

**VIBRAZIONI**

**Misura delle vibrazioni negli edifici  
e criteri di valutazione del disturbo**

**UNI  
9614**

AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

Vibration measurement in buildings and annoyance evaluation

La presente norma concorda parzialmente con la ISO 2631/2 (vedere chiarimenti).

**0. Premessa**

Oltre a cause naturali (fenomeni sismici, vento, ecc.), le vibrazioni negli edifici possono essere legate ad attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (magli, presse, ecc.), i lavori stradali ed edili (perforatori, battipalo, ecc.), le detonazioni di cariche esplosive, ecc.. Tali vibrazioni possono costituire una fonte di disturbo per le persone esposte e ridurre il loro benessere.

**1. Scopo e campo di applicazione**

Nella norma viene definito il metodo di misura delle vibrazioni di livello costante immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi.

La presente norma non costituisce una guida per la valutazione delle vibrazioni considerate come possibile causa di danni strutturali o architettonici agli edifici.

Questa norma non costituisce inoltre una guida per la valutazione delle vibrazioni che, a bordo di veicoli, navi, aerei e all'interno di installazioni industriali, possono pregiudicare il comfort, l'efficienza lavorativa, la salute-sicurezza dei soggetti esposti; tali vibrazioni, i cui limiti sono strettamente dipendenti dalla durata dell'esposizione, sono anch'esse oggetto di norme specifiche.

**2. Riferimenti**

UNI 9670	Risposta degli individui alle vibrazioni — Apparecchiature di misura
UNI ISO 5805	Vibrazioni meccaniche e urti riguardanti l'uomo — Vocabolario
ISO 1683	Acustica — Grandezze normali di riferimento per i livelli acustici
ISO 2631/1	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1ª: Prescrizioni generali
ISO 5347	Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni e di urti
ISO 5348	Vibrazioni meccaniche ed urti — Montaggio meccanico degli accelerometri (rilevatori sismici)
IEC 184	Metodi per specificare le caratteristiche dei trasduttori elettromeccanici per la misura di vibrazioni ed urti
IEC 222	Metodi per specificare le caratteristiche degli apparecchi ausiliari per la misura di vibrazioni e urti
IEC 225 (CEI 29-4)	Filtri in banda di ottava, 1/2 ottava e 1/3 di ottava usati nelle analisi di suoni e vibrazioni

**3. Definizioni**

**3.1. Tipi di vibrazioni**

Le vibrazioni immesse in un edificio possono essere definite:

- di livello costante, quando il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza (vedere 4) rilevato mediante costante di tempo "slow" (1 s) varia nel tempo in un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB;
- di livello non costante, quando il livello suddetto varia in un intervallo di ampiezza superiore a 5 dB;
- impulsive, quando sono originate da eventi di breve durata costituiti da un rapido innalzamento del livello di accelerazione sino ad un valore massimo seguito da un decadimento che può comportare o meno, a seconda dello smorzamento della struttura, una serie di oscillazioni che tendono ad estinguersi nel tempo.

(segue)

Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione sia di nuove edizioni sia di fogli di aggiornamento. È importante pertanto che gli utenti delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione o foglio di aggiornamento.

# AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

## 3.2. Assi di propagazione delle vibrazioni

Le direzioni lungo le quali si propagano le vibrazioni vengono riferite alla postura assunta dal soggetto esposto. Gli assi vengono così definiti:

- asse z, passante per il cocchige e la testa;
- asse x, passante per la schiena ed il petto;
- asse y, passante per le due spalle.

La direzione della verticale coincide con l'asse z per un soggetto in piedi o seduto, con l'asse x per un soggetto disteso (fig. 1).

Nota — Nel caso la postura del soggetto esposto alle vibrazioni non sia nota o vari nel tempo, vedere 4.2.

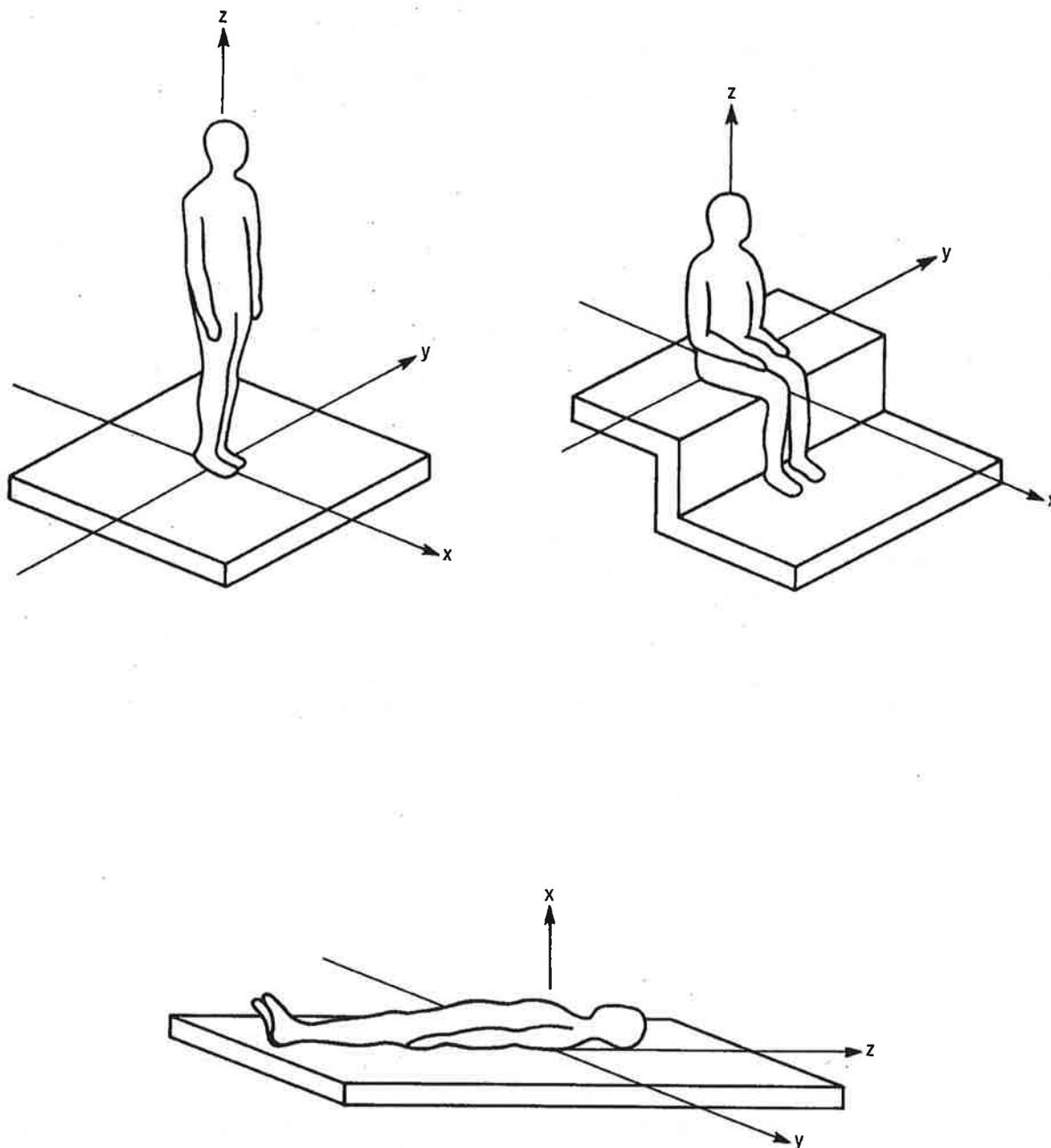


Fig. 1 — Direzioni delle vibrazioni e posizioni dei rilievi

# AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

## 3.3. Tipi di locali o di edifici

I locali o gli edifici in cui vengono immerse le vibrazioni vengono classificati a seconda della loro destinazione d'uso in:

- aree critiche;
- abitazioni;
- uffici;
- fabbriche.

Nota — *Per aree critiche si intendono le camere operatorie ospedaliere, i laboratori, i locali in cui si svolgono lavori manuali delicati, ecc.. Ai fini della presente norma, le aree critiche sono considerate tali solo negli intervalli di tempo in cui le operazioni in dette aree sono in corso. Negli altri intervalli di tempo tali aree possono essere assimilate alle abitazioni qualora vi sia il consenso da parte di coloro che vi lavorano e qualora le vibrazioni siano preannunciate. Alle abitazioni possono essere assimilati i reparti di degenza ospedalieri, i locali pubblici, ecc..*

## 3.4. Periodi della giornata

La giornata viene suddivisa in due periodi di tempo:

- diurno, dalle ore 7.00 alle ore 22.00;
- notturno, dalle ore 22.00 alle ore 7.00.

## 4. Misura delle vibrazioni di livello costante

### 4.1. Accelerazione della vibrazione

Le vibrazioni di livello costante vanno caratterizzate misurando il valore efficace (r.m.s.) dell'accelerazione o il corrispondente livello; il valore dell'accelerazione viene espresso in  $m/s^2$ , il livello dell'accelerazione in dB.

Il livello dell'accelerazione ( $L$ ) è definito dalla relazione:

$$L = 20 \log (a/a_0) \quad [1]$$

dove:  $a$  è il valore efficace dell'accelerazione;

$a_0 = 10^{-6} m/s^2$  è il valore efficace dell'accelerazione di riferimento.

### 4.2. Misura dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza

Gli effetti delle vibrazioni di frequenza diversa sono cumulativi per cui va impiegato un metodo di misura basato sulla valutazione complessiva delle accelerazioni nell'intervallo 1-80 Hz.

Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni (fig. 2), vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto (fig. 3). Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono, rispettivamente,  $a_w$  e  $L_w$ .

Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse  $z$  prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 4 e 1 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed una attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz (prospetto I). Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi  $x$  e  $y$  prevede una attenuazione nulla tra 1 e 2 Hz e una attenuazione di 6 dB per ottava tra 2 e 80 Hz (prospetto I). Tali filtri non devono deviare dai valori definiti di oltre  $\pm 1$  dB negli intervalli 6,3-31,5 Hz per l'asse  $z$  e 1,25-31,5 Hz per gli assi  $x$  e  $y$  e di oltre  $\pm 2$  dB al di fuori di detti intervalli.

La banda di frequenza 1-80 Hz deve essere limitata da un filtro passabanda con una pendenza asintotica di 12 dB per ottava. Nel caso la postura del soggetto esposto non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I. In alternativa, i rilievi su ogni asse vanno effettuati utilizzando in successione i filtri sopraindicati; ai fini della valutazione del disturbo verrà considerato il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza più elevato.

AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

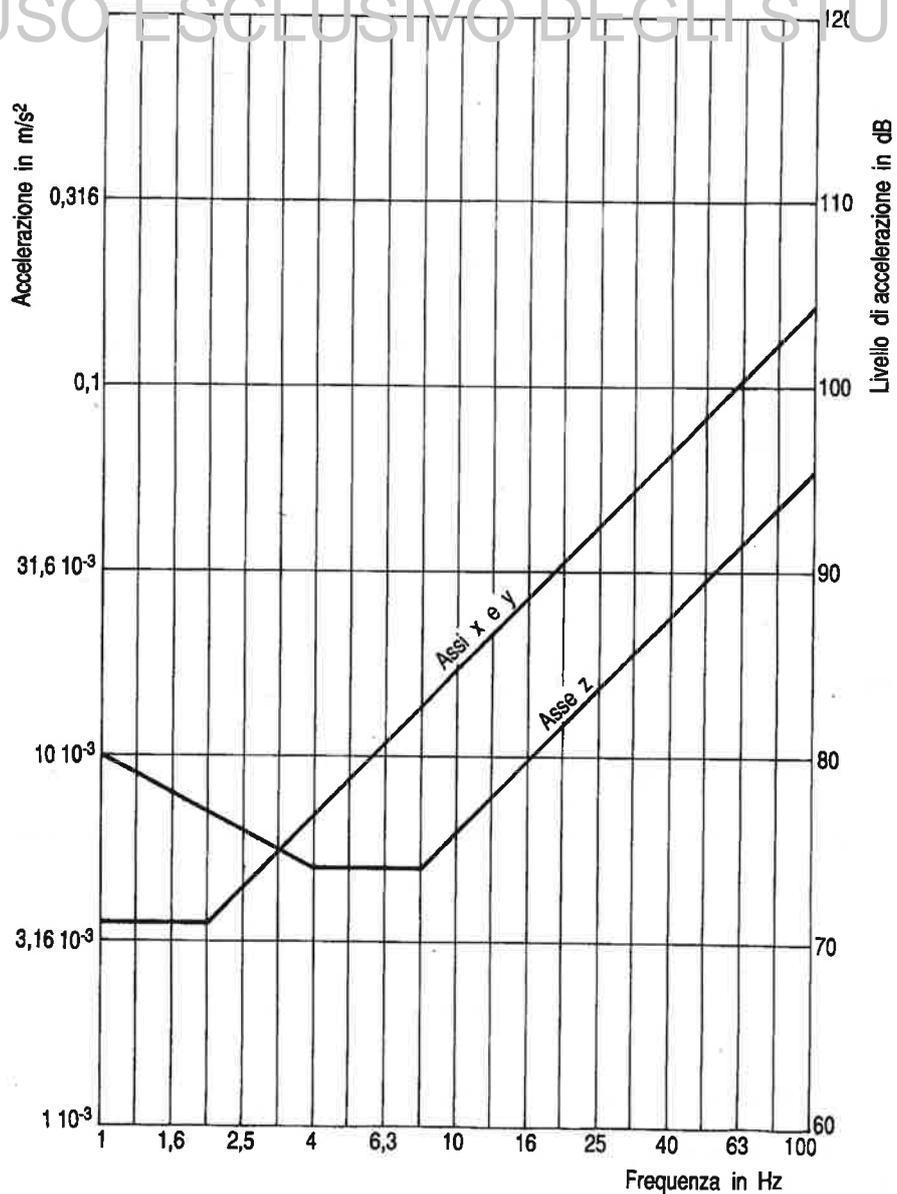


Fig. 2 — Curve di soglia di percezione delle vibrazioni

AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

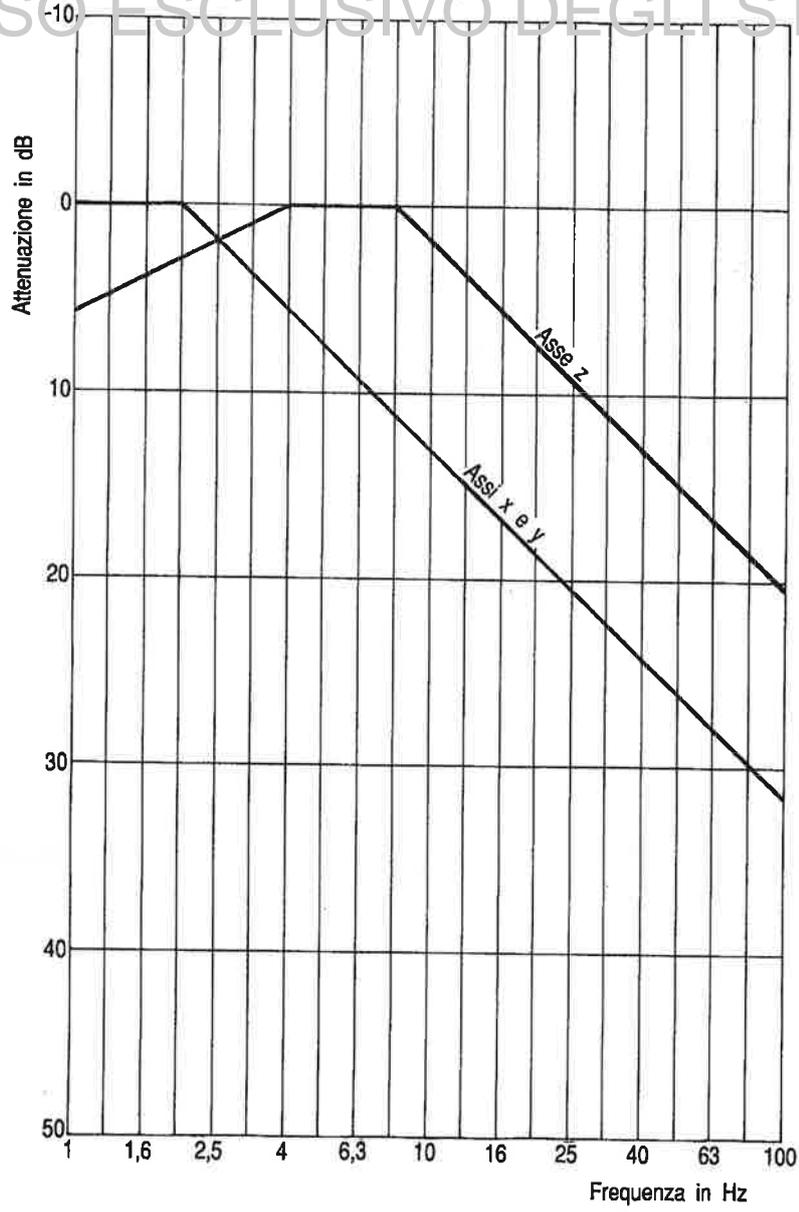


Fig. 3 — Filtri di ponderazione

# AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

## Prospetto I — Attenuazione dei filtri di ponderazione

Frequenza Hz	Asse z dB	Assi x-y dB	Postura non nota o variabile dB
1	6	0	0
1,25	5	0	0
1,6	4	0	0
2	3	0	0
2,5	2	2	0,5
3,15	1	4	1
4	0	6	1,5
5	0	8	2
6,3	0	10	2,5
8	0	12	3
10	2	14	5
12,5	4	16	7
16	6	18	9
20	8	20	11
25	10	22	13
31,5	12	24	15
40	14	26	17
50	16	28	19
63	18	30	21
80	20	32	23

### 4.3. Analisi dell'accelerazione per terzi di ottava

In alternativa al metodo indicato in 4.2, è possibile effettuare un'analisi dell'accelerazione in terzi di ottava nell'intervallo 1-80 Hz. Ai livelli riscontrati banda per banda va sottratta una quantità pari a quella definita dall'attenuazione dei filtri di ponderazione (prospetto I). Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza ( $L_w$ ) è dato dalla relazione:

$$L_w = 10 \log \sum_i 10^{L_{i,w}/10} \quad [2]$$

dove:  $L_{i,w}$  sono i livelli rilevati per terzi di ottava ponderati in frequenza come sopra indicato.

### 4.4. Posizione dei rilievi

Qualora il soggetto esposto si trovi prevalentemente in una posizione determinata, l'accelerometro va fissato sul pavimento in corrispondenza:

- dei piedi (se il soggetto è eretto);
- dei glutei (se il soggetto è seduto);
- del ventre (se il soggetto è disteso).

Nel caso in cui non si possa individuare una posizione prevalente del soggetto esposto, i rilievi andranno effettuati a centro ambiente (o al centro di ciascuna delle aree in esame, nel caso di ambienti di grandi dimensioni).

### 4.5. Assi lungo i quali effettuare i rilievi

I rilievi vanno effettuati secondo i tre assi ortogonali o secondo l'asse lungo il quale le vibrazioni sono più elevate.

### 4.6. Strumentazione di misura

La strumentazione di misura deve rispondere alle norme IEC 184, IEC 222 e IEC 225, deve essere adeguata alla valutazione delle vibrazioni in esame e deve essere opportunamente calibrata.

# AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

## 4.7. Vibrazioni residue

Per vibrazioni residue si intende la somma di tutti i segnali di qualunque origine (vibrazioni prodotte da sorgenti diverse da quelle in esame, vibrazioni di fondo, rumore elettrico della linea di misura) con l'eccezione del segnale dovuto alla sorgente esaminata. Il livello corretto ( $L_{w,c}$ ), della vibrazione in esame da impiegare per la valutazione del disturbo, è dato dalla relazione:

$$L_{w,c} = 10 \log (10^{L_{w,t}/10} - 10^{L_{w,r}/10}) \quad [3]$$

dove:  $L_{w,t}$  rappresenta il livello delle vibrazioni totali (in esame e residue);

$L_{w,r}$  rappresenta il livello delle vibrazioni residue.

Se la differenza tra il livello delle vibrazioni totali e quello delle vibrazioni residue è maggiore o uguale a 10 dB, l'effetto della correzione soprariportata è trascurabile; se tale differenza è minore di 6 dB, la misura della vibrazione in esame è scarsamente significativa e deve quindi essere considerata solo a titolo indicativo.

## 4.8. Resoconto di prova

Nel resoconto di prova vanno riportati:

- il riferimento alla presente norma;
- l'oggetto e le finalità dell'indagine;
- la descrizione della sorgente di vibrazioni;
- la descrizione dell'edificio;
- gli strumenti impiegati per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati;
- la posizione dei rilievi;
- le modalità di fissaggio degli accelerometri;
- i criteri e modalità di acquisizione dei dati;
- i criteri e modalità di elaborazione dei dati;
- la valutazione delle vibrazioni residue (nel caso non si possa disattivare la sorgente che genera le vibrazioni esaminate, va indicato il metodo seguito per valutare l'entità delle vibrazioni residue);
- la valutazione degli errori;
- i risultati ottenuti;
- la valutazione dei risultati.

## 5. Percezione delle vibrazioni

La soglia di percezione delle vibrazioni si pone a  $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$  (74 dB) per l'asse z e a  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$  (71 dB) per gli assi x e y (valori di accelerazione ponderata in frequenza).

## APPENDICE

(La presente appendice non costituisce parte integrante della norma)

### A 0. Premessa

I metodi di valutazione del disturbo riportati non tengono conto del fatto che le vibrazioni di frequenza superiore a 20 Hz possono generare rumore ed accrescere quindi il disturbo prodotto.

### A 1. Valutazione del disturbo dovuto a vibrazioni di livello costante

Per la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante, i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza o i corrispondenti livelli (eventualmente corretti come indicato in 4.7) più elevati riscontrati sui tre assi, possono essere confrontati con i limiti riportati nei prospetti II e III. Nel caso si impieghi il filtro valido per posture non note o variabili nel tempo (vedere 4.2), vanno assunti come limiti i valori definiti per gli assi x e y.

Qualora i valori o i livelli delle vibrazioni in esame superino i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto.

Il giudizio sull'accettabilità (tollerabilità) del disturbo oggettivamente riscontrato dovrà ovviamente tener conto di fattori quali la frequenza con cui si verifica il fenomeno vibratorio, la sua durata, ecc..

**Prospetto II — Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per l'asse z**

	a m/s <sup>2</sup>	L dB
aree critiche	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
abitazioni (notte)	7,0 10 <sup>-3</sup>	77
abitazioni (giorno)	10,0 10 <sup>-3</sup>	80
uffici	20,0 10 <sup>-3</sup>	86
fabbriche	40,0 10 <sup>-3</sup>	92

**Prospetto III — Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per gli assi x e y**

	a m/s <sup>2</sup>	L dB
aree critiche	3,6 10 <sup>-3</sup>	71
abitazioni (notte)	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
abitazioni (giorno)	7,2 10 <sup>-3</sup>	77
uffici	14,4 10 <sup>-3</sup>	83
fabbriche	28,8 10 <sup>-3</sup>	89

#### A 1.1. Esempio applicativo

Si supponga di aver rilevato le vibrazioni di livello costante presenti sul pavimento di un ufficio mediante uno strumento di misura delle vibrazioni sprovvisto dei filtri di ponderazione.

I livelli delle accelerazioni verticali riscontrati per terzi di ottava a sorgente disturbante attiva e inattiva sono riportati nel prospetto IV. Per brevità si considerano solo le accelerazioni verticali.

Il procedimento di calcolo è il seguente:

- 1) ad ogni livello misurato (sia a sorgente attiva che inattiva) si sottrae il corrispondente livello previsto dal filtro di ponderazione;
- 2) impiegando la formula [2] si calcolano i livelli delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza relativi alla sorgente attiva (88,8 dB) ed alla sorgente inattiva (79,3 dB);
- 3) dato che la differenza tra i due livelli soprariportati è compresa tra 6 e 10 dB, il livello relativo alla sorgente attiva va corretto in base alla formula [3]; si ottiene 88,2 dB;
- 4) tale livello può essere confrontato con il livello limite (86,0 dB) riportato nel prospetto II.

# AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

Prospetto IV — Livelli delle vibrazioni relativi all'esempio applicativo

Frequenza Hz	Sorgente attiva dB	Sorgente inattiva dB	Attenuazione filtro z dB
1	70	70	6
1,25	70	70	5
1,6	70	70	4
2	70	70	3
2,5	70	70	2
3,15	70	70	1
4	70	70	0
5	70	70	0
6,3	70	70	0
8	70	70	0
10	70	70	2
12,5	91	70	4
16	87	70	6
20	74	70	8
25	86	70	10
31,5	81	70	12
40	70	70	14
50	70	70	16
63	70	70	18
80	70	70	20

## A 2. Misura e valutazione delle vibrazioni di livello non costante

Le vibrazioni di livello non costante possono essere misurate rilevando, in un intervallo di tempo rappresentativo, l'accelerazione equivalente ( $a_{w,eq}$ ) o il livello equivalente dell'accelerazione ( $L_{w,eq}$ ) così definiti:

$$a_{w,eq} = \left[ (1/T) \int_0^T [a_w(t)]^2 dt \right]^{0,5} \quad [4]$$

$$L_{w,eq} = 10 \log \left[ (1/T) \int_0^T [a_w(t)/a_0]^2 dt \right] \quad [5]$$

dove:  $a_w(t)$  è l'accelerazione complessiva ponderata in frequenza espressa in  $m/s^2$ ;  
 $T$  è la durata del rilievo espresso in secondi;  
 $a_0 = 10^{-6} m/s^2$  è l'accelerazione di riferimento.

Per la valutazione del disturbo, i valori dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza o i corrispondenti livelli possono essere confrontati con i limiti riportati nei prospetti II e III.

## A 3. Misura e valutazione delle vibrazioni impulsive

Le vibrazioni impulsive possono essere rilevate misurando il valore di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale valore va moltiplicato per il fattore 0,71 per stimare il corrispondente valore efficace (nel caso si sia rilevato il livello di picco, questo va diminuito di 3 dB).

Per la valutazione del disturbo, il valore efficace dell'accelerazione, determinato come sopraindicato, va confrontato con i limiti riportati nel prospetto V.

Tali limiti vanno adottati se il numero  $N$  di eventi impulsivi giornalieri non è maggiore di 3. Nel caso si manifestino più di 3 eventi impulsivi giornalieri, i valori limite fissati per le abitazioni (di giorno), per gli uffici e le fabbriche vanno diminuiti in base al numero di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per un fattore correttivo ( $F$ ); nessuna riduzione va applicata per le aree critiche e le abitazioni (di notte). Nel caso di impulsi di durata minore di 1 s, si pone  $F = 1,7 N^{-0,5}$ ; nel caso di impulsi di durata maggiore di 1 s, si pone  $F = 1,7 N^{-0,5} t^{-k}$ , con  $k = 1,22$  per pavimenti di calcestruzzo e  $k = 0,32$  per pavimenti di legno.

Qualora i limiti così calcolati risultassero minori dei limiti previsti per le vibrazioni di livello costante dovranno essere adottati come limiti questi ultimi valori.

**Prospetto V — Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per le vibrazioni impulsive**

	asse z m/s <sup>2</sup>	assi x e y m/s <sup>2</sup>
aree critiche	5,0 10 <sup>-3</sup>	3,6 10 <sup>-3</sup>
abitazioni (notte)	7,0 10 <sup>-3</sup>	5,0 10 <sup>-3</sup>
abitazioni (giorno)	0,30	0,22
uffici e fabbriche	0,64	0,46

**A 4. Valutazione delle vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari**

Nel caso di vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari e immesse nelle abitazioni, i risultati di alcune sperimentazioni [2] indicano come riferimento i valori 30,0 10<sup>-3</sup> (asse z) e 21,6 10<sup>-3</sup> (assi x e y) m/s<sup>2</sup>.

**A 5. Valutazione del fattore di cresta**

Gli effetti delle vibrazioni aventi fattore di cresta maggiore di 6 possono essere sottostimati dai criteri di valutazione riportati; per tale motivo il fattore di cresta delle vibrazioni in esame va opportunamente rilevato.

Il fattore di cresta è definito come il rapporto tra il valore di picco ed il valore efficace ambedue ponderati in frequenza; il valore efficace va misurato su un tempo maggiore di 1 minuto.

Nella relazione vanno indicate, oltre al valore del fattore di cresta, anche le modalità seguite per la sua misura (per esempio: fenomeni vibratorii esaminati, valori medio e massimo nel caso del valore di picco, durata dell'integrazione nel caso del valore efficace, ecc.).

**BIBLIOGRAFIA**

- 1) Guide to the evaluation of human exposure to vibration and shock in buildings. Draft Addendum ISO 2631/DAD 1, 1980.
- 2) Vibrations transmises par le sol — Vibrations provoquées dans les bâtiments par la circulation ferroviaire. Analyse des rapports de mesures effectuées sur divers réseaux. ORE, Question D 151, Rapport 5. Utrecht 1983.
- 3) Evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). BS 6472, 1984.
- 4) Erschütterungen im Bauwesen — Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. DIN 4150/2, 1986.
- 5) Erschütterungen im Bauwesen — Einwirkungen auf bauliche Anlagen. DIN 4150/3, 1986.

**CHIARIMENTI**

In generale i contenuti della norma UNI 9614 e della ISO 2631/2 sono sostanzialmente analoghi tra loro anche se il testo e l'articolazione dei paragrafi differiscono a volte notevolmente; si è ritenuto infatti che la norma UNI dovesse essere maggiormente chiara ed accessibile dal punto di vista tecnico. Per quanto riguarda gli aspetti specifici, la definizione dei tipi di vibrazione riportata nella norma UNI differisce da quello riportato nella norma ISO. Nella norma UNI vengono riportate indicazioni supplementari riguardanti le vibrazioni residue, la valutazione del disturbo dovute e vibrazioni di livello non costante e a vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari.

UNIV.BRESCIA BIBLIOTECA FAC.ING. Documento contenuto nel DVD Raccolta Completa UNI 2005.  
E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

AD USO ESCLUSIVO DEGLI STUDENTI

## **Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo**

(UNI 9614)

Studio del progetto — **Gruppo di lavoro 3 "Misura e valutazione delle vibrazioni trasmesse all'uomo" della Commissione "Vibrazioni" dell'UNI**, riunioni negli anni 1987 e 1988.

Esame ed approvazione — **Commissione "Vibrazioni" dell'UNI**, riunione dell'8 nov. 1988.

Esame finale ed approvazione — **Commissione Centrale Tecnica dell'UNI**, riunione del 26 set. 1989.

Ratifica — **Presidente dell'UNI**, delibera del 27 feb. 1990.