durante l'uso di semoventi tosaerba con conducente a bordo" - Atti del Convegno dBA 2004 Rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione, onde elettromagnetiche. Valutazione, prevenzione e bonifica negli ambienti di lavoro. Modena, 13-16 ottobre 2004.
23. Norma ISO 2631-1 (1997): "Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part. 1: General requirements".
24. Linee Guida per la valutazione del rischio da vibrazioni negli ambienti di lavoro ISPESL - Gennaio 2001

25. Norma ISO 5349-1 (2001): "Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand transmitted vibration. Part. 1: General requirements".
26. Peretti A. et al.: Vibrazioni prodotte da motoseghe, Atti Convegno nazionale "Lavoro e salute in agricoltura", Punta Ala, 5-8 ottobre 1993.
27. Pinto I. et al.: Valutazione e caratterizzazioni delle vibrazioni prodotte da motoseghe, Atti Convegno nazionale "Lavoro e salute in agricoltura", Punta Ala, 5-8 ottobre 1993.
28. Peretti A., "Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio: La revisione della norma ISO 5349", Atti dBA incontri '99, Modena, 23 settembre 1999.
29. Ragni L., Vassalini G., Fang X., Zhang L.: "Vibration and noise of a little implements for the soil tillage" Journal of Agricultural Engineering Research n. 74 December 1999, p. 403-409.
30. Vassalini G., Fanigliulo R., Fedrizzi M.: "Rischio vibrazioni per l'operatore di macchine rasaerba semoventi: rilievi e valutazione in diverse condizioni operative" - Atti del 9° Convegno di Igiene Industriale AIDII "Le Giornate di Corvara". Corvara (Bz) 19 - 21 marzo 2003, p. 331-335.

Progetto grafico • Impaginazione • Stampa



00159 Roma • Via I. Pettinengo, 31/33 • Tel. 0643588200 • Fax 064385693
info@stilgrafica.com • www.stilgrafica.com

Finito di stampare nel mese di Giugno 2005