



SUONO
RUMORE
VIBRAZIONE

LABORATORIO DI ACUSTICA APPLICATA

VIBRAZIONI
CONCETTI DI BASE
NORME E RIFERIMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL
DANNO ALLE PERSONE E NEGLI EDIFICI
PARTE II

Studio Tecnico Per. Ind. Franco Pacini

Via San Rocco 122/8 Recco (Genova) Tel./Fax 0185738177

francopacini@tin.it

Laboratorio di Acustica Applicata – Mario Novo e Samantha Novo

Via 2 Giugno 13 – Limbiate (MI) Tel 02 99054495

acustica@acustica.it



***VIBRAZIONI - CONCETTI DI
BASE NORME E RIFERIMENTI
PER LA VALUTAZIONE DEL
DANNO ALLE PERSONE E
NEGLI EDIFICI***

PARTE II

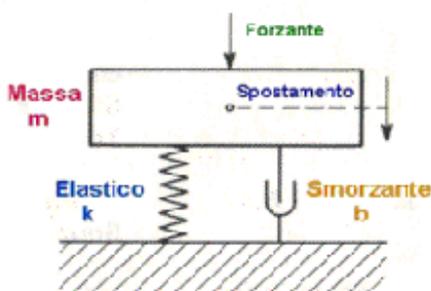
PARTE II

9.1 I resilienti- La riduzione a modello di un sistema vibrante (nozioni base)

Comunemente chiamate “gomme”, “smorzatori” o “supporti elastici” i resilienti non sono altro che dei supporti antivibranti che risolvono parte dei problemi relativi all’isolamento da vibrazioni ovvero riducono ad esempio le ampiezze di vibrazioni trasmesse da una macchina ad una struttura.

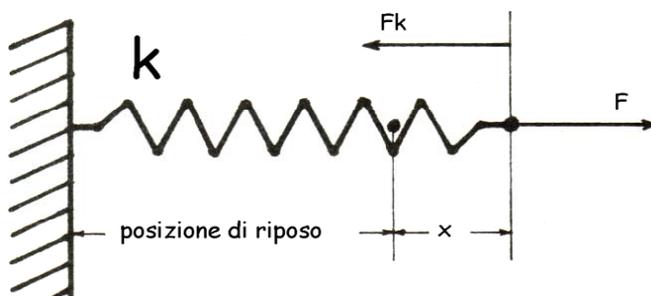
Occorre dapprima determinare attraverso “misure” misurazioni e riflessioni l’efficienza dell’isolamento richiesto, cercando per quanto possibile di caratterizzare dinamicamente la macchina che si vuole isolare.

Ma facciamo in concreto il solito esempio massa-smorzatore dove la macchina in oggetto costituita da una certa massa m genera una forzante F_0 :



$$F \rightarrow \boxed{m} \rightarrow a \quad F_m = ma$$

L’elemento inerziale è in grado di immagazzinare **energia cinetica** – energia di movimento, proporzionale a mv^2 , dove “ m ” rappresenta la quantità di massa, e “ v ” la sua velocità istantanea.

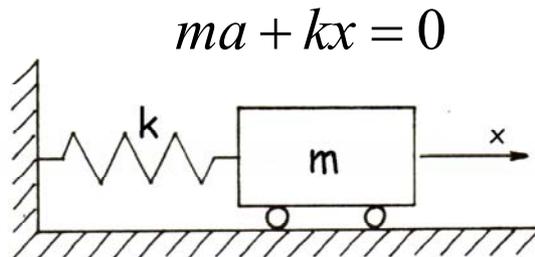


L’elemento elastico invece è in grado di immagazzinare **energia potenziale** proporzionale a kx^2 , dove “ k ” è la rigidità della molla e “ x ” è lo spostamento istantaneo della molla

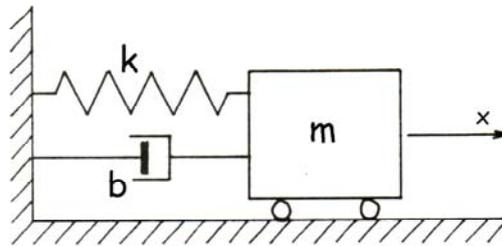
$$F_b = -bv = -b \frac{dx}{dt} = -bx'$$

L'elemento smorzante non è in grado di immagazzinare energia ma è in grado di dissiparla, di trasferirla dal dominio del movimento ad altri domini, ad esempio in calore.

Se ad esempio colleghiamo una massa con una molla e li costringiamo a muoversi in un'unica direzione abbiamo costruito quello che viene chiamato **un sistema ad un grado di libertà**. Ignoriamo per il momento le forze dissipative o frizionali.



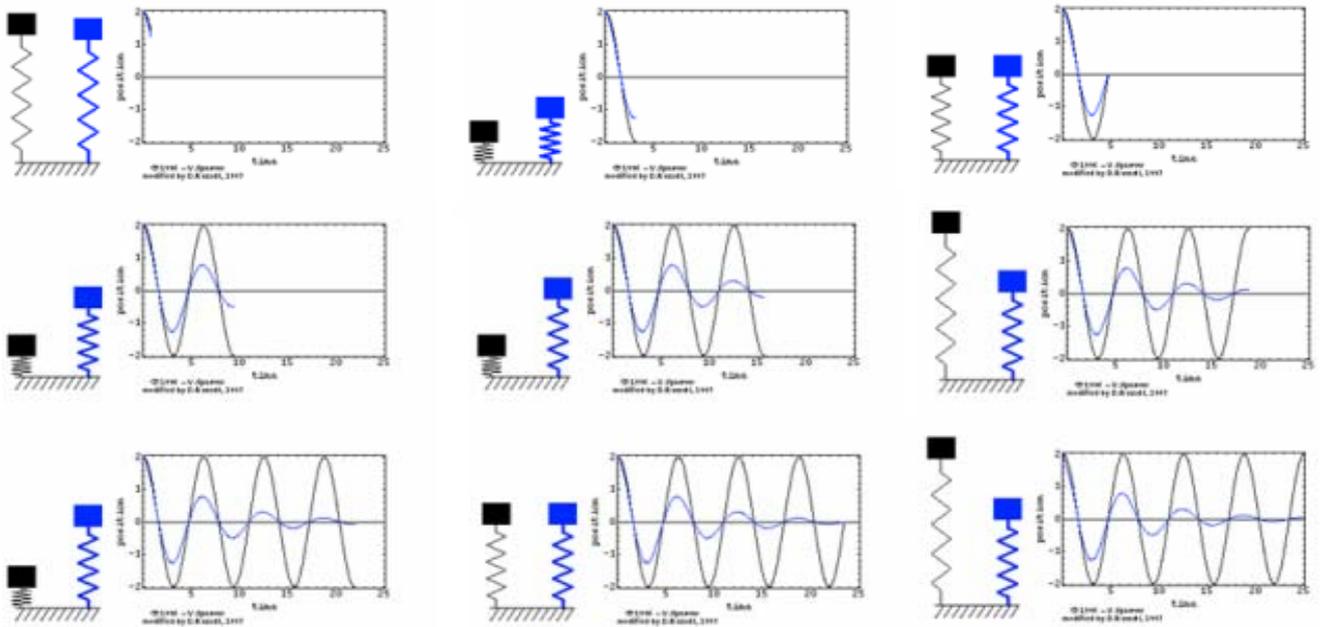
Il sistema massa-molla-smorzamento



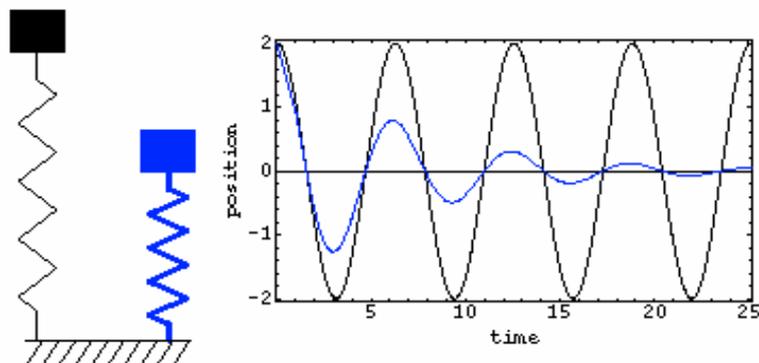
$$f_n = \frac{1}{T} = \frac{\omega_n}{2\Pi} = \frac{1}{2\Pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$ma + bv + kx = 0$$

Ma dobbiamo sicuramente tenere conto dello smorzamento, che può essere rappresentato graficamente dai grafici seguenti:



Il sistema smorzato e non smorzato



9.2 Lo smorzamento critico

Un sistema dotato di smorzamento critico una volta spostato dalla sua posizione di equilibrio ritorna alla stessa con una velocità pari ad circa $\frac{1}{4}$ del suo periodo naturale, senza dar luogo ad oscillazioni libere.

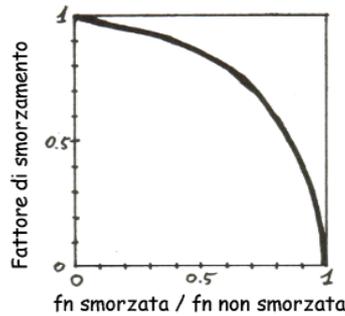
9.3 Il fattore di smorzamento

Il rapporto fra lo smorzamento reale (b) di una struttura e il suo smorzamento critico è detto “fattore di smorzamento” ζ (leggasi zeta), definito come:

$$\zeta = \frac{b}{b_{cr}} = \frac{b}{2\sqrt{km}}$$

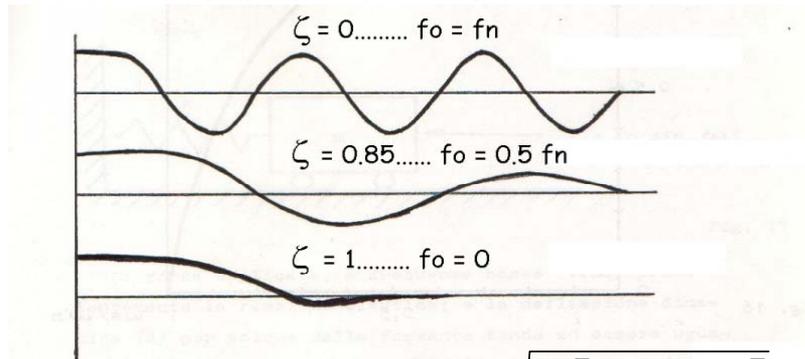
Il fattore di smorzamento controlla l'ampiezza della vibrazione alla frequenza naturale di un sistema e può essere:

- A) **sottocritico** $\zeta < 1$ e abbiamo una struttura che se squilibrata auto-oscilla.
- B) **critico** $\zeta = 1$ il sistema, se squilibrato, ritorna rapidamente alla sua posizione di equilibrio e si ferma.
- C) **supercritico** $\zeta > 1$ se squilibrato ritorna lentamente alla sua posizione di equilibrio e si ferma.



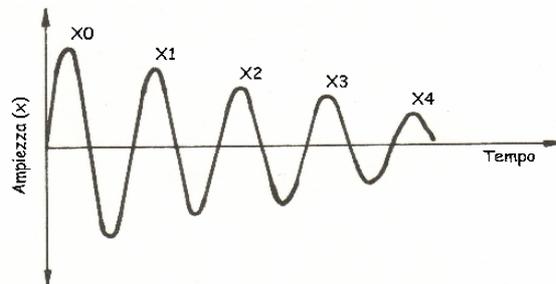
$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} = \sqrt{\frac{k}{m} \left[1 - \left(\frac{b}{b_{cr}} \right)^2 \right]}$$

Effetto del fattore di smorzamento sull'oscillazione



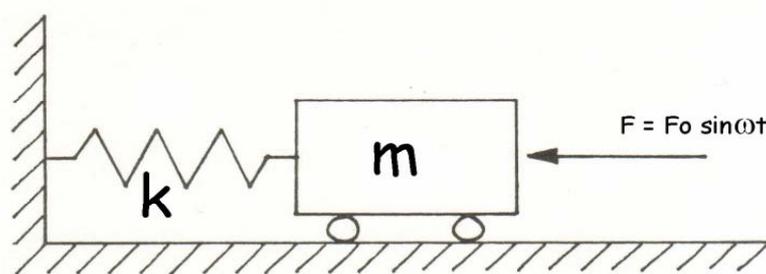
$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} = \sqrt{\frac{k}{m} \left[1 - \left(\frac{b}{b_{cr}} \right)^2 \right]}$$

9.4 Misura del fattore di smorzamento



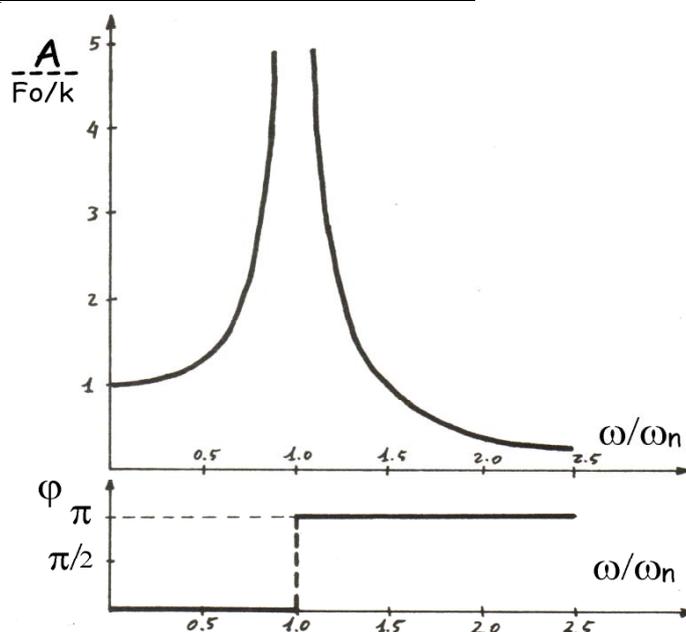
$$\Delta = \log_e \frac{x_0}{x_1} \quad \frac{x_0}{x_1} = e^{-\Delta} \quad \Delta = 2\pi \frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

Oscillazione forzata senza smorzamento

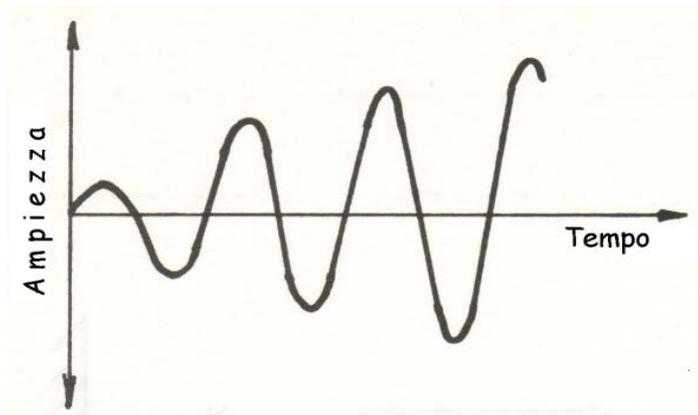


$$ma + kx = F_0 \sin \omega t$$

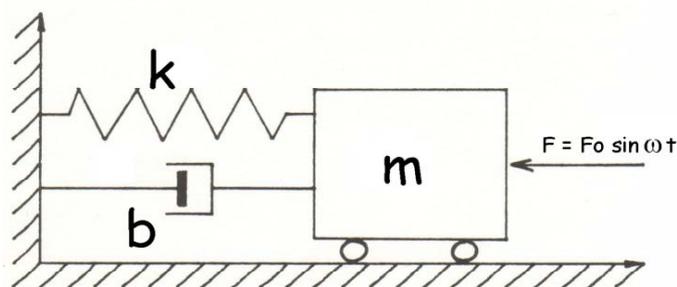
Andamento dello spostamento dinamico al variare di ω



Spostamento per $F_0 \sin \omega n t$

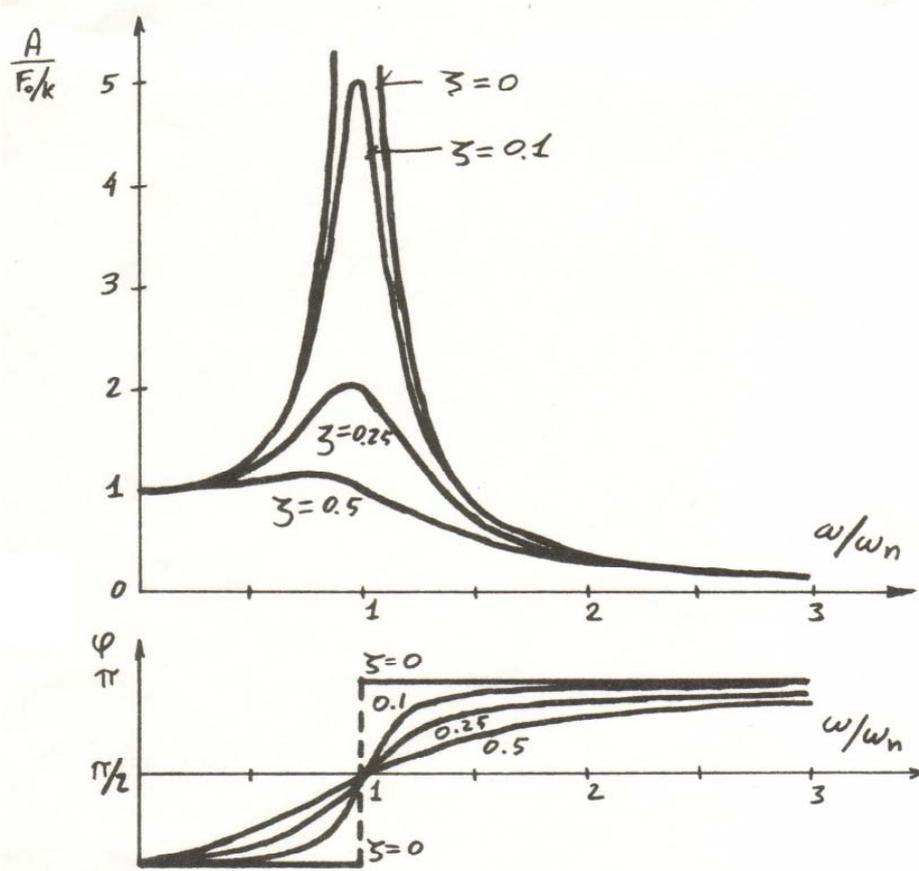


Oscillazione forzate con smorzamento



$$ma + bv + kx = F_0 \sin \omega t$$

Spostamento dinamico al variare di ω & ζ



Elementi che controllano il sistema smorzato

A) prima della risonanza

Controllo elastico

$$x_{(t)} \cong \frac{F_0}{k} \sin \omega t$$

B) alla risonanza

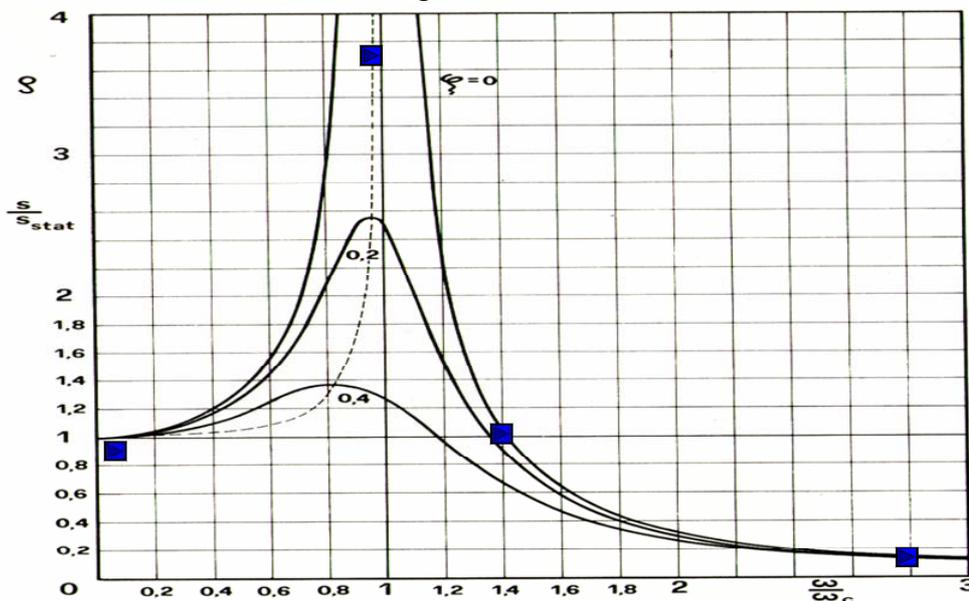
Controllo dissipativo

$$x_{(t)} \cong \frac{F_0}{2k\zeta} \sin\left(\omega t + \frac{\Pi}{2}\right) = -\frac{F_0}{b\omega} \cos \omega t$$

C) dopo la risonanza controllo inerziale

$$x_{(t)} \cong \frac{\omega_n^2 F_0}{\omega^2 k} \sin(\omega t + \Pi) = -\frac{F_0}{m\omega^2} \sin \omega t$$

Forza trasmessa da un sistema ad un grado di libertà



Dalle considerazioni di cui sopra si riassume il principio fondamentale dell'isolamento delle vibrazioni, che consiste appunto nello scegliere un montaggio elastico tale che ω_n del sistema massa molla sia notevolmente inferiore alla componente di frequenza più bassa della forzante. In pratica la soluzione dei problemi di isolamento da vibrazioni inizia tramite l'analisi in frequenza delle vibrazioni prodotte dalla macchina scegliendo la componente a frequenza minore. Dobbiamo però tenere presente che la scelta del fattore di smorzamento deve contenere al minimo il sistema di amplificazione alla frequenza di risonanza del sistema massa-molla e che bisognerebbe ottenere con un sistema di trasmissibilità molto basso o contenuto alla frequenza da isolare.

Nella comune pratica applicativa si dovrà ottenere un compromesso tra l'uso di molle troppo cedevoli tali da rendere incontrollabile il macchinario da isolare e l'uso di smorzamenti troppo elevati che possono compromettere l'isolamento su specifiche frequenze.

9.5 Resilienti ...in pratica

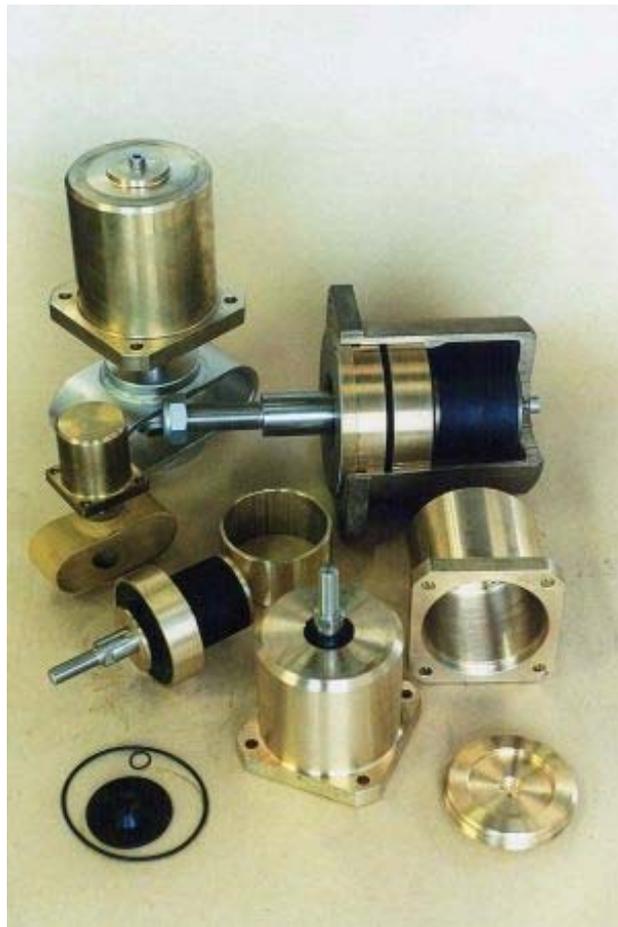
Nella seguente tabella sono riassunte alcune delle principali tipologie e caratteristiche degli antivibranti:

Materiale	Campo in frequenza	Frequenze ottimali	Smorzamento	Note
Molle metalliche (a compressione)	Tutte le frequenze (teorico)	Basse frequenze con elevata deflessione statica	Molto basso (0,1% dello smorzamento critico)	Trasmissione ad alte frequenze
Gomma sia in compressione che taglio/compressione	Dipende dalla composizione	alte	Aumenta con la durezza della gomma	Carico limitato
sughero	Dipende dalla densità	alte	Basso (c.a 6% dello smorzamento critico)	Uso limitato dell'alta frequenza propria
feltri	Dipende dalla densità e dallo spessore	Alte (maggiori di 40Hz)	alto	Uso limitato dell'alta frequenza propria
gommapiuma		basse	basso	Bassa rigidità per carichi alti
Cuscini d'aria	Frequenza dal volume d'aria	basse		Poco utilizzato
Combinazioni gomma-sughero	alte		basso	Proprietà intermedi
Lastre di gomma diseguate		Relativamente basse	Dipende dalla durezza della gomma	Deflessione statica superiore alla gomma compatta
Resilienti monogomma	Dipende dalla durezza della gomma e dal carico statico	Medio basse	alto	

Alcune immagini di resilienti fornite da De Martini Research S.r.l.:



Alcune immagini di antivibranti metallici e resilienti fornite da De Martini Research S.r.l.:



Alcune immagini di antivibranti metallici e resilienti fornite da
VIBROSTOP – Via Savona 125 - Milano



MOPLA 5 ACCESSORI



MATERIALI

Elastomero + inserto metallico



MATERIALI

Elastomer + prigioniero M10

MOFLEX

I giunti antivibranti Vibrostop Moflex sono impiegati per l'attenuazione delle vibrazioni meccaniche, la compensazione delle dilatazioni termiche e l'attenuazione colpo d'ariete.



INSTALLAZIONE

Fissa

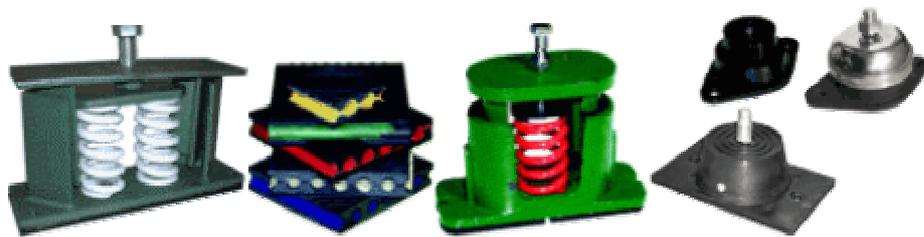
IMPIEGO

Isolamento delle tubazioni dalle vibrazioni, montaggio come tirante

MATERIALI

Componente in gomma: [elastomeri Vibrostop](#)

Componente in metallo: lega d'alluminio



ALPHA ACOUSTIKI Ltd.

Kambouroglou 19, 11525 Atene **GRECIA**

www.vibro.gr



10. La misura della esposizione umana alle vibrazioni

Misure di esposizione

L'esposizione umana alle vibrazioni da luogo a tre effetti fondamentali:

- *L'inquinamento tattile o disturbo;*
- *La riduzione della acuità visiva e della destrezza;*
- *Il rischio di danno anatomico o fisiologico agli arti superiori o al rachide.*

Si valutano gli effetti dannosi o disturbanti delle vibrazioni a mezzo di misure che richiedono una strumentazione dedicata, in grado di pilotare diversi tipi di trasduttori e di ponderare la loro uscita con filtri opportunamente ricavati dalla conoscenza della risposta del corpo umano alle vibrazioni.

Misure di riferimento

La Direttiva Europea 392/ 89 (sicurezza sui macchinari) recita: ogni macchinario deve essere progettato in modo tale da ridurre l'emissione di rumori e vibrazioni.

La Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del consiglio. Rischio da agenti fisici: vibrazioni.

Definisce i valori limite delle vibrazioni cui possono essere esposti i lavoratori

Riporto nel seguito, ad uso esplicitamente didattico, la direttiva menzionata raccomandando ai lettori di prendere visione del file originale:

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)

IL PARLAMENTO EUROPEO E IL CONSIGLIO DELL 'UNIONE EUROPEA,

visto il trattato che istituisce la Comunità europea, in particolare l 'articolo 137, paragrafo 2, vista la proposta della Commissione (1), presentata previa consultazione del Comitato consultivo per la sicurezza, l 'igiene e la protezione della salute sul luogo di lavoro, visto il parere del Comitato economico e sociale (2), previa consultazione del Comitato delle regioni, deliberando secondo la procedura di cui all 'articolo 251 del trattato (3), visto il progetto comune approvato dal Comitato di conciliazione l '8 aprile 2002, considerando quanto segue:

(1) In base al trattato il Consiglio può adottare, mediante direttive, prescrizioni minime per promuovere il miglioramento, in particolare dell 'ambiente di lavoro, al fine di garantire un miglior livello di protezione della sicurezza e della salute dei lavoratori. È necessario che le direttive summenzionate evitino di imporre vincoli amministrativi, finanziari e giuridici tali da ostacolare la creazione e lo sviluppo di piccole e medie imprese.

(2) La comunicazione della Commissione sul suo programma d 'azione per l 'attuazione della Carta comunitaria dei diritti sociali fondamentali dei lavoratori prevede la definizione di prescrizioni minime di sanità e di sicurezza relative all 'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici. Nel settembre 1990 il Parlamento europeo ha adottato una risoluzione su questo programma d 'azione (4) che invita in particolare la Commissione a elaborare una direttiva specifica nel campo dei rischi legati al rumore e alle vibrazioni nonché a qualsiasi altro agente fisico sul luogo di lavoro.

(3) È necessario, come primo passo, introdurre misure di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle vibrazioni, a causa degli effetti di queste sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori, segnatamente i disturbi muscolo-scheletrici, neurologici e vascolari. Tali misure mirano non solo ad assicurare la salute e la sicurezza di ciascun lavoratore considerato individualmente ma anche a creare per tutti i lavoratori della Comunità una piattaforma minima di protezione che eviti le possibili distorsioni di concorrenza.

(4) La presente direttiva stabilisce prescrizioni minime, il che lascia agli Stati membri la facoltà di mantenere o di adottare

disposizioni più favorevoli in materia di protezione dei lavoratori, segnatamente la fissazione di valori inferiori per il valore giornaliero che fa scattare l'azione o il valore limite giornaliero d'esposizione alle vibrazioni.

L'attuazione della presente direttiva non può giustificare un regresso rispetto alla situazione esistente in ciascun Stato membro.

(5) È necessario che un sistema di protezione contro le vibrazioni si limiti a definire, senza entrare inutilmente nel dettaglio, gli obiettivi da raggiungere, i principi da rispettare e le grandezze fondamentali da utilizzare onde consentire agli Stati membri di applicare le prescrizioni minime in modo equivalente.

(6) La riduzione dell'esposizione alle vibrazioni è realizzata in maniera più efficace attraverso l'applicazione di provvedimenti di prevenzione fin dalla progettazione dei posti e dei luoghi di lavoro, nonché attraverso la scelta delle attrezzature, dei procedimenti e dei metodi di lavoro, allo scopo di ridurre in via prioritaria i rischi alla fonte. Disposizioni relative alle attrezzature e ai metodi di lavoro contribuiscono quindi alla protezione dei lavoratori che ne fanno uso.

(7) È necessario che i datori di lavoro si adeguino ai progressi tecnici e alle conoscenze scientifiche per quanto riguarda i rischi derivanti dall'esposizione alle vibrazioni, in vista del miglioramento della protezione della sicurezza e della salute dei lavoratori.

(8) Per i settori della navigazione marittima e aerea, nell'attuale stato della tecnica, non è possibile rispettare in tutti i casi i valori limite di esposizione relativi alle vibrazioni trasmesse al corpo intero. Vanno pertanto previste possibilità di deroga debitamente giustificate.

(9) Poiché la presente direttiva è una direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1 della direttiva 89/391/CEE del Consiglio, del 12 giugno 1989, concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro (5), quest'ultima si applica al settore dell'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni, fatte salve disposizioni più rigorose e/o specifiche contenute nella presente

direttiva.

(10) La presente direttiva costituisce un elemento concreto nel quadro della realizzazione della dimensione sociale del mercato interno.

(1) GU C 77 del 18.3.1993, pag. 12 e GU C 230 del 19.8.1994, pag. 3.

(2) GU C 249 del 13.9.1993, pag. 28.

(3) Parere del Parlamento europeo del 20 aprile 1994 (GU C 128 del 5.1994, pag. 146), confermato il 16 settembre 1999 (GU C 54 del 25.2.2000, pag. 75), posizione comune del Consiglio del 25 giugno 2001 (GU C 301 del 26.10.2001, pag. 1) e decisione del Parlamento europeo del 23 ottobre 2001 (non ancora pubblicata nella Gazzetta ufficiale). Decisione del Parlamento europeo del 25 aprile 2002 e decisione del Consiglio del 21 maggio 2002.

(4) GU C 260 del 15.10.1990, pag. 167. (5) GU L 183 del 29.6.1989, pag. 1. (11) Le misure necessarie per l'attuazione della presente direttiva sono adottate secondo la decisione 1999/468/CE del Consiglio, del 28 giugno 1999, recante modalità per l'esercizio delle competenze di esecuzione conferite alla Commissione (1),

HANNO ADOTTATO LA PRESENTE DIRETTIVA:

SEZIONE I

DISPOSIZIONI GENERALI

ARTICOLO 1

Obiettivo e ambito di applicazione

1. La presente direttiva, che è la sedicesima direttiva particolare a norma dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE, fissa le prescrizioni minime in materia di protezione

dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza che derivano, o possono derivare, dall'esposizione a vibrazioni meccaniche.

2. Le prescrizioni della presente direttiva si applicano alle attività in cui i lavoratori sono esposti o possono essere esposti a rischi derivanti da vibrazioni meccaniche durante il lavoro.

3. La direttiva 89/391/CEE si applica integralmente al settore definito nel paragrafo 1, salve le disposizioni più rigorose e/o specifiche contenute nella presente direttiva.

ARTICOLO 2

Definizioni

Ai fini della presente direttiva, si intende per:

a) "vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio": le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al sistema mano-braccio nell'uomo, comportano un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici o muscolari;

b) "vibrazioni trasmesse al corpo intero": le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al corpo intero, comportano rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare lombalgie e traumi del rachide.

ARTICOLO 3

Valori limite di esposizione e valori di esposizione che fanno scattare l'azione

1. Per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio:

a) il valore limite giornaliero di esposizione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a 5 m/s^2 ;

b) il valore giornaliero di esposizione che fa scattare l'azione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a $2,5 \text{ m/s}^2$.

L'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio è valutata o misurata in base alle disposizioni di cui all'allegato, parte A, punto 1.

2. Per le vibrazioni trasmesse al corpo intero:

a) il valore limite giornaliero di esposizione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a $1,15 \text{ m/s}^2$ oppure, a seconda della scelta dello Stato membro, a un valore delle dosi di vibrazioni di 21 m/s^2 ;

b) il valore giornaliero di esposizione che fa scattare l'azione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a $0,5 \text{ m/s}^2$, oppure, a seconda della scelta dello Stato membro, a un valore delle dosi di vibrazioni di $9,1 \text{ m/s}^2$.

L'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni trasmesse al corpo intero è valutata o misurata in base alle disposizioni di cui all'allegato parte B, punto 1.

SEZIONE II

OBBLIGO DEI DATORI DI LAVORO

ARTICOLO 4

Identificazione e valutazione dei rischi

1. Nell'assolvere gli obblighi definiti all'articolo 6, paragrafo 3, e all'articolo 9, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE, il datore di lavoro valuta e, se del caso, misura i livelli di vibrazioni meccaniche cui i lavoratori sono esposti. La misurazione è effettuata conformemente al punto 2, rispettivamente della parte A o B dell'allegato della presente direttiva.

2. Il livello di esposizione alle vibrazioni meccaniche può essere valutato mediante l'osservazione delle condizioni di lavoro particolari e il riferimento ad appropriate informazioni sulla probabile entità delle vibrazioni per le attrezzature o i tipi di attrezzature in particolari condizioni di uso, incluse le informazioni fornite in materia dal costruttore delle attrezzature. Questa operazione va distinta dalla misurazione, che richiede l'impiego di attrezzature specifiche e di una metodologia appropriata.

3. La valutazione e la misurazione di cui al paragrafo 1 devono essere programmate ed effettuate a intervalli idonei da servizi competenti tenendo conto, segnatamente, delle disposizioni relative alle competenze richieste (persone o servizi) di cui all'articolo 7 della direttiva 89/391/CEE. I dati ottenuti dalla valutazione e/o dalla misurazione del livello di esposizione alle vibrazioni meccaniche vengono conservati in forma idonea a consentirne la successiva consultazione.

4. A norma dell'articolo 6, paragrafo 3, della direttiva 89/391/CEE, il datore di lavoro, in occasione della valutazione dei rischi, presta particolare attenzione ai seguenti elementi:

a) il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a vibrazioni intermittenti e a urti ripetuti;

b) i valori limite di esposizione e i valori di esposizione che fanno scattare l'azione specificati nell'articolo 3 della presente direttiva;

c) gli eventuali effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori a rischio particolarmente esposti;

d) gli eventuali effetti indiretti sulla sicurezza dei lavoratori risultanti da interazioni tra le vibrazioni meccaniche e l'ambiente di lavoro o altre attrezzature;

(1) GU L 184 del 17.7.1999, pag. 23..

e) le informazioni fornite dal costruttore dell'attrezzatura di lavoro a norma delle pertinenti direttive comunitarie in materia;

f) l'esistenza di attrezzature alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione alle vibrazioni meccaniche;

g) il prolungamento del periodo di esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero al di là delle ore lavorative, sotto la responsabilità del datore di lavoro;

h) condizioni di lavoro particolari, come le basse temperature;

i) per quanto possibile, informazioni adeguate ottenute dalla sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni pubblicate.

5. Il datore di lavoro deve essere in possesso di una valutazione dei rischi a norma dell'articolo 9, paragrafo 1, lettera a), della direttiva 89/391/CEE e precisare quali misure devono essere adottate a norma degli articoli 5 e 6 della presente direttiva. La valutazione dei rischi è riportata su un supporto appropriato, conformemente alle legislazioni e alle prassi nazionali; può includere una giustificazione del datore di lavoro che la natura e l'entità dei rischi connessi con le vibrazioni meccaniche rendono non necessaria una valutazione maggiormente dettagliata dei rischi. La valutazione dei rischi è costantemente aggiornata, in particolare se vi sono stati notevoli mutamenti in seguito ai quali essa potrebbe risultare superata, oppure quando i risultati della sorveglianza sanitaria lo rendono necessario.

ARTICOLO 5

Disposizioni miranti a escludere o a ridurre l'esposizione

1. Tenendo conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte, i rischi derivanti dall'esposizione alle vibrazioni meccaniche sono eliminati alla fonte o ridotti al minimo. La riduzione di tali rischi si basa sui principi generali di prevenzione di cui all'articolo 6, paragrafo 2, della direttiva 89/391/CEE.

2. In base alla valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, quando i valori di esposizione di cui all'articolo 3, paragrafo 1, lettera b), e paragrafo 2, lettera b), 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, considerando in particolare:

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 producono, tenuto conto del lavoro da svolgere, il minor livello possibile di vibrazioni;

c) la fornitura di attrezzature accessorie per ridurre i rischi di lesioni provocate dalle vibrazioni, per esempio sedili che attenuano efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero e maniglie che riducano la vibrazione trasmessa al sistema braccio-mano;

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.

3. In ogni caso i lavoratori non sono esposti a valori superiori al valore limite di esposizione. Allorché, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro in applicazione delle disposizioni di cui alla presente direttiva, il valore limite di esposizione è stato superato, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto del valore limite di esposizione; esso individua le cause del superamento del valore limite di esposizione e adatta di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

4. A norma dell'articolo 15 della direttiva 89/391/CEE, il datore di lavoro adatta le misure di cui al presente articolo alle esigenze dei lavoratori a rischio particolarmente esposti.

ARTICOLO 6

Informazione e formazione dei lavoratori

Fatti salvi gli articoli 10 e 12 della direttiva 89/391/CEE, il datore di lavoro garantisce che i lavoratori esposti a rischi derivanti da vibrazioni meccaniche sul luogo di lavoro e/o i loro rappresentanti ricevano informazioni e una formazione in relazione al risultato della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, paragrafo 1, della presente direttiva, con particolare riguardo

a) alle misure adottate in applicazione della presente direttiva volte a eliminare o a ridurre al minimo i rischi derivanti dalle vibrazioni meccaniche;

b) ai valori limite di esposizione e ai valori di esposizione che fanno scattare l'azione;

c) ai risultati delle valutazioni e misurazioni delle vibrazioni meccaniche effettuate in applicazione dell'articolo 4 della presente direttiva e alle potenziali lesioni derivanti dalle attrezzature di lavoro utilizzate;

d) all'utilità ai mezzi impiegati per individuare e segnalare sintomi di lesioni;

e) alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria;

f) alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo l'esposizione a vibrazioni meccaniche.

ARTICOLO 7

Consultazione e partecipazione dei lavoratori

La consultazione e la partecipazione dei lavoratori e/o dei loro rappresentanti hanno luogo a norma dell'articolo 11 della direttiva 89/391/CEE sulle materie oggetto della presente direttiva.

DISPOSIZIONI VARIE

ARTICOLO 8

Sorveglianza sanitaria

1. Fatto salvo l'articolo 14 della direttiva 89/391/CEE, gli Stati membri adottano le misure necessarie per garantire l'adeguata sorveglianza sanitaria dei lavoratori in relazione all'esito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, paragrafo 1, della presente direttiva allorché ne risulti un rischio per la loro salute. Dette misure, compresi i requisiti specificati per la documentazione medica e la relativa disponibilità, sono introdotte in base alle legislazioni e/o prassi nazionali.

La sorveglianza sanitaria, i cui risultati sono considerati ai fini dell'applicazione di misure preventive sullo specifico luogo di lavoro, è tesa alla prevenzione e alla diagnosi precoce di ogni danno connesso all'esposizione a vibrazioni meccaniche. Tale sorveglianza è appropriata quando:

- l'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni è tale da rendere possibile l'individuazione di un nesso tra l'esposizione in questione e una malattia identificabile o a effetti nocivi per la salute,
- è probabile che la malattia o gli effetti sopraggiungano nelle particolari condizioni di lavoro del lavoratore,
- esistono tecniche sperimentate che consentono di individuare la malattia o gli effetti nocivi per la salute.

In ogni caso i lavoratori esposti ad un livello di vibrazioni meccaniche superiore ai valori di cui all'articolo 3, paragrafo 1, lettera b), e paragrafo 2, lettera b), hanno diritto ad essere sottoposti a sorveglianza sanitaria adeguata.

2. Gli Stati membri prendono le misure atte a garantire che per ciascun lavoratore sottoposto a sorveglianza sanitaria a norma del paragrafo 1 sia tenuta e aggiornata una documentazione sanitaria individuale. La documentazione sanitaria contiene un sommario dei risultati della sorveglianza sanitaria effettuata. Essa è conservata in una forma idonea, che ne consenta la successiva consultazione, nel rispetto del segreto medico.

Su richiesta è fornita alle autorità competenti copia della documentazione appropriata. Il singolo lavoratore ha accesso, su richiesta, alla documentazione sanitaria che lo riguarda personalmente.

3. Nel caso in cui la sorveglianza sanitaria riveli che un lavoratore soffre di una malattia o affezione identificabile che un medico o uno specialista di medicina del lavoro attribuisce all'esposizione a vibrazioni meccaniche sul luogo di lavoro:

a) il medico o altra persona debitamente qualificata comunica al lavoratore i risultati che lo riguardano personalmente. Egli riceve in particolare le informazioni e i pareri relativi al controllo sanitario cui dovrà sottoporsi nel periodo successivo all'esposizione;

b) il datore di lavoro è informato di tutti i dati significativi emersi dalla sorveglianza sanitaria tenendo conto del segreto medico;

c) il datore di lavoro:

— sottopone a revisione la valutazione dei rischi effettuata a norma dell'articolo 4,

— sottopone a revisione le misure predisposte per eliminare o ridurre i rischi a norma dell'articolo 5,

—tiene conto del parere dello specialista di medicina del lavoro o di altra persona adeguatamente qualificata, ovvero dell' autorità competente, nell' attuazione delle misure necessarie per eliminare o ridurre il rischio a norma dell' articolo 5, compresa la possibilità di assegnare il lavoratore ad attività alternative che non comportano rischio di ulteriore esposizione,

—organizza una sorveglianza sanitaria continua e prende misure affinché sia riesaminato lo stato di salute di tutti gli altri lavoratori che hanno subito un' esposizione simile. In tali casi il medico competente o lo specialista di medicina del lavoro, ovvero l' autorità competente, può proporre che i soggetti esposti siano sottoposti a esame medico.

ARTICOLO 9

Periodo transitorio

Per quanto riguarda l' attuazione delle disposizioni di cui all' articolo 5, paragrafo 3, gli Stati membri, previa consultazione delle due parti dell' industria conformemente alla legislazione o alla prassi nazionale, hanno la facoltà di prevedere un periodo transitorio massimo di 5 anni a decorrere dal 6 luglio 2005 allorché sono utilizzate attrezzature di lavoro messe a disposizione dei lavoratori anteriormente al 6 luglio 2007 e che, tenuto conto dei più recenti progressi tecnici e/o dell' applicazione delle misure organizzative, non consentono di rispettare i valori limite di esposizione. Quanto alle attrezzature utilizzate nei settori agricolo e forestale gli Stati membri possono allungare di 4 anni il periodo transitorio massimo.

ARTICOLO 10

Deroghe

1. Nel rispetto dei principi generali della protezione della sicurezza e della salute dei lavoratori, gli Stati membri, per i settori della navigazione marittima e aerea, in circostanze debitamente giustificate, possono derogare all' articolo 5, paragrafo 3, per quanto riguarda le vibrazioni trasmesse al corpo intero, qualora, tenuto conto dello stato della tecnica e delle caratteristiche specifiche dei luoghi di lavoro, non sia possibile rispettare i valori limite d' esposizione nonostante l' applicazione di misure tecniche e/o organizzative.

2. Nel caso di attività lavorative in cui l' esposizione di un lavoratore alle vibrazioni meccaniche è abitualmente inferiore ai valori di esposizione di cui all' articolo 3, paragrafo 1, lettera b), e paragrafo 2, lettera b), ma varia sensibilmente da un momento all' altro e può occasionalmente superare il valore limite di esposizione, gli Stati membri possono altresì concedere deroghe all' articolo 5, paragrafo 3. Tuttavia, il valore medio dell' esposizione calcolata su un periodo di 40 ore deve restare inferiore al valore limite di esposizione ed elementi probanti devono dimostrare che i rischi derivanti dal tipo di esposizione cui è sottoposto il lavoratore sono inferiori a quelli derivanti da un livello di esposizione corrispondente al valore limite.

Le deroghe di cui ai paragrafi 1 e 2 sono concesse dagli Stati membri in seguito alla consultazione delle parti sociali conformemente alle legislazioni e prassi nazionali. Tali deroghe sono subordinate a condizioni che garantiscano, tenuto conto delle circostanze particolari, che saranno ridotti al minimo i rischi che ne risultano e che i lavoratori interessati beneficeranno di un controllo sanitario rafforzato. Le deroghe in questione costituiscono oggetto di un riesame ogni quattro anni e sono revocate non appena siano scomparse le circostanze che le hanno giustificate.

4. Gli Stati membri trasmettono alla Commissione ogni quattro anni un prospetto delle deroghe di cui ai paragrafi 1 e 2, indicando le circostanze e i motivi precisi che li inducono a concedere tali deroghe.

ARTICOLO 11

Modifiche tecniche

Le modifiche di carattere strettamente tecnico dell' allegato, a causa:

a) dell' adozione di direttive in materia di armonizzazione tecnica e di normalizzazione riguardanti la progettazione, la costruzione, la fabbricazione o la realizzazione di attrezzature e/o di luoghi di lavoro;

b) del progresso tecnico, dell' evoluzione delle norme o specifiche europee armonizzate più appropriate e delle nuove scoperte relative alle vibrazioni meccaniche, sono adottate secondo la procedura di regolamentazione di cui all' articolo 12, paragrafo 2.

ARTICOLO 12

Comitato

1. La Commissione è assistita dal comitato di cui all' articolo 17, paragrafo 2, della direttiva 89/391/CEE.

2. Nei casi in cui è fatto riferimento al presente paragrafo, si applicano gli articoli 5 e 7 della decisione 1999/468/CE tenendo conto delle disposizioni dell' articolo 8 della stessa.

Il periodo di cui all' articolo 5, paragrafo 6, della decisione 1999/468/CE è fissato a tre mesi.

3. Il comitato adotta il proprio regolamento interno.

SEZIONE IV

DISPOSIZIONI FINALI

ARTICOLO 13

Relazione

Ogni cinque anni gli Stati membri presentano alla Commissione una relazione sull'applicazione pratica della presente direttiva, indicando le considerazioni espresse dalle due parti dell'industria. La relazione contiene una descrizione delle migliori prassi volte a prevenire le vibrazioni nocive per la salute e delle modalità alternative in tema di organizzazione del lavoro, nonché delle azioni intraprese dagli Stati membri in favore della circolazione delle conoscenze su dette prassi.

Sulla base di tali relazioni la Commissione effettua una valutazione complessiva dell'attuazione della direttiva, anche sulla scorta della ricerca e delle informazioni scientifiche, e informa il Parlamento europeo, il Consiglio, il Comitato economico e sociale ed il Comitato consultivo per la sicurezza, l'igiene e la tutela sul luogo di lavoro anche in merito alle eventuali proposte di modifica.

ARTICOLO 14

Recepimento

1. Gli Stati membri mettono in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla presente direttiva entro il 6 luglio 2005. Essi ne informano immediatamente la Commissione. Essi includono inoltre un elenco, contenente i motivi dettagliati, delle disposizioni transitorie che gli Stati membri hanno adottato a norma dell'articolo 9. Quando gli Stati membri adottano tali disposizioni, queste contengono un riferimento alla presente direttiva o sono corredate di un siffatto riferimento all'atto della pubblicazione ufficiale. Le modalità di tale riferimento sono decise dagli Stati membri.

2. Gli Stati membri comunicano alla Commissione il testo delle disposizioni di diritto interno già adottate o che essi adottano nel settore disciplinato dalla presente direttiva.

ARTICOLO 15

Entrata in vigore

La presente direttiva entra in vigore il giorno della pubblicazione nella Gazzetta ufficiale delle Comunità europee.

ARTICOLO 16

Destinatari

Gli Stati membri sono destinatari della presente direttiva.

Fatto a Lussemburgo, addì 25 giugno 2002.

Per il Parlamento europeo

Il Presidente

P. COX

Per il Consiglio

Il Presidente

J. MATAS I PALOU

A. VIBRAZIONI TRASMESSE AL SISTEMA MANO-BRACCIO

1. Valutazione dell'esposizione

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

La valutazione del livello di esposizione può essere effettuata grazie a una stima basata sulle informazioni relative al livello di emissione delle attrezzature di lavoro utilizzate, fornite dai fabbricanti di tali materiali e grazie all'osservazione delle specifiche pratiche di lavoro, oppure attraverso una misurazione.

2. Misurazione

Qualora si proceda alla misurazione, conformemente all'articolo 4, paragrafo 1:

a) i metodi utilizzati possono includere la campionatura, che deve essere rappresentativa dell'esposizione di un lavoratore alle vibrazioni meccaniche considerate; i metodi e le apparecchiature utilizzati devono essere adattati alle particolari caratteristiche delle vibrazioni meccaniche da misurare, ai fattori ambientali e alle caratteristiche dell'apparecchio di misurazione, conformemente alla norma ISO 5349-2 (2001);

b) nel caso di attrezzature che devono essere tenute con entrambe le mani, la misurazione è eseguita su ogni mano.

L'esposizione è determinata facendo riferimento al più alto dei due valori; deve essere inoltre fornita l'informazione relativa all'altra mano.

3. Interferenze

Le disposizioni dell'articolo 4, paragrafo 4, lettera d), si applicano in particolare nei casi in cui le vibrazioni meccaniche ostacolano il corretto uso manuale dei comandi o la lettura degli indicatori.

4. Rischi indiretti

Le disposizioni dell'articolo 4, paragrafo 4, lettera d), si applicano in particolare nei casi in cui le vibrazioni meccaniche incidono sulla stabilità delle strutture o sulla buona tenuta delle giunzioni.

5. Attrezzature di protezione individuale

Attrezzature di protezione individuale contro le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio possono contribuire al programma di misure di cui all'articolo 5, paragrafo 2.

B. VIBRAZIONI TRASMESSE AL CORPO INTERO

1. Valutazione dell'esposizione

La valutazione del livello di esposizione alle vibrazioni si basa principalmente sul calcolo dell'esposizione giornaliera

A (8) espressa come l'accelerazione continua equivalente su 8 ore, calcolata come il più alto dei valori quadratici medi o il più alto dei valori della dose di vibrazioni (VDV) delle accelerazioni ponderate in frequenza, determinati sui tre assi ortogonali ($1,4a_{wx}$, $1,4a_{wy}$, a_{wz} per un lavoratore seduto o in piedi), conformemente ai capitoli 5, 6 e 7, all'allegato A e all'allegato B della norma ISO 2631-1 (1997).

La valutazione del livello di esposizione può essere effettuata grazie ad una stima basata sulle informazioni relative al livello di emissione delle attrezzature di lavoro utilizzate, fornite dai fabbricanti di tali materiali e grazie all'osservazione delle specifiche pratiche di lavoro, oppure attraverso una misurazione.

Gli Stati membri hanno la facoltà, per quanto riguarda la navigazione marittima, di prendere in considerazione solo le vibrazioni di frequenza superiore a 1 Hz.

2. Misurazione

Qualora si proceda alla misurazione, conformemente all'articolo 4, paragrafo 1, i metodi utilizzati possono includere la campionatura, che dovrà essere rappresentativa dell'esposizione di un lavoratore alle vibrazioni meccaniche considerate. I metodi utilizzati devono essere adattati alle particolari caratteristiche delle vibrazioni meccaniche da misurare, ai fattori ambientali e alle caratteristiche dell'apparecchio di misurazione.

3. Interferenze

Le disposizioni dell'articolo 4, paragrafo 4, lettera d), si applicano in particolare nei casi in cui le vibrazioni meccaniche ostacolano il corretto uso manuale dei comandi o la lettura degli indicatori.

Rischi indiretti

Le disposizioni dell'articolo 4, paragrafo 4, lettera d), si applicano in particolare nei casi in cui le vibrazioni meccaniche incidono sulla stabilità delle strutture o sulla buona tenuta delle giunzioni.

5. Estensione dell'esposizione

Le disposizioni dell'articolo 4, paragrafo 4, lettera g), si applicano in particolare nei casi in cui, data la natura dell'attività svolta, un lavoratore utilizza locali di riposo e ricreazione sotto la responsabilità del datore di lavoro; tranne nei casi di forza maggiore, l'esposizione del corpo intero alle vibrazioni in tali locali deve presentare un livello di esposizione compatibile con le funzioni e condizioni di utilizzazione di tali locali.

Riassumendo, le misure delle vibrazioni trasmesse ai lavoratori possono essere condotte in due modi diversi a secondo del tipo di indagine richiesta. Questi due modi sono:

- **le misure di esposizione;**
- **le misure di riferimento;**

10.1 Misure di esposizione

Prima modalità **“misure di esposizione”** eseguite per la determinazione della dose di vibrazione; le misure sono eseguite in reali condizioni operative. La dose delle vibrazioni è individuale e viene utilizzata come criterio per la valutazione del rischio di danno alla salute.

La procedura per questa misura delle vibrazioni è fornita dalla : **ISO 5349-1&2 (HA)** e dalla **ISO 2631-1 (WB)**.

In Italia vi sono anche le linee guida dell'ISPESL le quali riassumono le norme citate. Le linee guida sono redatte in modo pratico ed utilizzabile anche dai non specialisti.

Si possono trovare sul sito :

http://www.ispesl.it/linee_guida/fattore_di_rischio/lineeguidavibrazioni.pdf

Riassumendo sono:

Esposizione al corpo intero

Esposizione mano - braccio

10.2 Misure di riferimento

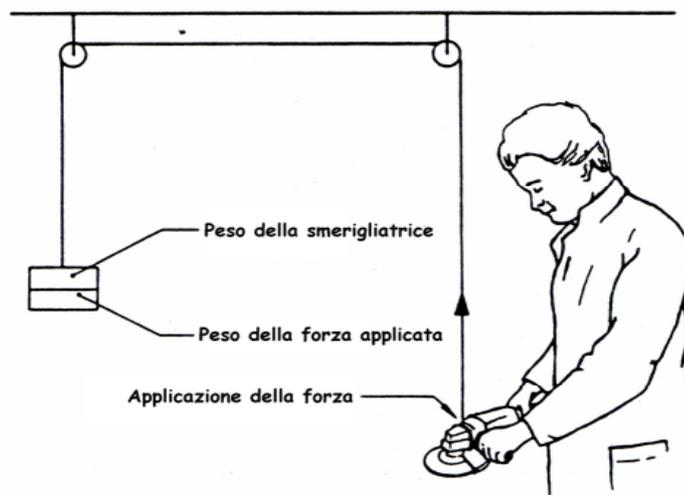
Seconda modalità **“misure in condizioni di riferimento”** condotte allo scopo di stabilire un valore di accelerazione da utilizzare come elemento di confronto tra le vibrazioni di due macchine simili appartenenti a costruttori diversi. Lo scopo della modalità **“misure di riferimento”** è quello di ridurre a termini controllati le influenze operatore-dipendenti e le condizioni generali del macchinario al fine di garantire la riproducibilità della misura

Sono specifiche per questa seconda serie di misure le norme **ISO 8662-XX** le quali definiscono:

- Condizioni operative del macchinario
- Ciclo di lavoro
- Posizione degli accelerometri
- Metodo di misura da impiegare
- Indicazioni per l'uso dei risultati e modalità di compilazione della relazione tecnica.

Le misure in "condizioni di riferimento" non considerano l'interfaccia uomo-macchina. Per alcuni utensili l'impianto di misura è molto lontano dalla realtà operativa e per tanto il loro risultato non può essere utilizzato per esprimere valutazioni di rischio in relazione ai limiti di esposizione. Per altri può dare un valore orientativo rispetto al quale i valori di esposizione saranno dalla metà al doppio.

Misure di riferimento (da ISO 8662-4)



Normative per le misure di riferimento

La ISO 8662 parte 1 è la norma base per tutti gli utensili vibranti, mentre la parte 2-14 è relativa ad ogni particolare gruppo di utensili vibranti.

- ISO 8662-1:1988 Utensili portatili di potenza – Misura delle vibrazioni all'impugnatura -- Parte 1: Generale
- ISO 8662-2: Chipping hammers riveting hammers
- ISO 8662-3: Rock drills and rotary hammers
- ISO 8662-4: Grinders
- ISO 8662-5: Pavement breakers hammers for construction work
- ISO 8662-6: Impact drills
- ISO 8662-7: Wrenches, screwdrivers and nut runners with impact, impulse or ratchet action
- ISO 8662-8: Polishers and rotary orbital, or random orbital sanders
- ISO 8662-9: Rammers
- ISO 8662-10: Nibblers and shears
- ISO 8662-11: Fastener driving tools
- ISO 8662-12: Saws and files with reciprocating action and saws with oscillating or rotating action
- ISO 8662-13: Die grinders

- *ISO 8662-14: Stone-working tools and needle scalers*

Normativa per la strumentazione di misura

Allo scopo di certificare uno strumento per la misura delle vibrazioni, in grado di fornire risultati confrontabili per tutti i tipi di vibrazione che coinvolgono l'esposizione del soggetto umano, è stata redatta la norma ISO 8041:1990 "Human response to vibration – Measuring instrumentation.

La strumentazione specificata in questa norma soddisfa i requisiti di almeno uno dei metodi di misura richiesti dalle ISO 2631 ed ISO 5349.

ISO 8041.- Finalità.

- *Applicabile alla strumentazione per le misure delle vibrazioni sul corpo intero e sul sistema mano-braccio*
- *Richiede prove elettriche, di vibrazione e di resistenza ambientale per la verifica delle specifiche richieste e definisce la metodica per la calibrazione.*
- *Definisce le tolleranze pertinenti alla classe dello strumento (classe 1 o classe 2)*
- *Certifica la accuratezza, la compatibilità e riproducibilità dei risultati ottenibile con differenti tipi di strumentazione di misura*

ISO 8041.- Caratteristiche

Le specifiche richieste per la strumentazione di misura sono:

- *Caratteristiche di pesatura in frequenza*
- *Limiti di banda in frequenza*
- *Costanti di tempo, rivelatori e caratteristiche dei valori indicati.*
- *Sensibilità alle condizioni ambientali.*

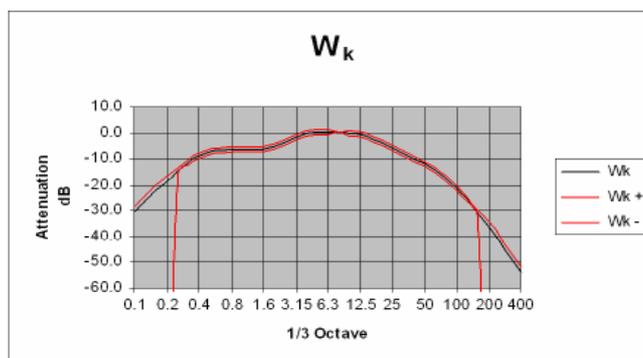
ISO 8041.- Frequenze preferenziali di calibrazione

Frequenze Preferenziali di Calibrazione			
modi	nome	frequenze preferenziali	pesatura
Whole body, vertical direction z	Wk	7,96 Hz ($\omega = 50$)	0,32 dB
Whole body, horizontal directions x, y	Wd	7,96 Hz ($\omega = 50$)	-11,89 dB
Whole body, motion sickness, vertical direction z	Wf	0,398 Hz ($\omega = 2,5$)	-8,20 dB
Whole body, combined directions	W.B. combined	7,96 Hz ($\omega = 50$)	-4,71 dB
Whole body, seat back horizontal directions x	Wc	7,96 Hz ($\omega = 50$)	-0,98 dB
Whole body, rotational vibration r_x, r_y, r_z	We	7,96 Hz ($\omega = 50$)	-17,98 dB
Head of recumbent person, vertical direction x	Wj	7,96 Hz ($\omega = 50$)	0,14 dB
Hand arm vibration	Wh	79,6 Hz ($\omega = 500$)	-13,89 dB

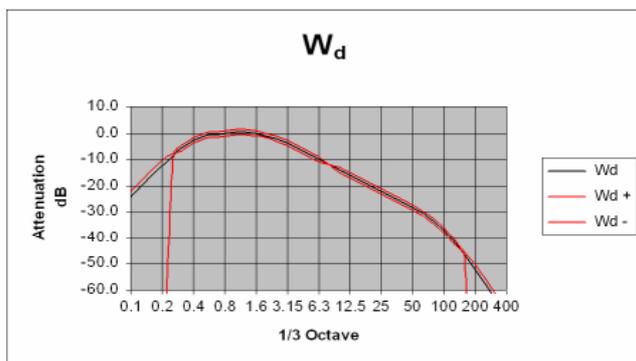
ISO 8041.- Pesature in frequenza

Vibrazioni Corpo Intero			
Pesature principali			
Corpo intero, direzione verticale Z	W_k	0,5 to 80	ISO 2631-1
Corpo intero, direzioni orizzontali X,Y	W_d	0,5 to 80	ISO 2631-1
Corpo intero, mal di movimento, direzione verticale Z	W_r	0,1 to 0,5	ISO 2631-1
Corpo intero, direzioni combinate	WB combinato	1 to 80	ISO 2631-2
Pesature aggiuntive			
Corpo intero, schienale, direzione orizzontale X	W_c	0,5 to 80	ISO 2631-1
Whole body, rotational vibration r_x, r_y, r_z	W_e	0,5 to 80	ISO 2631-1
Head of recumbent person, vertical direction x	W_j	0,5 to 80	ISO 2631-1
Vibrazioni Mano-Braccio			
Tutte le direzioni X,Y,Z	W_h	8 to 1000	ISO 5349

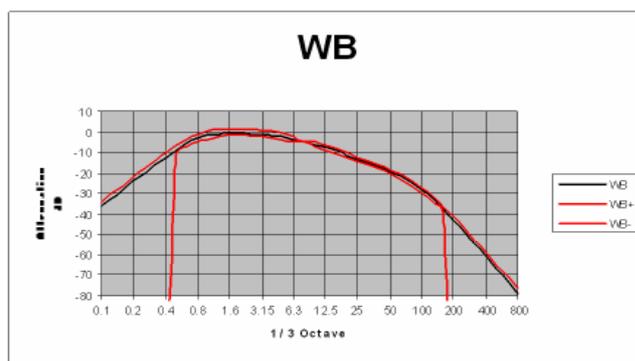
ISO 8041.- Corpo intero, ponderazioni in principali



Corpo intero, verticale: Z.

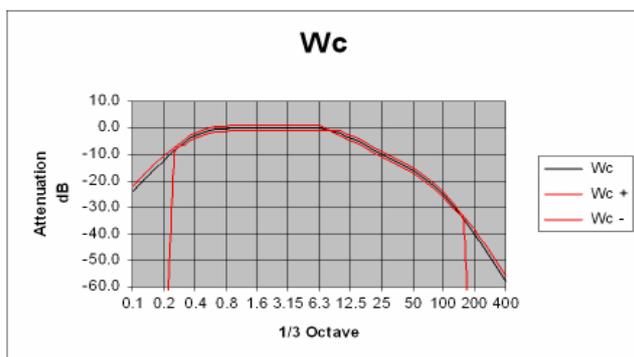


Corpo intero, orizzontali: X,Y.

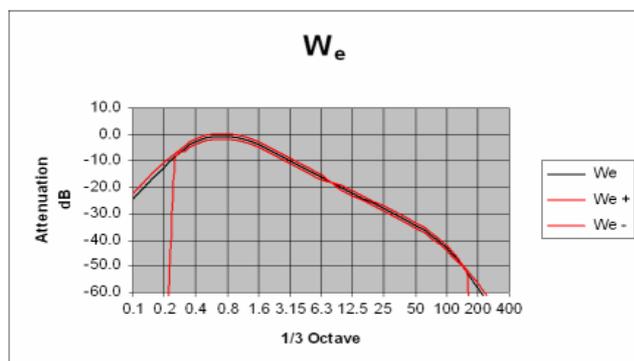


Corpo intero, direzioni combinate.

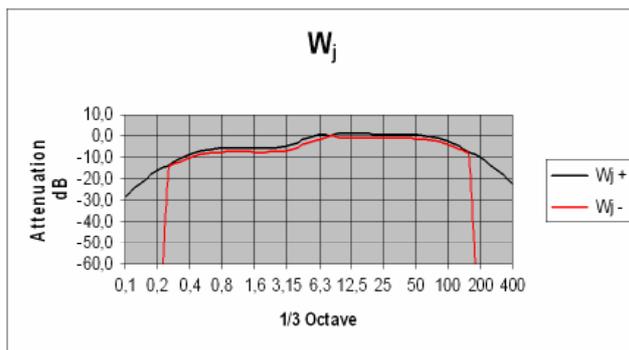
ISO 8041.- Corpo intero, ponderazioni aggiuntive



Corpo intero, schienale, direzione orizzontale: X.

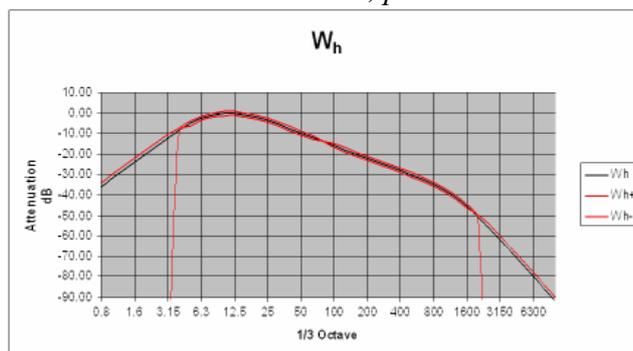


Corpo intero, vibrazioni rotazionali: r_x, r_y, r_z .



Testa persona sdraiata, direzione verticale: X.

ISO 8041.- Mano – braccio, ponderazione unica

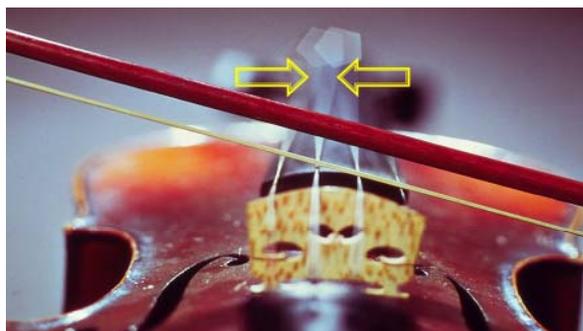


Tutte le direzioni: X,Y,Z.

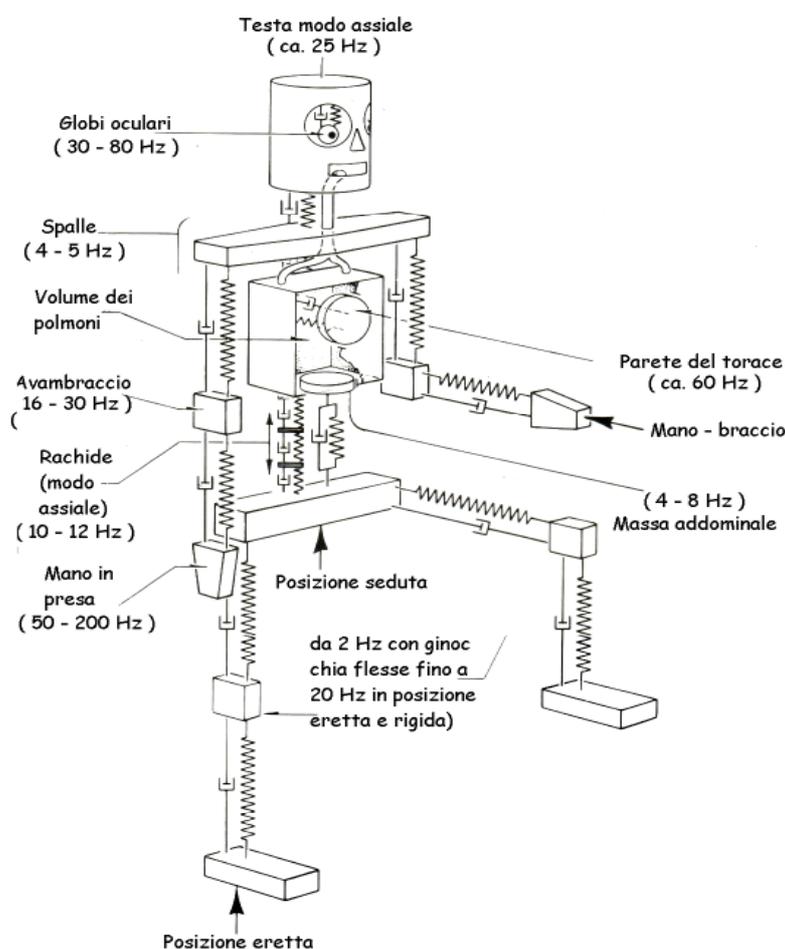
11. Cenni sugli effetti delle vibrazioni sul corpo umano

Richiamo del concetto base per le vibrazioni

Ogni oggetto possiede una frequenza di risonanza o naturale, come ad esempio il pendolo o una corda di un violino. Quando un oggetto viene fatto vibrare alla sua frequenza naturale o di risonanza dimostrerà spostamenti maggiori di quelli che la forzante gli impone a frequenze diverse dalla sua frequenza di risonanza.



Il corpo umano come sistema vibrante



Le frequenze naturali del corpo umano

- Il corpo umano assorbe dall'esterno componenti vibratorie nel campo di frequenze da 0,5 ad 80 Hz; a frequenze inferiori si muove come un tutto compatto, a frequenze superiori l'energia viene assorbita dagli strati cutanei superficiali o dalla suola delle scarpe.
- In quel campo di frequenze, organi e componenti individuali del corpo dimostrano frequenze naturali proprie e non si muovono come una singola massa.

- Questo fa sì che, eccitati dalle vibrazioni, i singoli organi dimostrano amplificazioni e attenuazioni del loro moto rispetto alla vibrazione di ingresso, in dipendenza dalla frequenza eccitante.
- Il gruppo di frequenze che subisce la maggiore amplificazione, nella direzione verticale, stà nel campo da 4 a 8 Hz (risonanza dei visceri).
- Frequenze da 10 a 12 Hz danno luogo a marcati effetti di risonanza nella regione delle vertebre cervicali e delle vertebre lombari con amplificazioni del 240% (7,6 dB).
- Frequenze da 4 a 6 Hz mettono in risonanza la parte superiore del tronco con amplificazioni del 200% (6,0 dB).
- Frequenze da 20 a 30 Hz mettono in risonanza la testa con amplificazioni fino al 350% (10,9 dB).

Dal rapporto CEN/TC 231 CEN = European Committee for Standardization

Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio:

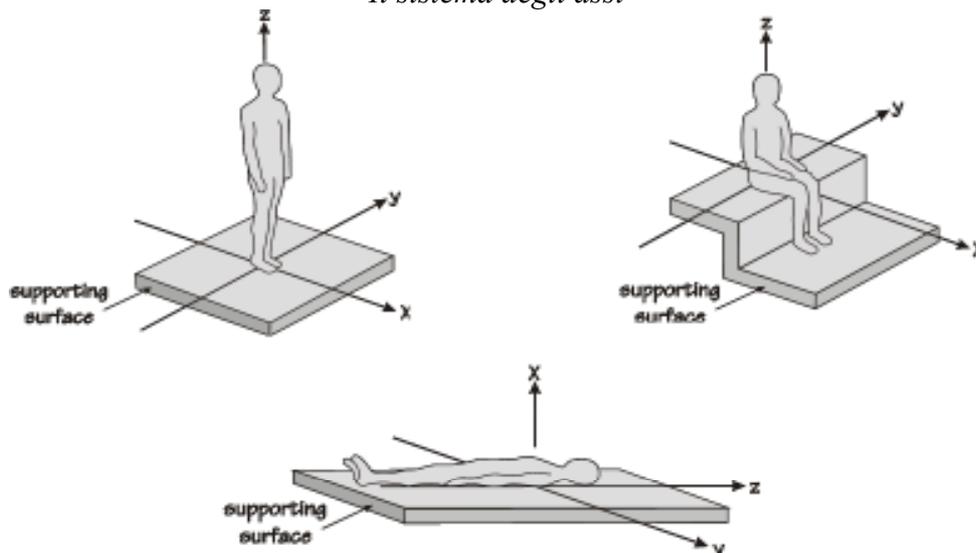
- Disordini circolatori (morbo di Raynaud o del “dito bianco”);
- Disordini neurologici, muscolo-tendinei e ossei.

Vibrazioni trasmesse al corpo intero:

- Lombalgia cronica;
- Disordini al sistema testa-spalle;
- Disordini ai sistemi circolatorio e digestivo
- Effetti sui sistemi cocleo-vestibolare e riproduttivo.

12. La normativa per valutare l'esposizione a vibrazioni del corpo intero ISO2631 - 1999

Il sistema degli assi



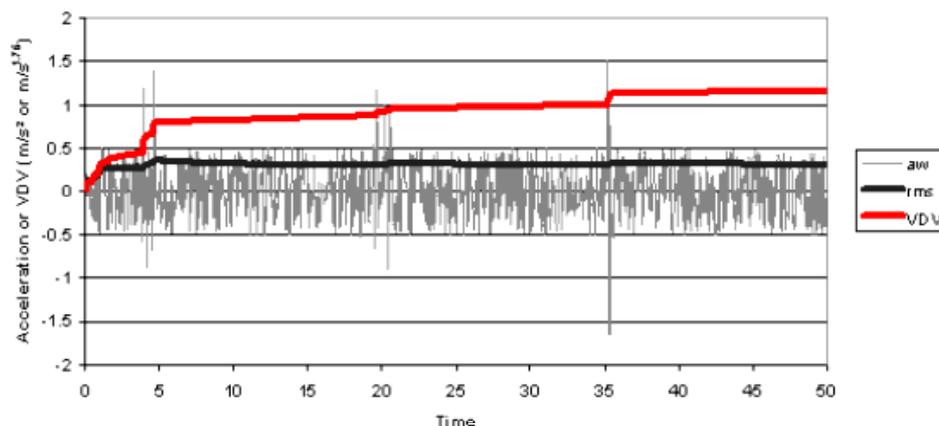
ISO 2631-1 Ponderazioni in frequenza

Ponderazioni in frequenza	Nome	Campo di frequenze (Hz)
Vibrazioni al copro intero		
Ponderazioni principali		
Corpo intero, direzione verticale Z	W_k	0,5 a 80
Corpo intero, direzioni orizzontali X & Y	W_d	0,5 a 80
Corpo intero, mal del movimento, direzione verticale Z	W_f	0,1 a 0,5
Ponderazioni aggiuntive		
Corpo intero, schienale, direzione orizzontale X	W_c	0,5 a 80
Corpo intero, rotazionali, rx, ry, rz	W_e	0,5 a 80
Testa di persona distesa, direzione verticale X	W_i	0,5 a 80

Grandezze da considerare

<i>$A_{w,rms}$: accelerazione ponderata e integrata linearmente, misurata su tre assi X, Y & Z</i>	$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt}$
<i>Amp: picco massimo ponderato</i>	<i>Massimo valore istantaneo ponderato della accelerazione</i>
<i>CF: fattore di cresta</i>	$CF = \frac{Amp_w}{A_{w,rms}}$
<i>Se CF è maggiore di 9 si passa a:</i>	VDV
<i>VDV: valore della dose della vibrazione</i>	$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T a_w^4(t) dt}$

Valore efficace e VDV



Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del consiglio. Rischio da agenti fisici: vibrazioni.

Art.3. - limiti di esposizione corpo intero	
Valore limite giornaliero di esposizione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a:	1,15 m/s²
Oppure a seconda della scelta dello stato membro, a un valore della dose delle vibrazioni di:	21,0 m/s^{1,75}
Valore giornaliero di esposizione che fa scattare l'azione, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a:	0,5 m/s²
Oppure a seconda della scelta dello stato membro, a un valore della dose delle vibrazioni di:	9,1 m/s^{1,75}

ISO 2631-1 Uso delle grandezze

Valutazione del rischio	
Prima della valutazione gli assi X & Y vengono moltiplicati per:	1.4
La valutazione del rischio viene fatta su:	Asse dominante
Valutazione del disturbo (inquinamento tattile, ISO 2631-2)	
Si usa la somma vettoriale ponderata (k)	$\Sigma = \sqrt{k_x a_{wx}^2 + k_y a_{wy}^2 + k_z a_{wz}^2}$
Dove:	$k_{x,y} = 1,4$ & $k_z = 1,0$

ISO 2631-2 Esposizione umana alle vibrazioni negli edifici

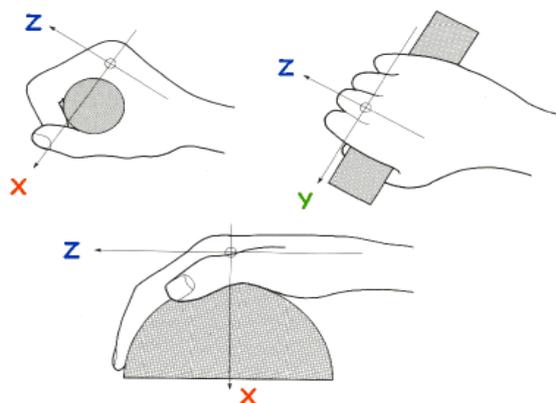


Grandezza: **MTVV** Maximum Transient Vibration Value (Max Slow); massimo valore transiente della vibrazione con costante "Max Slow"

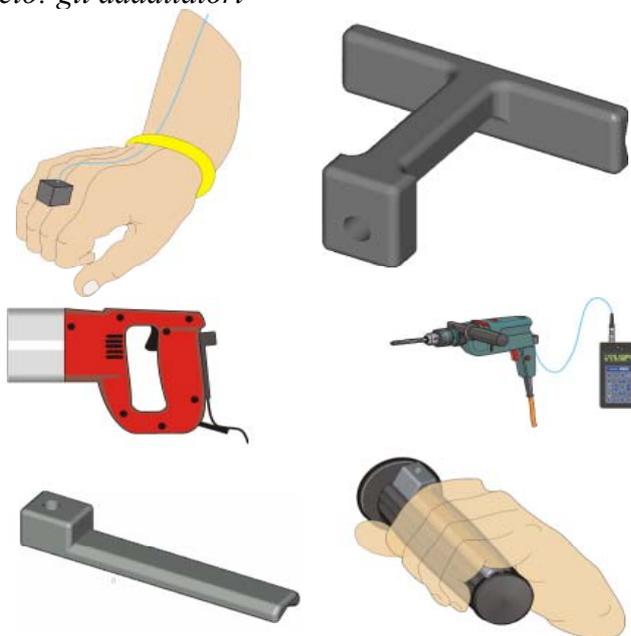
Ponderazione in frequenza: **WB** Corpo intero direzioni combinate (1 to 80 Hz)

13. La normativa per valutare l'esposizione a vibrazioni del sistema mano-braccio ISO5349 - 2000

ISO 5349 Esposizione al sistema mano-braccio-assi di riferimento

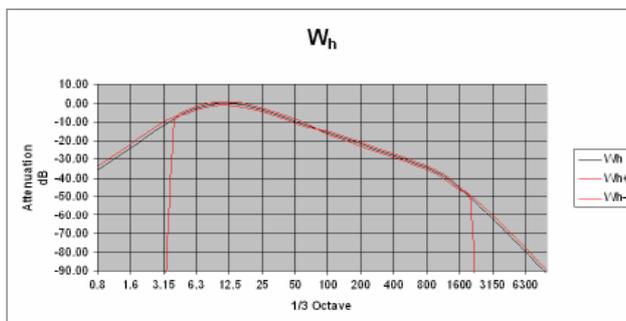


ISO 5349 Mano-braccio: gli adattatori



ISO 5349 Mano-braccio: il filtro di ponderazione

Tutte le direzioni x, y, z W_h (6.3 a 1250 Hz)



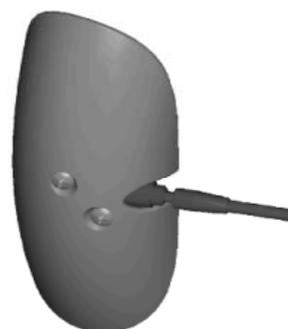
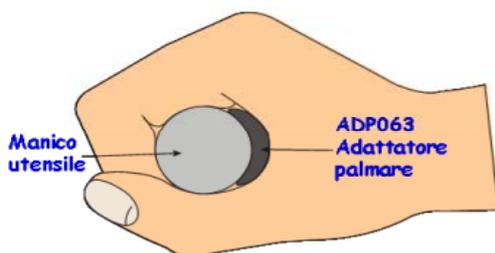
ISO 5349 Grandezze

<i>A(8): accelerazione equivalente all'energia assorbita nell'arco delle 8 ore:</i>	$a_{hw(eq,8h)} = \sqrt{\frac{1}{8h} \int_0^{8h} a_{hw,(t)}^2 dt}$
<i>Se l'accelerazione equivalente all'energia A(T) è assorbita per un periodo diverso da 8 ore:</i>	$A(8) = \sqrt{\frac{T}{8h}} A(T)$
<i>Se l'esposizione giornaliera è composta da diversi tipi di esposizione (diversi utensili):</i>	$A(T) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n [A(t_i)]^2 t_i}$
<i>Dove:</i>	$T = \sum_{i=1}^n t_i$

Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del consiglio. Rischio da agenti fisici: vibrazioni.

Art.3. - limiti di esposizione mano-braccio	
<i>Valore limite giornaliero di esposizione normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a:</i>	5 m/s²
<i>Valore giornaliero di esposizione che fa scattare l'azione, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore è fissato a:</i>	2,5 m/s²

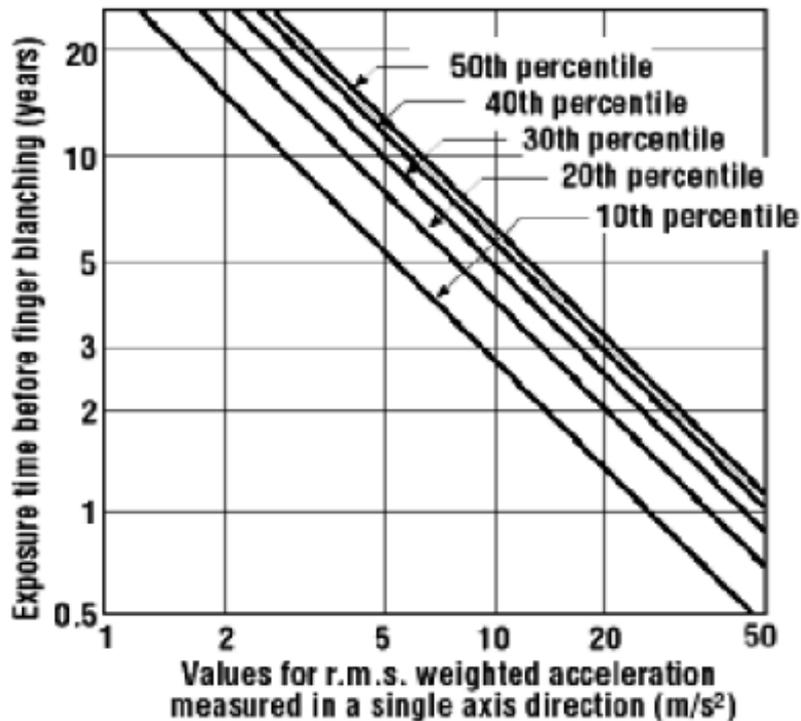
ISO 10819 Potere isolante dei guanti anti-vibrazioni



14. L'analisi in frequenza nella esposizione umana alle vibrazioni

La analisi in frequenza nei casi di esposizione umana alle vibrazioni non ha alcuna indicazione epidemiologica in quanto la correlazione fra l'energia assorbita e la probabilità di danno è definita sperimentalmente misurando il valore efficace globale ponderato (Wh) della vibrazione.

Epidemiologia della sindrome di Raynauld



Riveste invece grande importanza nelle misure di riferimento, in quanto di fronte a valori di vibrazione eccessivi, che metterebbero fuori mercato il prodotto, sarà necessario uno studio approfondito sia dei meccanismi di generazione che di quelli di amplificazione delle vibrazioni al fine di abbatterne i livelli.

Data l'esigenza di misurare in ogni caso l'energia totale (non le componenti) è necessario usare analizzatori multicanali.

Gli analizzatori multicanali

Una analizzatore multicanale non è altro che un comune analizzatore replicato N volte in un unico contenitore. Normalmente, per i prodotti di ultima generazione, lavora accoppiato ad un PC portatile o da tavolo.

Le misure dei valori di riferimento

Nella misura dei valori di riferimento riveste una grande importanza la possibilità di conoscere come si sono formati i valori finali della misura al fine di potere, in caso di livelli troppo elevati, abbatterli.

A tal fine la semplice misura dei valori globali non dà alcuna risposta, né la dà la analisi in 1/3 di ottava. Occorrono sistemi di analisi più sofisticati tipo FFT o analisi ad inseguimento nelle quali le componenti vibratorie sono rappresentate nel loro reciproco rapporto indipendentemente dal numero di giri.

15. Gli effetti delle vibrazioni sugli edifici e la norma UNI 9916-2004

Il problema delle vibrazioni degli edifici ha assunto, negli ultimi anni, una sempre maggiore importanza sia in relazione alla diversa tipologia strutturale delle moderne costruzioni, sia in relazione al moltiplicarsi delle fonti di vibrazione, ovvero quelle generate dalle attività umane, come ad esempio cantieri, macchine e traffico stradale e ferroviario.

Queste tipologie di vibrazioni, spesso associate a componenti di rumore, che possono essere causa di disturbo e apprensione degli occupanti di edifici può portare alla necessità di verificare se le vibrazioni siano tali da indurre o meno danni alla costruzione, soprattutto in presenza di evidenti danni architettonici i cui primari visibili effetti potrebbero essere appunto le crepature sui muri o i cosiddetti “danni di soglia”. Il danno di soglia in pratica non identifica il danno alla stabilità strutturale di un edificio, ma solamente una determinazione della riduzione del valore d’uso dell’edificio. Nella pratica comune sono definiti danni estetici che rivestono però una particolare importanza quando a subire il danno sono opere o monumenti.

In via riassuntiva le misure di vibrazioni negli edifici possono avere i seguenti scopi:

- *per il riconoscimento del problema ovvero se i livelli di vibrazione possono aver determinato o determinare danni o limitare alcune funzionalità specifiche dell’edificio (come ad esempio non poter utilizzare un ascensore ecc.) e quindi la necessità specifica di approfondimenti;*
- *per verifiche o controlli, ovvero per confrontare i livelli misurati ai limiti suggeriti od imposti da normative o leggi;*
- *per caratterizzare la risposta strutturale dell’edificio a carichi dinamici o a fatica*

La nuova norma UNI 9916-2004 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorie per permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

E’ una norma molto chiara, nella quale vengono esplicitati e trattati i campi di applicabilità e che fornisce criteri e metodologie atti a valutare la potenzialità delle vibrazioni a causare danni di tipo architettonico e fornisce nell'Appendice D valori indicativi di riferimento, i

quali non possono tuttavia essere considerati come limiti assoluti di accettabilità o non accettabilità.

Per concludere, le raccomandazioni fornite nella nuova UNI 9916 sulla risposta strutturale degli edifici, si limitano agli effetti delle vibrazioni che possono comportare l'insorgere di "danno architettonico o di soglia". I valori e le metodologie semplificate riportati non sono generalmente applicabili ai casi di insorgenza di "danno maggiore" per il quale è necessario ricorrere a valutazioni ed approfondimenti specifici da parte di esperti.

In allegato è riportata ad uso didattico la norma UNI 9916.

E' sempre stata ns. convinzione che riferire parti di norme è sempre poco corretto perché come minimo si tralascia ciò che secondo ognuno di noi è importante.

L'estratto non è mai strumento di lavoro adeguato.

E' altrettanto vero che la norma deve essere acquistata presso l'Ente che ne ha in carico la divulgazione ed è quindi ancora ns. convinzione che copiare le norme è paragonabile a volgare pirateria, che è un vero e proprio flagello.

Per portare al pubblico questa importante norma abbiamo quindi deciso di trascrivere la norma nelle parti essenziali: per avere la norma in versione integrale ci si deve rivolgere a UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione

Via Battistotti Sassi 11/B - 20133 Milano MI - Italia

UNI 9916 - Criteri di misurazione e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici

Premessa

Il problema delle vibrazioni degli edifici ha assunto, negli ultimi anni, sempre maggiore importanza sia in relazione alla diversa tipologia strutturale delle costruzioni moderne, più snelle e più leggere grazie ad un più razionale utilizzo dei materiali con migliori caratteristiche di resistenza meccanica, sia in relazione al moltiplicarsi delle fonti di vibrazione, in special modo quelle generate dalle attività dell'uomo: sorgenti di vibrazione quali attività di cantiere, scoppi di mine, funzionamento di macchine e traffico stradale e ferroviario, possono essere causa di disturbo e apprensione degli occupanti di edifici e ciò può portare alla necessità di verificare se le vibrazioni siano tali da indurre o meno danni alla costruzione, soprattutto in presenza di evidenti danni architettonici generati da altre cause.

In generale, danni strutturali all'edificio nel suo insieme attribuibili a fenomeni vibratorii sono estremamente rari e quasi sempre derivano dal concorso di altre cause. Perché le vibrazioni possano arrecare danni strutturali è necessario che esse raggiungano livelli tali da causare, prima, fastidio e disturbo agli occupanti. Sono invece frequenti altre forme di danno, di entità definita "di soglia", che, senza compromettere la sicurezza strutturale degli edifici, ne possono determinare una riduzione del valore.

I danni di soglia si possono presentare sotto forma di fessure nell'intonaco, accrescimenti di fessure già esistenti, danneggiamenti di elementi architettonici.

Nota - nella terminologia anglosassone questi danni si indicano come "danni estetici" ("cosmetic damage").

Il problema è particolarmente sentito con riguardo alla conservazione degli edifici monumentali.

Le vibrazioni possono essere anche causa di danneggiamenti o malfunzionamenti di apparecchiature all'interno degli edifici.

La misurazione delle vibrazioni degli edifici può essere finalizzata a diversi obiettivi:

- a) **riconoscimento del problema;** per valutare se i livelli di vibrazione riscontrati possano determinare danni all'edificio o limitarne la funzionalità specifica e si renda quindi necessario un approfondimento dello studio;
- b) **verifiche o controlli;** per rapportare il livello delle vibrazioni ai limiti suggeriti o imposti da normative specifiche, relative per esempio alle condizioni di esercizio di apparecchiature;
- c) **caratterizzazione a scopo di diagnostica;** per verificare, rispetto a ipotesi progettuali o a condizioni precedentemente note, l'insorgenza di modifiche strutturali dovute a carichi accidentali severi (per esempio terremoti) o a degrado dei materiali;
- d) **caratterizzazione a scopo di previsione;** per valutare l'attitudine dell'edificio a sopportare carichi dinamici accidentali, quali le raffiche di vento, o per stimare l'efficacia di provvedimenti per l'attenuazione dei fenomeni vibratorii. Una tale caratterizzazione può anche essere effettuata al solo scopo di ottenere informazioni sulle proprietà strutturali dell'edificio, attraverso la stima dei suoi parametri dinamici.

Questi differenti obiettivi richiedono diversi metodi d'approccio, sia per quanto riguarda la misurazione delle vibrazioni, sia per quanto riguarda il trattamento dei dati e la loro valutazione.

1. Scopo e campo di applicazione

La presente norma fornisce una guida per la scelta delle metodologie appropriate per la misurazione, il

trattamento dei dati e la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

La norma identifica inoltre le possibili sorgenti di vibrazione ed i fattori che influenzano la risposta strutturale dell'edificio alle vibrazioni. Le vibrazioni possono essere generate dall'esterno, trasmesse attraverso il terreno o causate da sovrappressioni d'aria (per esempio traffico aereo, vento), ovvero dall'interno, dovute ad attività antropiche o ad azioni di macchinari. Si considerano vibrazioni di carattere sia transitorio sia continuo.

Sono presi in considerazione solo gli effetti diretti delle vibrazioni sugli edifici. Altri effetti delle vibrazioni, quali il movimento di oggetti non fissati all'interno degli edifici, la possibilità di danni ad apparecchiature e gli effetti delle vibrazioni sugli occupanti non sono trattati nella norma.

La presente norma fornisce criteri e metodologie atti a valutare la potenzialità delle vibrazioni a causare danni di tipo architettonico e fornisce nell'appendice D valori indicativi di riferimento, i quali non possono tuttavia essere considerati come limiti assoluti di accettabilità o non accettabilità.

La norma si applica in generale a tutte le tipologie di edifici di carattere abitativo, industriale e monumentale. Ciminiere, ponti e strutture sotterranee, quali gallerie e tubazioni, non sono considerate dalla presente norma.

Effetti di vibrazioni generate da terremoti e da onde marine sono al di fuori del campo di interesse della presente norma. Inoltre essa non considera le molte altre cause di danno negli edifici, che possono manifestarsi anche in assenza di vibrazioni (vedere appendice B).

Le raccomandazioni fornite nella presente norma al riguardo della risposta strutturale degli edifici, si limitano agli effetti delle vibrazioni che possono comportare l'insorgere di "danno architettonico o di soglia". I valori e le metodologie semplificate riportati non sono generalmente applicabili ai casi di insorgenza di "danno maggiore" per il quale è necessario ricorrere a valutazioni ed approfondimenti specifici da parte di esperti.

2. Riferimenti normativi

omissis.....

3. Termini e definizioni

Per la terminologia utilizzata nella presente norma si fa riferimento, ove applicabile, alle definizioni riportate in UNI 9513. Inoltre valgono le definizioni seguenti:

3.1 edificio: Costruzione qualsiasi classificabile secondo le tre categorie seguenti:

- costruzioni industriali e costruzioni strutturalmente simili;
- costruzioni residenziali e costruzioni strutturalmente simili;
- costruzioni che, per la loro sensibilità particolare alle vibrazioni, non rientrano nella classificazione delle prime due categorie o sono di grande valore intrinseco (per esempio edifici monumentali soggetti a tutela)

3.2 danno architettonico (o di soglia): Effetto residuo delle vibrazioni che determina alterazione estetica o funzionale dell'edificio senza comprometterne la stabilità strutturale o la sicurezza degli occupanti. Il danno architettonico si presenta in molti casi con la formazione o l'accrescimento di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o sulle superfici intonacate o nei giunti di malta delle costruzioni in mattoni.

3.3 danno maggiore: Effetto che si presenta con formazione di fessure più marcate, distacco e caduta di gesso o pezzi di intonaco fino al danneggiamento di elementi strutturali (per esempio fessure nei pilastri e nelle travature, apertura di giunti).

4. Caratteristiche generali del fenomeno vibratorio in esame

Le caratteristiche dei fenomeni vibratorii che possono interessare un edificio variano in modo sostanziale in funzione della natura della sorgente di eccitazione e delle caratteristiche dinamiche dell'edificio stesso. Per una corretta esecuzione delle misurazioni, premessa necessaria per giungere a descrivere completamente il fenomeno e valutare quindi la possibilità che esso produca danni, è necessario tenere conto dei seguenti fattori:

- meccanismo di eccitazione e trasmissione;
- durata del fenomeno;

- natura deterministica o aleatoria del fenomeno;
- distribuzione spettrale dell'energia.

4.1 Meccanismo di eccitazione e trasmissione

L'eccitazione prodotta da una sorgente può presentarsi come un moto impresso alla base dell'edificio o come una forza applicata all'edificio o a suoi elementi; una possibile classificazione delle sorgenti può essere fatta in base ai seguenti meccanismi d'azione:

- trasferimento di energia tramite il terreno: si manifesta come un moto impresso alla base, funzione oltre che del meccanismo di sorgente anche delle caratteristiche del mezzo entro cui si propaga il disturbo generato;
- trasferimento di energia per via aerea: si manifesta come una azione (pressione "sonora") applicata all'edificio;
- applicazione diretta di una forza o (pressione) a componenti dell'edificio (pareti, solette ecc.) a cui la sorgente è collegata.

Si possono dunque identificare:

- sorgenti esterne all'edificio, di cui sono esempi caratteristici:
 - nel caso di moto impresso alla base:
 - il traffico stradale o ferroviario,
 - le attività di costruzione o demolizione,
 - l'esplosione di mine,
 - il funzionamento di macchine rotanti o alternative,
 - il funzionamento di macchine impulsive;
 - nel caso di forza applicata:
 - le raffiche di vento;
- sorgenti interne all'edificio, quali per esempio:
 - il movimento di persone (che camminano, corrono, danzano, eseguono esercizi ginnici, ecc.),
 - il movimento di mezzi (gru, elevatori, carrelli, ecc.),
 - il funzionamento di macchine rotanti o alternative (turbine, ventilatori, compressori, vagli, ecc.),
 - il funzionamento di macchine impulsive (magli, presse, punzonatrici, ecc.).

4.2 Durata del fenomeno

Un'ulteriore fondamentale classificazione del fenomeno vibratorio può essere fatta in base alla sua durata; i fenomeni fondamentali da prendere in considerazione a questo proposito sono da un lato la risonanza e dall'altro l'affaticamento dei materiali.

Pertanto, per ciò che riguarda il primo aspetto, la risposta di un edificio può essere considerata come:

- continua quando l'eccitazione è presente senza interruzioni per lunghi periodi (per esempio coincidenti con il periodo di funzionamento di una macchina rotante, con il periodo di presenza di un traffico intenso, ecc.) o, comunque, quando la durata dell'eccitazione è maggiore di $5\tau_0$, essendo τ_0 la costante di tempo dell'edificio, definita come : τ

$$\tau_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \zeta_0 \cdot f_0}$$

$$\tau_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \zeta_0 \cdot f_0}$$

dove:

f_0 è la frequenza fondamentale dell'edificio,

ζ_0 è il coefficiente di smorzamento associato.

Tale condizione assicura infatti che il transitorio iniziale, presente nella risposta dell'edificio e dipendente dalle condizioni iniziali di moto al momento dell'applicazione della forzante, sia quasi completamente esaurito per cui, di fatto, la risposta coincide con il termine "forzato";

- transitoria quando l'eccitazione è costituita da una forzante con durata limitata nel tempo e comunque minore di $5\tau_0$; in questo caso il fenomeno è spesso intermittente come, per esempio, nel funzionamento di magli o presse.

Se la durata del fenomeno forzante è molto breve, si parla in generale di fenomeno impulsivo.

La durata del fenomeno vibratorio deve però essere anche esaminata alla luce del comportamento a fatica dei materiali; in questa ottica la distinzione precedente fra vibrazioni continue e transitorie può risultare a volte non adeguata e deve quindi essere rivista con molta attenzione caso per caso: per esempio, può risultare più corretto considerare una eccitazione costituita da una serie di eventi transitori (quali i colpi di un maglio) come un fenomeno continuo, anche se la durata del singolo evento è minore di $5\tau_0$, se si ritiene che il numero di cicli di sollecitazione (e la loro ampiezza) a cui il materiale è sottoposto sia sufficiente a provocare significativi fenomeni di fatica.

4.3 Natura deterministica o aleatoria del fenomeno

Ai fini della misurazione del fenomeno è importante stabilire se esso debba essere considerato come deterministico o aleatorio; di definiscono:

- fenomeni di tipo deterministico quelli descrivibili, con sufficiente approssimazione, mediante espressioni matematiche;
- fenomeni di tipo non deterministico (aleatori) quelli descrivibili solo in termini probabilistici.

Le due categorie possono essere a loro volta suddivise come di seguito indicato:

- fenomeni deterministici caratterizzati da un andamento nel tempo di tipo:
 - armonico,
 - periodico (dato dalla sovrapposizione di componenti armoniche con frequenze multiple di una fondamentale),
 - quasi-periodico (dato dalla sovrapposizione di componenti armoniche con frequenze qualsiasi),
 - transitorio,
 - impulsivo;
- fenomeni aleatori di tipo:
 - stazionario (i valori delle grandezze statistiche, calcolati su un numero sufficientemente grande di campioni, si mantengono costanti nel tempo),
 - ergodico (i valori delle grandezze statistiche, calcolati su un campione di durata sufficiente, non variano al variare del campione considerato),
 - non stazionario di tipo uniformemente modulato (l'intensità dell'eccitazione varia nel tempo mentre la distribuzione spettrale si mantiene costante),
 - non stazionario generico.

Le distinzioni introdotte sono date solo a titolo di classificazione, poiché, nella realtà, l'eccitazione è caratterizzata da una sovrapposizione delle tipologie individuate. Nella maggior parte dei casi è tuttavia possibile discernere, nella registrazione di un fenomeno vibratorio, una tipologia prevalente che può essere fatta rientrare, con livello di approssimazione accettabile, tra quelle elencate.

Fenomeni transitori (che, singolarmente considerati, rientrano nella categoria dei fenomeni deterministici) possono in pratica ricadere nella categoria dei fenomeni aleatori quando si prenda in considerazione una serie consecutiva di eventi: è tipico il caso di esplosioni, in cui le modalità di brillamento della carica e la propagazione dell'onda d'urto nel terreno rendono, di fatto, il fenomeno non ripetibile.

La natura aleatoria o non-aleatoria del fenomeno e la proprietà di stazionarietà sono di fondamentale importanza nella definizione della corretta procedura di misurazione; è necessario, infatti, eseguire un numero adeguato di registrazioni al fine di garantirsi che si disponga di informazioni sufficienti per caratterizzare completamente il fenomeno dal punto di vista statistico e della sua variabilità nel tempo.

Nota - si rimanda in proposito alla letteratura specifica [1].

4.4 Distribuzione spettrale del moto

Ciascun tipo di sorgente, e quindi di risposta dell'edificio, si caratterizza per una forma caratteristica dello spettro e per un determinato campo di frequenza in cui lo spettro è concentrato.

Mentre la forma spettrale del moto risultante sull'edificio è profondamente influenzata dalle frequenze proprie e smorzamenti dell'edificio e dei suoi componenti strutturali e varia quindi da caso a caso, il campo di frequenza entro cui si colloca lo spettro per i diversi tipi di sorgente presenta dei valori caratteristici. A puro titolo indicativo i campi di frequenza d'interesse vengono riportati nel prospetto dell'appendice A.

5. Caratteristiche degli edifici rilevanti ai fini della valutazione della risposta

Nel caso più generale, la risposta di un edificio o dei suoi elementi strutturali sottoposti ad eccitazione dinamica e, quindi, il danno potenziale che questa può produrre, dipendono, oltre che dal contenuto spettrale dell'eccitazione stessa, dalle caratteristiche dinamiche dell'edificio.

Sarebbe dunque necessario ottenere una documentazione completa sull'edificio, prima di dare una valutazione del rischio di danno connesso con il fenomeno vibratorio in esame.

In particolare l'attenzione dovrebbe essere concentrata sui seguenti aspetti:

- caratteristiche costruttive dell'edificio;
- stato di conservazione;
- caratteristiche delle fondazioni ed interazione con il terreno.

Tuttavia, in relazione agli obiettivi dell'indagine (vedere "Premessa"), lo studio della risposta degli edifici può essere affrontato in maniera più o meno approfondita e il livello di dettaglio della conoscenza degli aspetti sopra elencati può essere, quindi, più o meno accurato.

Così, per esempio, lo studio finalizzato al riconoscimento del problema, per rispondere alla domanda se i livelli di vibrazioni possano essere potenzialmente pericolosi oppure no, ovvero alla verifica dei livelli di vibrazione rispetto a riferimenti noti o imposti, può essere limitato alla sola misurazione, in punti prestabiliti, dei valori di picco delle vibrazioni ed al calcolo approssimato delle frequenze naturali, ricorrendo a metodi empirici basati sulla tipologia e sulla conoscenza dei rapporti geometrici dell'edificio (vedere riferimento bibliografico [2]).

L'indagine orientata all'identificazione del comportamento dinamico dell'edificio può essere affrontata analizzando la risposta spettrale della costruzione, ottenuta da un numero più o meno grande di trasduttori adeguatamente disposti.

Invece, la diagnosi del degrado della costruzione e l'effettiva correlazione di questo alla presenza di eccitazione dinamica, così come la previsione del comportamento dell'edificio sottoposto a carichi dinamici richiedono l'esame, adeguatamente approfondito, di tutti gli aspetti sopra elencati che ne determinano la risposta.

5.1 Caratteristiche costruttive dell'edificio

La tipologia costruttiva, i materiali impiegati, le caratteristiche inerziali e di rigidità determinano la risposta dell'edificio all'eccitazione agente e la sua capacità di sopportare le sollecitazioni dinamiche.

Con riferimento a questi aspetti si adotta, nell'ambito della presente norma, la classificazione semplificata degli edifici in tre categorie indicata in 3.1; è evidente però che è sempre opportuno, quando possibile, effettuare una caratterizzazione più dettagliata dell'edificio attraverso, per esempio, l'individuazione delle frequenze proprie e degli smorzamenti associati.

Tale individuazione può essere ottenuta mediante l'analisi della risposta dell'edificio sottoposto ad eccitazione di debole intensità. L'eccitazione può essere di tipo ambientale o forzato, con contenuto

energetico spettrale distribuito su una banda di frequenze sufficientemente larga da eccitare il numero desiderato di modi di vibrare della struttura.

5.2 Stato di conservazione dell'edificio

Mentre lo stato di conservazione dell'edificio non influisce in modo sostanziale sulla risposta (le caratteristiche modali hanno, infatti, variazioni significative in termini di frequenze proprie e di smorzamenti soltanto in caso di alterazioni strutturali rilevanti), esso può essere di notevole influenza sull'entità del danno che le vibrazioni possono provocare.

Il degrado si manifesta con la presenza di cavillature, lesioni, distacchi di intonaco, in genere dovuti a cause diverse dalle vibrazioni (per esempio d'origine termica, dovute a cedimenti in fondazione o all'aggressione dell'ambiente, ecc.); queste cause possono determinare uno stato di sollecitazione locale elevato al quale viene a sovrapporsi la sollecitazione dinamica.

E' dunque sempre auspicabile una verifica diretta del quadro fessurativo e deformativo esistente, per identificare eventuali fenomeni di degrado in atto e le loro cause.

5.3 Caratteristiche delle fondazioni e interazione con il terreno

Le caratteristiche del terreno e la tipologia e le dimensioni delle fondazioni possono influire in modo importante sull'ampiezza della risposta. I principali meccanismi, attraverso i quali quest'influenza si manifesta, sono descritti nei punti da 5.3.1 a 5.3.3.

5.3.1 Propagazione del moto nel terreno

L'energia immessa nel terreno dalla sorgente, quando questa è esterna all'edificio, genera onde "elastiche" che raggiungono la fondazione modificandosi nel loro contenuto spettrale per effetto delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno attraversato.

Il fenomeno si traduce, nella generalità dei casi, in un'attenuazione dell'intensità del moto, man mano che ci si allontana dalla sorgente, per effetto delle proprietà dissipative del terreno e per un effetto geometrico. Usualmente tale fenomeno è più sensibile per le componenti del moto alle alte frequenze e nei terreni incoerenti e di tipo sciolto e dà quindi luogo ad uno spettro (del moto alla base) caratterizzato da un contenuto spettrale più ricco in basse frequenze.

In alcuni casi, quando si è in presenza di condizioni stratigrafiche particolari, possono verificarsi fenomeni di risonanza che tendono ad amplificare alcuni valori spettrali rispetto ad altri.

5.3.2 Dimensioni delle fondazioni

Quando la lunghezza d'onda delle componenti del moto generato dalla sorgente diviene comparabile o è inferiore alle dimensioni dell'edificio (condizione che può ragionevolmente verificarsi per le componenti in alta frequenza e per edifici di grandi dimensioni) il moto alla base si presenta con un andamento temporale differente da punto a punto. Fondazioni massicce, molto rigide, possono avere una funzione di filtro per le componenti in alta frequenza

Di tali fenomeni occorre tenere conto in fase di scelta delle posizioni di misurazione del moto in fondazione.

5.3.3 Assestamenti nelle fondazioni

In qualche caso, in particolare per fondazioni su terreno scadente o di riporto, si possono verificare, per un fenomeno di compattazione del terreno accelerato dalle vibrazioni, piccoli assestamenti che possono essere causa di formazione di lesioni o fessure nell'edificio.

Fenomeni più importanti di liquefazione e quindi di perdita di capacità portante del terreno che sono da mettere in conto solo per eccitazioni di grande intensità (per esempio terremoti) esulano dall'oggetto della presente norma.

Lo studio della propagazione delle onde nel terreno e dell'interazione fra struttura e terreno è in genere molto complesso ed esige un'approfondita conoscenza di tutti i parametri d'interesse (densità, curva sforzi-deformazioni, velocità di propagazione delle onde elastiche ecc.) che possono essere determinati in laboratorio su un appropriato campione (volume di terreno non disturbato) o con specifiche prove in campo.

In considerazione della complessità del problema, per ottenere indicazioni sulle caratteristiche del moto alla base, è consigliabile procedere alla misurazione diretta delle grandezze d'interesse, evitando, ove possibile, calcoli analitici.

6. Misurazione delle vibrazioni

6.1 Criteri generali d'impostazione delle misurazioni

Le metodologie di misurazione delle vibrazioni possono essere differenti in relazione alle caratteristiche dell'eccitazione (vedere riferimento bibliografico 4), della risposta dell'edificio (vedere riferimento bibliografico 5) e delle finalità dello studio intrapreso (vedere l'introduzione).

Particolare attenzione deve essere riservata agli aspetti seguenti.

6.1.2 Scelta della grandezza da misurare

Il moto può essere misurato attraverso una qualunque delle grandezze cinematiche che lo caratterizza (accelerazione, velocità, spostamento). Si deve però ricordare che:

- l'accelerazione è la grandezza più facilmente misurabile grazie alla disponibilità di strumenti (accelerometri) molto efficienti che possiedono sensibilità e risposta in frequenza adeguate e robustezza e facilità d'impiego elevata;
- la velocità è la grandezza normalmente utilizzata per definire parametri e valori di riferimento nella valutazione del danno essendo direttamente legata all'energia cinetica. La strumentazione esistente, pur essendo come l'accelerometro molto efficiente ed affidabile, presenta però dei limiti nella risposta alle basse frequenze. Per questo motivo, specialmente quando si ha motivo di ritenere importanti le componenti del moto a bassa frequenza, è prassi comune misurare direttamente l'accelerazione ed ottenere poi la velocità per integrazione del segnale. Quest'operazione tuttavia può introdurre errori, sia che venga eseguita in forma analogica oppure in forma digitale. Tali errori possono essere contenuti adottando adeguati procedimenti che dovranno quindi essere sempre descritti e giustificati nel rapporto d'attività (vedere appendice C);
- lo spostamento assoluto è di difficile misurazione, ma anche di scarso significato fisico al fine della valutazione del danno. E' invece d'interesse la misurazione di spostamenti relativi fra parti strutturali (per esempio sui bordi di lesioni esistenti), perché possono essere indici della capacità del fenomeno vibratorio di produrre danni.

La scelta del tipo di trasduttore deve essere effettuata tenendo conto di una serie di parametri, quali:

- ampiezza della vibrazione
- campo di frequenza di interesse
- caratteristiche dimensionali dell'elemento strutturale del quale si misura la risposta.

In alcuni casi è di interesse la misurazione di deformazioni o inclinazioni di elementi strutturali.

6.1.3 Scelta delle posizioni di misurazione

La scelta delle posizioni di misurazione è determinata dalla tipologia strutturale, dalla natura della sorgente e deve essere effettuata caso per caso in funzione delle finalità dello studio (vedere 6.2 e 6.3).

6.1.4 Scelta della modalità di registrazione

Le modalità di registrazione adottate devono permettere una raccolta di dati nella forma e in quantità sufficienti per una corretta valutazione di tutte le proprietà significative del segnale. La teoria dell'analisi dei segnali (vedere riferimento bibliografico [1]) suggerisce le procedure più adeguate. Da un punto di vista generale, gli aspetti più importanti sono:

- Carattere aleatorio del segnale

Tutti i parametri che definiscono il processo (valori efficaci, medi, valori spettrali ecc.) sono in questo caso grandezze di tipo random. E' necessario che la durata della registrazione sia adeguata per ricostruire con la precisione statistica voluta i parametri d'interesse.

Se la registrazione è fatta in forma digitale è inoltre essenziale che la frequenza di campionamento sia almeno il doppio della massima frequenza presente nel segnale, eventualmente filtrato per evitare fenomeni di "aliasing".

- Non-stazionarietà

Se esiste il dubbio che la sorgente non sia stazionaria (come per esempio il traffico che presenta andamenti caratteristici in funzione delle ore della giornata) è necessario che la registrazione venga effettuata in tempi differenti, atti a cogliere le variazioni significative.

- Intermittenza e irregolarità della sorgente

Nel caso di sorgente attiva in modo saltuario e non prevedibile è necessario ricorrere a sistemi di registrazione automatici che vengono abbandonati in campo, pronti a registrare l'evento d'interesse.

6.1.5 Numero dei sensori e simultaneità delle registrazioni

Una corretta descrizione del fenomeno osservato esige in generale l'effettuazione della misurazione di più grandezze (componenti del vettore cinematico o valori dello stesso in posizioni differenti della struttura) e il sistema di registrazione dovrebbe, in linea di principio, permettere l'acquisizione simultanea dei vari segnali, così da non perdere le informazioni sulle relazioni di fase.

Tuttavia è ammesso di operare con un numero ridotto di sensori se il processo in esame è stazionario e ripetibile e nel caso in cui l'elaborazione successiva non richieda la conoscenza delle relazioni di fasi come, per esempio, quando si è interessati esclusivamente ai contenuti energetici del segnale.

In ogni caso è necessario fornire, nel rapporto d'attività, una chiara esposizione delle caratteristiche della strumentazione utilizzata e una giustificazione del procedimento di misurazione adottato.

6.2. Metodi di misurazione

La scelta del numero e delle posizioni di misurazione dipende dalle caratteristiche (dimensioni, tipologia strutturale) dell'edificio oggetto delle rilevazioni. Essa dipende anche dalle finalità delle rilevazioni stesse.

6.2.1. Misurazione dell'eccitazione

Quando si tratti di verificare il livello di vibrazione alla base dell'edificio, per esempio in rapporto a valori di riferimento forniti da normative, o di calcolare una funzione di trasferimento tra la vibrazione alla base e la risposta dell'edificio, la posizione di misurazione deve essere scelta in corrispondenza alla fondazione o, nel caso di edifici senza fondazioni, alla base del muro di sostegno esterno, ad un'altezza non maggiore di 0,5 m dal livello del terreno. I punti di misurazione sulla fondazione devono essere predisposti, se possibile, sul lato dell'edificio prossimo alla sorgente di vibrazione. Le vibrazioni per ciascun punto devono essere misurate sia in direzione verticale che in due direzioni orizzontali ortogonali, queste ultime scelte possibilmente con riferimento agli assi principali dell'edificio. Per edifici ad ampia superficie di base, indicativamente con una dimensione di base maggiore di 20 m, le misurazioni devono essere eseguite simultaneamente in più punti (un punto di misurazione per ogni 10 m). E' sempre preferibile eseguire simultaneamente le misurazioni; in alcuni casi (vedere 6.1) sono consentite deroghe.

Nei casi in cui si debba tenere conto della funzione di trasferimento tra sorgente di vibrazioni e fondazione, per esempio per valutare l'influenza del terreno sul comportamento dinamico dell'edificio, si devono eseguire misurazioni contemporanee in prossimità della sorgente e della fondazione.

Nel caso di vibrazioni forzate, ottenute mediante l'uso di eccitatori, deve essere determinata, con la misurazione o il calcolo, l'ampiezza dell'eccitazione imposta. Nel caso di eccitazione con sorgente interna all'edificio (per esempio dovuta a macchinari) le misurazioni di vibrazioni devono essere effettuate lungo tre assi ortogonali (comprendenti l'asse verticale), sulla soletta di supporto della sorgente stessa, in posizione prossima alla fonte di eccitazione.

6.2.2. Misurazione della risposta dell'edificio

La modalità di misurazione della risposta dell'edificio deve essere scelta in funzione delle finalità dell'indagine.

Quando si tratti di valutare l'ampiezza di vibrazioni in particolari parti strutturali dell'edificio, il posizionamento dei trasduttori deve essere effettuato direttamente sulle parti strutturali (vedere 6.3.1), nei punti ove si presume che il fenomeno vibratorio abbia massima ampiezza. Un esempio tipico sono le oscillazioni verticali dei solai.

Nel caso di sorgente esterna all'edificio, se la misurazione è finalizzata alla valutazione dell'ampiezza della risposta strutturale nel suo complesso è necessario effettuare la misurazione, oltre che in fondazione, all'ultimo piano dell'edificio, secondo tre direzioni ortogonali, scelte con riferimento agli assi principali della struttura.

Per edifici a più piani è opportuno aggiungere posizioni di misurazione ai piani intermedi. In ogni caso i punti di misurazione dovranno essere in corrispondenza degli elementi strutturali che determinano la rigidezza dell'edificio.

Se l'edificio ha più di 10 m di lunghezza, è opportuno installare posizioni di misurazione ad intervalli orizzontali di circa 10 m. Nel caso di edifici asimmetrici, o sottoposti a carichi asimmetrici, dovranno essere previste posizioni di misurazione atte a rilevare modi di vibrare torsionali dell'edificio stesso. Posizioni di misurazione aggiuntive potranno essere scelte in rapporto a richieste specifiche degli occupanti od a seguito di rilevazioni preliminari.

Analogamente, se lo scopo è la caratterizzazione dinamica dell'edificio, la scelta dei punti di misurazione deve tener conto delle caratteristiche dell'edificio e del presunto andamento qualitativo delle deformate associate ai modi di vibrare di interesse.

Qualora la sorgente di vibrazioni sia interna all'edificio, devono essere considerati, oltre ai punti di misurazione sopra indicati, quelli posti in vicinanza della sorgente, ritenuti critici in base ad osservazioni preliminari.

Nei casi in cui le vibrazioni si mantengano con caratteristiche stazionarie per una durata sufficiente, è possibile utilizzare un singolo trasduttore per misurazioni in più posizioni, purché, salvo il caso di analisi semplificate come detto al in 6.1, si conservi almeno un captatore di riferimento fisso (in corrispondenza della fondazione se la sorgente di vibrazioni è esterna).

6.3. Criteri di fissaggio dei trasduttori

In generale le modalità di fissaggio dei trasduttori devono consentire la fedele riproduzione del moto vibratorio dell'elemento (parte strutturale o terreno) sul quale essi sono fissati, senza che siano introdotte alterazioni del moto stesso imputabili al sistema di accoppiamento del trasduttore. Il sistema di montaggio deve essere pertanto quanto più leggero e rigido possibile.

6.3.1. Fissaggio agli elementi strutturali

Il fissaggio dei trasduttori agli elementi strutturali degli edifici deve essere conforme alle indicazioni del costruttore o, quando esistano, alle norme applicabili come la UNI ISO 5348 per gli accelerometri. Le modalità adottate dovranno essere indicate nel rapporto di prova (vedere 10).

Nei limiti del possibile devono essere evitati elementi di supporto del trasduttore; in ogni caso l'elemento di supporto deve potersi considerare rigido nel campo di frequenze di interesse. Esso può essere fissato all'elemento strutturale per mezzo di viti o resine incollanti ad essiccazione rapida.

Il fissaggio diretto del captatore è sempre preferibile. Sono ammessi il collegamento meccanico con viti, l'incollaggio ed il fissaggio magnetico; in ogni caso il metodo adottato non deve causare alterazioni della grandezza da misurare nel campo di frequenza di interesse.

In alcuni casi (per esempio per i trasduttori di velocità di grosse dimensioni, con estesa superficie d'appoggio e con livelli di accelerazione minori di 1 m/s^2) è ammesso che il trasduttore sia semplicemente appoggiato all'elemento strutturale.

Le misurazioni su rivestimenti devono, se possibile, essere evitate. Quando è impossibile spostare i trasduttori, devono essere effettuate misurazioni comparative, in condizioni differenti di massa e di accoppiamento del blocco di fissaggio, al fine di valutare gli effetti dei rivestimenti.

I trasduttori non devono essere fissati vicino o in corrispondenza di punti singolari come fessure di grossa entità, o di punti di infiltrazione d'acqua o di porte di ventilazione e così via, a meno che si debbano valutare le vibrazioni proprio in quei punti.

6.3.2. Fissaggio al terreno

E' opportuno assicurare un contatto stretto tra trasduttore e terreno. Nei casi in cui l'accelerazione sia maggiore di 1 m/s^2 è necessario un collegamento fisso al terreno, per prevenire slittamenti. Quando i trasduttori devono essere montati nel terreno, per minimizzare la distorsione dell'accoppiamento terreno-trasduttore, essi devono essere interrati (indicativamente ad una profondità pari almeno a tre volte la dimensione principale del sistema captatore-elemento di fissaggio).

La misurazione delle vibrazioni effettuata alla superficie del terreno al fine di valutare le vibrazioni delle fondazioni dell'edificio è da evitare, a meno che si conosca preventivamente la funzione di trasferimento del terreno. Infatti, in generale, le onde elastiche espongono le fondazioni dell'edificio ad un movimento differente rispetto a quello misurato sulla superficie, in dipendenza della lunghezza d'onda, della profondità delle fondazioni e delle condizioni geotecniche.

7. Acquisizione dei dati

7.1. Generalità

L'obiettivo delle misurazioni è ottenere le informazioni necessarie a permettere d'applicare il criterio di valutazione prescelto (vedere 9).

Il metodo di acquisizione, comunque scelto, comporta la perdita di informazioni presenti nel fenomeno fisico. Per esempio, in funzione dell'intervallo di campionamento prescelto, andranno perdute le componenti armoniche sopra una data frequenza.

Si deve verificare che tale perdita di informazioni non sia tale da compromettere la validità dell'indagine.

Metodologie di acquisizione dei dati adeguate per definire un moto periodico (per esempio sinusoidale) possono rivelarsi non adeguate per stimare semplici parametri per un moto più complesso, per esempio il valore di picco di un moto aleatorio.

7.2. Sistema di acquisizione

Il sistema di acquisizione, che può essere analogico o digitale, comprende le seguenti apparecchiature principali:

- uno o più trasduttori;
- apparecchiatura(e) per il condizionamento dei segnali;
- sistema di registrazione dei dati.

Il sistema di acquisizione deve essere calibrato in accordo alle specifiche del costruttore od alle norme applicabili (per esempio UNI ISO 5347).

L'apparecchiatura di condizionamento del segnale comprende, di solito, un filtro passa-basso con funzione "anti-aliasing", la cui frequenza di taglio varia in funzione della massima frequenza di analisi e della pendenza del filtro stesso.

Nel rapporto di prova deve essere completamente descritta la catena di misurazione ed acquisizione utilizzata e dovranno essere precisate le caratteristiche di risposta in frequenza (modulo e fase) del sistema di misurazione completo (vedere 10) ed i parametri di acquisizione utilizzati.

7.3. Rapporto segnale-rumore

Si definisce rumore N la somma di tutti i segnali (vibrazioni di fondo, rumore termico ed elettronico, ecc.) con l'esclusione di quello sotto indagine.

Il rumore si rileva con le stesse modalità con cui si rileva il segnale registrato S , ma disattivando la fonte che genera quest'ultimo.

Se questo non è possibile, si possono fare delle considerazioni, basate su una conoscenza preliminare della sorgente vibratoria sotto indagine, che consentano di individuare le componenti della registrazione ragionevolmente ascrivibili al rumore. I dettagli dell'analisi devono essere riportati nel rapporto di misurazione (vedere 10).

Si deve inoltre osservare che successive elaborazioni del segnale registrato, per esempio l'integrazione numerica, possono, in genere, peggiorare il rapporto segnale-rumore. Nel caso dell'integrazione, per valutare correttamente il rapporto segnale rumore si deve pertanto calcolare la velocità vibratoria partendo dall'accelerazione registrata, procedere, se possibile, al rilievo del rumore e sottoporlo allo stesso processo a cui è stato sottoposto il segnale completo.

In termini di valori efficaci, il rapporto fra segnale e rumore (S/N) può essere utilizzato come indice della qualità della registrazione effettuata.

Il rapporto S/N è usualmente espresso in decibel (dB) come:

$$S/N = 20 \lg_{10} [V_{\text{eff}}(S) / V_{\text{eff}}(N)]$$

dove:

$V_{\text{eff}}(S)$ è il valore efficace del segnale registrato (incluso il rumore),

$V_{\text{eff}}(N)$ è il valore efficace del rumore.

In relazione al rapporto S/N si suggeriscono i seguenti criteri di accettabilità del segnale registrato:

- ❑ se il rapporto $S/N > 10$ dB, il valore trovato di S è accettato;
- ❑ se $6 < S/N < 10$ dB si procede a correzione matematica del segnale S , descrivendo nel rapporto di prova il procedimento adottato;
- ❑ se $S/N < 6$ dB il valore di S trovato sarà da considerarsi come indicativo.

8. Trattamento dei dati

Le modalità di trattamento dei dati dipendono dalla natura dei segnali da analizzare, di tipo deterministico o non deterministico (aleatorio), stazionario o non stazionario, periodico o non periodico, dalla loro durata e distribuzione di energia nel dominio della frequenza, dalle finalità che l'elaborazione si prefigge (vedere 9) e dall'accuratezza richiesta all'analisi.

Esula dagli scopi della presente norma la trattazione di dettaglio delle problematiche connesse con la corretta elaborazione dei segnali. Si rimanda pertanto alla letteratura specifica ed alla futura norma ISO 18431, ancora allo stato di bozza ISO/CD, che fornisce una guida sulle metodologie di elaborazione di segnali vibratorii.

Nei punti da 8.1 a 8.3 si forniscono brevi cenni sulle elaborazioni dei dati più diffusamente richieste dalla norma di riferimento, comprese quelle richiamate in appendice D.

In appendice C si forniscono ulteriori informazioni sul trattamento dei dati, con particolare riferimento alle tecniche di integrazione dei segnali.

8.1 Velocità di picco puntuale ("peak particle velocity")

La velocità di picco puntuale (p.p.v.) è definita come il valore massimo del modulo del vettore velocità misurato in un dato punto, o ottenuto per integrazione. La determinazione della velocità di picco puntuale (p.p.v.) richiede la misurazione simultanea delle tre componenti mutuamente perpendicolari della velocità nel punto considerato (di solito due componenti orizzontali e la verticale).

Le tre componenti devono essere combinate vettorialmente per determinare, istante per istante, il modulo della velocità risultante, che deve essere confrontato con il valore della velocità di soglia di riferimento, stabilito dalla normativa. In appendice D (vedere D.2.3) sono riportati, a titolo di esempio, i valori di riferimento indicati dalla norma BS 5228-4, relativi ad operazioni di installazione di pali.

8.2 Velocità di picco di una componente puntuale (p.c.p.v. - peak component particle velocity)

E' definita come il valore massimo (p.c.p.v.) del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto o ottenute mediante integrazione. L'appendice D riporta, a titolo di esempio, i valori di riferimento della p.c.p.v. indicati dalle norme DIN 4150-3 e BS 7385-2.

8.3 Analisi spettrale

L'analisi spettrale è utilizzata per la determinazione della frequenza ed ampiezza delle componenti armoniche della risposta nel punto di misurazione considerato. Risulta di particolare interesse confrontare le componenti armoniche piu' significative dei segnali registrati con le frequenze di risonanza (stimate o determinate da opportune misurazioni) dell'edificio oggetto di indagine.

L'analisi è, di solito, eseguita sui dati acquisiti attraverso una scheda ADC ("Analog to Digital Converter"), utilizzando un software di analisi. Il sistema di acquisizione deve essere dotato di un filtro passa-basso con funzioni "anti-aliasing", la cui frequenza di taglio deve variare in funzione della massima frequenza di analisi impostata dall'operatore e della pendenza del filtro stesso.

In generale l'analisi può essere limitata a 250 Hz, pur considerando con attenzione casi quali esplosioni molto prossime all'edificio o vibrazioni indotte da macchinari interni all'edificio stesso. Si può tuttavia osservare che, ai fini del calcolo della risposta in termini di velocità, l'analisi può essere in genere limitata a frequenze fino a 100 Hz.

Anche quando si adottano procedure semplificate come quelle indicate dalle norme citate in appendice D, risulta necessario, in alcuni casi, eseguire un'analisi spettrale delle singole componenti ortogonali del vettore velocità, al solo scopo di individuare la/le frequenze dominanti del segnale.

L'analisi deve tenere conto degli errori tipici dell'elaborazione digitale. Sono di particolare importanza, in tale ambito, i seguenti aspetti:

- problemi legati alla risoluzione in frequenza, dovuti alla lunghezza finita dei segnali registrati;
- problemi legati al troncamento dei segnali registrati, per i quali si richiede una opportuna "finestratura".

Per un approfondimento degli aspetti citati si rimanda alla letteratura scientifica in materia (per esempio al testo [1]).

9. Valutazione dei dati

L'analisi dei dati registrati deve portare a stabilire se il livello delle vibrazioni possa essere causa di danni per l'edificio sotto controllo. Nell'analisi è necessario naturalmente tenere presenti non solo i danni diretti, quali per esempio: apertura di lesioni, perdita di adesione o caduta di pezzi d'intonaco o di gesso ecc., ma anche i danni indiretti; questi ultimi sono da collegarsi al fatto che le vibrazioni possono provocare in casi particolari una compattazione del terreno di fondazione che a sua volta può dare origine a piccoli assestamenti; questi possono determinare l'insorgenza di lesioni superficiali e conseguentemente una maggiore predisposizione all'aggressione da parte degli agenti chimici e fisici.

La valutazione della "pericolosità" del livello delle vibrazioni è dunque un processo complesso e delicato per il quale non esistono criteri validi in assoluto; la tecnica propone, in ogni caso, due approcci diversi (a volte da impiegarsi in parallelo).

9.1 Approccio teorico (calcolo delle sollecitazioni indotte)

In linea di principio è possibile utilizzare le tecniche dell'analisi dinamica per costruire un modello matematico della struttura, individuare i modi di vibrare e calcolare quindi la risposta strutturale e le sollecitazioni indotte: i valori ottenuti possono essere confrontati con quelli della resistenza dei materiali o con valori della risposta ritenuti ammissibili.

L'approccio è complesso e oneroso sia per gli aspetti numerici sia per la quantità (e qualità) delle informazioni di partenza richieste: sarà per esempio necessario disporre di

- una descrizione completa delle causa eccitante in termini di legge temporale o di spettro in frequenza da ottenersi preferibilmente attraverso una misurazione diretta come indicato in 6.2.1;
- una conoscenza completa delle proprietà strutturali dell'edificio (in particolare: caratteristiche geometriche, proprietà dei materiali, smorzamento, caratteristiche del terreno di fondazione, stato di conservazione ed efficienza dei vincoli, stato di sollecitazione);
- caratteristiche di resistenza dei materiali.

In considerazione della difficoltà di una modellazione appropriata del comportamento dell'opera è opportuno che il modello numerico adottato venga convalidato a fronte di misurazioni dirette della risposta.

Tale approccio è, nella maggioranza dei casi, fuori delle possibilità (anche economiche) d'indagine ed è giustificato solo se si hanno seri dubbi che la sicurezza dell'opera possa essere compromessa (per esempio in considerazione del cattivo stato di conservazione) o per opere di particolare valore socio-economico (per esempio beni monumentali).

9.2 Approccio empirico

Nella prassi corrente si ricorre ad un metodo empirico, basato sul confronto dei valori registrati con dati ottenuti da osservazioni passate. E' evidente che il problema diviene allora quello di identificare, da un lato, dei parametri sintetici che caratterizzano la "pericolosità" delle vibrazioni e dall'altro quello di fissare dei valori limite di sicurezza validi per ogni tipo di edificio (o per categorie di edifici).

A tale proposito si sottolinea come non esista in letteratura una documentazione sufficientemente univoca per arrivare a definire valori assolutamente certi; sono comunque disponibili, nella normativa internazionale, alcuni prospetti, riportati nell'appendice D, unitamente ad alcune indicazioni, tratte dalle rispettive norme, necessarie per un loro corretto utilizzo, che suggeriscono, in funzione del campo di frequenza interessato dal fenomeno, valori di riferimento per la p.p.v. o la p.c.p.v. (vedere 8.1 e 8.2) al disotto dei quali si ritiene che non si abbiano danni; tali valori sono differenziati per varie tipologie di edifici e dipendono dalla natura (continua o transitoria) del fenomeno e non sono definiti in modo univoco.

I valori forniti differiscono anche in modo sostanziale.

A giustificazione della difficoltà nell'effettuare un collegamento diretto fra livello vibratorio e danneggiamento deve essere sottolineato come la comparsa di lesioni e il loro aumento al crescere dell'età dell'edificio sia un fenomeno del tutto normale nella vita di un edificio anche in assenza di vibrazioni, essendo attribuibile principalmente a variazioni termiche, assestamenti, concentrazione di sforzi, aggressione chimica da parte di agenti atmosferici (vedere l'appendice B); le vibrazioni possono comunque accelerare l'evoluzione di tale stato di fessurazione, in quanto si combinano con gli stati di sollecitazione esistenti provocando il superamento di valori di resistenza limite.

Alla luce di queste considerazioni l'utilizzo dei prospetti in appendice D deve essere fatto con molta cautela: per un primo giudizio di massima si ritiene sufficiente un confronto con le indicazioni fornite dalle norme riportate in appendice; un giudizio finale, soprattutto se le ampiezze di vibrazione registrate sono prossime a quelle riportate nelle normative, deve però essere basato su una seria analisi delle condizioni dell'edificio e dell'ambiente in cui si colloca.

Più in dettaglio si suggerisce che il giudizio finale sia costruito solo dopo:

- aver effettuato un approfondito esame dell'opera per ciò che riguarda la tipologia costruttiva, la qualità dei materiali impiegati e il tipo e la natura delle fondazioni;
- aver analizzato fattori quali l'età dell'edificio, lo stato di conservazione, la storia delle sollecitazioni subite nel tempo, la presenza di interventi di restauro (come per esempio ridipinture ecc.) che potrebbero mascherare danni destinati a ricomparire in ogni caso nel tempo in quanto localizzati in zone critiche soggette a concentrazione di sforzi;
- aver rilevato lo stato fessurativo dell'edificio e la presenza di fenomeni che siano indice di eventuali cedimenti in fondazione, cercando di evidenziare correlazioni dirette con uno o più dei fattori precedentemente illustrati;
- aver indagato eventuali altre sorgenti di vibrazioni (in particolare quelle prodotte dalla normale attività umana all'interno o all'esterno dell'edificio) riportando le ampiezze misurate in queste condizioni con quelle prodotte dalla sorgente in esame;
- aver effettuato, quando possibile, misurazioni delle vibrazioni a distanza di tempo così da poter controllare l'evoluzione dei danni e scoprire eventuali relazioni di causa ed effetto con il moto vibratorio.

10. Rapporto di attività

Il rapporto di prova deve contenere, in generale, le seguenti informazioni:

- il riferimento alla presente norma;
- l'oggetto dell'attività effettuata;
- la descrizione sommaria della struttura in studio;
- le finalità della ricerca;
- la data di esecuzione dell'attività;
- i nominativi dei responsabili dell'attività;
- il riferimento a documenti e norme applicabili per le singole attività;
- la descrizione della sorgente di vibrazioni;

- la descrizione delle condizioni ambientali che possano avere influito sulle misurazioni effettuate;
- le misurazioni effettuate;
- la posizione e tipo dei trasduttori utilizzati;
- la modalità di fissaggio dei trasduttori;
- i criteri e le modalità di acquisizione dei dati;
- i criteri e le modalità di elaborazione dei dati;
- la descrizione delle catene di acquisizione ed elaborazione dei dati;
- la valutazione del rumore di fondo;
- la valutazione degli errori;
- la valutazione dell'incertezza di misura;
- i risultati ottenuti.

Per una completa valutazione degli effetti delle vibrazioni il rapporto deve inoltre comprendere:

- la descrizione particolareggiata della struttura in studio;
- la descrizione degli eventuali danni rilevati;
- la valutazione dei risultati;
- il giudizio conclusivo.

APPENDICE A (Informativa)

Intervalli di frequenza caratteristici delle sorgenti di vibrazioni

La caratterizzazione di una sorgente di vibrazioni richiede la conoscenza della distribuzione spettrale della sua energia.

Nel prospetto A.1 seguente si riportano, a puro titolo indicativo, gli intervalli d'interesse per il problema trattato nella presente normativa, per diversi tipi di eccitazione.

Prospetto A.1: Intervalli di frequenza caratteristici delle sorgenti di vibrazione

Sorgente di vibrazioni	Gamma di frequenza [Hz]
Traffico (su strada e su rotaia)	Da 1 a 300
Esplosioni	Da 1 a 300
Battitura di pali	Da 1 a 100
Demolizioni (caduta edificio)	Da 1 a 20
Macchine esterne all'edificio	Da 1 a 300
Macchine interne all'edificio	Da 1 a 300
Attività umane (movimento di persone all'interno dell'edificio)	Da 0,1 a 100
Vento	Da 0,1 a 2

APPENDICE B (Informativa)

Formazione di fessure in edifici

La prima formazione di fessure in edifici avviene di solito immediatamente dopo la loro costruzione; il fenomeno può prolungarsi per un periodo di diversi anni, in dipendenza dal metodo e dai materiali usati nella costruzione e dal comportamento del terreno.

L'intervallo che trascorre prima che appaiano deterioramenti o danni è molto variabile, dipendendo dai carichi ai quali l'edificio è esposto e dalle caratteristiche di resistenza dei materiali agli agenti fisici e chimici.

Il calore, l'umidità, i cedimenti, i carichi applicati, le eventuali presollecitazioni, i fenomeni viscosi e i cambiamenti chimici sono tutti possibili cause di deformazione nel tempo di un edificio.

Inoltre fessure possono generarsi nelle zone in cui si ha concentrazione di sforzi; ciò può evitato introducendo opportuni giunti o, in altri casi, disponendo adeguati supporti o rinforzi.

Le fessure sono quindi normalmente presenti, in vario grado, anche negli edifici non sottoposti a vibrazioni e, pertanto, non sono, di per sé, indice di danno indotto dalle vibrazioni stesse. Gli edifici, per esempio, si dilatano e si contraggono, con andamento giornaliero e stagionale.

Pertanto, un incremento dell'apertura delle fessure o della loro lunghezza non dovrebbe necessariamente essere attribuito a fenomeni vibratorii. Questi ultimi, tuttavia, possono accelerare in modo significativo lo sviluppo naturale dello stato fessurativo; un tale fenomeno può essere evidenziato da un'ispezione effettuata immediatamente prima e dopo il disturbo.

Il materiali di rivestimento di pareti o soffitti, più che i principali componenti strutturali degli edifici, sono solitamente sensibili agli effetti delle vibrazioni.

APPENDICE C . Problemi legati alla determinazione della velocità (Informativa)

I dati di riferimento sono spesso espressi in termini di velocità vibratoria (vedere appendice D), ed è quindi necessario, in caso di utilizzo di accelerometri, ricondurre le misure effettuate a questa grandezza cinematica mediante integrazione.

L'integrazione del segnale accelerometrico può essere eseguita sia nel dominio del tempo che delle frequenze. Qualsiasi metodologia venga impiegata, occorre tener presente che l'effetto delle componenti in bassa frequenza viene esaltato dal procedimento; per tale motivo occorre tener conto dei seguenti aspetti.

- Scelta dell'accelerometro, che deve avere prestazioni adeguate nel campo delle basse frequenze.
- Filtraggio del segnale registrato, per eliminare le componenti di rumore a bassa frequenza, eseguito, con filtro passa-alto, dopo aver verificato che non vengano perse componenti significative del segnale utile.

Le verifiche citate si eseguono in base alle informazioni disponibili sulla natura fisica del fenomeno registrato, ed attraverso l'analisi spettrale del segnale originale in accelerazione.

Il problema del trattamento delle componenti di lungo periodo risulta particolarmente critico nel caso di sorgenti di tipo impulsivo, quali esplosioni, funzionamento di magli o battitura di pali, caratterizzate da spettri con valori importanti anche alle basse frequenze. Se la misura analizzata è la risposta di un edificio occorre tenere conto, nello stabilire le proprietà del filtro applicato, delle frequenze proprie e delle proprietà di smorzamento del sistema strutturale sotto indagine.

In alternativa al processo di integrazione si può effettuare una misurazione diretta di velocità, per mezzo di geofoni (o velocimetri). E' necessario tenere presente che, anche in tal caso, vengono alterate le componenti spettrali al di sotto di una frequenza dipendente dalle proprietà dello strumento, in particolare dalla sua frequenza propria. Anche in questo caso è importante verificare che in tale banda di frequenze non cadano componenti significative del segnale utile.

Alla luce dei criteri enunciati, una possibile procedura per il rilievo e l'analisi di vibrazioni, eseguita in base ai valori suggeriti nell'appendice D è la seguente.

- Misurazione dell'accelerazione lungo i tre assi ortogonali, secondo i criteri esposti in 6.
- Integrazione delle componenti di accelerazione.
- Analisi spettrale della componente di velocità che risulta più severa in termini di ampiezza massima.
- Confronto dei valori di picco della velocità con i valori di riferimento di cui all'appendice D, tenendo conto delle componenti in frequenza dominanti evidenziate dall'analisi spettrale.

Se la differenza fra i due valori (di riferimento e misurato) è di almeno 10 dB, l'indagine si può ritenere conclusa. Altrimenti si procederà nel modo seguente:

- Analisi spettrale di ciascuna componente di velocità.
- Calcolo, per ogni istante, del modulo della somma vettoriale delle tre componenti di velocità e confronto con i valori di riferimento dell'appendice D (norma BS 5228 - 4);

oppure

- Confronto, componente per componente, dei valori di picco della velocità con i valori di riferimento (norme DIN 4150 o BS 7385).

APPENDICE D. Valori di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni (Informativa)

D.1 Generalità

Con riferimento ai criteri espressi in 9 si riportano di seguito le indicazioni essenziali delle norme DIN 4150 e BS 7385. Si riportano a parte (vedere D.3) i valori indicati dalla norma BS 5228-4, relativi agli effetti sugli edifici delle vibrazioni indotte dalla battitura di pali, ed i valori indicati dalla norma SN 640 312 a (vedere D.4).

D.2 Valori di riferimento indicati dalle norme DIN 4150 e BS 7385

Entrambe le norme DIN 4150 e BS 7385 fanno riferimento alla "peak component particle velocity", cioè al picco nel tempo della singola componente di velocità (p.c.p.v. definita in 8.2). In alcuni casi, alla p.c.p.v. devono essere associate una o più frequenze che sono predominanti nella registrazione. Le norme suggeriscono procedimenti atti ad individuare tali frequenze dominanti (DIN 4150-3: punto 5.1, appendice D punto D.2; BS7385-2: punto 7.3).

L'individuazione delle frequenze dominanti si rende necessaria solo nei casi in cui il valore di riferimento fornito dalle norme, con il quale la p.c.p.v. deve essere confrontata, varia con la frequenza.

Le norme citate prevedono che le misurazioni siano effettuate secondo tre assi mutuamente ortogonali: un asse ha direzione verticale, le due componenti orizzontali sono preferibilmente parallele/ortogonali ai muri dell'edificio.

Entrambe le norme specificano che i valori di riferimento indicati riguardano solo l'effetto diretto delle vibrazioni, non gli effetti indiretti quali, per esempio, cedimenti provocati dalla compattazione del terreno a seguito delle vibrazioni. Tali effetti indiretti devono essere considerati a parte.

Per entrambe le norme, i valori di riferimento indicati sono quelli al di sotto dei quali, salvo casi particolari, è ragionevole presumere che non vi sia danno; si specifica inoltre che il superamento dei limiti indicati non implica necessariamente il verificarsi del danno, ma è un segnale della necessità di indagini più approfondite.

D.2.1 Norma DIN 4150, parte 3 "Erschütterungen im Bauwesen Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen", febbraio 1999

La DIN 4150-3 considera tre classi di edifici:

- 7 edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili;
- 8 edifici residenziali e costruzioni simili;
- 9 costruzioni che non appartengono alle prime due categorie e sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici).

La norma prevede la misurazione ed il controllo del livello di vibrazione sia in fondazione (per tutte e tre le componenti) che ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato per quanto riguarda le componenti orizzontali della velocità. Tali misurazioni forniscono un quadro della risposta globale dell'edificio; sono inoltre necessarie misurazioni relative alla risposta dei solai ai singoli piani, che possono essere limitate alla misurazione della componente verticale della velocità, registrata al centro del solaio.

D.2.1.1 Vibrazioni di breve durata

I valori di riferimento relativi alle vibrazioni di breve durata (cioè tali da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata) sono riportati nel prospetto D.1, per quanto riguarda sia le misurazioni in fondazione sia le componenti orizzontali della velocità ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato.

Per la componente verticale dei singoli solai, la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v. 20 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici. Tale valore è indipendente dal contenuto in frequenza della registrazione e può essere inferiore per la terza classe di edifici.

Prospetto D.1: Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v in mm/s			
		Fondazioni			Piano alto
		Da 1 Hz fino a 10 Hz	Da 10 Hz fino a 50 Hz	Da 50 Hz fino a 100 Hz ^(*)	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f=10$ Hz) fino a 40 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ($f=50$ Hz) fino a 50 ($f=100$ Hz)	40
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ($f=10$ Hz) fino a 15 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ($f=50$ Hz) fino a 20 ($f=100$ Hz)	15
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ($f=10$ Hz) fino a 8 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ($f=50$ Hz) fino a 10 ($f=100$ Hz)	8

^(*) per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz

D.2.1.2 Vibrazioni permanenti

In presenza di vibrazioni continue che possano indurre fenomeni di fatica o amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata, i valori di riferimento per le componenti orizzontali del moto sono indicati nel prospetto D.2 e sono indipendenti dal contenuto in frequenza del segnale.

Prospetto D.2: Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2.5

Questi valori di riferimento sono utilizzabili per tutti i piani e per le fondazioni; in generale risulterà più significativa la misurazione al piano alto, ma non sono da escludere controlli ai piani intermedi o in fondazione qualora vi sia la possibilità di risonanza.

Per la componente verticale dei singoli solai, la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v. 10 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici. Tale limite è indipendente dal contenuto in frequenza della registrazione e può essere inferiore per la terza classe di edifici.

D.2.2 Norma BS 7385, parte 2 “Evaluation and measurement for vibration in buildings. Part 2. Guide to damage levels from groundborne vibration”, 1993

La norma tratta solo il caso di vibrazioni trasmesse dal terreno: vibrazioni generate da sorgenti poste all'interno dell'edificio non sono contemplate. Non sono ambito della norma le vibrazioni dovute a terremoto, sovrappressione di aria o vento.

I valori di riferimento forniti dalla norma, relativi a misurazioni in fondazione e riportati ne prospetto D.3 sono applicabili solo ad edifici bassi (fino a 3 piani) e riguardano vibrazioni transitorie che non danno luogo a risonanza nella struttura. In caso di risonanza tali valori devono essere ridotti del 50%.

Per frequenze minore di 4 Hz, la norma richiede di verificare che lo spostamento non superi 0,6 mm (da zero al picco).

Edifici importanti la cui riparazione sia difficoltosa devono essere considerati a parte.

Prospetto D.3: Valori di riferimento della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni transitorie sulle costruzioni

Classe	Tipo di edificio	“Peak component particle velocity” nell’intervallo di frequenza dell’impulso predominante		
		Da 4 Hz a 15 Hz	Da 15 Hz a 40 Hz	Da 40 Hz a 250 Hz
1	Strutture a telaio o rinforzate. Edifici industriali e commerciali	50 mm/s		
2	Strutture non rinforzate. Edifici residenziali o piccoli edifici commerciali	Varia linearmente da 15 mm/s ($f=4\text{Hz}$) fino a 20mm/s ($f=15\text{ Hz}$)	Varia linearmente da 20 mm/s ($f=15\text{Hz}$) fino a 50mm/s ($f=40\text{ Hz}$)	50 mm/s
NOTA 1 - I valori indicati sono alla base dell'edificio				
NOTA 2- Per la classe 2, a frequenze minori di 4 Hz, non si deve superare uno spostamento massimo di 0,6 mm (da zero al picco)				

D.3 Valori di riferimento indicati dalla norma BS 5228, parte 4 “Noise control on construction and open sites. Part 4. Code of practice for noise and vibration control applicable to piling operations”, 1992.

La norma riguarda il controllo delle vibrazioni nel caso di battitura di pali. La grandezza di riferimento non è la “peak component particle velocity” bensì la “peak particle velocity”, cioè il picco nel tempo del modulo del vettore velocità (vedere 8.1).

Nel prospetto D.4 sono indicati i valori di riferimento, al di sotto dei quali è ragionevole presumere che non si verifichi danno minore o “cosmetic” (cioè non strutturale). Essi sono applicabili ai tipi di edifici ivi descritti nel caso di vibrazione transitoria; se la vibrazione è continua i valori indicati devono essere ridotti del 50%.

Prospetto D.4: Valori di riferimento della velocità di vibrazione (p.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni transitorie sulle costruzioni

Class e	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.p.v. in mm/s		
		Fondazioni		
		Da 1 Hz fino a 10 Hz ^(*)	Da 10 Hz fino a 50 Hz	Da 50 Hz fino a 100 Hz ^(*)
A	Edifici residenziali costruiti a regola d'arte ed in buono stato di conservazione	5	10	20
B	Edifici costruiti per uso industriale e commerciale con struttura relativamente snella	10	20	40
C	Edifici massicci e rigidi costruiti per uso industriale e commerciale	15	30	60

^(*) indicazioni fornite per estrapolazione. I dati relativi all'installazione dei pali indicano che le frequenze di vibrazione prevalenti sono contenute nell'intervallo da 10 Hz a 50 Hz.

La norma prescrive anche la misurazione delle vibrazioni ai piani alti dell'edificio. Indica un limite massimo di 20 mm/s per la componente verticale della velocità dei solai.

Edifici sotto tutela non rientrano nelle categorie sopra elencate e necessitano di particolare considerazione.

D.4 Valori di riferimento indicati dalla norma SN 640 312 a "Effet des ébranlements sur les constructions", 1992.

La norma riguarda le vibrazioni provocate nelle costruzioni dallo scoppio di mine, dalle attività di macchine di cantiere e dal traffico su strada e ferroviario.

La norma non è applicabile alle vibrazioni di frequenza minore di 8 Hz. La norma non riguarda gli effetti indiretti alle vibrazioni, quali, per esempio, eventuali cedimenti del terreno su cui poggia l'edificio.

La grandezza di riferimento è la "peak particle velocity", cioè il picco nel tempo del modulo del vettore velocità (vedere 8.1). I valori di riferimento sono forniti in funzione della frequenza dominante della vibrazione, determinata dall'analisi spettrale della componente del vettore velocità con ampiezza maggiore.

Nel prospetto D.5 sono indicati i valori di riferimento, al di sotto dei quali piccoli danni sono poco probabili. I valori sono applicabili ai tipi di costruzioni ivi descritti. Sono considerati i casi di vibrazioni occasionali (numero di oscillazioni eccedenti il 70% del valore di velocità di riferimento maggiore di 1 000), frequenti (numero di oscillazioni compreso tra 1 000 e 100 000) e permanenti (numero di oscillazioni maggiori di 100 000).

Prospetto D.5: Valori di riferimento della velocità di vibrazione (p.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni transitorie sulle costruzioni

Class e	Tipo di costruzione	Esposizione	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.p.v. in mm/s		
			Posizioni di misura (*)		
			Da 8 Hz fino a 30 Hz ^(*)	Da 30 Hz fino a 60 Hz	Da 60 Hz fino a 150 Hz
A	Costruzioni molto poco sensibili (per esempio ponti, gallerie, fondazioni di macchine)	Occasionale Frequente Permanente	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C
B	Costruzioni poco sensibili (per esempio edifici industriali in cemento armato o metallici) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	Occasionale Frequente Permanente	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C
C	Costruzioni normalmente sensibili (per esempio edifici d'abitazione in muratura di cemento, cemento armato o mattoni, edifici amministrativi, scuole, ospedali, chiese in pietra naturale o mattoni intonacati) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	Occasionale Frequente Permanente	15 6 3	20 8 4	30 12 6
D	Costruzioni particolarmente sensibili (per esempio monumenti storici e soggetti a tutela) case con soffitti in gesso, edifici della classe C nuovi o ristrutturati di recente.	Occasionale Frequente Permanente	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà
(*) Le posizioni di misura devono essere scelte sugli elementi rigidi della struttura portante o dove sono attesi i maggiori effetti delle vibrazioni.					

16 - La misura dell' esposizione umana alle vibrazioni in ambiente abitativo ed apprezzamento del disturbo.

Anche nel campo delle vibrazioni, in analogia al campo del rumore, per valutare la tollerabilità delle sollecitazioni vibratorie bisognerebbe fare riferimento al criterio comparativo per confronto del dato rilevato con attiva la sorgente ed il dato rilevato quando la sorgente tace e quindi non sollecita più la struttura ove è collocato l'ambiente abitativo riconducibile al disturbato.

L'orientamento giurisprudenziale è focalizzato sull'applicazione di questo criterio, che però non ha ancora trovato conferma nella costanza di giudizio.

L'orientamento degli enti formatori è invece orientata a riferirsi a limiti assoluti i quali, proprio per questo requisito, non possono tuttavia essere considerati come limiti di accettabilità o non accettabilità.

Su questo punto la discussione è accesa proprio in considerazione del fatto che i Giudici non sono quasi mai propensi a confrontarsi con limiti assoluti avulsi dalla valutazione sul caso concreto.

Bisognerà attendere specifiche pronunce in tema; per il momento ci si riferisce alle norme UNI elaborate in materia.

Che il dibattito tecnico sia vivo è desumibile anche dal fatto che l'Ente di normazione ha ritenuto opportuno stilare una norma sperimentale da affiancare alla Norma originale, per la quale in fase di revisionasi dovrà tenere conto delle osservazioni emerse in relazione alle valutazioni proposte con la norma sperimentale.

Per completezza, ai fini didattici, si riferiscono le due norme con la ripetizione dell'invito a non copiare le norme stesse ed ad acquistarle in caso di uso per il consueto lavoro.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme 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	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : 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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme, 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 2331	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : Prescrizioni generali
ISO 5317	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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme, 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	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : 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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme 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 2231	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : Prescrizioni generali
ISO 5317	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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme 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 2331	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : Prescrizioni generali
ISO 5317	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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme 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	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : 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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici
e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 generate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme 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	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : 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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 generate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchi, 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 immerse 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, oltre le norme 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	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : 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 immerse 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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici
e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme, 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	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : Prescrizioni generali
ISO 5337	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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme 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 22371	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : Prescrizioni generali
ISO 5337	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.

VIBRAZIONI**Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo****UNI
9614**

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 causate da attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (macchine, 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, oltre le norme 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	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 ^a : 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.

NORMA ITALIANA
SPERIMENTALE

Vibrazioni meccaniche ed urti
**Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine
della valutazione del disturbo**

UNI 11048

MARZO 2003

Mechanical vibration and shock
Vibration measurement in buildings and annoyance evaluation

CLASSIFICAZIONE ICS 17.160; 91.120.25

SOMMARIO

La norma, sperimentale, definisce i metodi di misurazione delle vibrazioni e degli urti trasmessi agli edifici ad opera di sorgenti esterne e interne agli edifici stessi, al fine di valutare il disturbo arrecato ai soggetti esposti. Essa affianca la UNI 9614.

La norma non si applica alla valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, in relazione a possibili danni strutturali o acustico-fonici, per la quale si rimanda alla UNI 9916.

RELAZIONI NAZIONALI

RELAZIONI INTERNAZIONALI

ORGANO COMPETENTE Commissione "Vibrazioni"

RATIFICA Presidente dell'UNI, delibera del 14 gennaio 2003

UNI
Ente Nazionale Italiano
di Unificazione
Via Battistotti Sassi, 11B
20133 Milano, Italia

© UNI - Milano
Riproduzione vietata. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto dell'UNI.



PREMESSA

La presente norma è stata elaborata dalla Commissione "Vibrazioni" dell'UNI, nell'ambito della Sottocommissione 1 "Vibrazioni trasmesse all'uomo".

La Commissione Centrale Tecnica dell'UNI ha dato la sua approvazione il 20 giugno 2002.

Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione di nuove edizioni o di aggiornamenti.

È importante pertanto che gli utilizzatori delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione e degli eventuali aggiornamenti.

Si invitano inoltre gli utilizzatori a verificare l'esistenza di norme UNI corrispondenti alle norme EN o ISO ove citate nei riferimenti normativi.

COPIA DI NORMA NON RIPRODUCIBILE

Le norme UNI sono elaborate cercando di tenere conto dei punti di vista di tutte le parti interessate e di conciliare ogni aspetto conflittuale, per rappresentare il reale stato dell'arte della materia ed il necessario grado di consenso.

Chiunque ritenesse, a seguito dell'applicazione di questa norma, di poter fornire suggerimenti per un suo miglioramento o per un suo adeguamento ad uno stato dell'arte in evoluzione è pregato di inviare i propri contributi all'UNI, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, che li terrà in considerazione, per l'eventuale revisione della norma stessa.

INDICE

0	PREMESSA	1
0.1	Sorgenti delle vibrazioni	1
1	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	1
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	1
3	DEFINIZIONI	1
4	DESCRIZIONE DELLE VIBRAZIONI	2
4.1	Sistema di assi di riferimento	2
4.2	Grandezze e unità di misura	2
5	STRUMENTAZIONE	2
5.1	Indicazioni generali	2
5.2	Fissaggio degli accelerometri	2
5.3	Calibrazione e taratura	3
6	MISURA DELLE VIBRAZIONI	3
6.1	Rilevazione dell'accelerazione con ponderazione in linea	3
6.2	Rilevazione dell'accelerazione con ponderazione differita	3
6.3	Registrazione delle accelerazioni	4
prospetto 1	Ponderazione delle componenti per bande di terzo di ottava	4
7	VIBRAZIONI INFLUENZATE DA ALTRE SORGENTI E DAL RUMORE ELETTRICO	5
8	POSIZIONI DI MISURA	5
9	DURATA DELL'ESPOSIZIONE	6
10	RAPPORTO DI INDAGINE	6
APPENDICE A	LIVELLO GUIDA PER LA RACCOLTA DEI DATI INFORMATIVI	7
(informativa)		
A.1	Introduzione	7
A.2	Effetti secondari delle vibrazioni	7
A.3	Parametri legati alla sorgente	7
A.4	Durata di esposizione	8
A.5	Prospetto riepilogativo	8
A.6	Trasmissione dati	8
prospetto A.1	Dati informativi da acquisire da parte del tecnico preposto all'indagine	9
APPENDICE B	ESEMPIO APPLICATIVO	10
(informativa)		
prospetto B.1	Livelli delle accelerazioni relativi all'esempio applicativo (espressi in dB)	10
APPENDICE C	BIBLIOGRAFIA	12
(informativa)		
figura C.1	Filtro di ponderazione W_m	12

PREMESSA

A tutt'oggi i metodi di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo sono definiti dalle ISO 2631-2:1989 e UNI 9614. Tali norme si basano sulla norma generale ISO 2631-1:1974.

Per questo motivo è necessario considerare anche il progetto ISO/DIS 2631-2:2001 che condivide l'impostazione della nuova norma generale ISO 2631-1:1997. Si deve però osservare che in questo progetto di norma non sono riportati valori limite o di accettabilità; su di essi infatti vi sono opinioni discordanti in ambito internazionale dato che non si sono maturate sufficienti esperienze impiegando i nuovi metodi di misura proposti.

Si è quindi ritenuto opportuno affiancare alla UNI 9614, che riporta in appendice valori limite, una versione sperimentale che dovrebbe favorire l'acquisizione di dati rilevati con i nuovi metodi di misura. La correlazione tra tali dati e il grado di disturbo provocato dalle vibrazioni potrà portare successivamente alla individuazione di nuovi limiti di accettabilità.

Si invitano quindi gli utenti a riferirsi sempre alla UNI 9614, ma nel contempo di rilevare le vibrazioni anche con i metodi definiti nella presente norma sperimentale.

Sorgenti delle vibrazioni

Oltre a cause naturali (fenomeni sismici, venti, ecc.), le vibrazioni negli edifici possono essere causate da attività umane quali il funzionamento di macchine (magli, presse, telai, ecc.), il traffico su rotaia e su gomma, i lavori stradali ed edili (escavazioni, infissione pali, ecc.), le detonazioni di cariche esplosive, ecc. Tali vibrazioni possono costituire una fonte di disturbo per i soggetti esposti e influire il loro stato di benessere.

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente norma sperimentale definisce i metodi di misurazione delle vibrazioni e degli urti trasmessi agli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi, al fine di valutare il disturbo provocato ai soggetti esposti.

La presente norma sperimentale non si applica alla valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, in relazione a possibili danni strutturali o architettonici, per la quale si rimanda alla UNI 9916.

REFERIMENTI NORMATIVI

UNI 9513	Vibrazioni ed urti - Vocabolario
UNI ISO 5348	Vibrazioni meccaniche ed urti - Montaggio meccanico degli accelerometri
UNI ISO 5805	Vibrazioni meccaniche ed urti riguardanti l'uomo - Vocabolario
UNI ENV 28041	Risposta degli individui alle vibrazioni - Strumenti di misurazione
ISO 2631-1:1997	Evaluation of human exposure to whole body vibration - General requirements
ISO 2631-2:1989	Evaluation of human exposure to whole body vibration - Continuous and shock induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)
ISO/DIS 2631-2:2001	Evaluation of human exposure to whole body vibration - Continuous and shock induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)

DEFINIZIONI

Ai fini della presente norma si applicano i termini e le definizioni delle UNI 9513 e UNI ISO 5805.

4 DESCRIZIONE DELLE VIBRAZIONI

4.1 Sistema di assi di riferimento

Il sistema di assi ortogonali deve essere riferito alla struttura dell'edificio. Per convenzione si denomina z l'asse verticale e si orientano gli assi orizzontali x e y parallelamente alle pareti dell'edificio.

4.2 Grandezze e unità di misura

Nella presente norma, per la misurazione delle vibrazioni, si utilizza il valore dell'accelerazione, a , espresso in metri al secondo quadro (m/s^2).

In alternativa è possibile rilevare il livello dell'accelerazione, L , espresso in decibel (dB). Tale livello è legato all'accelerazione dalla relazione:

$$L = 10 \lg (a/a_0)^2 \quad (1)$$

dove:

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

Noto il livello dell'accelerazione, si calcola il valore dell'accelerazione stessa tramite la relazione inversa:

$$a = 10^{(L - 120)/20} \quad (2)$$

5 STRUMENTAZIONE

5.1 Indicazioni generali

La linea di misura è generalmente costituita da un trasduttore accelerometrico accoppiato ad uno strumento di misura dotato del filtro di ponderazione (6.1) oppure da un accelerometro, un condizionatore di segnale e un analizzatore di frequenza in tempo reale a bande di terzi ottavi (6.2). Le caratteristiche dell'accelerometro (in genere di tipo piezoelettrico) devono essere tali da consentire il rilievo delle vibrazioni ambientali; in particolare il sensore deve essere dotato di una risposta piatta nel campo di frequenza da 1 Hz a 100 Hz e deve essere dotato di una risoluzione pari ad almeno $0,3 mm/s^2$.

È possibile registrare il segnale su supporto magnetico (per esempio mediante DAT) e provvedere alla sua misura in laboratorio. In questo caso è necessario controllare che la risposta in frequenza del registratore sia lineare a partire da 1 Hz.

Per le misurazioni delle vibrazioni possono anche essere utilizzati trasduttori di velocità (sismometri, geofoni, velocimetri) con caratteristiche tali da consentire il rilievo delle vibrazioni ambientali; in particolare il sensore deve essere dotato di una risposta piatta nel campo di frequenza da 2 Hz a 100 Hz e deve essere dotato di una risoluzione pari ad almeno $10 \mu m/s$.

5.2 Fissaggio degli accelerometri

Il trasduttore deve essere fissato nelle posizioni di misura impiegando uno dei metodi sottoindicati; tali metodi differiscono tra loro a seconda delle caratteristiche del pavimento o del piano di sostegno (per i metodi di fissaggio si rimanda alla ISO 5348).

Nel caso di un pavimento uniforme e pulito, l'accelerometro può essere convenientemente fissato mediante cera d'api. In tal modo è possibile rilevare solo le vibrazioni verticali (a meno che non si impieghi un accelerometro triassiale).

Qualora il pavimento non sia uniforme e/o pulito, l'accelerometro può essere fissato su un blocco metallico con 3 punti di appoggio; il blocco stesso è poi posato sul pavimento. In tal modo è possibile rilevare anche le vibrazioni orizzontali.

Se la superficie del pavimento è rivestita con moquette, la misurazione deve essere effettuata togliendo tale materiale in corrispondenza della posizione di misura. Se ciò risulta impossibile, il rilievo deve essere effettuato impiegando il blocco metallico sopraindicato.

Se la superficie del piano è metallica, la misurazione può essere effettuata fissando l'accelerometro mediante magnete.

5.3

Calibrazione e taratura

La linea di misura deve essere calibrata prima e dopo le misurazioni mediante uno strumento di calibrazione esterno (in pratica una sorgente di vibrazioni con incertezza minore del 3%).

La taratura della linea di misura deve essere verificata almeno una volta ogni due anni, garantendo la riferibilità metrologica secondo la UNI ENV 28041.

6

MISURA DELLE VIBRAZIONI

L'intervallo di frequenza da esaminare è sostanzialmente compreso tra 5 Hz a 80 Hz.

Dato che la sensazione percettiva del soggetto esposto alle vibrazioni varia a seconda delle frequenze delle componenti, l'accelerazione deve essere ponderata mediante il filtro combinato W_m , la cui definizione matematica è riportata nell'appendice A dell'ISO/DIS 2631-2:2001. Le caratteristiche del filtro combinato W_m sono riportate nel prospetto 1 e nella figura 1. Si asservi che tale filtro è intermedio rispetto ai due filtri W_g e W_d definiti dalle sezioni 5.2.1 e 5.2.2 dell'ISO/DIS 2631-2:2001, ai due filtri W_k e W_d definiti dalla ISO 2631-1:1997 e ai due filtri definiti per gli assi verticale e orizzontali dalla ISO 2631-2:1989. Le caratteristiche del filtro W_m non differiscono in modo sostanziale da quelle del filtro per postura non nota o variabile definito dalla UNI 9614.

Impiegando il filtro combinato W_m si ottiene l'accelerazione ponderata in frequenza, a_w , oppure il livello dell'accelerazione ponderata in frequenza, L_w .

Tali grandezze devono essere rilevate impiegando la costante di tempo *slow*. Deve essere considerato il valore massimo raggiunto nel corso della misurazione MTVV, valore massimo del transiente delle vibrazioni. Tale metodo, definito dalla ISO 2631-1:1997, è denominato "rilevazione r.m.s.".

Per la valutazione delle vibrazioni si considera il valore MTVV più elevato dei tre valori MTVV rilevati (se possibile simultaneamente) sui tre assi, ossia il valore massimo determinato sull'asse dominante (in genere quello verticale).

Nel rapporto di indagine devono comunque essere riportati i valori MTVV rilevati sui tre assi.

Qualora i valori MTVV rilevati su un singolo asse si differenzino significativamente tra loro in funzione della quantità delle misurazioni (è questo il caso delle vibrazioni determinate dal transito di automezzi pesanti), può essere utile effettuare una analisi statistica di tali valori e considerare, per esempio, il valore che è stato superato nel 5% dei casi.

6.1

Rilevazione dell'accelerazione con ponderazione in linea

Questo metodo richiede l'impiego di uno strumento dotato del filtro di ponderazione combinato W_m . Deve essere impiegata la costante di tempo *slow*. Come già indicato in 6, per la valutazione delle vibrazioni si considera il valore massimo raggiunto nel corso della misurazione MTVV.

Può essere utile memorizzare l'accelerazione ponderata in frequenza nel tempo (*time history*) con un intervallo di campionamento pari ad almeno 0,1 s.

6.2

Rilevazione dell'accelerazione con ponderazione differita

Questo metodo richiede l'impiego di un analizzatore di frequenza in tempo reale a bande di terzo di ottava. Impiegando la costante di tempo *slow*, devono essere rilevati e memorizzati nel tempo (con un intervallo di campionamento pari ad almeno 0,1 s).

Ognuno degli spettri deve essere ponderato in frequenza moltiplicando le componenti per bande di terzo di ottava, a_i , per i fattori di ponderazione riportati nel prospetto 1. Le componenti ponderate, $a_{w,i}$, devono essere sommate tra loro in termini quadratici al fine di ottenere l'accelerazione ponderata in frequenza, a_w , secondo la relazione:

$$a_w = [\sum_i (a_{w,i})^2]^{0,5} \quad (3)$$

Se le componenti per bande di terzo di ottava sono espresse in decibel, ai livelli delle singole componenti, L_i , devono essere sommati i guadagni riportati nel prospetto 1. Il livello dell'accelerazione ponderata in frequenza, L_w , è dato da:

$$L_w = 10 \lg \sum_i 10^{0,1L_{w,i}} \quad (4)$$

dove:

$L_{w,i}$ sono i livelli equivalenti delle componenti per bande di terzo di ottava ponderate in frequenza.

Per la valutazione delle vibrazioni si considera il valore massimo (MTVV) o il valore medio (MTV) dell'accelerazione ponderata in frequenza determinati sulla base dei singoli spettri memorizzati strumentalmente.

Nota Il metodo illustrato nel presente punto, che presuppone l'impiego di analizzatori di frequenza, può sotto-stimare anche notevolmente il valore MTVV nel caso di vibrazioni con caratteristiche impulsive o velocemente variabili, a causa della più lenta risposta alle basse frequenze dei filtri per bande di terzo di ottava rispetto alla costante di tempo *slow*. Tale problema non si presenta se la ponderazione viene effettuata in linea (6.1).

6.3

Registrazione delle accelerazioni

Questo metodo richiede l'impiego di sistemi di registrazione analogici o digitali in grado di memorizzare oscillogrammi con frequenza e durata di campionamento adeguate al fenomeno esaminato. Questa tecnica viene in genere impiegata nel caso di monitoraggio simultaneo di molte posizioni.

L'attrezzatura deve essere in grado di acquisire dati con frequenza di campionamento di almeno 250 Hz (4 ms) per una durata di almeno 60 s. Nel caso di acquisizione digitale dei dati i segnali vanno filtrati con un filtro passa basso con frequenza di taglio pari al 40% della frequenza di campionamento (filtro passa basso con frequenza di taglio pari a 100 Hz nel caso di frequenza di campionamento degli oscillogrammi pari a 250 Hz). I dati così raccolti vanno successivamente elaborati secondo le tecniche illustrate in 6.1 e 6.2.

Si osservi che mediante questa procedura sono disponibili dati per eventuali elaborazioni differenti da quelli previsti nella presente norma.

prospetto 1 Ponderazione delle componenti per bande di terzo di ottava

Frequenza Hz	W_m	
	Fattore	Guadagno
1	0,832 9	-1,59
1,25	0,907 1	-0,85
1,6	0,934 2	-0,59
2	0,931 9	-0,61
2,5	0,910 1	-0,82
3,15	0,872 1	-1,19
4	0,818 4	-1,74
5	0,749 8	-2,50
6,3	0,669 2	-3,49
8	0,581 9	-4,70
10	0,494 1	-6,12
12,5	0,411 4	-7,71
16	0,337 5	-9,44
20	0,273 8	-11,25
25	0,220 3	-13,14

Ponderazione delle componenti per bande di terzo di ottava (Continua)

Frequenza	W_m	
	Fattore	Guadagno
31,5	0,176	-15,09
40	0,139 6	-17,10
50	0,109 3	-19,23
63	0,083 36	-21,50
80	0,060 36	-24,30

Nota I fattori devono essere moltiplicati per le componenti dell'accelerazione espresse in m/s^2 , i guadagni devono essere sommati ai livelli delle componenti dell'accelerazione espressi in dB.

7

VIBRAZIONI INFLUENZATE DA ALTRE SORGENTI (DAL RUMORE ELETTRICO)

Il valore di MTVV misurato sperimentalmente, a_w' , con uno dei metodi indicati in 6 può essere influenzato da sorgenti diverse da quella in esame (vibrazioni residue) e/o dal rumore elettrico della linea strumentale di misura.

Le vibrazioni devono quindi essere rilevate anche a sorgente in esame disattivata impiegando lo stesso metodo utilizzato per la rilevazione delle vibrazioni a sorgente in esame funzionante. Si denomi a_w'' il valore rilevato, ossia il valore MTVV delle vibrazioni residue e/o del rumore elettrico.

Se il rapporto tra a_w' e a_w'' è minore di 2, i risultati della misurazione delle vibrazioni della sorgente in esame possono essere stati fortemente influenzati dalle vibrazioni residue e/o dal rumore elettrico. Se il rapporto tra a_w' e a_w'' è compreso tra 2 e 3,16, tali risultati possono essere stati influenzati dalle vibrazioni residue e/o dal rumore elettrico. Se il rapporto tra a_w' e a_w'' è maggiore di 3,16, i risultati sono poco o nulla influenzati dalle vibrazioni residue e/o dal rumore elettrico.

Parimenti, il livello massimo dell'accelerazione della sorgente in esame misurato sperimentalmente, L_w' , può essere influenzato da altre sorgenti e/o dal rumore elettrico. Si denomi L_w'' il livello massimo delle vibrazioni residue e/o del rumore elettrico.

Se la differenza tra il livello L_w' e L_w'' è minore di 6 dB, i risultati della misurazione delle vibrazioni della sorgente in esame possono essere stati fortemente influenzati dalle vibrazioni residue e/o dal rumore elettrico. Se la differenza tra il livello L_w' e L_w'' è compresa da 6 dB a 10 dB, tali risultati possono essere stati influenzati dalle vibrazioni residue e/o dal rumore elettrico. Se la differenza tra il livello L_w' e L_w'' è maggiore di 10 dB, tali risultati sono poco o nulla influenzati dalle vibrazioni residue e/o dal rumore elettrico.

Per valutare l'influenza delle vibrazioni residue e/o del rumore elettrico può essere utile confrontare tra loro gli spettri rilevati a sorgente in funzione e disattivata (vedere appendice B).

Qualora possibile le vibrazioni residue devono essere distinte dal rumore elettrico della linea strumentale di misura e ne vanno individuate le sorgenti.

8

POSIZIONI DI MISURA

Le vibrazioni devono essere rilevate nel locale e nella posizione in cui risultano più elevate, in genere nella stanza di lunghezza maggiore, al centro del pavimento.

Può essere necessario rilevare le vibrazioni nei locali più importanti (in termini di permanenza dei soggetti o di attività svolte), oppure nelle diverse stanze (per valutare la variabilità delle vibrazioni), oppure nei locali in cui il soggetto residente lamenta il disturbo maggiore.

DURATA DEI RILIEVI

La durata dei rilievi deve essere definita in funzione delle caratteristiche delle vibrazioni e della linea di misura. Essa comunque non dovrebbe essere minore di 1 min. Qualora le vibrazioni siano caratterizzate da basse frequenze (<10 Hz) e/o qualora si impieghi la tecnica di misura indicata in 6.2, la durata della misurazione deve essere adeguatamente lunga (non minore di 2-3 min.). Si rammenta che, a prescindere dalla durata della misurazione, la tecnica di cui in 6.2 può sottostimare, anche notevolmente, il valore di MTVV nel caso di vibrazioni con caratteristiche impulsive o velocemente variabili.

Nel caso di vibrazioni di tipo continuo e stazionario, la misura deve essere effettuata in un periodo di tempo rappresentativo.

Nel caso di vibrazioni di tipo ciclico e ripetitivo di breve periodo, la durata di misura deve comprendere un numero sufficiente di cicli.

Nel caso di vibrazioni di tipo ciclico e ripetitivo di medio e lungo periodo, la durata di misura deve comprendere almeno un ciclo completo.

Nel caso di vibrazioni di tipo variabile, la durata della misurazione deve essere tale da ottenere dati rappresentativi del fenomeno in esame. Quando le sorgenti immettono vibrazioni di entità differente a seconda dei diversi periodi della giornata, i rilievi devono essere effettuati nel periodo in cui le vibrazioni sono più elevate. Può essere utile eseguire i rilievi anche in ciascuno di tali periodi.

RAPPORTO DI INDAGINE

Nel rapporto di indagine devono essere inseriti i seguenti dati:

- l'oggetto e la finalità dell'indagine;
- la descrizione della sorgente delle vibrazioni;
- la descrizione dell'edificio in cui sono immesse le vibrazioni e la sua destinazione d'uso;
- il sistema di assi di riferimento adottato;
- le posizioni di misura (posizione dell'accelerometro, dimensioni della stanza, piano dell'edificio, ecc.);
- la distanza tra la sorgente delle vibrazioni e le posizioni di misura;
- l'intervallo temporale di effettuazione dei rilievi; al fine di uniformare i periodi di riferimento diurno e notturno con quelli definiti per il rumore, si considera diurno il periodo che va dalle ore 6.00 alle 22.00 e notturno il periodo che va dalle ore 22.00 alle 6.00.
- il riferimento alla presente norma sperimentale;
- gli strumenti impiegati;
- le modalità di fissaggio degli accelerometri;
- i metodi di misura (rilevazione diretta o indiretta, ecc.);
- i criteri di elaborazione dei dati;
- le modalità di valutazione delle vibrazioni determinate da sorgenti diverse da quella in esame e/o del rumore elettrico della linea di misura;
- i risultati ottenuti.

Nel rapporto di indagine devono essere inoltre inseriti altri eventuali elementi utili alla descrizione delle misurazioni effettuate ai sensi della presente norma sperimentale.

A.1 Introduzione

Le vibrazioni trasmesse agli edifici sono di entità tale da non determinare problemi per la salute fisica, ad esclusione della possibile interruzione del sonno.

In alcune situazioni le vibrazioni, anche di elevata intensità, possono essere tollerate. Si tratta in genere di vibrazioni limitate nel tempo o associate a eventi di breve durata che si verificano non frequentemente.

Anche vibrazioni di lunga durata possono, in alcuni casi, essere tollerate a causa della instaurata l'assuefazione nel soggetto esposto.

Le lamentele possono essere convenientemente evitate mediante programmi di pubbliche relazioni, che possono includere annunci, avvisi, segnali di avvertimento, ecc.

Per quanto riguarda la percezione delle vibrazioni, deve essere tenuto presente che la soglia di percezione può variare significativamente da soggetto a soggetto. Soggetti particolarmente sensibili possono quindi essere disturbati anche da vibrazioni di intensità molto bassa.

La valutazione delle vibrazioni non può prescindere dalla valutazione delle lamentele delle specifiche persone esposte. In alcune particolari condizioni, le lamentele possono infatti insorgere anche in presenza di vibrazioni di entità sostanzialmente pari alla soglia di percezione (o addirittura inferiore). In questi casi il grado di disturbo e le lamentele che ne conseguono non possono essere giustificati solo dalle vibrazioni, ma anche da altri parametri denominati effetti secondari delle vibrazioni. Ovviamente questi parametri possono incrementare il disturbo anche in presenza di vibrazioni significativamente superiori alla soglia di percezione. È importante quindi che il tecnico consideri, oltre alle vibrazioni sperimentate e rilevate, tutti i parametri in grado di influenzare la reazione delle persone. Tali parametri possono essere raccolti e valutati mediante questionari, interviste, ecc.

A.2 Effetti secondari delle vibrazioni

Devono essere considerati come fenomeni secondari delle vibrazioni:

- il rumore trasmesso dalla sorgente per via strutturale (le vibrazioni prodotte dalla sorgente si propagano attraverso le strutture e queste ultime re-irradiano il rumore all'interno dei locali); tale rumore, che può essere causa di disturbo per il soggetto esposto, deve essere misurato in modo da distinguerlo dal rumore proveniente da altre sorgenti; va quindi generalmente rilevato a finestre chiuse;
- il rumore trasmesso dalla sorgente per via aerea (dalla sorgente di vibrazioni al soggetto ricevente); tale rumore, che può essere causa di disturbo per il soggetto esposto, deve essere misurato in modo da distinguerlo dal rumore proveniente da altre sorgenti; va quindi generalmente rilevato a finestre aperte;
- l'oscillazione di lampadari, di suppellettili, ecc; il tremolio delle finestre; ecc;
- lo scricchiolio di suppellettili, porte, finestre, ecc.

Tali fenomeni devono essere accuratamente descritti, distinguendo se essi sono, o meno, presenti all'atto dell'indagine, se sono avvertiti dal soggetto disturbato o anche dal tecnico preposto ai rilievi, ecc.

Nel caso del rumore, esso dovrebbe essere rilevato strumentalmente nelle stesse posizioni prescelte per la misura delle vibrazioni (8). Deve essere inoltre rilevato il rumore residuo, a sorgente disattivata.

A.3 Parametri legati alla sorgente

Dato che l'effetto delle vibrazioni può essere diverso a seconda della tipologia delle vibrazioni, deve essere annotato se esse sono:

- continue o semicontinue;
- permanenti, ma in modo non continuativo;
- di durata limitata.

Devono essere considerati i seguenti parametri legati alla sorgente.

Nel caso delle vibrazioni continue o semicontinue (determinate per esempio da lavorazioni industriali):

- l'ora di inizio e fine dell'attività giornaliera della sorgente;
- la durata effettiva giornaliera dell'attività della sorgente, considerando le eventuali pause;
- il numero di giorni in una settimana, in un mese e in anno in cui la sorgente è in funzione.

Nel caso delle vibrazioni permanenti, ma in modo non continuativo (determinate per esempio dal traffico):

- la durata delle diverse fasi e la loro collocazione oraria; per esempio a traffico intenso, medio, scarso; con basso o alto transito di veicoli pesanti, ecc.

Nel caso delle vibrazioni di durata limitata (determinate per esempio da cantieri edili o stradali):

- l'ora di inizio e fine dell'attività giornaliera della sorgente;
- la durata effettiva giornaliera dell'attività della sorgente, considerando le eventuali pause;
- il numero di giorni in cui la sorgente è in funzione.

Gli eventi e gli urti possono rientrare in tutti e tre i casi precedenti; per esempio il colpo di maglio, la deflagrazione di una carica esplosiva, ecc. In questi casi devono essere considerati:

- il numero e la collocazione oraria degli eventi giornalieri, settimanali, mensili e annuali.

Nella valutazione di questi parametri si rammenti che in genere, per accelerazioni di intensità "miti" e di bassa frequenza, le persone sono più disturbate da vibrazioni intermitteni e da urti, piuttosto che da vibrazioni continue.

A.4 Durata di esposizione

La durata di esposizione alle vibrazioni da parte della persona disturbata è un elemento importante per la valutazione delle vibrazioni. Devono quindi essere annotati gli orari di permanenza nell'edificio.

A.5 Prospetto riepilogativo

Nel prospetto A.1 sono elencati i fenomeni che il tecnico dovrebbe rilevare e i dati da acquisire e riportare nel rapporto di indagine.

A.6 Trasmissione dati

Si invitano gli utilizzatori della presente norma sperimentale a trasmettere i dati ottenuti all'Organismo scientifico¹⁾ che si è reso disponibile alla raccolta, elaborazione e valutazione dei dati stessi, al fine di individuare nuovi limiti di accettabilità.

1) A.I.A. Associazione Italiana di Acustica, Gruppo di Acustica Ambientale (<http://www.aia-gaa.it>).

Dati informativi da acquisire da parte del tecnico preposto all'indagine

Fattori da considerare	Tipologie	Dati da acquisire e riportare
Lamentele del soggetto disturbato		- descrizione dell'oggetto delle lamentele pregresse e attuali
Percezione delle vibrazioni durante l'indagine		- da parte del soggetto disturbato (bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta) e descrizione - da parte del tecnico (bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta) e descrizione
Effetti secondari	Rumore per via strutturale	- descrizione della tipologia - livelli sonori (a finestre chiuse) ¹⁾
	Rumore per via aerea	- descrizione della tipologia - livelli sonori (a finestre aperte) ¹⁾
	Oscillazioni e tremolii	- descrizione della tipologia - intensità a giudizio del tecnico (bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta)
	Scricchioli	- descrizione della tipologia - intensità a giudizio del tecnico (bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta)
Sorgente	Continua o semicontinua (per esempio, lavorazioni industriali)	- ora di inizio e fine attività - durata effettiva giornaliera - numero di giorni di attività (settimanali, mensili, annuali)
	Eventi sorgente non continuativa (per esempio, traffico)	- durata diverse fasi e loro collocazione oraria
	Di durata limitata	- ora di inizio e fine attività - durata effettiva giornaliera - numero di giorni di attività
	Eventi e urti	- numero e collocazione oraria
Esposizione del soggetto disturbato		- orari di permanenza nell'edificio

¹⁾ La misurazione del rumore è facoltativa e va associata alla sorgente di vibrazioni; si rammenti che la misurazione del rumore è oggetto di norme e disposizioni di legge specifiche.

APPENDICE B ESEMPIO APPLICATIVO
(informativa)

Si supponga di aver rilevato sui tre assi le vibrazioni presenti sul pavimento di una abitazione e determinate da una macchina industriale, mediante un analizzatore di frequenza in tempo reale a bande di terzo di ottava predisposto con la costante di tempo *slow* e di aver memorizzato gli spettri nel tempo.

Il procedimento di calcolo (indicato per brevità solo per un singolo spettro delle vibrazioni verticali) è il seguente (vedere prospetto B.1):

- ad ogni livello delle componenti dello spettro rilevato a sorgente in funzione sommare il corrispondente guadagno previsto dal filtro di ponderazione in funzione di frequenza;
- impiegando la relazione (4) calcolare il livello dell'accelerazione ponderata in funzione di frequenza.

In analogo modo si determinano i livelli dell'accelerazione ponderata in funzione di frequenza relativi a tutti gli spettri memorizzati a sorgente in funzione. Si considera il valore MTVV. Ammettiamo che esso sia pari, per l'asse verticale, proprio a 83,5 dB, di cui al calcolo al prospetto B.1).

Si procede nello stesso modo per gli spettri a sorgente disattivata e si considera il livello dell'accelerazione ponderata in frequenza massima. Nell'esempio del prospetto B.1 è pari a 77,1 dB).

Dato che la differenza tra i due livelli (83,5 dB e 77,1 dB) è compresa da 6 dB a 10 dB, il livello relativo alla sorgente in funzione può essere stato influenzato dalle vibrazioni residue e/o dal rumore elettrico. Vanno quindi confrontati gli spettri ponderati a sorgente in funzione e disattivata; la loro differenza energetica rappresenta una stima delle vibrazioni prodotte effettivamente solo dalla sorgente (nel caso in esame 82,4 dB).

Le accelerazioni corrispondenti ai livelli di 83,5 dB, 77,1 dB e 82,4 dB sono pari, rispettivamente, a 15 mm/s², 7,1 mm/s² e 13,2 mm/s² (relazione 2).

prospetto B.1 **Livelli delle accelerazioni relativi all'esempio applicativo (espressi in dB)**

Frequenza (Hz)	Ponderazione (W _m)	Rilievo a sorgente in funzione		Rilievo a sorgente disattivata		Sorgente in funzione (livelli effettivi)
		lineare	ponderato	lineare	ponderato	
	-1,59	69,0	67,4	67,0	65,4	63,1
1,25	-0,85	69,0	68,2	68,0	67,2	61,3
1,6	-0,59	70,0	69,4	68,0	67,4	65,1
2	-0,61	72,0	71,4	68,0	67,4	69,2
2,5	-0,82	72,0	71,2	69,0	68,2	68,2
3,15	-1,19	72,0	70,8	69,0	67,8	67,8
4	-1,74	70,0	68,3	69,0	67,3	61,4
5	-2,50	70,0	67,5	67,0	64,5	64,5
6,3	-3,49	70,0	66,5	68,0	64,5	62,2
8	-4,70	69,0	64,3	68,0	63,3	57,4
10	-6,12	69,0	62,9	67,0	60,9	58,6
12,5	-7,71	88,0	80,3	69,0	61,3	80,2
16	-9,44	83,0	73,6	69,0	59,6	73,4
20	-11,25	72,0	60,8	71,0	59,8	53,9
25	-13,14	83,0	69,9	70,0	56,9	69,6
31,5	-15,09	78,0	62,9	69,0	53,9	62,3
40	-17,1	70,0	52,9	69,0	51,9	46,0

Livelli delle accelerazioni relativi all'esempio applicativo (espressi in dB) (Continua)

Frequenza (Hz)	Ponderazione (W_m)	Rilievo a sorgente in funzione		Rilievo a sorgente disattivata		Sorgente in funzione (livelli effettivi)
		lineare	ponderato	lineare	ponderato	
50	-19,23	70,0	50,8	69,0	49,8	47,9
63	-21,58	70,0	48,4	68,0	46,4	44,7
80	-24,38	70,0	45,6	69,0	44,6	38,1
Complessivo	-	91,0	83,5	81,7	77,1	72,4

COPIA DI NORMA NON RIPRODUCIBILE

APPENDICE C BIBLIOGRAFIA
(informativa)

UNI 10127	Guida per la definizione degli intervalli di taratura di strumenti per le vibrazioni - Criteri generali
UNI 70011	Guida per la presentazione dei risultati di prova
UNI ISO 5348	Vibrazioni meccaniche ed urti - Montaggio meccanico degli accelerometri
ISO 5347-0	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups
ISO 5347-3	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups - Secondary vibration calibration
ISO 5347-4	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups - Secondary shock calibration
ISO 8727	Mechanical vibration and shock - Human exposure - Biodynamic coordinate systems
IEC 1260	Electroacoustics - Octave band and fraction octave band filters
prEN 1031:1993	Measurement and evaluation of whole body vibration - General requirements

figura C.1 Filtro di ponderazione W_m

Legenda

- X Frequenza (Hz)
- Y Guadagno (dB)

