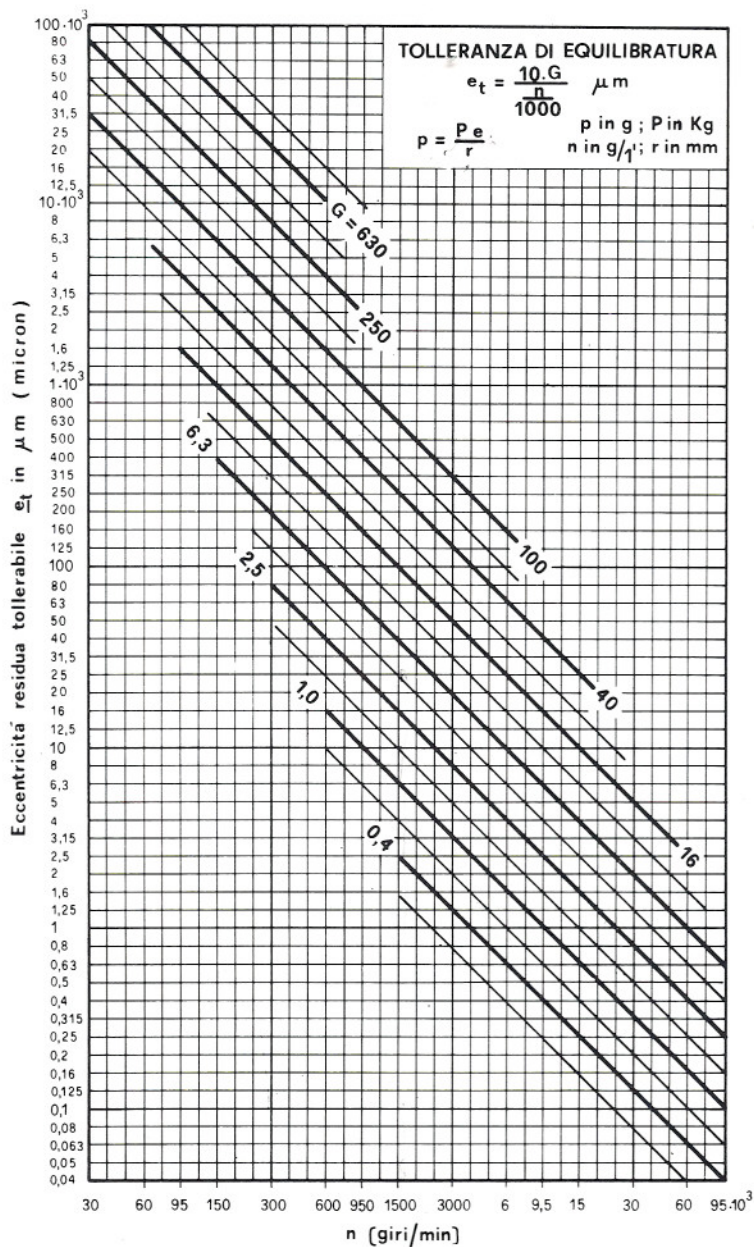


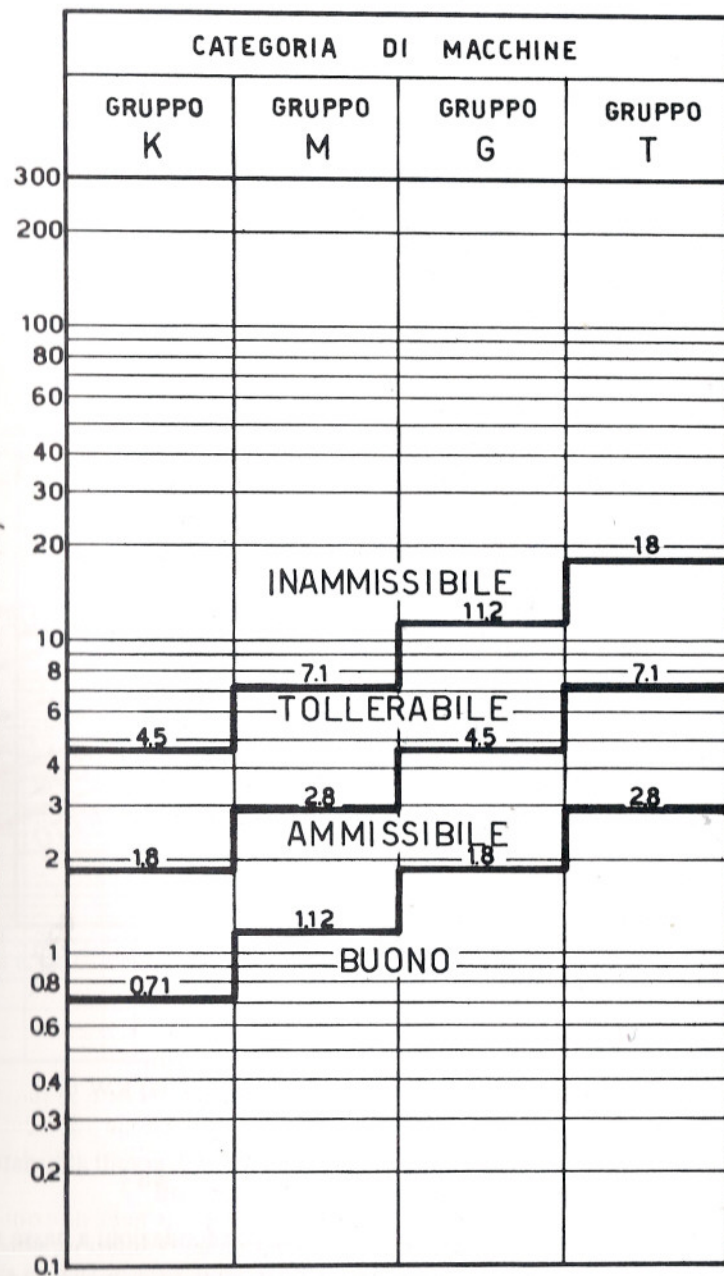


CLASSIFICAZIONE DEI ROTANTI

GRADI DI EQUILIBRATURA

NOTA - In carattere corsivo sono riportate le categorie di rotanti non comprese nelle tabelle ISO ma aggiunte dall'autore.

Grado <i>G</i> mm/sec	TIPO DI ROTANTE
0,4	Giroscopi - Mandrini, dischi e indotti di rettifiche veloci di altissima precisione. <i>Fusi di filatura.</i>
1,0	Indotti di piccoli motori veloci, con elevate esigenze di equilibratura. Rotori di giradischi, registratori, cineproiettori. Azionamenti di rettifiche di alta precisione. <i>Rotori di turbine e compressori di motori a getto molto veloci.</i> <i>Rotori di turbine a vapore con elevate esigenze di equilibratura.</i>
2,5	Rotori di turbine a vapore e a gas, turboalternatori, turbosoffianti, turbopompe. Turbine di propulsione di navi mercantili. <i>Compressori veloci, supercompressori per aerei.</i> Indotti di motori medi e grandi con elevate esigenze di equilibratura. Indotti di piccoli motori con buona esigenza di equilibratura per <i>elettrodomestici di elevata qualità, trapani da dentista, aerosol.</i> Azionamenti di macchine utensili. <i>Ventilatori per condizionamento d'aria in ospedali e sale da concerto.</i> <i>Ingranaggi veloci (sopra 1000 g/min) di riduttori turbine marine.</i>
6,3	Rotori di motori elettrici normali. Parti di macchine utensili e di macchine in generale. Parti veloci di macchine operatrici, telai di tessiture e filature, macchine a trecciare, ceste di centrifughe (<i>scrematrici, depuratori, lavatrici</i>). Rotori di macchine idrauliche. Volani, ventilatori, pompe centrifughe. Ingranaggi lenti (sotto 1000 g/min) di riduttori di turbine marine di navi mercantili. <i>Cilindri e rulli per macchine da stampa.</i> Rotanti uniti a turbine a gas per l'aeronautica. Parti staccate di macchine con elevate esigenze.
16	Alberi di trasmissione, alberi cardanici con elevate esigenze di equilibratura. Parti di macchine agricole, di macchine moltiplicatrici, trebbiatrici. Parti di motori per vetture, autocarri, locomotori. Alberi a gomito completi di volani e frizione a sei o più cilindri con elevate esigenze di equilibratura. <i>Ceste di centrifughe lente.</i> <i>Eliche di imbarcazioni leggere (motoscafi, aliscafi).</i> <i>Cerchi di ruote per autovetture e motocicli.</i> <i>Pulegge normali di trasmissione.</i> <i>Cilindri per cartiere</i> <i>Utensili in un sol pezzo per macchine per il legno.</i>
40	Ruote e cerchi di ruote per vetture. Alberi di trasmissione e assali completi di autoveicoli. Alberi a gomito completi di volani e frizioni di motori a 4 tempi con 6 o più cilindri montati elasticamente, con velocità del pistone sopra a 9 m/sec. Alberi a gomito completi di volani e frizioni di motori per vetture, autocarri e locomotive. <i>Alberi di trasmissione per pulegge.</i> <i>Utensili in più parti per macchine per il legno.</i>
100	Alberi a gomito completi di motori diesel con 6 o più cilindri con velocità del pistone sopra a 9 m/sec. Motori completi di autoveicoli e locomotive. <i>Alberi a gomito di motori a 1, 2 o 3 cilindri.</i>
250	Alberi a gomito completi di motori diesel a 4 cilindri, montati rigidamente con velocità del pistone sopra a 9 m/sec.
630	Alberi a gomito completi di grandi motori montati rigidamente a 4 tempi. Alberi a gomito completi di motori diesel marini montati elasticamente.
1600	Alberi a gomito completi di grandi motori a 2 tempi montati rigidamente.
4000	Alberi a gomito completi di motori diesel marini montati rigidamente, con qualsiasi numero di cilindri, con velocità dei pistoni inferiore a 9 m/sec.



d) VDI - VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE - NORMA 2056
Criteri di giudizio per vibrazioni meccaniche di macchine (ott. 1964)

Le misure devono essere fatte *sui supporti* o comunque su parti stazionarie, nelle tre direzioni solite, orizzontale e verticale perpendicolari all'asse di rotazione e secondo l'asse.

Come parametro di misura dell'intensità di vibrazione è assunta la *velocità efficace* di vibrazione. Gli strumenti di misura devono avere errori inferiori a $\pm 10\%$.

Vengono stabiliti diversi livelli di vibrazione caratterizzati dal rapporto di 1,6 fra la velocità di vibrazione di due livelli successivi.

Il criterio di giudizio in base alla velocità efficace vale solo per frequenze superiori a 10 Hz. Per frequenze da 5 a 10 Hz conviene far riferimento all'ampiezza di vibrazione, con un valore limite costante.

La valutazione dell'intensità di vibrazione può farsi secondo vari livelli limiti; nella figura 24-17 le macchine, a titolo d'esempio, sono suddivise nei seguenti quattro gruppi:

- gruppo K : piccole macchine, motori elettrici di potenza inferiore a 15 KW;
- gruppo M : macchine medie, motori elettrici da 15 a 75 KW;
- gruppo G : grandi macchine, su fondazioni rigide, senza organi con moto alternativo;
- gruppo T : grandi macchine, su fondazioni leggere, con frequenza propria di vibrazione bassa, senza organi con moto alternativo, turbine, alternatori, compressori.

Per le macchine dei gruppi G e T che più interessano ai fini di un controllo continuo, sono riportati in fig. 18 e 19 i diagrammi con le fasce di valutazione delle vibrazioni in funzione dell'ampiezza di picco (semiampiezza).

Per vibrazioni non sinusoidali i diagrammi valgono solo usando le ampiezze equivalenti.

e) VDI - NORMA 2059
Vibrazioni di alberi di turbine - Misure e valutazioni (Nov. 1972 - Febr. 1976 - Genn. 1979).

Questa norma riguarda le *misure e le valutazioni delle vibrazioni degli alberi rotanti* (1).

Come parametro per la valutazione delle vibrazioni è assunto lo *spostamento massimo* $s_{\max}$ definito al cap. 6 (fig. 12). Nel caso di vibrazione sinusoidale lo spostamento $s_{\max}$ corrisponde all'ampiezza di picco, ossia alla metà dell'ampiezza picco-picco.

Se viene montato sul piano di misura un solo trasduttore nella direzione di presumibile maggiore vibrazione, la misura sarà generalmente inferiore allo spostamento $s_{\max}$. Di questo deve tenersi conto nella valutazione secondo la presente norma (2).

(1) Ved. cap. 6 - Come si attua il supercontrollo delle vibrazioni. Paragrafo b.

(2) Nel caso dell'uso di un solo trasduttore, la norma VDI consiglia di prevedere la possibilità di montarne un secondo a 90°, in caso di necessità, senza bisogno di fermare la macchina.

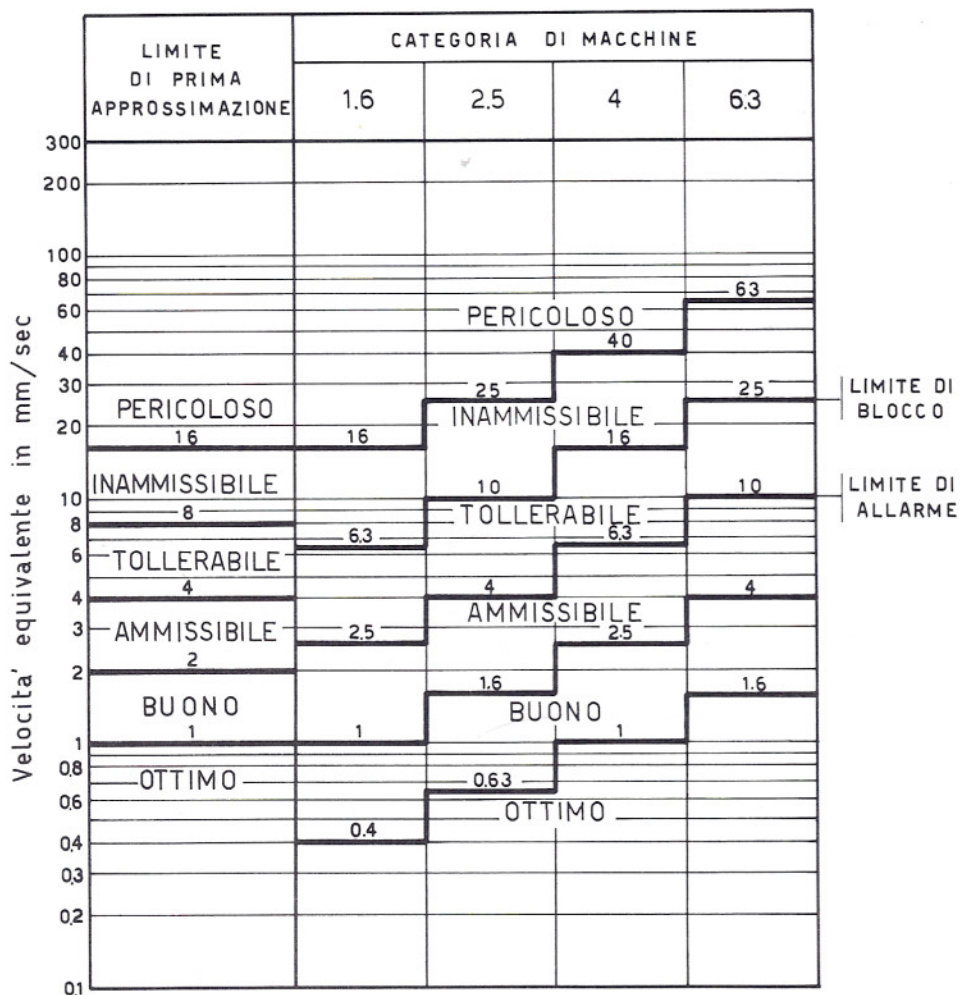


Fig. 16 - Livelli di velocità equivalente di vibrazione per la valutazione dell'intensità di vibrazione.

- Categoria 1.6 Turbine e compressori di motori a getto
Macchine con motori elettrici fino a 300 KW
Macchine con elevate esigenze
- Categoria 2.5 Turbine a vapore, a gas, turbosoffianti, grandi alternatori e motori elettrici con fondazioni rigide e pesanti
- Categoria 4 Macchine di categoria 2.5 ma con fondazioni a bassa rigidità e su navi
Macchine idrauliche, pompe centrifughe
Riduttori di turbine
Grandi ventilatori
- Categoria 6.3 Macchine con diverse masse rotanti con varie velocità
Macchine con masse alternative ma su fondazioni rigide.

La vibrazione addizionale dovuta all'inizio della frattura ha frequenza uguale alla velocità di rotazione oppure doppia. Ciò dipende dalla forma e profondità della frattura. Col passare dei giorni la vibrazione dovuta alla frattura aumenta, a parità di condizioni di lavoro, ma essendo sovrapposta alla vibrazione di squilibrio e non in fase con questa, l'ampiezza risultante può anche diminuire. Quando però la frattura ha raggiunto una certa profondità, l'ampiezza di vibrazione continua decisamente ad aumentare fino a rottura.

Nelle fasi di avviamento ed arresto, l'eventuale presenza di una vibrazione a velocità metà della velocità critica deve far seriamente considerare la probabilità di un inizio di frattura.

- f) ISO - Recommendation N. 2372* e
ISO - Recommendation N. 3945*

Il parametro è la velocità efficace di vibrazione in mm/sec misurata sui supporti o comunque su parti stazionarie.

Le macchine sono divise in 4 classi, che corrispondono esattamente a quelle K - M - G - T della norma VDI 2056.

Nella seguente tabella sono riportate le valutazioni relative solo a quelle macchine per le quali è presumibile l'impiego di apparecchiature di supercontrollo. Nella tabella è indicata anche la velocità di vibrazione normalmente accettata nella pratica (colonna: val. prat.).

TIPO MACCHINA	Val. prat. in vel. eff. mm/sec	Campo di vibrazioni in velocità efficace mm/sec	Valutazione
Turbine su fondazioni rigide e pesanti Generatori a 2 o più poli con fondazioni come sopra Pompe Grandi motori elettrici	3,15	inferiore a 1,8 da 1,8 a 4,5 da 4,5 a 11,2 superiore a 11,2	buono accettabile tollerabile inammissibile
Turbine su fondazioni, relativamente flessibili nella direzione della misura delle vibrazioni Generatori a due o più poli con fondazioni come sopra Turbine a gas	4,95	inferiore a 2,8 da 2,8 a 7,1 da 7,1 a 18 superiore a 18	buono accettabile tollerabile inammissibile

- g) BS - Norma N. 4675 - Parte I
Mechanical vibration in rotating and reciprocating machinery

Riproduce sostanzialmente la norma ISO 2372 mettendo però in rilievo il fatto che la misura di vibrazioni fatta all'esterno della macchina, ad es. sulla superficie esterna dei supporti di una turbina, non fornisce indicazioni sufficientemente sicure sulle condizioni vibratorie degli organi interni, in particolare degli alberi rotanti.

* Ved. bibliografia.

TABELLA A

CATEGORIE DI MACCHINE PER I CRITERI DI GIUDIZIO

Categorie	Numero caratt.co	MACCHINE
I	2,5	Parti di macchine che nelle condizioni di normale funzionamento sono strettamente solidali con l'insieme della macchina. Rettifiche. Alesatrici. Motori elettrici (fino a 15 KW) con buona esigenza di equilibratura, ad esempio per trapani da dentista, aerosol, apparecchi elettromedicali ed elettrodomestici di elevata qualità. Turbine e compressori di motori a getto. Compressori veloci.
II	1,6	Macchine di medie dimensioni, come motori elettrici da 15 a 100 KW, senza particolari fondazioni. Torni. Fresatrici. Macchine e azionamenti fino a 300 KW di costruzione rigida, senza parti con moto alternativo, su proprie fondazioni. Motori elettrici di serie con altezza dell'asse inferiore a 130 mm.
III	1	Categoria media più comune per una prima approssimazione. A questa categoria appartengono le macchine che non trovano collocazione in altre categorie. Grandi macchine con fondazioni rigide e pesanti, senza masse con moto alternativo. Turbine a gas, a vapore, turbosoffianti, grandi alternatori. Motori normali in genere e in particolare motori con altezza dell'asse da 130 a 230 mm. Parti di macchine utensili.
IV	0,63	Grandi macchine con fondazioni a bassa rigidità, senza masse con moto alternativo. Turbine, alternatori, grandi motori, su fondazioni leggere e su navi. Motori elettrici con altezza dell'asse da 230 a 330 mm. Macchine idrauliche, pompe centrifughe. * Ventilatori normali. Riduttori di turbine. Macchine operatrici con elevate esigenze: per stampa, per filatura, per cartiere.
V	0,4	Macchine con masse alternative non equilibrabili, su fondazioni rigide nella direzione delle vibrazioni maggiori. Motori con alberi a gomito a sei o più cilindri su fondazioni proprie. Motori a pistoni per vetture, autocarri, locomotori non montati su isolanti durante le prove. Macchine operatrici con masse non equilibrabili come telai per tessitura, scrematrici, depuratori centrifughi, lavatrici solo se fissate su basamenti rigidi senza ammortizzatori.
VI	0,25	Macchine con masse dotate di moto alternativo non equilibrabili, montate su fondazioni elastiche. Macchine con masse rotanti libere, con squilibri variabili non compensabili, con montaggio elastico, funzionanti senza collegamenti rigidi con altre parti come: lavatrici, ceste di centrifughe, setacci a vibrazione, macchine per le prove a fatica dei materiali, macchine vibranti per processi tecnologici, battitori di mulini, vibratori. Macchine agricole, moltipiatrici, trebbiatrici. Motori a 4 o più cilindri montati su autoveicoli e locomotori. Motori diesel a 4 o più cilindri. Motori diesel marini. Grandi motori a due tempi.

Nota la categoria basta quindi moltiplicare il valore trovato sperimentalmente per il numero caratteristico della categoria stessa per poter dare immediatamente un giudizio sommario.

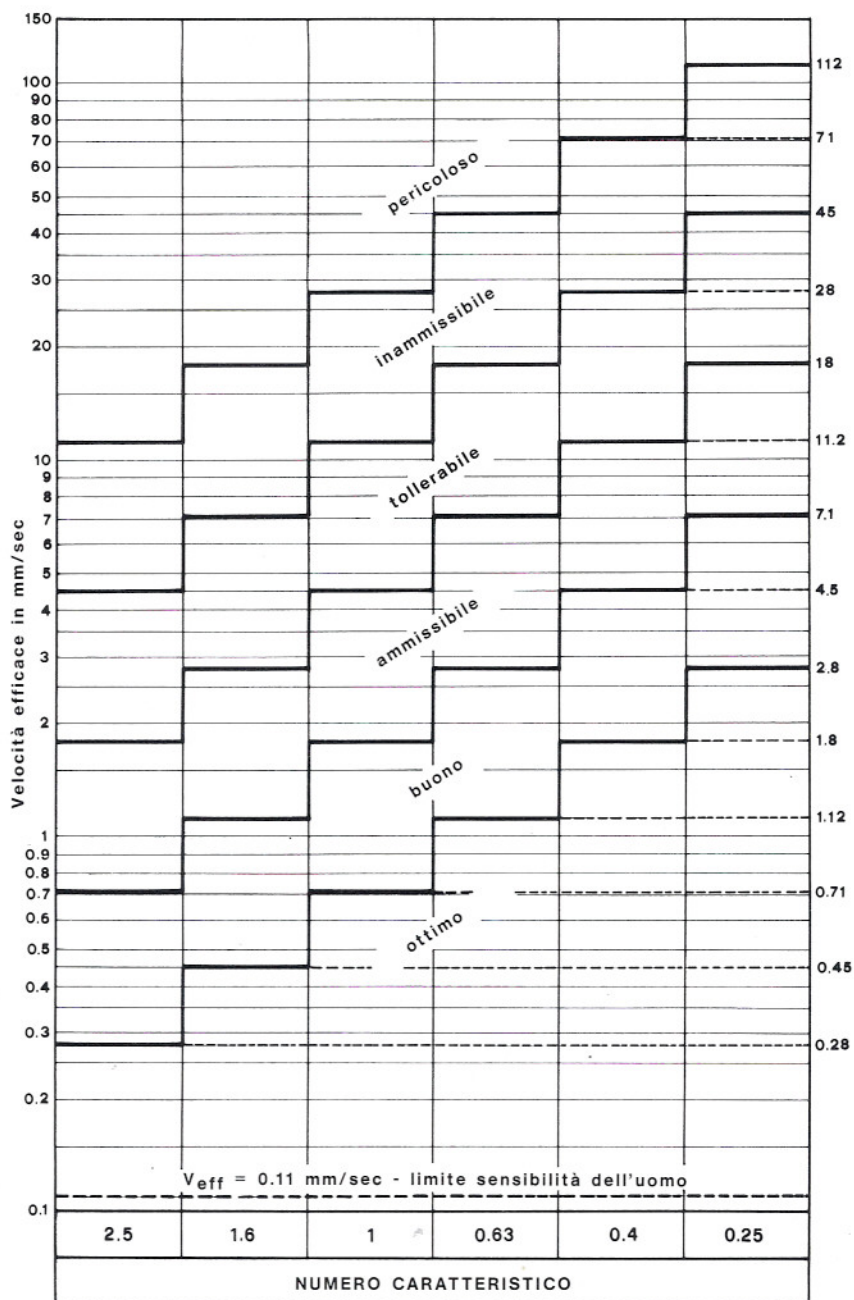


Fig. 20 - Grafico per giudicare le vibrazioni meccaniche in base alla velocità efficace di vibrazione e al numero caratteristico.