P.A.F. - PORTALE AGENTI FISICI

RAPPORTO 2/26

VIBRAZIONI IMPULSIVE E ULTRAVIBRAZONI: AGGIORNAMENTI NORMATIVI

A cura di:
Iole Pinto (*), Andrea Bogi, Francesco Picciolo, Nicola Stacchini

Azienda Usl Toscana Sud-Est – Laboratorio Sanità Pubblica – Agenti Fisici
(*) già Responsabile Laboratorio Agenti Fisici Azienda Usl Toscana Sud-Est

27/10/2026

Introduzione

La valutazione della presenza di impatti o urti ripetuti è richiesta nell'ambito della valutazione del rischio vibrazioni con riferimento a quanto prescritto dall'art. 202 - comma 5 - punto a) del D.lgvo 9 Aprile 2008 n. 81 che prescrive che la valutazione prenda in esame: "*il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a vibrazioni intermittenti o a urti ripetuti*".
A tale riguardo va tenuto presente che la norma ISO 5349-1, di riferimento ai fini della valutazione del rischio vibrazioni trasmesse al sistema mano/braccio, dichiara nel campo di applicazione che "*la dipendenza temporale della risposta umana a vibrazioni caratterizzate da urti ripetuti non è pienamente nota*" e che l'applicazione della norma ISO 5349-1 a tali vibrazioni deve essere effettuata "*con cautela*".

Nonostante le lacune conoscitive in questo ambito, un primo passo compiuto con l'emanazione della norma ISO 5349-3 è stato quello di standardizzare i metodi per valutare l'esposizione del sistema mano-braccio a urti isolati e ripetuti (qui definiti come vibrazioni impulsive trasmesse al sistema mano-braccio, o HTS – "hand-transmitted shock vibrations") derivanti dall'uso di macchinari tenuti o guidati a mano, definendo in particolare una metrica idonea a valutare l'ampiezza di picco dei segnali di accelerazione.

Pur non indicando specifici valori limite, tale normativa è utile per poter comparare l'entità delle vibrazioni impulsive prodotte da macchinari di simile tipologia ed indirizzare la scelta verso quelli che producono minore esposizione.

Va detto che la norma ISO 5349-3 stabilisce parametri valutativi delle vibrazioni impulsive nello stesso intervallo di frequenze della norma ISO 5349-1 (il limite superiore dell'intervallo di misura in frequenza è pari a 1250 Hz).

Da alcuni anni è stato ipotizzato e dimostrato che le vibrazioni ad alta frequenza di tipo impulsivo o continuo (HFV – High Frequency Vibration) – generate, ad esempio da avvitatori ad impulsi, smerigliatrici ad alta velocità o strumenti a impatto - caratterizzate da componenti in frequenza prevalentemente superiore a 1250 Hz – potrebbero essere ancora più pericolose per i sistemi vascolare e nervoso delle mani in relazione all'insorgenza della sindrome da vibrazioni mano-braccio (HAVS).

Tali tipologie di vibrazioni – dette "ultravibrazioni" – non sono contemplate nell'attuale norma di riferimento per la valutazione del rischio, la ISO 5349-1; da numerosi studi emerge che il rischio di lesioni venga sottostimato adottando i criteri valutativi correnti. Per tale motivo è in fase di sviluppo una normativa specifica (ISO 5349-4) che consenta la valutazione di tale tipologia di vibrazioni di alta frequenza con metodi standardizzati.

La norma ISO 5349-3

La norma ISO 5349-3 fornisce la metrica ed i metodi per la valutazione delle HTS nell'intervallo di frequenze coperto dalla norma ISO 5349-1.

E' da rilevare a tale proposito che la norma è stata sviluppata a seguito dell'entrata in

vigore del nuovo Regolamento Macchine Regolamento UE 2023/1230, che ha apportato modifiche ed integrazioni alla Direttiva Macchine (Direttiva 2006/42/CE), ed in particolare, per quanto attiene le vibrazioni, ha introdotto un nuovo requisito relativo alla dichiarazione dell'emissione di vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio da parte dei produttori. In particolare il Regolamento UE 2023/1230 (nuova "direttiva macchine") entrerà pienamente in vigore a partire dal 14 gennaio 2027 ed al punto 2.2.1.1 afferma:

2.2.1.1. Istruzioni per l'uso
Le istruzioni per l'uso devono fornire le indicazioni seguenti relative alle vibrazioni, espresse come accelerazione (m/s^2) e trasmesse da macchine o prodotti correlati portatili tenuti o condotti a mano:
a) il valore totale delle vibrazioni continue a cui è sottoposto il sistema mano-braccio;
***b) il valore medio dell'ampiezza di picco dell'accelerazione ottenuto da vibrazioni da urti ripetuti, cui è sottoposto il sistema mano-braccio**;*
c) l'incertezza di entrambe le misurazioni.

Dunque la ISO 5349-3 è rivolta principalmente ai produttori, ai fini di ottemperare all'obbligo di dichiarare l'entità delle vibrazioni impulsive emesse dal macchinario, ed è sicuramente un primo passo importante ai fini di poter ridurre il rischio alla fonte nella scelta di nuovi macchinari che riducano l'esposizione a vibrazioni impulsive.
La norma ISO 5349-3 è stata proposta per affrontare la misurazione degli urti trasmessi al sistema mano-braccio (HTS) per frequenze che arrivano fino al limite superiore dell'intervallo di frequenza attualmente previsto per le vibrazioni mano-braccio, ovvero 1250 Hz. Tale norma consente di effettuare misurazioni di urti, sia isolati che ripetitivi, utilizzando la strumentazione esistente conforme alla norma ISO 8041-1.
Nello specifico, il parametro valutativo introdotto dalla norma è identificato dalla quantità p_F (Vibration Peak Magnitude cioè ampiezza del picco di vibrazione), calcolata sul segnale dell'accelerazione.
L'unità di misura di p_F è quello di un'accelerazione (m/s^2). Un approfondimento sul metodo di calcolo è in appendice del presente documento.
Valori di p_F misurati sono già presenti nei manuali di alcuni utensili che espongo a vibrazioni mano-braccio.

Ultravibrazioni: Il progetto di norma ISO 5349-4

Molti macchinari generano vibrazioni continue ad alta frequenza; i trapani odontoiatrici, ad esempio, rientrano spesso in questa categoria, operando a velocità di rotazione comprese tra 180.000 giri/min e 400.000 giri/min (equivalenti a 3 kHz –6,7 kHz). Numerose altre apparecchiature, come avvitatori pneumatici rapidi, smerigliatrici ad alta velocità o strumenti a impatto producono vibrazioni di tipo impulsivo (shock) che includono componenti di frequenza fino a 10.000 Hz e oltre.
La norma ISO 5349-1 che descrive i requisiti generali per la misurazione e la valutazione dell'esposizione umana alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio prende in considerazione frequenze fino a 1250 Hz; la curva di ponderazione tradizionale prevista dalla norma tende ad "attenuare" matematicamente le frequenze molto elevate, tagliando tutte le componenti dell'accelerazione superiori a 1250, in quanto si assumeva erroneamente che il corpo umano le assorbisse senza danni permanenti.

Tuttavia, diverse ricerche indicano che le vibrazioni ad alta frequenza e quelle di natura transitoria, superiori a 1250 Hz, potrebbero essere ancora più dannose per i sistemi vascolare e nervoso delle mani.

Per questo motivo in sede ISO è in fase di elaborazione un'ulteriore norma (ISO 5349-4) finalizzata alla misura delle così dette "ultravibrazioni" cioè le vibrazioni con componenti in frequenza superiori a 1250 Hz, non contemplate dalla ISO 5349-3.
La norma ISO 5349-4 è stata proposta per ampliare l'intervallo di frequenza per tutte le tipologie di misurazione delle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio, ponendo particolare attenzione alla componente ad alta frequenza tipica di molti segnali di vibrazioni trasmesse alla mano (HTS).

L'ampiezza di picco degli urti, così come altre misurazioni dell'intensità, possono dipendere in maniera significativa dalla frequenza di taglio superiore e dalle caratteristiche del filtro adottato per l'acquisizione del segnale. Per tale motivo è indispensabile standardizzare i filtri in frequenza da adottare per l'acquisizione del segnale.
La specifica non definirà un unico intervallo di frequenza per la misurazione; suggerirà invece alcune frequenze "preferenziali", al di sopra di 1250 Hz, che possono essere selezionate e che devono essere obbligatoriamente indicate insieme ai dati sulle vibrazioni.

Le nuove norme sulla misurazione delle vibrazioni a impulsi (HTS) e sulle "ultravibrazioni" rappresentano un'evoluzione significativa nell'ambito degli standard relativi alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.

L'obiettivo è definire parametri univoci per gli impulsi e per le vibrazioni alle alte frequenze, applicabile sia alla dichiarazione delle emissioni vibratorie, sia alla valutazione dell'esposizione alle vibrazioni per il sistema mano-braccio, ed in particolare:

1. **Filtri di banda estesi:** Definire nuovi criteri di filtraggio e calcolo che non taglino le frequenze superiori ai 1250 Hz.
2. **Nuove metriche di picco:** Valutare non solo il valore quadratico medio (r.m.s.) ma l'ampiezza di picco degli shock ad alta frequenza, che ha un impatto distruttivo maggiore sui tessuti biologici.
3. **Linee guida per la strumentazione:** Fornire ai produttori di vibrometri e accelerometri i requisiti per creare sensori capaci di campionare accuratamente i range ultrasonici senza distorsioni o risonanze del sensore stesso

In tabella 1 riepiloghiamo lo stato attuale delle norme ISO 5349

Tabella 1 - Confronto delle norme sulle vibrazioni M/B della serie ISO 5349

Standard	Ambito di applicazione	Intervallo di Frequenza	Stato attuale
ISO 5349-1 / -2	Requisiti generali e guida pratica sul posto di lavoro.	Da 6,3 Hz a 1250 Hz	Standard ufficiale attivo
ISO 5349-3	Valutazione di urti singoli e ripetitivi (Hand-Transmitted Shock).	Fino a 1250 Hz (strumentazione standard)	Pubblicato di recente (2025/2026)
ISO/TS 5349-4	Vibrazioni ad alta frequenza e ultrasuoni (Ultravibration).	Esteso fino a 10.000 Hz	In fase di sviluppo (PWI / Progetto)

Conclusioni

L'adozione di tali norme - di cui la ISO 5349-3 è già in vigore - contribuirà alla raccolta di dati coerenti sulle vibrazioni impulsive e ultravibrazioni, favorendo un miglioramento della sicurezza sul lavoro, nella scelta di macchinari che riducano i livelli di vibrazioni impulsive.

Si auspica, inoltre, che i dati epidemiologici ottenuti con l'applicazione delle nuove norme possano aiutare a comprendere meglio la correlazione tra l'esposizione alle HTS e gli effetti sulla salute a carico di mano e braccio.

APPENDICE METODOLOGICA
Quantificazione di P_F

La quantità p_F (*Vibration Peak Magnitude*) viene calcolata sul segnale dell'accelerazione passato dal filtro band-limiting frequency weighting (denominata $flat_h$ nella UNI EN ISO 5349-3), attualmente già utilizzato all'interno del calcolo della curva Wh e descritto nella norma ISO 8041.

Per il calcolo di p_F la norma prevede:

- Acquisizione del segnale sui tre assi con un campionamento superiore a 6300 Sample/second (valore minimo richiesto: 6 294,6 Hz);
- Applicazione per ogni asse del filtro BAND LIMITING ($flat_h$). Si ottengono i valori di accelerazione istantanea $a_{Fx}(t)$, $a_{Fy}(t)$, $a_{Fz}(t)$ pesati tramite il filtro passa banda $flat_h$
- Somma vettoriale dei tre assi per ottenere l'accelerazione a_{Fvi} (dove i indica l'i-esimo campionamento)
- Calcolo del valore del descrittore p_F (misurato in m/s^2) tramite la formula:

$$p_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} a_{fvi}^6}{\sum_{i=1}^{n} a_{fvi}^4}}$$

Dove a_{fv1} …. a_{fvn} sono i valori di accelerazione misurati in un determinato intervallo temporale. L'analogo continuo della formula è l'integrale sul tempo di misura.

Razionale: il rapporto pesato tra la sesta e la quarta potenza dell'accelerazione istantanea svolge una funzione di filtraggio dei picchi. Vengono amplificati selettivamente i transienti di ampiezza più alta ed eliminata l'influenza dei periodi stazionari di fondo o delle fasi di minimo segnale. Matematicamente, il rapporto tra la 6ª e la 4ª potenza (pari a un'accelerazione quadratica pesata sui picchi) fa sì che i transienti di ampiezza elevata dominino la somma, mentre i periodi di minimo segnale o di rumore stazionario diano un contributo trascurabile al rapporto. Questo approccio rende il parametro p_F un indicatore del valore medio di picco più robusto rispetto sia all'RMS convenzionale (che diluisce i picchi sull'intera durata del tempo di misura) sia all'RMS mobile (Running RMS).

Nella UNI EN ISO 5349-3 si chiarisce che il parametro p_F è stato sviluppato in via prioritaria per la dichiarazione delle emissioni dei macchinari e per la comparazione tecnica tra macchine. L'adozione sistematica della UNI EN ISO 5349-3 nel contesto del Regolamento UE 2023/1230 permetterà di costituire nei prossimi anni la banca dati internazionale indispensabile per guidare i futuri studi epidemiologici sul rischio da urto impulsivo.

Acronimi utilizzati

HTS – "hand-transmitted shock vibrations, vibrazioni impulsive trasmesse al sistema mano-braccio
HFV – High Frequency Vibration, vibrazioni ad alta frequenza
HAVS – hand-arm vibration syndrome, sindrome da vibrazioni mano-braccio

BIBLIOGRAFIA

ISO/TS 15694, *Mechanical vibration and shock — Measurement and evaluation of single shocks transmitted from hand-held and hand-guided machines to the hand-arm system*

ISO/TS 22704, *Mechanical vibration — Uncertainty of the measurement and evaluation of human exposure to vibration*

UNI – EN ISO 5349-1 Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano Parte 1: Requisiti Generali

UNI – EN ISO 5349 -2 Parte 2: Guida pratica per la misurazione al posto di lavoro

UNI – EN ISO 5349-3 Parte 3 Vibrazioni meccaniche – Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano – Parte 3: Urti isolati e ripetuti utilizzando l'intervallo di frequenza della ISO 5349-1

PITTS P., KAULBARS U., LINDELL H., GRÉTARSSON SL., MACHENS M., BRAMMER AJ., YU G., SCHENK T., HAAS F., Hand-arm Vibration: Exposure to Isolated and Repeated Shock Vibrations - Review of the International Expert Workshop 2015 in Beijing. IFA Report 5/2017e. ed.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2017. ISBN: 978-3-86423-198-8

OCHSMANN E., COROMINAS A., KAULBARS U., LINDELL H., ERNST B., Physiological Effects of Single Shocks on the Hand-Arm System — A Randomized Experiment. Proceedings of the 15th International Conference on Hand-Arm Vibration, Nancy, France, 2023, 86, 35. https:// doi .org/ 10 .3390/ p roceedings 2023086035

WITTE J., COROMINAS A., ERNST B., KAULBARS U., WENDLANDT R., LINDELL H., OCHSMANN E., Acute physiological and functional effects of repetitive shocks on the hand-arm system: a pilot study on healthy subjects. Int J Occup Saf Ergon. 2023, 29(3), 1057-1066. doi: 10.1080/10803548.2022.2110358. Epub 2022 Aug 25. PMID: 35930057.

SCHÄFER N., DUPUIS H, HARTUNG, E. Acute effects of shock-type vibration transmitted to the hand-arm system. Int. Arch Occup Environ Heath 55, 49–59 (1984). https:// doi .org/ 10 .1007/ BF00378067

LINDELL H., PITTS P., BRAMMER A., LUNDSTROM R., Nancy Workshop 2023 on Hand-Transmitted Shock and High-Frequency Vibration. Proceedings of the 15th International

Conference on Hand-Arm Vibration, Nancy, France, 2023, 86, 47. https:// doi .org/ 10 .3390/ p roceedings 2023086047

PITTS P., LINDELL H., Workshop–ISO Development of Standards Relating to Hand-Transmitted Shock. Proceedings 2023, 86, 48. https:// doi .org/ 10 .3390/ p roceedings 2023086048