

Dr. Giovanni Misasi

Igienista Ambientale ed Industriale
Via Tommaso Arnoni, 53 - 87100 Cosenza
☎(0984) 22429 - FAX (0984) 22429

Autostrada A3 - SALERNO-REGGIO CALABRIA

Lavori di ammodernamento ed adeguamento al tipo 1a delle norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso) – Macrolotto V – DG24/03

PROGETTO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE

COMPONENTE AMBIENTALE

VIBRAZIONI

REPORT MISURAZIONI ANTE OPERAM

RAPPORTO TECNICO SULLE MISURAZIONI DELLA INTENSITA' DELLE VIBRAZIONI

PREMESSA E RIFERIMENTO NORMATIVO

Per gli aspetti normativi di riferimento si ricorda che a tutt'oggi non esiste in Italia una Legge Quadro sull'inquinamento da vibrazioni che fissi i limiti della componente sul territorio per cui si utilizzano valori segnalati dalle norme internazionali ISO e da quelle nazionali UNI, ecc. Si fa esplicito riferimento alla norma internazionale ISO 2631 richiamata dal DPCM del 27/12/88 il quale regola anche gli studi di impatto ambientale per i trasporti. La norma ISO 2631 si basa su criteri statistici e stabilisce i livelli di fastidio ai quali la maggioranza della popolazione avverte disagio e minore comfort.

Nelle valutazioni si fa anche riferimento alla norma tedesca DIN 4150 part.3 che stabilisce i livelli vibrazionali compatibili con la salvaguardia strutturale dei monumenti; per i monumenti essa stabilisce una velocità pari a 3 mm/sec come valore limite. Si ritiene comunque valido come valore soglia di attenzione il valore limite di percettibilità per l'uomo ovvero il valore più basso fra quelli previsti dalla norma ISO 2631. Esso è definito come accelerazione della curva base ottenuta dalle accelerazioni mediante elaborazione del suo spettro di Fourier ad 1/3 di ottava, tra 1- 80 Hz.

Le vibrazioni sono oscillazioni meccaniche generate da onde di pressione che si trasmettono attraverso corpi solidi. L'oscillazione e il movimento che un punto mobile compie per ritornare alla posizione di partenza: il tempo che intercorre tra due passaggi della molecola nel suo punto di equilibrio (o punto di partenza) è detto periodo (ciclo), ed il numero di periodi al secondo costituisce la frequenza di una vibrazione, che viene espressa in Hertz (Hz):

$$n = 1/T$$

dove n = frequenza,

T = periodo

Il moto oscillatorio può compiersi in modo periodico (compiendo sempre lo stesso cammino nel medesimo tempo) o alternativo (percorrendo in modo alterno il moto intorno ad una posizione di equilibrio).

I fenomeni vibratorii possono assumere diversi aspetti: sinusoidale, aleatorio, d'urto. L'aspetto sinusoidale è la rappresentazione di vibrazioni con frequenza e spostamento di ampiezza costanti; le vibrazioni aleatorie sono caratterizzate da oscillazioni complesse che hanno un ampio spettro di frequenze e di ampiezze di spostamento, che si dispongono in modo imprevedibile alle diverse frequenze; gli aspetti ad urto sono caratterizzati da vibrazioni di grande ampiezza a breve durata, per accelerazioni occasionali.

PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO

Per calcolare l'attenuazione delle vibrazioni in funzione della distanza dalla sorgente è di fondamentale importanza la conoscenza delle caratteristiche fisiche del terreno e dell'accoppiamento tra sorgente e terreno.

La sorgente infatti immette energia meccanica nel suolo la quale si propaga in diversi modi che possono essere eccitati direttamente dalla sorgente oppure trasformati durante il percorso di propagazione dell'energia.

I MODI DI PROPAGAZIONE

In un mezzo omogeneo solido ed infinito all'interno del quale agisce una sorgente di vibrazioni, la perturbazione elastica prodotta può propagarsi con modo longitudinale e/o trasversale.

- *Modo longitudinale:* è la propagazione dell'energia meccanica con moto delle particelle nella direzione di propagazione dell'onda. Nella direzione di propagazione sono presenti zone di compressione e di rarefazione; le loro distanze differiscono mezza lunghezza d'onda λ .
- *Modo trasversale:* è la propagazione dell'energia meccanica nella direzione di propagazione con moto delle particelle nella direzione perpendicolare a quella di propagazione dell'onda. Tale modo di propagazione è possibile nei solidi poiché solo essi reagiscono allo sforzo di taglio: caratteristica di tali onde è l'assenza di zone di rarefazione e di compressione. Anche in questo caso si definisce una lunghezza d'onda λ .

PROPAGAZIONE NEL TERRENO PER SORGENTI SOTTERRANEE

Un'espressione analitica per il calcolo delle vibrazioni ad una certa distanza dalle gallerie può fornire valori errati per la natura non omogenea del suolo e per il fatto che le stratificazioni geologiche sono a volte di dimensioni inferiori e non paragonabili ad una lunghezza d'onda del modo che si propaga.

Ungar e Bender propongono il calcolo dell'attenuazione in funzione della distanza dalle pareti del tunnel utilizzando una relazione del tipo:

$$A_T = A_s + A_d + A_i$$

dove:

$$A_s = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{R+x}{R} \right)$$

$$A_d = 4.34 \frac{\omega \eta x}{c}$$

$$A_i = 20 \cdot \text{Log} \left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{\rho_c c_c}{\rho_a c_a} \right) \right]$$

con R si indica il raggio della galleria ed x è la distanza dalla galleria.

Le attenuazioni sopra riportate si riferiscono alla divergenza geometrica per sorgente lineare A_s , all'attenuazione prodotta per dissipazione interna A_d ed all'attenuazione dovuta alla variazione delle caratteristiche del terreno che l'onda incontra nel tragitto di propagazione.

Studi in merito suppongono che il modo unico di propagazione sia quello per onde longitudinali e, per esso, forniscono i seguenti valori:

Caratteristiche meccaniche dei diversi terreni

Tipo di terreno	Velocità di propagazione per onda longitudinale m/s	Fattore di perdita μ	Massa volumica $\rho(\text{g/cm}^3)$
Roccia	3500	0.01	2.65
Sabbia	600	0.10	1.60
Argilla	1500	0.50	1-70

La propagazione delle vibrazioni sul terreno è di difficile modellizzazione per le numerose riflessioni, rifrazioni e diffrazioni che l'onda meccanica incontra per effetto della disomogeneità del sottosuolo. (vedi grafici allegati).

Considerando la tipologia di strada più semplice si osserva che il "modo" di propagazione più frequente è quello di un'onda di superficie di Rayleigh che decade con legge inversa alla radice quadrata della distanza per la sola divergenza geometrica del fascio. Ci sono poi altri meccanismi dissipativi che riducono ulteriormente l'energia meccanica che si propaga. Rudder considera le due componenti dell'attenuazione: divergenza geometrica e attenuazione del terreno. I valori della costante di attenuazione α per diversi tipi di terreno e per la frequenza di 15 Hz forniti da Rudder sono i seguenti:

Tipo di terreno	Velocità dell'onda trasversale m/s	α per m
Argilla umida	152	0,025 -0,25
Deposito alluvionale di argilla	152	0,019 – 0,43
Argilla bagnata	152	0,31 – 0,50
Depositi ad umidità ambientale	259	0,04 – 0,13
Sabbia asciutta	152-396	0,007-0,07
Sabbia compatta con ghiaia	250	0,015-0,045
Ghiaia e sabbia di deposito	250	0,023-0,053
Sabbia granulosa satura d'acqua	110	0,09-0,3
Sabbia granulosa satura d'acqua ghiacciata	110	0,05-0,17

MODELLI DI CALCOLO DI PREVISIONE

I modelli di calcolo disponibili in commercio non sono applicabili per tutti i contesti. Il professionista deve costruire specifici modelli a seconda delle diverse esigenze e del particolare tipo di infrastruttura di trasporto che sta analizzando.

In primo luogo per la valutazione degli effetti di propagazione delle vibrazioni negli edifici si deve tenere conto dei seguenti fattori:

- attenuazione dovuta alla perdita di energia vibrazionale dovuta all'accoppiamento terreno - fondazioni;
- amplificazione dovuta alla presenza di eventuali fenomeni di risonanza con le frequenze proprie della struttura dell'edificio;
- variazione del livello dovuta alla propagazione, dal basso verso l'alto, passando dai piani bassi verso quelli alti;
- trasformazione delle vibrazioni di pareti e solaio in rumore.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E POSTAZIONE DI MISURA

E' stata impiegata la seguente strumentazione:

- accelerometro triassiale B&K 4321 con sensibilita' pari a 1 pC/ms^2 ;
- registratore magnetico professionale a 4 canali B&K 7007;
- calibratore per vibrazioni B&K 4290;
- analizzatore di spettro in tempo reale B&K 3360.

L'accelerometro e' stato fissato, tramite cera d'api, al fondo stradale.

Le misurazioni delle vibrazioni sono state effettuate in ambienti esterni su postazioni ritenute più significative ai fini di una corretta valutazione dei possibili rischi sanitari connessi all'esposizione alle vibrazioni.

SOPRALLUOGO E MISURE ESEGUITE

I sopralluoghi e le misure sono state eseguite nei giorni riportate sulle schede allegate a questo rapporto tecnico.

Le vibrazioni immesse nella fase ante operam sono per la maggior parte di tipo stazionario continuo e sono connesse con il transito delle autovetture e dei mezzi articolati del tratto autostradale Gioia Tauro - Scilla.

Le vibrazioni sono state rilevate contemporaneamente sui 3 assi così definiti:

assi orizzontali (x e y)

asse verticale (z)

Valutazioni

I dati, ponderati in frequenza, confrontati con i valori riportati in tabella evidenziano che vi è superamento dei limiti previsti per il disturbo all'interno degli ambienti abitativi solo relativamente all'asse verticale z e in questi 12 siti monitorati.

I limiti delle accelerazioni ponderate in frequenza per quanto riguarda gli edifici, secondo quanto previsto dalla Norma UNI 9614 e dalla Norma ISO 2631/2, sono i seguenti:

	assi x e y		Asse z	
	m/s ²	dB	m/s ²	dB
aree critiche (soglia di percezione)	0.0036	71.0	0.005	74.0
Abitazioni (notte)	0.005	74.0	0.007	77.0
Abitazioni (giorno)	0.0072	77.0	0.01	80.0
Uffici	0.0144	83.0	0.02	86.0
Fabbriche	0.0288	89.0	0.04	92.0

I risultati ottenuti, espressi rispettivamente come livello equivalente e valore di accelerazione equivalente complessivi per ogni asse, rilevata tra 1.6 e 80 Hz, sono i seguenti:

Cod. Sito: RUM054

Località: PALMI

Opera: Viadotto Scuola Agraria

$Leq_{x,w} = 55.9$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0006$ m/s²

$Leq_{y,w} = 57.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0007$ m/s²

$Leq_{z,w} = 82.5$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.017$ m/s²

Cod. Sito: RUM053
Località: PALMI
Opera: Viadotto Scuola Agraria

$Leq_{x,w} = 55.6$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0005$ m/s²

$Leq_{y,w} = 57.2$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0008$ m/s²

$Leq_{z,w} = 82.5$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.017$ m/s²

Cod. Sito: RUM139
Località: Scilla
Opera: Viadotto D'Angelo

$Leq_{x,w} = 56.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0006$ m/s²

$Leq_{y,w} = 57.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0007$ m/s²

$Leq_{z,w} = 82.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.015$ m/s²

Cod. Sito: RUM140
Località: Scilla
Opera: Viadotto D'Angelo

$Leq_{x,w} = 55.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0005$ m/s²

$Leq_{y,w} = 57.5$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0008$ m/s²

$Leq_{z,w} = 82.5$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.016$ m/s²

Cod. Sito: RUM138
Località: Scilla
Opera: Viadotto D'Angelo

$Leq_{x,w} = 56.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0006$ m/s²

$Leq_{y,w} = 57.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0007$ m/s²

$Leq_{z,w} = 83.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.018$ m/s²

Cod. Sito: RUM137

Località: Scilla

Opera: Viadotto D'Angelo

$Leq_{x,w} = 55.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0004$ m/s²

$Leq_{y,w} = 56.5$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0008$ m/s²

$Leq_{z,w} = 82.5$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.016$ m/s²

Cod. Sito: RUM050

Località: Palmi – SS18

Opera: Bratella collegamento SV Palmi-SS18

$Leq_{x,w} = 56.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0007$ m/s²

$Leq_{y,w} = 57.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0007$ m/s²

$Leq_{z,w} = 82.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.016$ m/s²

Cod. Sito RUM049

Località: Palmi

Opera: SV Palmi

$Leq_{x,w} = 55.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0005$ m/s²

$Leq_{y,w} = 56.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0006$ m/s²

$Leq_{z,w} = 81.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.014$ m/s²

Cod. Sito RUM048

Località: Palmi

Opera: SV Palmi

$Leq_{x,w} = 54.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0004$ m/s²

$Leq_{y,w} = 56.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0006$ m/s²

$Leq_{z,w} = 82.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.015$ m/s²

Cod. Sito RUM047

Località: Palmi

Opera: SP Palmi-Taurianova

$Leq_{x,w} = 56.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0006$ m/s²

Dr. Giovanni Misasi

Igienista Ambientale ed Industriale
Via Tommaso Arnoni, 53 - 87100 Cosenza
F(0984) 22429 - FAX (0984) 22429

$Leq_{y,w} = 58.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0007$ m/s²

$Leq_{z,w} = 82.5$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.016$ m/s²

Cod. Sito RUM002

Località: Gioia T.

Opera: CS01 tra SV Gioia T. e VI Petrace

$Leq_{x,w} = 56.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0006$ m/s²

$Leq_{y,w} = 58.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0007$ m/s²

$Leq_{z,w} = 83.5$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.018$ m/s²

Cod. Sito RUM001

Località: Gioia T.

Opera: CS01 tra SV Gioia T. e VI Petrace

$Leq_{x,w} = 56.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_x = 0.0006$ m/s²

$Leq_{y,w} = 57.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_{y,w} = 0.0007$ m/s²

$Leq_{z,w} = 83.0$ dB cui corrisponde un valore di accelerazione $a_z = 0.016$ m/s²

ANALISI CONCLUSIVE

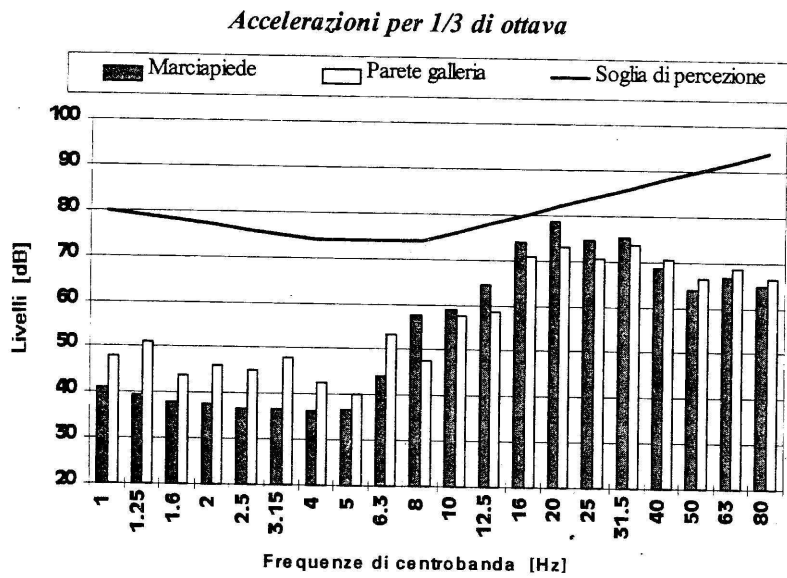
Dai valori registrati si evince **il superamento dei limiti di esposizione di cui alle normative vigenti e dalle norme armonizzate** per n. 12 siti monitorati.

Per tutti gli altri siti, i valori registrati risultano essere compatibili.

Il Responsabile del Monitoraggio
dott. Giovanni Misasi

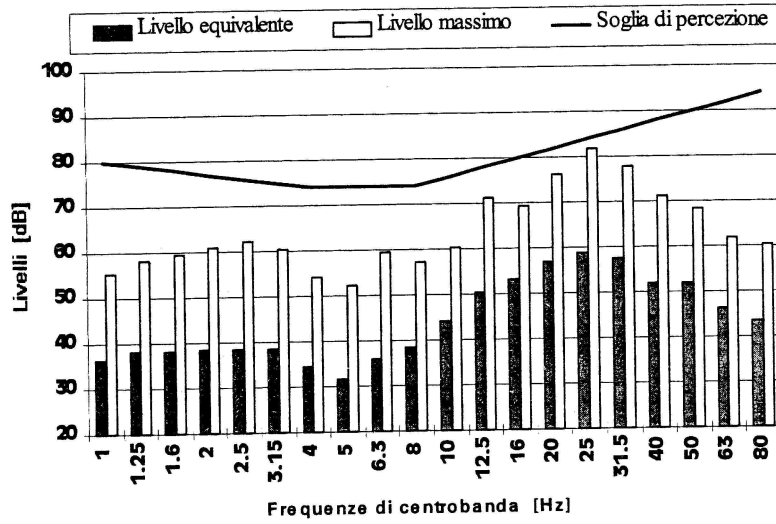
ALLEGATI:

Schede riepilogative e grafici



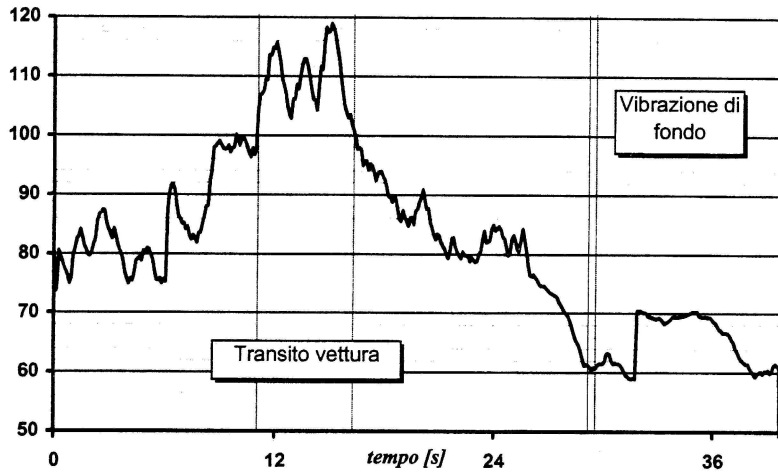
Allegato 1

Accelerazioni per 1/3 di ottava

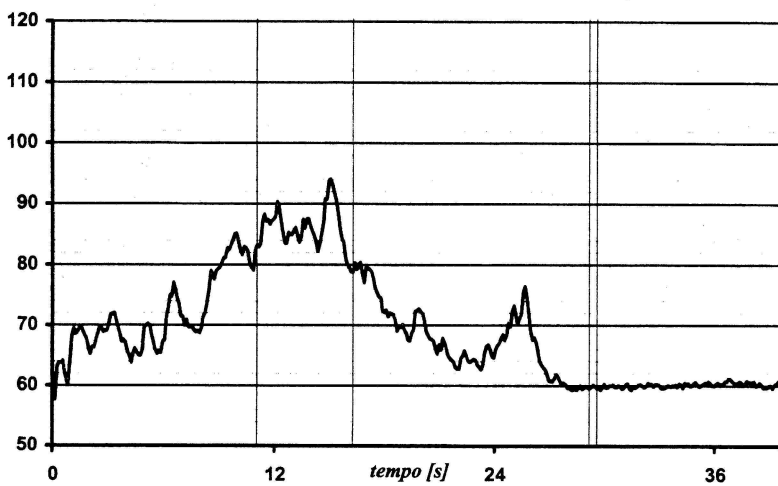


Allegato 2

Tracciato storico del livello di accelerazione [dB] (1-80 Hz)
Canale 1 *Sul terreno a 90 cm dall'armamento* **Verticale**



Canale 2 *Sulla fondazione dell'edificio a 980 cm dall'armamento* **Verticale**



Allegato 3