

**SS 16 ADRIATICA - VARIANTE DI ANCONA**  
 Ampliamento da 2 a 4 corsie da Falconara a Baraccola  
 1° Lotto: Tratto Falconara - Torrette (svincoli inclusi)

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. AN1

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Nando Granieri  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Federico Durastanti  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
 Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**IL R.U.P.:**

Dott. Ing. Massimo Giovinazzo

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**



Dott. Ing. N. Granieri  
 Dott. Arch. N. Kamenicky  
 Dott. Ing. V. Truffini  
 Dott. Arch. A. Bracchini  
 Dott. Ing. F. Durastanti  
 Dott. Geol. G. Cerquiglini  
 Geom. S. Scopetta  
 Dott. Ing. L. Sbrenna  
 Dott. Ing. E. Sellari  
 Dott. Ing. F. Novelli  
 Dott. Ing. L. Dinelli  
 Dott. Ing. L. Nani  
 Dott. Ing. F. Pambianco  
 Dott. Agr. F. Berti Nulli

Dott. Ing. D. Carlacchini  
 Dott. Ing. S. Sacconi  
 Dott. Ing. G. Cordua  
 Dott. Ing. V. De Gori

Dott. Ing. V. Rotisciani  
 Dott. Ing. F. Macchioni  
 Dott. Ing. M. Sorbelli  
 Dott. Ing. V. Piunno  
 Dott. Ing. G. Pulli



**AMBIENTE**

**INDAGINI AMBIENTALI PREGRESSE**

**Componente vibrazione - Relazione illustrativa risultanze monitoraggio**

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00-IA00-AMB-RE08-A

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

DPAN02 E 1801

CODICE ELAB. T00IA00AMBRE08

A

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Emissione	15/10/2018	F. Berti Nulli	F. Durastanti	N. Granieri

**SS16 "ADRIATICA" - VARIANTE DI ANCONA  
 AMPLIAMENTO DA 2 A 4 CORSIE  
 DA FALCONARA A BARACCOLA**

**1° LOTTO: TRATTO FALCONARA - TORRETTE  
 (svincoli inclusi)**

**PROGETTO DEFINITIVO**

IL GEOLOGO <i>Dott. Geol. Emanuele Fresia          Ordine Geol. Veneto n° A501</i>	PROGETTAZIONE: <b>CONSORZIO NEMO</b> Consorzio New Engineering Multipurpose Organization  ELABORAZIONE PROGETTUALE:  <b>Architettura Ingegneria P&amp;CM</b>  DIRETTORE TECNICO: <i>Dott. Ing. Emilio Bona Veggi          Ordine Ing. Bologna n° A3544</i>  PROGETTISTA: <i>Dott. Ing. Emilio Bona Veggi          Ordine Ing. Bologna n° A3544</i>	
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE <i>Dott. Ing. Andrea Renso          Ordine Ing. Verona n° A2413</i>	PER ANAS: <i>Visto: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO          Dott. Ing. Massimo Giovinazzo</i>	
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE <i>Dott. Ing. Andrea Renso          Ordine Ing. Verona n° A2413</i>	PROTOCOLLO	DATA

**AMBIENTE**

**INDAGINI AMBIENTALI**

**Componente vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio**

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA:		
PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. <b>DPAN02</b> <b>D</b> <b>0901</b>	<b>DPAN02_D_0901_T00_IA00_AMB_RE08_D.doc</b>  CODICE ELAB. <b>T00IA00AMBRE08</b>	<b>D</b>	—		
<b>D</b>	AGG. PARERE CSLPP N°83/2016 DEL 24.02.2017	OTTOBRE 2017	P. RUBERTO	G. GIORDANI	E. BONA VEGGI
<b>C</b>	AGGIORNAMENTO	OTTOBRE 2016	P. RUBERTO	G. GIORDANI	E. FRAZZOLI
<b>B</b>	AGGIORNAMENTO RECEPIMENTO ISTRUTTORIA ANAS	APRILE 2012	P. RUBERTO	G. GIORDANI	E. FRAZZOLI
<b>A</b>	EMISSIONE	NOVEMBRE 2011	P. RUBERTO	G. GIORDANI	E. FRAZZOLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>STRUTTURA ORGANIZZATIVA DEL PIANO DELLE INDAGINI AMBIENTALI.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b><i>Vibrazioni</i>.....</b>	<b>4</b>
2.1.1	Normativa .....	4
2.1.2	Disturbo alle attività umane .....	5
2.1.3	Considerazioni alla rivalutazione dei livelli misurati in prossimità degli edifici.....	14
2.1.4	Attenuazioni ed amplificazioni all'interno degli edifici.....	17
2.1.5	Metodologia adottata per la scelta dei punti di misura .....	18
2.1.6	Metodologia seguita in fase di monitoraggio .....	20
2.1.7	Parametri rilevati.....	22
2.1.8	Modalità di indagine.....	25
2.1.9	Metodi di misura .....	27
2.1.10	Metodi di esecuzione del monitoraggio .....	28
2.1.11	Individuazione dei punti di monitoraggio.....	29
2.1.12	Attività di misura.....	34
2.1.13	Restituzione dei dati.....	35
<b>3.</b>	<b>RISULTATI DEI RILIEVI.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1.</b>	<b><i>Rilievi giornalieri vibrazionali</i> .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.</b>	<b><i>Ricalcolo dei livelli di esposizione</i>.....</b>	<b>45</b>
3.1.1	Confronto con i limiti .....	53
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>61</b>

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

## 1. PREMESSA

Il presente documento illustra i risultati del Piano di Indagini Ambientali relativamente alle componenti rumore e vibrazioni a supporto della progettazione definitiva dell'intervento S.S.16 "Adriatica" – Variante di Ancona – Ampliamento da 2 a 4 corsie dello svincolo di Falconara con la S.S.76 alla Loc. Baraccola – 1° lotto tratto Falconara – Torrette (svincoli inclusi).

L'intervento costituisce il 1° lotto funzionale del progetto di ampliamento da 2 a 4 corsie dell'intero tratto di SS16 tratto da Falconara a Baraccola, ed ha una estesa complessiva di circa 6 km oltre lo sviluppo degli svincoli.

Il progetto definitivo per la realizzazione dell'ampliamento a 4 corsie con adeguamento a tipo B "extraurbana principale" del tratto della SS16 "Adriatica" compreso tra lo svincolo di Falconara sulla SS76 e lo svincolo di Torrette, attualmente a carreggiata unica a doppio senso di marcia, è stato redatto nel 2001 al fine di espletare la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA).

La procedura di VIA si è conclusa in data 24.03.2004 con l'emanazione del Decreto DEC/DSA/2004/0234 da parte del Ministero dell'Ambiente, con il quale lo stesso Ministero esprimeva con giudizio favorevole, con prescrizioni, sulla compatibilità ambientale del progetto.

Le necessità di aggiornamento del progetto definitivo riguardano principalmente:

- l'adeguamento del progetto in riferimento a:
  - aggiornamento dei rilievi e completamento delle indagini (geologiche e geotecniche, sulle opere d'arte esistenti ed ambientali);
  - aggiornamento alle sopravvenute normative tecniche e stradali;
  - recepimento delle prescrizioni contenute nel Decreto DEC/DSA/2004/0234 del 24.03.2004, con il quale è stata rilasciata la compatibilità ambientale dell'intervento;
- il completamento del progetto ai fini dell'espletamento, da parte di ANAS, delle seguenti attività:
  - procedura per il conseguimento dell'intesa Stato-Regione mediante Conferenza dei Servizi;
  - verifica di ottemperanza alle prescrizioni del DEC/VIA;
  - approvazione ai fini della pubblica utilità ed attivazione delle procedure di esproprio e della rimozione delle interferenze;
  - affidamento tramite appalto integrato.

Su richiesta di ANAS, in relazione alla tipologia ed alle finalità dell'adeguamento progettuale la progettazione sarà particolarmente dettagliata con riferimento a specifiche campagne di rilievo ed indagine tra le quali:

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

- rilievi aerofotogrammetrici e celerimetrici, finalizzati alla redazione della cartografia aggiornata di progetto ed al rilievo topografico di tutte le opere esistenti;
- rilievi geologici di superficie ed indagini geologiche e geotecniche, finalizzate anche allo studio della gestione delle materie (con particolare riferimento alla possibilità di riutilizzo dei materiali di scavo);
- indagini documentali e strumentali sulle opere d'arte esistenti, ivi comprese le fondazioni;
- indagini ambientali, con particolare riferimento alle indagini acustiche finalizzate alla definizione degli interventi di mitigazione del rumore;
- ogni altra indagine ritenuta necessaria per lo sviluppo delle attività progettuali secondo le normative vigenti e per l'adempimento alle prescrizioni del decreto DEC/DSA/2004/0234 di compatibilità ambientale.

Alla luce di quanto sopra riportato, all'interno del presente documento, redatto allo scopo di fornire un valido supporto all'adeguamento del progetto definitivo, sarò illustrate in maniera dettagliata le indagini ritenute necessarie per la caratterizzazione degli aspetti prettamente ambientali riguardanti il rumore e le vibrazioni, con particolare riferimento alle componenti ambientali ritenute maggiormente coinvolte nella realizzazione dell'opera in progetto, dedotte dalle risultanze dello Studio di Impatto Ambientale e dal decreto DEC/DSA/2004/0234 di compatibilità ambientale.

## **2. STRUTTURA ORGANIZZATIVA DEL PIANO DELLE INDAGINI AMBIENTALI**

### **2.1 Vibrazioni**

#### **2.1.1 Normativa**

Ad oggi non è disponibile alcuna legge nazionale o regionale, ma solo norme ed indicazioni a livello comunitario di cui si riportano i riferimenti.

- UNI 9614 «Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo»
- UNI 9916 «Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici».
- UNI ENV 28041 «Risposta degli individui alle vibrazioni. Apparecchiatura di misura».
- UNI 11048: «Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo».
- ISO 2631 «Evaluation of human exposure to whole-body vibration».
  - ISO 2631-1 «General requirements».
  - ISO 2631-2 «Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)».
  - ISO 2631-3 «Evaluation of exposure to whole-body z-axis vertical vibration in the frequency range 0,1 to 0,63 Hz».
- ISO 4866 «Mechanical vibration and shock - Vibration of buildings - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings».
- ISO 5347 «Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups. Basic concepts».
- ISO 5348 «Mechanical vibration and shock - Mechanical mounting of accelerometers».
- DIN 4150.
  - DIN 4150-1 «Vibration in buildings. Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations».
  - DIN 4150-2 «Vibration in buildings. Influence on persons in buildings».
  - DIN 4150-3 «Structural vibration in buildings. Effects on structures».
- BS 6472 «Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)».

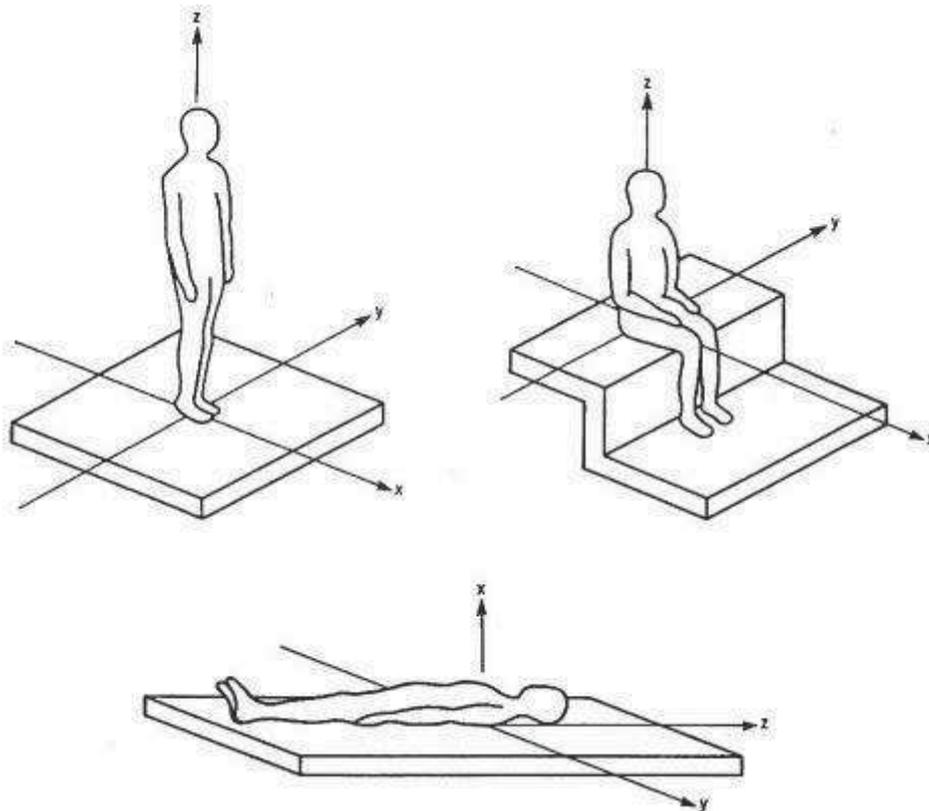
In particolare, per la valutazione del disturbo alle attività umane si fa riferimento alla norma UNI 9614, mentre per la valutazione degli effetti sugli edifici si fa riferimento alla norma UNI 9916.

### **2.1.2 Disturbo alle attività umane**

La norma UNI 9614 concorda nei contenuti con la ISO 2631-2. Essa considera 3 tipi di vibrazioni:

- di livello costante: quando il livello di accelerazione ponderato in frequenza rilevato con costante di tempo "slow" varia in un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB;
- di livello non costante: quando il livello di accelerazione ponderato in frequenza rilevato con costante di tempo "slow" 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.

Si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate.



La giornata viene suddivisa in due periodi di riferimento:

- diurno, dalle 7 alle 22;
- notturno, dalle 22 alle 7.

La gamma di frequenze considerate va da 1 a 80 Hz. La grandezza per caratterizzare l'intensità del fenomeno vibratorio è l'accelerazione che viene espressa in termini di valore efficace (RMS):

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) \cdot dt}$$

dove:

$a(t)$  = accelerazione in funzione del tempo

T = tempo di integrazione.

La Normativa UNI 9614 permette di caratterizzare la vibrazione anche attraverso l'espressione del livello di accelerazione in dB:

$$L = 20 \cdot \text{Log}_{10} \frac{a}{a_0}$$

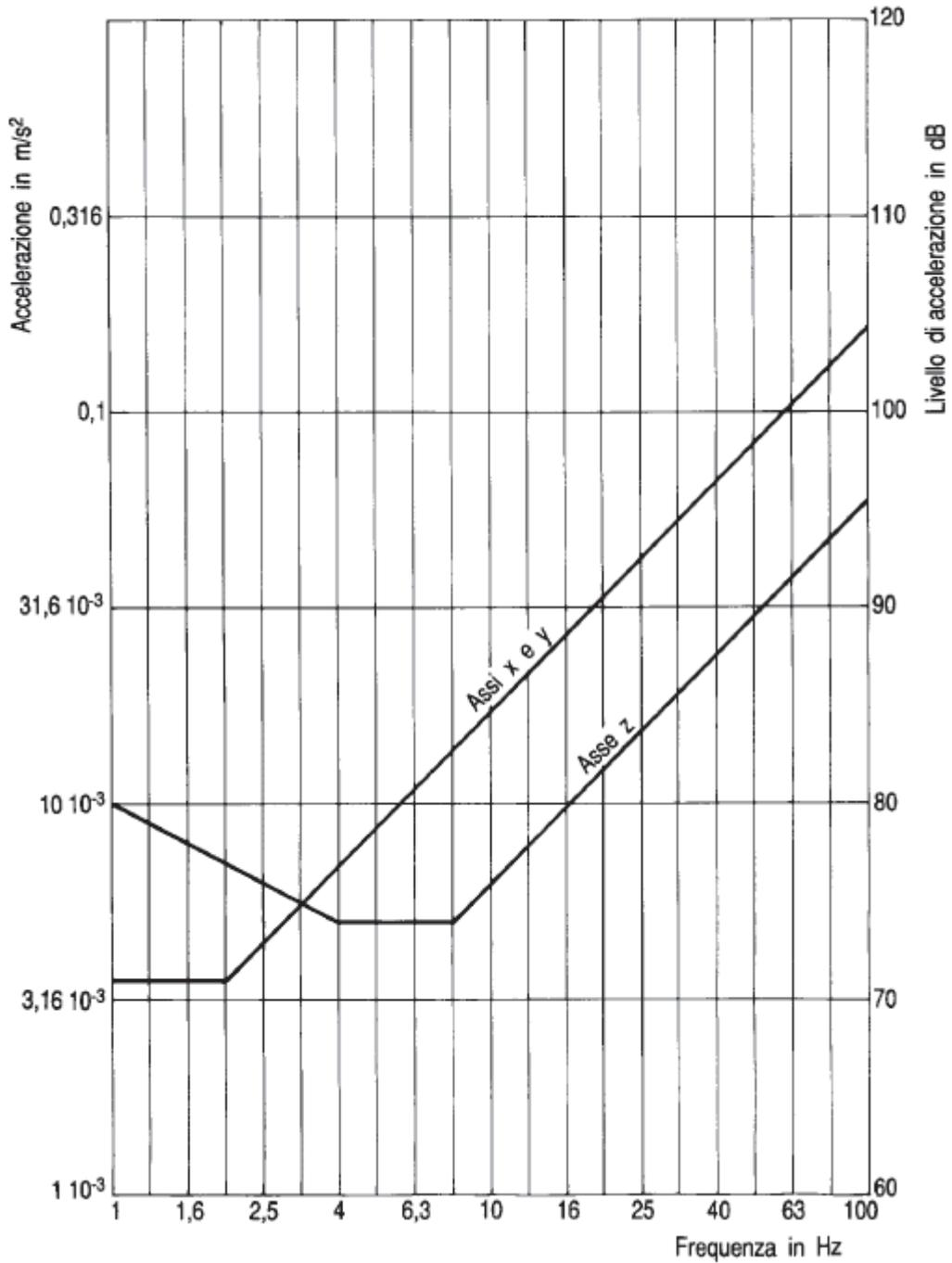
dove  $a$  il valore efficace r.m.s. dell'accelerazione sul periodo T di misura, e  $a_0$  è il valore dell'accelerazione di riferimento, pari a  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup> (ISO 1683).

La norma individua una "soglia di percezione delle vibrazioni" che varia a seconda della frequenza considerata e dell'asse di riferimento, e che può essere sintetizzata nella curva seguente.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

Figura 1. Curve di soglia di percezione delle vibrazioni



Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

Viene anche definita una soglia di percezione cumulativa, da confrontarsi con i valori di accelerazione ponderati in frequenza secondo opportuni filtri di pesatura. Tale soglia si pone a  $5.0 \cdot 10^{-3} m/s^2$  (74 dB) per l'asse z e  $3.6 \cdot 10^{-3} m/s^2$  (71 dB) per gli assi x e y.

I valori cumulati di accelerazione si calcolano secondo la formula

$$L_w = 10 \cdot \left( \text{Log}_{10} \sum_i 10^{L_{i,w}/10} \right)$$

dove  $L_{i,w}$  rappresenta il livello di accelerazione per la banda di frequenza i-esima, pesato secondo i valori riportati nella tabella seguente.

**Tabella 1. Attenuazione dei filtri di ponderazione**

Frequenza [Hz]	Asse z [dB]	Assi x- y [dB]	Postura non nota o variabile [dB]
1	6	0	0
1.25	5	0	0
1.6	4	0	0
2.0	3	0	0
2.5	2	2	0.5
3.15	1	4	1
4.0	0	6	1.5
5.0	0	8	2
6.3	0	10	2.5
8.0	0	12	3
10.0	2	14	5
12.5	4	16	7
16.0	6	18	9
20.0	8	20	11
25.0	10	22	13
31.5	12	24	15
40.0	14	26	17
50.0	16	28	19
63.0	18	30	21

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

Frequenza [Hz]	Asse z [dB]	Assi x- y [dB]	Postura non nota o variabile [dB]
80.0	20	32	23

La curva limite per posture non note o variabili tiene conto del fatto che, in alcuni casi (per esempio all'interno di edifici residenziali utilizzati da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno) non è possibile definire un asse specifico di vibrazione. Essa è calcolata a partire dalla relazione:

$$\text{Attenuazione} = 10 \text{Log}_{10}(1 + (f / 5.6)^2)$$

dove f è la frequenza di banda considerata.

Infine, la norma 9614 definisce i criteri per la scelta della strumentazione di misura, per il confronto con le vibrazioni residue e indica le informazioni da riportare nel resoconto di misura.

I criteri per la valutazione del disturbo sono riportati in allegato, e non costituiscono parte integrante della norma. Tuttavia, essendo gli unici parametri di riferimento nell'ambito della normativa italiana, li descriviamo nel seguito.

In generale, i quattro parametri fisici per la determinazione del comportamento umano alle vibrazioni sono: l'intensità, la frequenza, la direzione e la durata (tempo di esposizione) delle vibrazioni.

La risposta allo stimolo vibratorio è riferita a tre tipi di reazione soggettiva:

- mantenimento dell'efficienza lavorativa
- conservazione dello stato di salute e sicurezza
- mantenimento del comfort

per le quali sono stati stabiliti dei limiti di esposizione.

I limiti per quanto riguarda la risposta umana alle vibrazioni all'interno di edifici tengono pertanto conto del periodo del giorno, del tipo di vibrazione e distinguono tra i diversi tipi di insediamento. In particolare, la norma differenzia i limiti per le cosiddette *aree critiche*, identificabili con sale operatorie, laboratori di precisione, locali in cui si svolgono lavori manuali delicati, precisando che la criticità dell'area è limitata al periodo di tempo in cui vi si svolgono le attività sensibili alle vibrazioni.

#### **Limiti per vibrazioni di livello costante**

L'appendice alla normativa definisce diversi livelli di riferimento per l'asse z e per gli assi x e y. Riportiamo i limiti per gli assi x e y, dal momento che sono i più restrittivi e che ad essi occorre fare riferimento anche nel caso di accelerazioni misurate per situazioni di postura non nota o variabile.

**Tabella 2. Valori limite di vibrazione per gli assi x ,y, e per postura variabile (UNI 9614)**

Luogo	A [m/s <sup>2</sup> ]	L [dB]
Aree critiche	3.3 * 10 <sup>-3</sup>	71
Abitazioni (notte)	5.0 * 10 <sup>-3</sup>	74
Abitazioni (giorno)	7.2 * 10 <sup>-3</sup>	77
Uffici	14.4 * 10 <sup>-3</sup>	83
Fabbriche	28.8 * 10 <sup>-3</sup>	89

I valori esposti nella tabella precedente vanno confrontati con i valori di accelerazione complessiva ponderata in frequenza, facendo riferimento ai valori più elevati riscontrati sui tre assi. Il giudizio sulla accettabilità (tollerabilità) delle vibrazioni deve poi essere temperato con altri fattori (frequenza con cui si verifica il fenomeno vibratorio, durata, etc...)

**Limiti per vibrazioni di livello non costante**

Per vibrazioni di livello non costante si utilizzano gli stessi limiti esposti in tabella 2, che devono essere confrontati con l'accelerazione equivalente misurata in un intervallo di tempo significativo T, espressa in metri al secondo quadrato o in decibel, come indicato dalle relazioni seguenti.

$$a_{w,eq} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [a_w(t)]^2 \cdot dt}$$

$$L_{w,eq} = 10 \cdot \text{Log} \left[ \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [a_w(t)/a_0]^2 \cdot dt} \right]$$

**Limiti per le vibrazioni impulsive**

Secondo la norma UNI 9614, le vibrazioni impulsive possono essere rilevate misurando il valore di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale valore va moltiplicato per il fattore 0.71 per stimare il corrispondente valore efficace (nel caso di livelli in dB, va diminuito di 3 dB). Il valore efficace così determinato si confronterà con i limiti esposti nella tabella seguente.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**Tabella 3. Valori limite di accelerazione per le vibrazioni impulsive**

Luogo	Asse z [m/s <sup>2</sup> ]	Assi x e y [m/s <sup>2</sup> ]
Aree critiche	5.0 * 10 <sup>-3</sup>	3.6 * 10 <sup>-3</sup>
Abitazioni (notte)	7.0 * 10 <sup>-3</sup>	5.0*10 <sup>-3</sup>
Abitazioni (giorno)	0.30	0.22
Uffici e fabbriche	0.64	0.46

Tali limiti vanno adottati se il numero di eventi impulsivi giornalieri non è maggiore di 3. Nel caso che gli eventi siano in numero superiore, si applicano fattori correttivi che abbassano progressivamente i limiti, fino a farli coincidere con quelli per vibrazioni costanti.

Al termine dell'appendice la norma raccomanda il calcolo del fattore di cresta, dal momento che, per fattori di cresta superiori a 6, i criteri descritti potrebbero sottostimare l'effetto delle vibrazioni. A questo proposito si ricorda che, per eventi con fattori di cresta elevati, sono spesso utilizzati due indicatori: il MTVV ed il VDV.

Il MTVV (*maximum transient vibration value*) si ottiene come massimo, su tutto il tempo di misura, del *running rms*, cioè del valore quadratico medio calcolato, ad ogni istante integrando sul secondo precedente:

$$a_w(t_0) = \left[ \frac{1}{\tau} \int_{(t_0-\tau)}^{t_0} a_w^2(t) dt \right]^{1/2}, \text{ con } \tau = 1 \text{ sec.}$$

$$MTVV_{(T)} = |a_w(t_0)|_{\max}$$

I valori di MTVV si confrontano con limiti che variano in funzione del numero di eventi, fino a coincidere, nel caso di 100 o più eventi, con i limiti per vibrazioni di livello costante.

Il VDV (*vibration dose value*) di quarto grado è definito come

$$VDV = \left[ \int_0^T a_w^4 \right]^{1/4}$$

e fornisce una misura dell'esposizione più sensibile alle brusche oscillazioni. Nel caso in cui il soggetto sia esposto ad un numero n di eventi, si definisce il VDV globale come:

$$VDV_{total} = \left[ \sum_{i=1}^n (VDV)_i^4 \right]^{1/4}$$

Per ulteriori dettagli, si può fare riferimento a:

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

Griffin, M.J. "Handbook of human vibration", Academic press, London, 1990.

Harris-Piersol "Harris' Shock and vibration handbook – 5th edition", McGraw-Hill, 2002

### ***Effetti sugli edifici***

Relativamente al problema in oggetto l'unico riferimento normativo nazionale è costituito dalla norma UNI 9916:1991 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici" la quale fornisce indicazioni generiche in merito ai criteri di misura delle vibrazioni sugli edifici, mentre solo a carattere informativo, cita dei criteri di accettabilità dei livelli di vibrazione riprendendo alte normative europee. E' inoltre inclusa nella norma una classificazione degli edifici in funzione delle categorie di struttura, di fondazione, di terreno.

Tale norma è stata revisionata nel 2004. La nuova norma UNI 9916 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. Essa 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 che 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 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. Ciminiera, ponti e strutture sotterranee, quali gallerie e tubazioni, non vengono considerate. Effetti di vibrazioni generate da terremoti e da onde marine sono al di fuori del campo di interesse della 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 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.

Nelle tabelle seguenti riportiamo i valori di riferimento (riportati nell'appendice D della UNI 9916:2004 e già indicati nelle DIN 4150-3 ) per il danno di soglia agli edifici, rispettivamente per le vibrazioni di breve durata (cioè tali da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata) e per le vibrazioni di lunga durata.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**Tabella 4. Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v) al fine di valutare l'azione di 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 a 10 HZ	Da 10 a 50 HZ	Da 50 a 100 HZ*	Tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ( $f = 10$ Hz) a 40 ( $f = 50$ HZ)	Varia linearmente da 40 ( $f = 50$ Hz) a 50 ( $f = 100$ HZ)	40
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ( $f = 10$ Hz) a 15 ( $f = 50$ HZ)	Varia linearmente da 15 ( $f = 50$ Hz) a 20 ( $f = 100$ HZ)	15
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelati (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ( $f = 10$ Hz) a 8 ( $f = 50$ HZ)	Varia linearmente da 8 ( $f = 50$ Hz) a 10 ( $f = 100$ HZ)	8

\* per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 HZ

**Tabella 5. Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v) al fine di valutare l'azione di vibrazioni lunga durata 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 tutelati (per esempio monumenti storici)	2.5

Entrambe le tabelle fanno riferimento al p.c.p.v (peak component particle velocity) definito come il valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto o ottenute mediante integrazione.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

### **2.1.3 Considerazioni alla rivalutazione dei livelli misurati in prossimità degli edifici**

Allorché viene imposto sul terreno un prefissato livello di vibrazioni, lo stesso si propaga nel terreno circostante, subendo tuttavia una attenuazione dipendente dalla natura del terreno, dalla frequenza del segnale, e dalla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto.

Si deve distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale [1]:

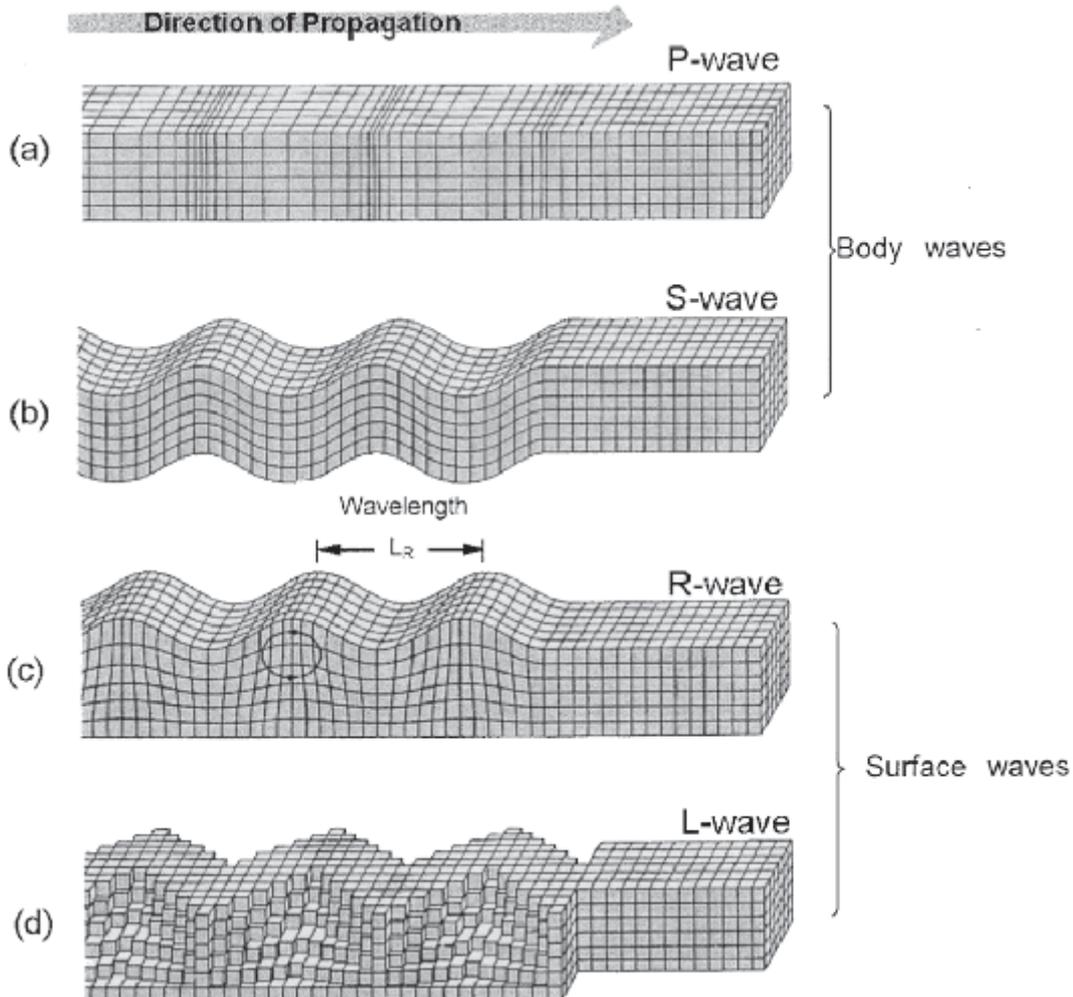
- Onde di compressione (onda P)
- Onde di taglio (onda S)
- Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L)

I primi due tipi sono onde di volume ("body-waves"), mentre le onde di superficie, come dice il nome, si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche, principalmente quindi sulla superficie di separazione fra terreno ed aria. La seguente figura mostra schematicamente i diversi tipi di onde.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

Figura 2. Vari tipi di onde di volume e di superficie



Va anche osservato che il tipo d) (onde L) non viene facilmente eccitato dal transito, in quanto richiederebbe l'imposizione di moti orizzontali alla fonte delle vibrazioni. Nella pratica quindi allorché l'armamento poggia sul piano di campagna (linea a raso o in rilevato, o anche nel caso del viadotto inizialmente progettato, con fondazione superficiale diretta) si può ritenere che vi sia predominio delle onde di superficie, in particolare di tipo R che corrono sulla interfaccia suolo-aria, mentre nel caso di fondazione profonda (ad es. pali) si hanno anche onde di compressione ed onde di taglio, mentre le onde di superficie tendono a correre sulle superfici di separazione fra strati diversi del terreno.

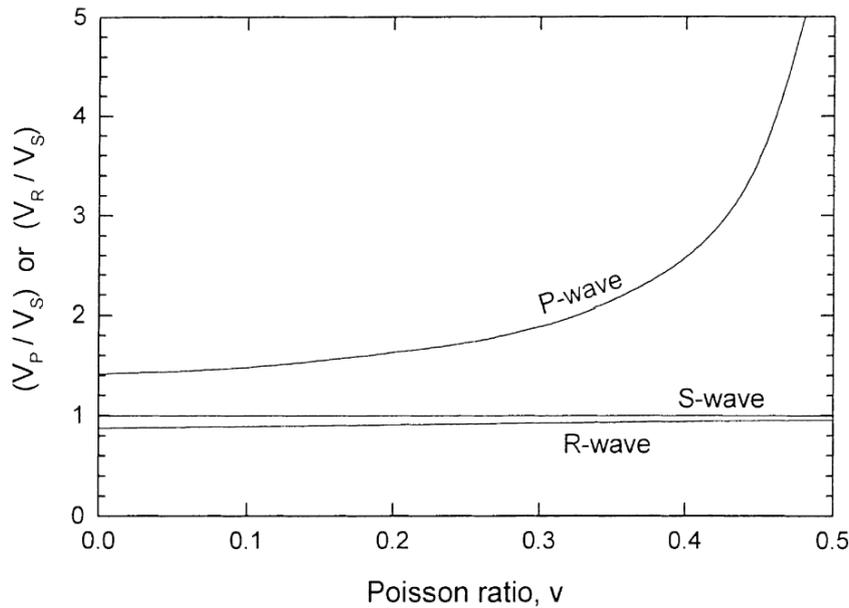
Va inoltre osservato che la velocità di propagazione dei diversi tipi di onde non è la stessa: le onde di compressione (onde P) sono le più veloci, mentre le onde di taglio e di superficie viaggiano con velocità più basse, in dipendenza del valore del modulo di Poisson del terreno. La seguente figura

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

mostra il rapporto fra velocità di propagazione delle onde P ed R riferito alla velocità di propagazione delle onde di superficie S.

Figura 3– Velocità relativa delle onde P ed R rispetto alle onde S



Il modello di propagazione qui impiegato, valido per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R) è basato sulla seguente formulazione [2]:

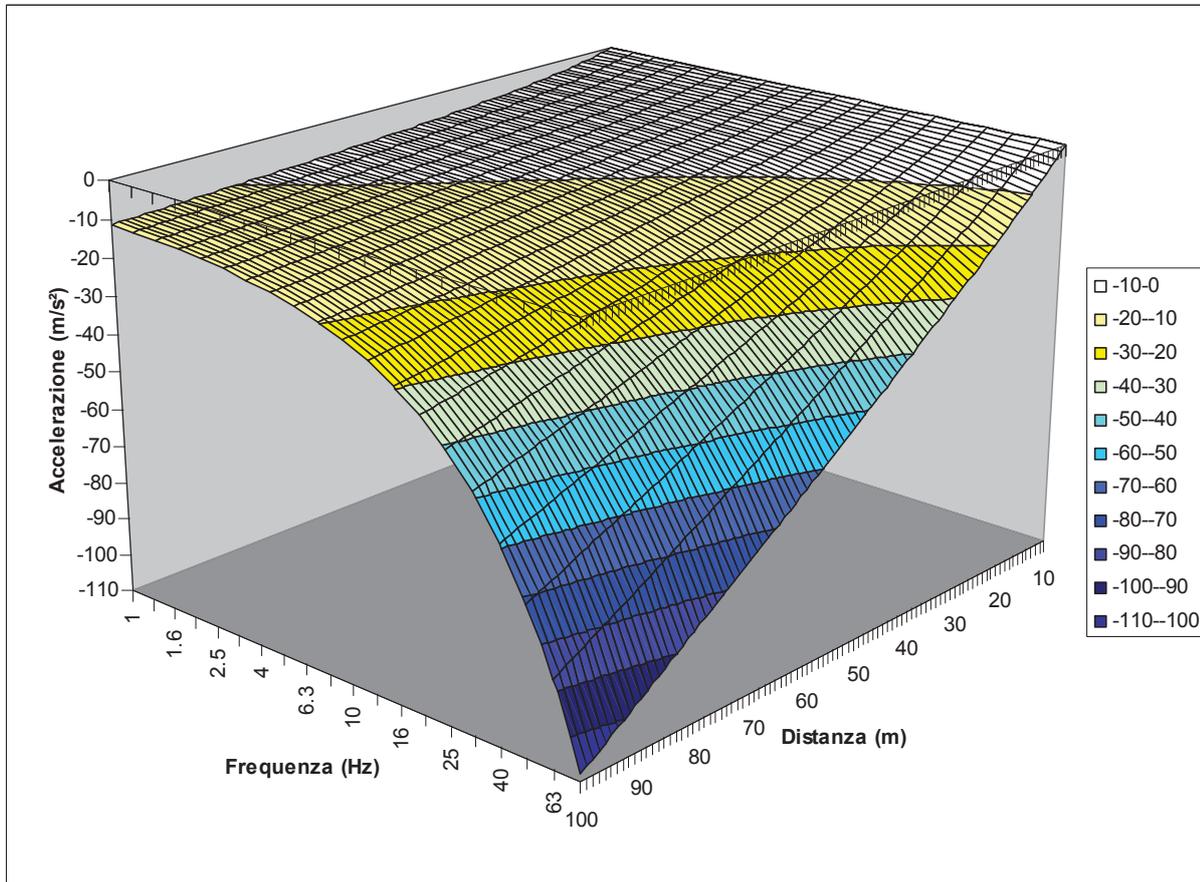
$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^n \cdot e^{-2\pi \cdot f \cdot \eta / c \cdot (d-d_0)}$$

In cui  $\mu$  è il fattore di perdita del terreno,  $c$  la velocità di propagazione in m/s,  $f$  la frequenza in Hz,  $d$  la distanza in m, e  $d_0$  la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione, qui assunta pari a 5m .

A titolo illustrativo, la seguente figura mostra l'attenuazione del livello di accelerazione in funzione della distanza dalla sorgente e della frequenza, avendo ipotizzato un valore di velocità di propagazione  $c$  pari a 400 m/s ed un fattore di smorzamento pari a 0.1. Tali valori sono abbastanza tipici della pianura padana, in zone extraurbane coltivate, per propagazione superficiale.

Dalla figura si può osservare come l'attenuazione sia trascurabili a distanze di pochi metri dalla sorgente.

**Figura 4 – Attenuazione in funzione della frequenza e della distanza per onde superficiali.**



#### **2.1.4 Attenuazioni ed amplificazioni all'interno degli edifici**

In presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione di vario genere, accade che i livelli di accelerazione riscontrabili all'interno degli edifici stessi possono presentare sia attenuazioni, sia amplificazioni rispetto ai livelli sul terreno.

In particolare, diversi sistemi di fondazione producono una attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante; tale aspetto è legato al fatto che l'interfaccia terreno-struttura non è perfettamente solidale, e pertanto genera fenomeni dissipativi.

Una analisi dei dati disponibili in bibliografia mostra che:

- Le misure di Ishii e Tachibana mostrano una attenuazione interpieno che varia progressivamente da 3 dB ai piani bassi sino a 1 dB negli ultimi piani di di un edificio a 10 piani con struttura in CLS armato e acciaio.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

- Le misure effettuate dalla Ferrovie Svizzere hanno mostrato che mediamente i livelli di accelerazione misurati sui pavimenti sono superiori di circa 5 dB rispetto a quelli misurati sul terreno.
- Attenuazione interpiano: si assume prudenzialmente una riduzione di 1 dB per ogni piano al di sopra del piano terra.

Si può quindi effettuare il ricalcolo dei valori misurati al livello del terreno aggiungendo cautelativamente un valore di 5 dB al livello misurato nelle vicinanze della struttura.

### **2.1.5 Metodologia adottata per la scelta dei punti di misura**

#### **Criteria di scelta**

La scelta dei punti di monitoraggio è guidata generalmente dai seguenti fattori:

- tipologia e livelli di emissione delle sorgenti di vibrazioni attese dai lavori di realizzazione dell'opera e dall'opera stessa una volta in esercizio;
- natura geolitologica del terreno;
- tipo e natura dei ricettori (destinazione d'uso e caratteristiche strutturali, età, tipo di fondazioni, etc.);

Nel caso specifico, la natura del terreno non risulta determinante per la scelta delle postazioni di misura, dal momento che tutta l'area interferita dall'opera è classificata secondo la stessa categoria UNI ("Tipo C"). Allo stesso modo, anche le condizioni di esercizio dell'opera non influiscono sulla definizione della rete di monitoraggio, poiché si stima che il traffico veicolare autostradale non avrà un impatto significativo sui ricettori.

I principali driver che hanno guidato la scelta dei punti di monitoraggio sono quindi i seguenti:

- tipologia e livelli di vibrazione collegati alle attività di cantiere;
- natura dei ricettori e loro distanza dal cantiere.

Sono state quindi confrontate le informazioni contenute nel censimento dei ricettori e nel progetto definitivo, esaminando i seguenti parametri:

- destinazione d'uso dei ricettori, con particolare attenzione alla presenza di edifici appartenenti alle seguenti categorie:
  - aree critiche per le attività umane: sale operatorie, laboratori di precisione e simili;
  - edifici storici monumentali e tutelati;
- caratteristiche strutturali degli edifici: altezza, numero di piani, classificazione delle strutture e delle fondazioni;
- presenza di eventuali sorgenti di vibrazione preesistenti;

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

- presenza di infrastrutture sotterranee tali da interferire nella distribuzione del campo vibrazionale (tunnels, opere in fondazione, etc.);
- distanza dei ricettori dal cantiere;
- tipo di attività svolte nel cantiere (cantiere operativo o fronte avanzamento lavori), con particolare riferimento alle opere maggiormente impattanti: battitura pali, palancolate.

In linea generale, non si prevede comunque la realizzazione di pali battuti, mentre le palancolate sono previste per le opere in alveo e quindi su tutti i cantieri per l'attraversamento dei grandi fiumi.

Nel caso in cui non siano state evidenziate situazioni di evidente criticità dovute alla correlazione dei parametri suddetti, è stato privilegiato il criterio della minore distanza dal cantiere o dal fronte di avanzamento lavori.

Per facilitare le operazioni di acquisizione dei permessi ed ottimizzare la raccolta di informazioni sul territorio, i ricettori inseriti nella rete di monitoraggio per la componente vibrazioni sono stati scelti preferibilmente nell'ambito di quelli appartenenti alla rete di monitoraggio per la componente rumore. Questa decisione non pregiudica in alcun modo la scelta dei punti di controllo, dal momento che:

- il censimento dei ricettori per la componente rumore include tutti gli edifici in una fascia di 250 metri per lato a partire dal bordo dell'infrastruttura principale, e 250 metri dal confine di ogni cantiere. Tale fascia è estesa a 500 metri per ricettori sensibili;
- non sono previsti significativi sottoattraversamenti di aree abitate, per cui i ricettori di vibrazioni costituiscono certamente un sottoinsieme dei ricettori di rumore.

La scelta di associare il controllo sulle vibrazioni ad alcuni tra i ricettori di rumore più critici è quindi da intendersi a maggior tutela di questi ultimi.

L'individuazione dei punti di monitoraggio è stata verificata con gli esperti di suolo e sottosuolo.

**Verifica di fattibilità sul campo**

Per ciascun punto di misura previsto nel piano di indagine si dovrà:

- effettuare la verifica preliminare di fattibilità delle misure;
- rilocalizzare quei punti per i quali, in fase di verifica preliminare, sia risultata la non fattibilità delle attività di monitoraggio, salvaguardando le finalità delle misure previste;
- ottenere l'autorizzazione ad accedere ai locali interni per la misura, qualora necessario;
- verificare la correttezza delle informazioni riportate nella scheda di censimento del ricettore, ed integrarle con ulteriori elementi raccolti nel corso del sopralluogo.

**Verifica di fattibilità**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

Per ogni punto riportato nel progetto di monitoraggio dovrà essere effettuato un sopralluogo di fattibilità delle misure, al fine di verificare:

- l'assenza di condizioni locali che possano nel tempo portare a modificazioni nella distribuzione del campo vibrazionale (nuove edificazioni in corso con opere in fondazione, tunnels, etc);
- l'assenza di situazioni locali che possano disturbare le misure (trivellazioni in corso, lavori di ristrutturazione all'interno del ricettore o in edifici adiacenti, ecc.);
- la possibilità di posizionare in modo ottimale la postazione di monitoraggio; in particolare le postazioni di misura presso i ricettori saranno individuate in ambiente interno, al piano più alto nel caso di edifici a più piani, nel locale abitativo nel quale sono prevedibili i livelli di vibrazione più elevati in concomitanza delle diverse sorgenti e preferibilmente in uno dei locali più sensibili alle vibrazioni, come nella zona notte per le abitazioni;
- il consenso degli abituali fruitori dei locali scelti per il monitoraggio, e la disponibilità a collaborare evitando azioni potenzialmente disturbanti durante le misure;
- persistenza nel tempo delle condizioni iniziali di fruizione; possono ad esempio rappresentare fattori limitanti l'utilizzazione dell'immobile come casa vacanza, come seconda casa o comunque con presenza saltuaria degli abitanti;
- la possibilità di allacciamento alla rete elettrica per i punti per i quali sono previste misure di lunga durata.

Nel caso in cui un punto di monitoraggio previsto dal PIANO DI INDAGINE non soddisfi in modo sostanziale una delle caratteristiche sopra citate, sarà scelta una postazione alternativa, rispettando i criteri e le modalità di rilocalizzazione descritte nel seguito del documento.

### **2.1.6 Metodologia seguita in fase di monitoraggio**

I ricettori oggetto di indagine sono stati fotografati e le rispettive posizioni sono riportate sulla cartografia. Le postazioni di misura sono state scelte in modo da permettere il rilievo della componente vibrazionale potenzialmente immessa dal transito dei veicoli sulla statale SS16.

A fronte di ciò, la metodologia prevede l'esecuzione delle misure in prossimità della struttura edilizia all'interno degli edifici identificati come ricettori.

Appurata l'impossibilità di effettuare le misure come precedentemente illustrato, è stato necessario individuare una metodologia che, pur non rispettando quella ideale consentisse di ottenere, a fronte della non aderenza alla metodica classica, alcuni aspetti utili per le fasi successive di indagine.

Si è proceduto fissando lo strumento nelle immediate vicinanze delle strutture o in parti ad esse solidali e limitrofe sempre cercando (ove possibile) di porsi alla stessa distanza della casa dall'infrastruttura o addirittura in posizione più prossima (situazione più cautelativa).

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

Tali posizioni, infatti risultano:

- facilmente accessibili in qualunque momento anche nelle fasi successive alla realizzazioni dell'opera (non dipendendo dalla disponibilità all'accesso dei residenti);
- cautelativamente più prossime all'infrastruttura;
- riconducibili, grazie a modelli matematici, alla posizione dell'edificio (con variazioni attese limitate e con un valore calcolato e non più misurato).

In questi casi in cui lo strumento è stato posizionato all'esterno degli edifici si potrà procedere con il ricalcolo dell'esposizione andando ad utilizzare la legge di propagazione delle vibrazioni con la distanza. Saranno inoltre utilizzati dei coefficienti correttivi per simulare l'attenuazione o l'amplificazione relativa alle strutture abitative monitorate, tali coefficienti varieranno in base alla tipologia di costruzione, all'altezza dell'abitazione e alle tipologie di fondazioni utilizzate per la costruzione.

In base alla tipologia di fondazione usata possono essere utilizzate curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione della fondazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

Le misure fatte, sono quindi significative per le future considerazioni consentendo, in caso di variazioni significative nelle fasi successive, di procedere per l'edificio più prossimo, ad una misura diretta al suo interno, motivando ai residenti una "reale" ed importante necessità di controllo ai fini del confronto con i limiti normativi.

### 2.1.7 Parametri rilevati

#### Definizioni

Le vibrazioni che si propagano attraverso un mezzo elastico possono essere caratterizzate attraverso tre grandezze di base:

- il vettore spostamento  $\mathbf{s} = (s_x \quad s_y \quad s_z)$  misurato in m
- il vettore velocità  $\mathbf{v} = (v_x \quad v_y \quad v_z)$  misurato in m/s
- il vettore accelerazione  $\mathbf{a} = (a_x \quad a_y \quad a_z)$  misurato in m/s<sup>2</sup>

Queste grandezze possono alternativamente essere espresse, invece che in m, m/s, m/s<sup>2</sup>, come livelli in dB rispetto a dei valori di riferimento, secondo le seguenti espressioni:

$$L_s = 20 \cdot \text{Log} \frac{s}{s_0} \quad s_0 = 10^{-12} \text{ m} \quad \text{Livello di spostamento in dB}$$

$$L_v = 20 \cdot \text{Log} \frac{v}{v_0} \quad v_0 = 10^{-9} \text{ m/s} \quad \text{Livello di velocità in dB}$$

$$L_a = 20 \cdot \text{Log} \frac{a}{a_0} \quad a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2 \quad \text{Livello di accelerazione in dB}$$

Poiché le vibrazioni sono caratterizzate da estrema variabilità dei valori istantanei, si rileva l'esigenza di individuare, su un dato intervallo temporale, un indicatore che sia sufficientemente rappresentativo del fenomeno. L'indicatore comunemente utilizzato è il valore quadratico medio.

Si definisce valore efficace o valore quadratico medio (RMS - Root Mean Square) di accelerazione, sul tempo di integrazione T come:

$$a_{RMS,T} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [a(t)]^2 \cdot dt}$$

dove a(t) è il valore istantaneo dell'accelerazione.

Il corrispondente livello di accelerazione RMS è definito come:

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

$$L_{RMS,Y} = 10 \cdot \text{Log} \left[ \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [a(t)/a_0]^2 \cdot dt} \right]$$

In modo analogo vengono definiti anche i valori efficaci di velocità e spostamento.

Durante il monitoraggio saranno valutati, in un intervallo di tempo rappresentativo, l'accelerazione equivalente o il livello di accelerazione equivalente, ponderati secondo le curve definite nella norma UNI 9614 e definiti come:

$$a_{w,eq} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [a_w(t)]^2 \cdot dt}$$
$$L_{w,eq} = 10 \cdot \text{Log} \left[ \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [a_w(t)/a_0]^2 \cdot dt} \right]$$

dove:

$a_w(t)$  è l'accelerazione complessiva ponderata in frequenza

T è la durata del rilievo.

Saranno inoltre riportati i valori di a in modulo, senza fattore di ponderazione.

Si definisce  $a_{max}$  (e, analogamente, la versione ponderata  $a_{wmax}$ ) il massimo tra i valori di accelerazione  $a_{RMS,1}$  su tempo di integrazione pari ad un secondo, calcolato per tutti gli istanti che compongono il tempo di misura.

Per quanto riguarda i valori di velocità, si definisce  $v_{max,f}$  il valore massimo su una singola banda di frequenza riscontrato sull'intero tempo di misura. Tale valore è utile per il confronto con i criteri di accettabilità indicati negli allegati informativi alla norma UNI 9916 (Appendice B, prospetto IV).

Si definisce *valore di picco* ( $a_{wpeak}$ ) la massima oscillazione in valore assoluto dell'accelerazione ponderata in frequenza; tale valore non è ricavato da una media integrale.

Si definisce *fattore di cresta* come il rapporto tra il valore di picco e il valore efficace, dove il valore efficace, secondo la norma UNI 9614, deve essere rilevato su un intervallo temporale di ampiezza superiore a 1 minuto.

#### **Indicatori da rilevare**

In ciascun punto di monitoraggio è prevista l'acquisizione dei seguenti dati per ogni asse x, y, z:

- time history del rilievo (a,  $a_w$ , v) con una risoluzione pari a 1 secondo;
- $a_{wmax}$ ,  $a_{max}$ , relativi all'intero periodo di registrazione;

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

- $v_{max}$  (banda e valore) relativo all'intero periodo di registrazione: sarà riportato il valore massimo tra tutte le bande di frequenza, e la frequenza a cui è stato rilevato;
- predisposizione dello spettro di  $a$  per l'intero periodo di misura (spettro medio, spettro dei massimi); nel caso di misure da 24 ore, per i periodi di riferimento diurno e notturno;
- time history del rilievo, per tutte le bande di frequenza da 1 a 80 Hz, con risoluzione pari ad 1 secondo (dato di controllo, da non riportare nella scheda di misura).

Inoltre, la valutazione dei risultati dovrà comprendere l'analisi dei superamenti della soglia di sensibilità (che nella UNI 9614 è posta pari a  $5 \cdot 10^{-3} m/s^2$  per l'asse z e  $3.6 \cdot 10^{-3} m/s^2$  per gli assi x e y, riferiti ai valori di accelerazione ponderati in frequenza). Per ognuno di questi eventi, saranno riportati i seguenti dati:

- data e ora di inizio dell'evento;
- durata dell'evento;
- valori di  $a$ ,  $a_w$ ,  $a_{wmax}$ ,  $v_{max,f}$  (banda e valore), relativi all'intera durata dell'evento;
- $a_{wpeak}$  e fattore di cresta, nel caso di evento impulsivo (esempio: battitura di pali);
- spettro di  $a$  per l'intero evento (spettro medio, spettro dei massimi).

**Indicatori acustici e correlazione con il rumore solido**

Non previsti.

Dal momento che la maggior parte delle lavorazioni previste nella fase di cantiere avviene in superficie (o per mezzo di macchine, come ad esempio le palificatrici, che mantengono significative sorgenti di rumore in superficie) un eventuale rumore solido (seppur rilevato all'interno degli edifici ricettori) sarebbe trascurabile rispetto al rumore aereo.

In fase di esercizio invece, si prevedono sorgenti di rumore pseudocasuali (traffico), che, a differenza dei transiti ferroviari, non possono essere identificati come singoli eventi.

**Altri indicatori**

Durante l'esecuzione delle misure in campo vengono rilevate una serie di informazioni complementari, che saranno inserite nel rapporto di misura:

- denominazione del ricettore e indirizzo;
- coordinate geografiche del punto di misura;
- fotografia del punto di misura;
- descrizione dell'esatto posizionamento della strumentazione di misura (nell'ambito dell'edificio: il piano; nell'ambito del piano: la stanza);
- tipo e caratteristiche delle sorgenti di vibrazione interagenti con il punto di monitoraggio;

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

- caratteristiche costruttive dell'edificio e delle fondazioni;
- lesioni agli edifici derivanti da cedimenti o altri dissesti e non/forse alle vibrazioni;
- traffico su infrastrutture stradali e ferroviarie;
- lavorazioni effettuate in cantieri e anomalie.

### **2.1.8 Modalità di indagine**

#### **Strumentazione**

La catena di misura si compone usualmente di:

- Accelerometri monoassiali/triassiali;
- Amplificatore di carica (se gli accelerometri non sono di tipo IEPE);
- Analizzatore di spettro in tempo reale;
- PC portatile;
- Software dedicato per l'acquisizione dati.

Potranno essere utilizzati sensori triassiali oppure tre sensori monoassiali disposti secondo le tre componenti ortogonali di accelerazione.

#### **Requisiti tecnici degli strumenti**

La strumentazione di misura deve rispondere alle norme IEC 184, IEC 222 e IEC 225, come indicato dalla norma UNI 9614. Nel rapporto di prova dovrà essere completamente descritta la catena di misura ed acquisizione dati e dovranno essere precisate le caratteristiche di risposta in frequenza del sistema di misura completo.

Per ogni sensore e per il relativo circuito di condizionamento occorre siano definite e note le caratteristiche prestazionali, in particolare:

- curva di taratura;
- risposta in frequenza del sistema trasduttore + unità di condizionamento;
- campo di misura;
- sensibilità;
- linearità;
- precisione;
- tensione di alimentazione (se necessaria).

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

Oltre alle caratteristiche dei sensori, rivestono importanza anche quelle relative all'intera catena di misura; in particolare:

- le caratteristiche dei cavi;
- la schermatura e la messa a terra (es: congruenza tra i riferimenti di massa);
- le caratteristiche degli amplificatori e dei filtri (se necessari);
- la distanza tra i trasduttori e le unità di condizionamento (eventualità di adottare captatori alimentati in corrente, ripetitori di segnale);
- la protezione delle unità di condizionamento e dei sistemi di acquisizione.

Le caratteristiche degli accelerometri di previsto utilizzo sono di seguito indicate:

Grandezza	Valore
Range di frequenza	1 ÷ 300 Hz
Range di misura	50 m/s <sup>2</sup>
Risoluzione	≤ 0.1 mm/s <sup>2</sup>
Linearità	≤ ± 1 %
Sensibilità trasversale	≤ ± 5 %

Si osserva che i valori appena riportati sono stati valutati considerando le norme ISO 2631/1 e 2, UNI 9614 e UNI 9916.

#### **Taratura e calibrazione**

La catena complessiva di misura (trasduttori, apparecchi per il condizionamento del segnale ed il sistema di acquisizione dati) utilizzata sarà corredata da certificato di taratura, non anteriore a 2 anni dalla misura, rilasciato da laboratorio qualificato secondo le norme UNI ISO 5347:1993. Il controllo periodico deve essere eseguito presso laboratori accreditati S.I.T. e deve comunque avvenire ogniqualvolta vi sia un evento traumatico per la strumentazione o la riparazione della stessa.

È ammessa la taratura indiretta della strumentazione consistente nel confronto tra le indicazioni del sensore da tarare/calibrare ed un sensore campione munito di certificato SIT.

All'inizio e alla fine di ogni rilievo sarà eseguita la calibrazione della catena di misura, utilizzando appositi calibratori tarati. Il modo più comodo per eseguire in campo il controllo periodico della calibrazione consiste nell'impiego di una sorgente di vibrazione calibrata alimentata a batteria.

In caso di utilizzo di un sistema di registrazione e di riproduzione, i segnali di calibrazione devono essere registrati.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

### **2.1.9 Metodi di misura**

Riportiamo nei paragrafi seguenti indicazioni sui metodi di misura da adottare, desunte principalmente dalla normativa tecnica di riferimento.

#### **Scelta della grandezza da misurare**

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

- l'accelerazione è la grandezza normalmente utilizzata per la valutazione del disturbo alle attività umane;
- 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 di impiego elevata;
- la velocità è la grandezza normalmente utilizzata per definire parametri e valori di riferimento nella valutazione del danno alle strutture, essendo direttamente legata all'energia cinetica. La strumentazione esistente presenta però dei limiti nella risposta alle basse frequenze.
- Lo spostamento assoluto è di difficile misurazione e di scarso significato fisico ai fini della valutazione del danno. E' invece di interesse la misurazione di spostamenti relativi tra le parti strutturali (ad esempio tra i bordi di lesioni esistenti) perché possono essere indici della capacità del fenomeno vibratorio di produrre danno.

In virtù delle considerazioni esposte in precedenza, si è ritenuto opportuno misurare direttamente l'accelerazione ed ottenere poi la velocità per integrazione. Nel rapporto di misura sarà riportata in dettaglio la descrizione del processo di integrazione (analogico o digitale) adottato.

#### **Posizionamento della strumentazione**

La strumentazione è stata posta al piano più alto e nel locale abitativo nel quale sono prevedibili i livelli di vibrazione più elevati, preferibilmente in uno dei locali più sensibili al disturbo dovuto alle vibrazioni, come nella zona notte per le abitazioni. Gli accelerometri sono stati fissati al centro dei solai.

#### **Criteri di fissaggio dei trasduttori**

Le modalità di fissaggio degli accelerometri ha consentito la fedele riproduzione del moto vibratorio dell'elemento sul quale essi sono fissati, senza che siano introdotte alterazioni del moto stesso imputabili al sistema di accoppiamento del trasduttore. Il sistema di fissaggio è stato quindi quanto più rigido possibile.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

Il fissaggio degli accelerometri agli elementi strutturali è stato conforme alle indicazioni della norma UNI ISO 5348. Le modalità adottate sono indicate nel rapporto di prova.

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 tra 1 e 300 Hz. 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 vite, l'incollaggio ed il fissaggio magnetico, in ogni caso il metodo adottato non deve provocare alterazioni della grandezza da misurare nel campo di frequenza di interesse.

Devono essere evitate le misure su rivestimenti non rigidamente connessi alle strutture (es. moquette) o su pavimenti galleggianti.

#### **Condizioni meteorologiche e stagionali per l'esecuzione delle misure**

Per ciò che riguarda la propagazione delle vibrazioni non esiste una vera e propria stagionalità se non quella derivante dalla fluttuazione del livello di falda, che può determinare variazioni nello spettro di emissione e nell'intensità vibrometrica, e dalla variazione di rigidità degli strati superficiali del terreno nei periodi di gelo invernali. E' pertanto sconsigliato procedere alle misure nei mesi in cui le temperature ambientali scendono sotto zero o qualora si osservino ristagni d'acqua nei terreni.

Oltre ai fattori climatici, i rilievi sono influenzati dalle variazioni cicliche dei flussi di traffico. Sono perciò escluse le misure in periodi anomali (giorni festivi e prefestivi, mese di agosto, ...).

Per quanto attiene le condizioni climatiche previste per il corretto funzionamento della strumentazione, deve essere verificato che alla temperatura d'utilizzo non intervengano fenomeni di deviazione della sensibilità degli accelerometri in relazione alla temperatura stessa.

Nel caso di fissaggio dell'accelerometro mediante cera d'api, la temperatura della massa alla quale viene fissato non deve superare i 40 °C.

#### **2.1.10 Metodi di esecuzione del monitoraggio**

Sono state fatte sessioni di misura da 24 ore, allo scopo di individuare eventuali vibrazioni esistenti in periodo diurno; è stata effettuata una sola misura nella fase di monitoraggio.

Nel corso della misura sono stati acquisiti anche tutti i dati necessari a completare la scheda di inquadramento del punto di monitoraggio, le informazioni relative all'origine di eventuali fenomeni vibratorii rilevati e agli eventuali danni strutturali preesistenti all'avviamento dell'opera.

È stata fatta inoltre particolare attenzione nella descrizione del luogo e delle modalità di posizionamento dei sensori, in modo da poter operare nello stesso modo nelle successive fasi di monitoraggio.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

### **2.1.11 Individuazione dei punti di monitoraggio**

Le vibrazioni sono state rilevate nei locali relativi ad 8 ricettori individuati durante il sopralluogo nell'area di cantiere e dallo studio di impatto ambientale.

Nella seguente figura sono illustrate le posizioni dei punti di indagine per la componente vibrazioni.

**Figura 5. Localizzazione punti di indagine componente vibrazione.**



A seguire si riporta un dettaglio del posizionamento di ogni punto di indagine per la componente vibrazioni.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

**Figura 6. Punto di indagine componente vibrazione (VIB\_01)**



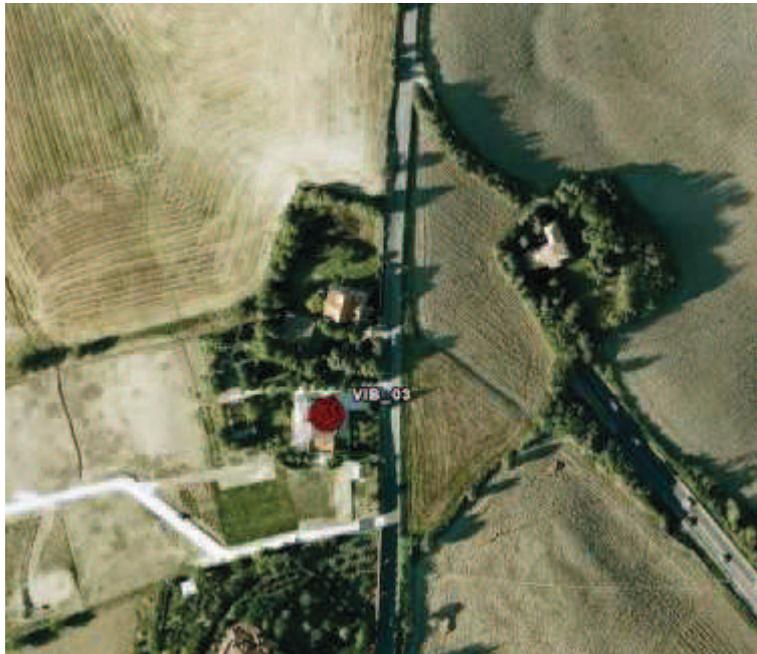
**Figura 7. Punto di indagine componente vibrazione (VIB\_02)**



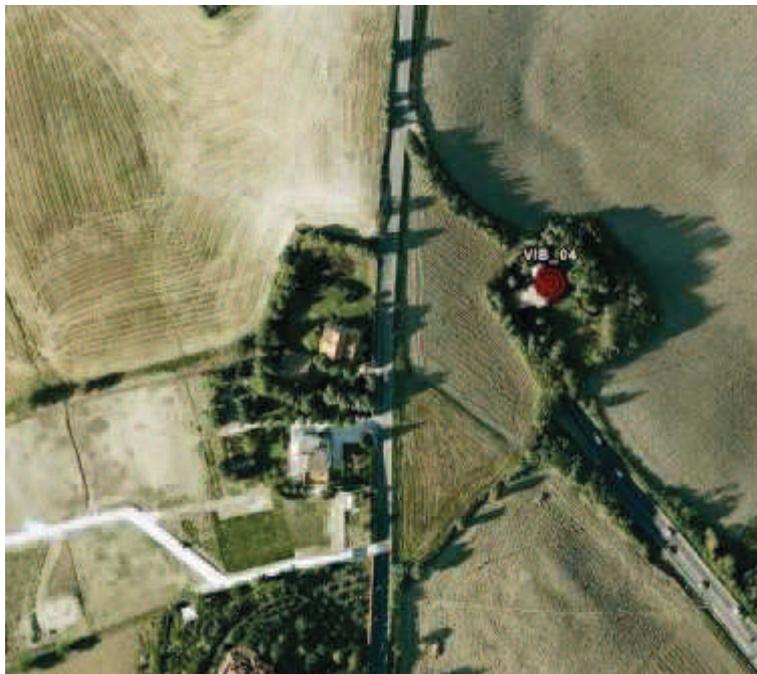
Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

**Figura 8. Punto di indagine componente vibrazione (VIB\_03)**



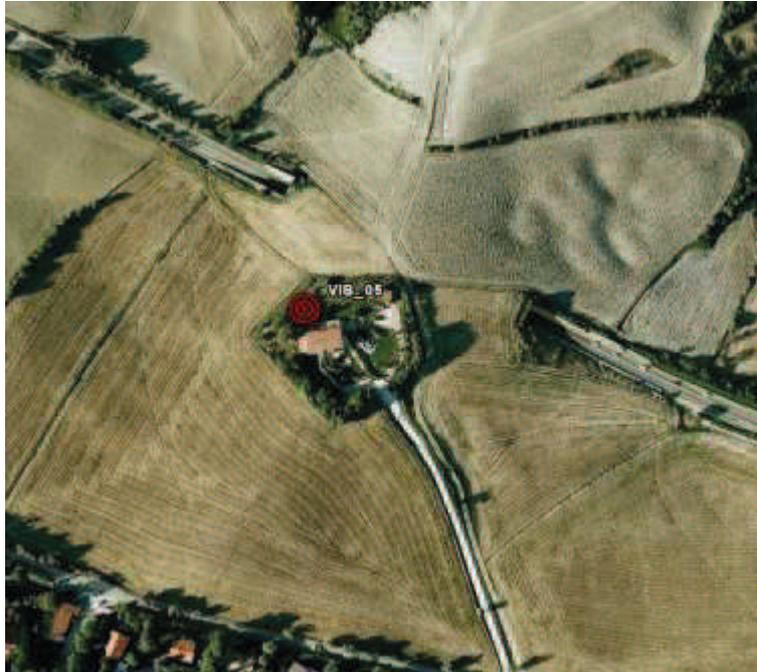
**Figura 9. Punto di indagine componente vibrazione (VIB\_04)**



Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

**Figura 10. Punto di indagine componente vibrazione (VIB\_05)**



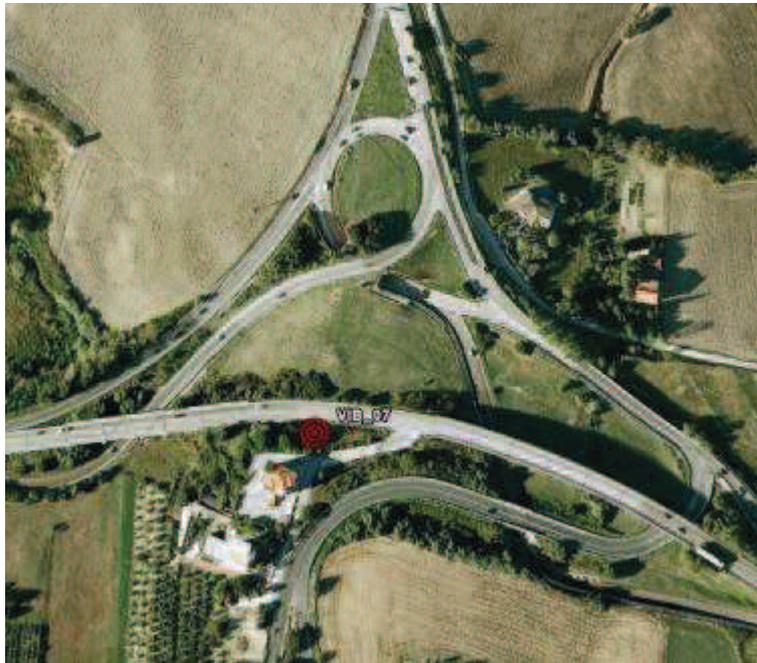
**Figura 11. Punto di indagine componente vibrazione (VIB\_06)**



Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

**Figura 12. Punto di indagine componente vibrazione (VIB\_07)**



**Figura 13. Punto di indagine componente vibrazione (VIB\_08)**



### **2.1.12 Attività di misura**

#### **Sopralluogo**

Le attività di sopralluogo sono state svolte al fine di:

- verificare la fattibilità delle misure,
- acquisire i permessi necessari all'esecuzione dei rilievi,
- pianificare le attività di misura.

#### **Scelta del periodo di misura**

Poiché l'impatto da vibrazioni si verifica soltanto in concomitanza con la presenza di sorgenti sonore, e una volta che le sorgenti sono spente può lasciare tracce sugli edifici che difficilmente sono riconducibili a posteriori all'effetto di specifiche sorgenti, per un corretto svolgimento del monitoraggio è essenziale la scelta del tempo di misura.

Le misure di vibrazioni nel caso specifico rilevano prevalentemente rumore da traffico veicolare, per cui queste saranno svolte nei giorni da lunedì a venerdì, in cui è più intenso il traffico pesante e quello dovuto a spostamenti per lavoro.

#### **Posizionamento della strumentazione**

Una volta determinato il punto di monitoraggio ed il periodo di misura, l'operatore si è recato nel luogo individuato nel corso dei sopralluoghi per l'installazione della postazione di rilevamento. Prima di raggiungere il ricettore sono stati avvisati telefonicamente i proprietari (o gli occupanti) dell'edificio, in modo da ottenerne il consenso e l'eventuale appoggio logistico.

In base alla durata prevista per la misura, è stato adeguatamente dimensionato il sistema di alimentazione dello strumento, ricorrendo a batterie esterne di lunga durata e, se necessario, è stato previsto un allacciamento alla rete elettrica. Analogamente, in base ai parametri da acquisire, alla frequenza di memorizzazione e alla durata del rilievo, è stato opportuno calcolare il tempo necessario a riempire la memoria dello strumento. I calcoli suddetti hanno consentito di pianificare eventuali interventi di sostituzione delle batterie e scarico della memoria, evitando indesiderate interruzioni della misura.

Prima di iniziare la misura, si è provveduto alla calibrazione dello strumento. Utilizzando una macchina fotografica digitale, è stata raccolta documentazione fotografica sulla postazione allestita, avendo cura di inquadrare sia lo strumento sia il ricettore esaminato.

La documentazione sul posizionamento della strumentazione è stata particolarmente dettagliata, poiché il risultato dei rilievi può variare considerevolmente da un ambiente all'altro dell'edificio; di conseguenza, è stata posta particolare attenzione a questo aspetto affinché nelle eventuali fasi

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

successive si sia potuto verificare che si siano ricreate le stesse condizioni di misura delle fasi precedenti, in modo da poter eseguire un confronto significativo.

**Errori comuni da evitare**

I trasduttori non devono essere fissati vicino o in corrispondenza di punti singolari come fessure di grossa entità, di punti di infiltrazione d'acqua o di porte di ventilazione.

Un inconveniente tipico che si può verificare nelle misure di vibrazione è il disturbo elettrico alla frequenza di 50 Hz, che è facilmente rilevabile nell'analisi in frequenza ma ha una intensità tale da mascherare completamente sia fenomeni rilevati a certe bande che i livelli di accelerazione globale. Questo disturbo può essere dovuto ai seguenti fenomeni:

- "Ground loop": può verificarsi quando l'accelerometro e lo strumento di acquisizione dati, collegati da un cavo schermato, sono messi a terra separatamente. Per evitare questo fenomeno è opportuno interrompere il ciclo isolando elettricamente la base dell'accelerometro, ad esempio fissandolo su apposita cera.
- Rumore elettrico indotto dal movimento del cavo di collegamento. Può essere evitato usando un cavo appesantito o fissando accuratamente il cavo al terreno con nastro adesivo.
- Rumore elettromagnetico indotto dal funzionamento di macchinari in prossimità della strumentazione. Generalmente questo inconveniente viene risolto utilizzando cavi a doppia schermatura.

Un altro aspetto cui fare attenzione sono le vibrazioni provenienti dall'interno degli edifici:

- elettrodomestici in funzione o che possono attivarsi durante il periodo di misura;
- movimenti di persone o cose nel locale di misura o nei locali adiacenti.

I fenomeni suddetti possono essere limitati specificando ai fruitori dell'edificio in esame quali siano i comportamenti da evitare per non invalidare la misura. Inoltre, nel caso di misure non sorvegliate, è opportuno attivare la registrazione audio al superamento di determinate soglie.

**2.1.13 Restituzione dei dati**

Nel corso del monitoraggio sono state rese disponibili le seguenti informazioni:

Le indagini preliminari, i sopralluoghi, l'installazione delle postazioni e tutti i rilievi in campo sono stati eseguiti prima dell'inizio delle attività di cantiere.

Per ogni postazione è stata fatta una campagna di misura secondo la metodica prevista; al termine del monitoraggio è stato completamente configurato il sistema di conoscenze sullo stato iniziale dell'ambiente.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

### **Scheda di misura**

Per ogni rilievo eseguito nell'ambito del monitoraggio ambientale è stata redatta una scheda di misura, composta da:

- una pagina di intestazione, in cui sono riportate le informazioni di inquadramento generale;
- una pagina contenente i dati di riepilogo della misura e degli eventi rilevati;
- una pagina di time history di accelerazione per i 3 assi;
- una pagina di time history di velocità per i 3 assi;
- una pagina di grafici globali per ogni asse, contenente la time history dell'accelerazione ponderata e gli spettri di accelerazione media e massima;
- una pagina di dettaglio per ogni evento rilevato, in cui sono riportate, per l'asse interessato dal superamento, la time history dell'accelerazione ponderata e gli spettri di accelerazione media e massima.

Negli spettri elaborati è stata sovrapposta, inoltre, la curva indicata dalle norme ISO 2631 per la soglia di sensibilità umana tra 1-80 Hz e quella caratteristica degli ambienti di lavoro. Ciò è stato utile per ottenere indicazioni sul possibile disturbo al riposo e alle attività dell'uomo.

Il formato della scheda di misura è riportato in allegato.

Tuttavia, al fine di verificare la compatibilità dei livelli vibrazionali indotti dalle attività di cantiere con i limiti di normativa per il danneggiamento sugli edifici, è stato anche valutato lo spettro di vibrazione ai ricettori in termini di velocità di vibrazione (ISO 4866 o DIN 4150).

Allo scopo di consentire il riconoscimento ed il riallestimento dei punti di misura nelle diverse fasi del monitoraggio, sono state effettuate riprese fotografiche durante la realizzazione delle misurazioni, le quali hanno consentito una più immediata individuazione e localizzazione delle postazioni di rilevamento.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

### 3. Risultati dei rilievi

#### 3.1. Rilievi giornalieri vibrazionali

##### VIB 01

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	weighted Wm		weighted Wm		weighted Wm	
	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB
11.40	2.79E-04	48.9	2.64E-04	48.4	6.30E-04	56.0
12.40	2.83E-04	49.0	2.65E-04	48.5	7.10E-04	57.0
13.40	3.01E-04	49.6	2.83E-04	49.0	5.96E-04	55.5
14.40	3.09E-04	49.8	2.83E-04	49.0	6.10E-04	55.7
15.40	3.25E-04	50.2	2.84E-04	49.1	6.00E-04	55.6
16.40	2.81E-04	49.0	2.48E-04	47.9	5.36E-04	54.6
17.40	3.03E-04	49.6	2.87E-04	49.2	5.50E-04	54.8
18.40	2.94E-04	49.4	2.77E-04	48.8	5.60E-04	55.0
19.40	2.60E-04	48.3	2.47E-04	47.9	5.40E-04	54.6
20.40	2.39E-04	47.6	2.30E-04	47.2	5.27E-04	54.4
21.40	2.31E-04	47.3	2.22E-04	46.9	4.95E-04	53.9
22.40	2.40E-04	47.6	2.50E-04	48.0	5.70E-04	55.1
23.40	2.29E-04	47.2	2.37E-04	47.5	5.55E-04	54.9
0.40	2.24E-04	47.0	2.30E-04	47.2	5.31E-04	54.5
1.40	2.21E-04	46.9	2.19E-04	46.8	5.22E-04	54.4
2.40	2.15E-04	46.6	2.13E-04	46.6	5.12E-04	54.2
3.40	2.16E-04	46.7	2.15E-04	46.6	5.38E-04	54.6
4.40	2.18E-04	46.8	2.17E-04	46.7	5.52E-04	54.8
5.40	2.28E-04	47.2	2.24E-04	47.0	5.50E-04	54.8
6.40	2.57E-04	48.2	2.49E-04	47.9	5.40E-04	54.6
7.40	3.30E-04	50.4	2.90E-04	49.2	5.50E-04	54.8
8.40	3.37E-04	50.6	2.86E-04	49.1	5.90E-04	55.4
9.40	3.32E-04	50.4	2.90E-04	49.2	7.40E-04	57.4
10.40	5.60E-04	55.0	5.10E-04	54.2	1.11E-03	60.9

**Tabella 6 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 01**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 02**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	weighted Wm		weighted Wm		weighted Wm	
	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB
11.35	3,63E-04	51,2	3,31E-04	50,4	8,22E-04	58,3
12.35	4,47E-04	53,0	4,79E-04	53,6	8,51E-04	58,6
13.35	3,94E-04	51,9	3,51E-04	50,9	8,61E-04	58,7
14.35	4,12E-04	52,3	3,63E-04	51,2	8,91E-04	59,0
15.35	3,94E-04	51,9	3,43E-04	50,7	8,51E-04	58,6
16.35	3,94E-04	51,9	3,47E-04	50,8	8,41E-04	58,5
17.35	3,72E-04	51,4	3,35E-04	50,5	8,61E-04	58,7
18.35	3,76E-04	51,5	3,39E-04	50,6	8,51E-04	58,6
19.35	3,55E-04	51,0	3,20E-04	50,1	8,22E-04	58,3
20.35	3,51E-04	50,9	3,13E-04	49,9	7,76E-04	57,8
21.35	3,43E-04	50,7	3,13E-04	49,9	8,41E-04	58,5
22.35	3,51E-04	50,9	3,20E-04	50,1	8,71E-04	58,8
23.35	3,39E-04	50,6	3,05E-04	49,7	8,41E-04	58,5
0.35	3,47E-04	50,8	3,20E-04	50,1	8,61E-04	58,7
1.35	3,27E-04	50,3	3,05E-04	49,7	8,41E-04	58,5
2.35	3,59E-04	51,1	3,20E-04	50,1	8,81E-04	58,9
3.35	3,39E-04	50,6	3,09E-04	49,8	8,81E-04	58,9
4.35	3,63E-04	51,2	3,27E-04	50,3	9,02E-04	59,1
5.35	3,35E-04	50,5	3,02E-04	49,6	7,59E-04	57,6
6.35	3,76E-04	51,5	3,43E-04	50,7	7,67E-04	57,7
7.35	3,80E-04	51,6	3,55E-04	51,0	8,04E-04	58,1
8.35	3,85E-04	51,7	3,43E-04	50,7	8,22E-04	58,3
9.35	3,89E-04	51,8	3,55E-04	51,0	8,41E-04	58,5
10.35	3,89E-04	51,8	3,55E-04	51,0	8,41E-04	58,5

**Tabella 7 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 02**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 03**

	ASSE X weighted Wm		ASSE Y weighted Wm		ASSE Z weighted Wm	
	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB
11.35	3,05E-04	49,7	2,57E-04	48,2	6,24E-04	55,9
12.35	3,20E-04	50,1	2,75E-04	48,8	6,31E-04	56,0
13.35	3,43E-04	50,7	2,95E-04	49,4	6,68E-04	56,5
14.35	3,43E-04	50,7	3,27E-04	50,3	6,31E-04	56,0
15.35	3,05E-04	49,7	2,85E-04	49,1	5,62E-04	55,0
16.35	2,82E-04	49,0	2,51E-04	48,0	5,75E-04	55,2
17.35	2,57E-04	48,2	2,11E-04	46,5	5,25E-04	54,4
18.35	2,54E-04	48,1	2,09E-04	46,4	5,25E-04	54,4
19.35	2,43E-04	47,7	2,02E-04	46,1	5,07E-04	54,1
20.35	2,34E-04	47,4	1,91E-04	45,6	4,73E-04	53,5
21.35	2,29E-04	47,2	1,82E-04	45,2	4,90E-04	53,8
22.35	2,29E-04	47,2	1,76E-04	44,9	5,89E-04	55,4
23.35	2,24E-04	47,0	1,74E-04	44,8	5,19E-04	54,3
0.35	2,32E-04	47,3	1,78E-04	45,0	5,25E-04	54,4
1.35	2,24E-04	47,0	1,76E-04	44,9	5,25E-04	54,4
2.35	2,29E-04	47,2	1,76E-04	44,9	5,25E-04	54,4
3.35	2,21E-04	46,9	1,72E-04	44,7	5,37E-04	54,6
4.35	2,19E-04	46,8	1,72E-04	44,7	5,31E-04	54,5
5.35	2,45E-04	47,8	1,86E-04	45,4	5,89E-04	55,4
6.35	3,05E-04	49,7	2,37E-04	47,5	6,92E-04	56,8
7.35	3,20E-04	50,1	2,54E-04	48,1	6,76E-04	56,6
8.35	3,24E-04	50,2	2,51E-04	48,0	7,16E-04	57,1
9.35	3,51E-04	50,9	2,79E-04	48,9	7,24E-04	57,2
10.35	3,35E-04	50,5	2,85E-04	49,1	6,76E-04	56,6

**Tabella 8 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 03**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 04**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	weighted Wm		weighted Wm		weighted Wm	
	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB
13.56	2.92E-03	69.3	2.32E-03	67.3	3.94E-03	71.9
14.56	3.35E-03	70.5	2.60E-03	68.3	3.98E-03	72.0
15.56	1.38E-03	62.8	1.06E-03	60.5	1.80E-03	65.1
16.56	7.41E-04	57.4	5.50E-04	54.8	8.81E-04	58.9
17.56	3.31E-04	50.4	2.07E-04	46.3	4.32E-04	52.7
18.56	2.45E-04	47.8	1.93E-04	45.7	2.72E-04	48.7
19.56	2.85E-04	49.1	2.19E-04	46.8	3.80E-04	51.6
20.56	3.35E-04	50.5	2.40E-04	47.6	3.51E-04	50.9
21.56	3.98E-04	52.0	2.79E-04	48.9	4.07E-04	52.2
22.56	2.63E-04	48.4	2.14E-04	46.6	2.69E-04	48.6
23.56	4.95E-04	53.9	3.85E-04	51.7	6.03E-04	55.6
0.56	2.34E-04	47.4	2.19E-04	46.8	2.51E-04	48.0
1.56	1.84E-04	45.3	1.64E-04	44.3	2.37E-04	47.5
2.56	1.82E-04	45.2	1.68E-04	44.5	2.07E-04	46.3
3.56	2.16E-04	46.7	1.64E-04	44.3	2.37E-04	47.5
4.56	1.84E-04	45.3	1.62E-04	44.2	2.40E-04	47.6
5.56	2.79E-04	48.9	2.04E-04	46.2	3.47E-04	50.8
6.56	2.82E-04	49.0	2.29E-04	47.2	3.31E-04	50.4
7.56	5.01E-04	54.0	4.62E-04	53.3	6.46E-04	56.2
8.56	1.30E-03	62.3	1.29E-03	62.2	1.88E-03	65.5
9.56	1.58E-03	64.0	1.46E-03	63.3	3.20E-03	70.1
10.56	1.17E-02	81.4	1.35E-02	82.6	1.07E-02	80.6
11.56	1.08E-03	60.7	8.71E-04	58.8	1.58E-03	64.0
12.56	1.88E-03	65.5	1.38E-03	62.8	2.99E-03	69.5

**Tabella 9 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 04**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 05**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	weighted Wm		weighted Wm		weighted Wm	
	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB
10.56	1.75E-04	44.9	6.94E-04	56.8	7.24E-04	57.2
11.56	1.22E-04	41.7	1.18E-04	41.4	1.27E-04	42.1
12.56	1.21E-04	41.7	1.18E-04	41.5	1.32E-04	42.4
13.56	1.22E-04	41.7	1.18E-04	41.4	1.37E-04	42.8
14.56	1.22E-04	41.8	1.18E-04	41.4	1.29E-04	42.2
15.56	1.22E-04	41.7	1.18E-04	41.4	1.30E-04	42.3
16.56	1.22E-04	41.7	1.17E-04	41.4	1.24E-04	41.9
17.56	1.20E-04	41.6	1.17E-04	41.3	1.23E-04	41.8
18.56	1.20E-04	41.6	1.18E-04	41.4	1.23E-04	41.8
19.56	1.22E-04	41.7	1.17E-04	41.3	1.20E-04	41.6
20.56	1.21E-04	41.7	1.18E-04	41.4	1.19E-04	41.5
21.56	1.20E-04	41.6	1.17E-04	41.4	1.19E-04	41.5
22.56	1.22E-04	41.7	1.17E-04	41.4	1.17E-04	41.4
23.56	1.21E-04	41.7	1.17E-04	41.4	1.17E-04	41.4
0.56	1.27E-04	42.1	1.18E-04	41.4	1.17E-04	41.4
1.56	1.26E-04	42.0	1.18E-04	41.5	1.18E-04	41.5
2.56	1.21E-04	41.7	1.17E-04	41.4	1.18E-04	41.4
3.56	1.21E-04	41.7	1.18E-04	41.4	1.17E-04	41.4
4.56	1.22E-04	41.7	1.18E-04	41.4	1.20E-04	41.6
5.56	1.23E-04	41.8	1.20E-04	41.6	1.26E-04	42.0
6.56	1.23E-04	41.8	1.19E-04	41.5	1.27E-04	42.0
7.56	1.23E-04	41.8	1.19E-04	41.5	1.27E-04	42.1
8.56	1.25E-04	41.9	1.19E-04	41.5	1.28E-04	42.1
9.56	1.23E-04	41.8	1.22E-04	41.7	1.29E-04	42.2

**Tabella 10 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 05**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 06**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	weighted Wm		weighted Wm		weighted Wm	
	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB
11.12	4,62E-03	73,3	1,78E-02	85,0	1,17E-02	81,4
12.12	2,48E-04	47,9	4,90E-04	53,8	6,46E-04	56,2
13.12	2,92E-04	49,3	6,17E-04	55,8	7,16E-04	57,1
14.12	2,45E-04	47,8	4,79E-04	53,6	5,50E-04	54,8
15.12	2,43E-04	47,7	4,62E-04	53,3	5,31E-04	54,5
16.12	2,66E-04	48,5	4,84E-04	53,7	7,59E-04	57,6
17.12	2,75E-04	48,8	5,96E-04	55,5	6,53E-04	56,3
18.12	2,79E-04	48,9	5,89E-04	55,4	5,37E-04	54,6
19.12	2,75E-04	48,8	5,19E-04	54,3	8,91E-04	59,0
20.12	2,82E-04	49,0	4,52E-04	53,1	1,26E-03	62,0
21.12	2,57E-04	48,2	4,17E-04	52,4	1,20E-03	61,6
22.12	2,57E-04	48,2	3,89E-04	51,8	1,17E-03	61,4
23.12	2,45E-04	47,8	3,67E-04	51,3	1,08E-03	60,7
0.12	2,34E-04	47,4	3,47E-04	50,8	1,02E-03	60,2
1.12	2,32E-04	47,3	3,43E-04	50,7	9,33E-04	59,4
2.12	2,21E-04	46,9	3,16E-04	50,0	7,94E-04	58,0
3.12	2,21E-04	46,9	3,16E-04	50,0	6,92E-04	56,8
4.12	2,19E-04	46,8	3,16E-04	50,0	6,76E-04	56,6
5.12	2,32E-04	47,3	3,67E-04	51,3	7,24E-04	57,2
6.12	2,54E-04	48,1	4,42E-04	52,9	7,24E-04	57,2
7.12	2,63E-04	48,4	5,01E-04	54,0	7,67E-04	57,7
8.12	3,31E-04	50,4	7,59E-04	57,6	1,00E-03	60,0
9.12	2,75E-04	48,8	6,31E-04	56,0	7,50E-04	57,5
10.12	2,82E-04	49,0	5,96E-04	55,5	8,41E-04	58,5

**Tabella 11 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 06**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 07**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	limite		weighted Wm		weighted Wm	
	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB
11.19	4.38E-04	52.8	3.66E-04	51.3	9.70E-04	59.7
12.19	4.35E-04	52.8	3.83E-04	51.7	1.04E-03	60.3
13.19	4.40E-04	52.9	3.89E-04	51.8	9.70E-04	59.7
14.19	3.91E-04	51.8	3.40E-04	50.6	8.49E-04	58.6
15.19	3.78E-04	51.5	6.60E-04	56.4	1.03E-03	60.3
16.19	3.94E-04	51.9	3.53E-04	51.0	8.73E-04	58.8
17.19	3.94E-04	51.9	3.56E-04	51.0	8.75E-04	58.8
18.19	3.82E-04	51.6	3.62E-04	51.2	8.96E-04	59.0
19.19	3.82E-04	51.6	3.56E-04	51.0	9.23E-04	59.3
20.19	3.77E-04	51.5	3.52E-04	50.9	9.36E-04	59.4
21.19	6.00E-04	55.6	7.00E-04	56.9	1.10E-03	60.8
22.19	3.66E-04	51.3	3.44E-04	50.7	9.97E-04	60.0
23.19	3.71E-04	51.4	3.46E-04	50.8	1.02E-03	60.1
0.19	3.71E-04	51.4	3.46E-04	50.8	1.03E-03	60.2
1.19	3.75E-04	51.5	3.49E-04	50.9	1.05E-03	60.4
2.19	3.73E-04	51.4	3.47E-04	50.8	1.05E-03	60.4
3.19	3.75E-04	51.5	3.51E-04	50.9	1.05E-03	60.4
4.19	3.76E-04	51.5	3.49E-04	50.9	1.06E-03	60.5
5.19	3.82E-04	51.6	3.49E-04	50.9	1.04E-03	60.3
6.19	4.00E-04	52.0	3.72E-04	51.4	1.05E-03	60.4
7.19	4.05E-04	52.1	3.70E-04	51.4	1.03E-03	60.3
8.19	4.16E-04	52.4	3.80E-04	51.6	9.70E-04	59.7
9.19	3.94E-04	51.9	3.63E-04	51.2	1.12E-03	61.0
10.19	3.92E-04	51.9	3.64E-04	51.2	9.40E-04	59.5

**Tabella 12 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 07**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 08**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	weighted Wm		weighted Wm		weighted Wm	
	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB	mm/s <sup>2</sup>	dB
11.47	3.30E-04	50.4	3.50E-04	50.9	8.00E-04	58.1
12.47	2.92E-04	49.3	4.07E-04	52.2	7.70E-04	57.7
13.47	3.33E-04	50.4	4.00E-04	52.0	8.70E-04	58.8
14.47	3.46E-04	50.8	3.92E-04	51.9	1.00E-03	60.0
15.47	3.23E-04	50.2	4.03E-04	52.1	9.00E-04	59.1
16.47	2.80E-04	48.9	3.60E-04	51.1	8.00E-04	58.1
17.47	3.70E-04	51.4	4.50E-04	53.1	9.00E-04	59.1
18.47	3.01E-04	49.6	4.06E-04	52.2	8.90E-04	59.0
19.47	2.52E-04	48.0	2.83E-04	49.0	7.80E-04	57.8
20.47	2.19E-04	46.8	2.25E-04	47.0	6.40E-04	56.1
21.47	2.22E-04	46.9	2.18E-04	46.8	6.29E-04	56.0
22.47	2.21E-04	46.9	2.17E-04	46.7	6.50E-04	56.3
23.47	2.20E-04	46.8	2.20E-04	46.8	6.70E-04	56.5
0.47	2.20E-04	46.8	2.13E-04	46.6	6.77E-04	56.6
1.47	2.30E-04	47.2	2.20E-04	46.8	7.10E-04	57.0
2.47	2.29E-04	47.2	2.19E-04	46.8	7.27E-04	57.2
3.47	2.30E-04	47.2	2.17E-04	46.7	7.40E-04	57.4
4.47	2.36E-04	47.5	2.25E-04	47.0	7.60E-04	57.6
5.47	2.47E-04	47.9	2.52E-04	48.0	8.30E-04	58.4
6.47	2.62E-04	48.4	2.77E-04	48.8	8.90E-04	59.0
7.47	3.10E-04	49.8	3.80E-04	51.6	9.90E-04	59.9
8.47	3.03E-04	49.6	3.82E-04	51.6	1.04E-03	60.3
9.47	2.96E-04	49.4	3.94E-04	51.9	9.60E-04	59.6
10.47	2.80E-04	48.9	3.60E-04	51.1	8.50E-04	58.6

**Tabella 13 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 08**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

### 3.2. Ricalcolo dei livelli di esposizione

Data l'impossibilità di accedere direttamente alle strutture analizzate, le misure sono state fatte in prossimità degli edifici monitorati, tale scelta ha comportato il bisogno di ricalcolare i livelli misurati tramite le formule di propagazione delle onde e tramite alcune formule empiriche presenti in letteratura per poter ricavare i valori di esposizione alle vibrazioni all'interno delle abitazioni.

Una analisi dei dati disponibili in bibliografia mostra che:

- Le misure di Ishii e Tachibana mostrano una attenuazione interpiano che varia progressivamente da 3 dB ai piani bassi sino a 1 dB negli ultimi piani di di un edificio a 10 piani con struttura in CLS armato e acciaio.
- Le misure effettuate dalla Ferrovie Svizzere hanno mostrato che mediamente i livelli di accelerazione misurati sui pavimenti sono superiori di circa 5 dB rispetto a quelli misurati sul terreno.
- Attenuazione interpiano: si assume prudenzialmente una riduzione di 1 dB per ogni piano al di sopra del piano terra.

Si procede quindi ad effettuare il ricalcolo dei valori misurati al livello del terreno aggiungendo cautelativamente un valore di 5 dB al livello misurato nelle vicinanze della struttura.

#### VIB 01 rivalutato all'interno della struttura

	ASSE X weighted Wm dB	ASSE Y weighted Wm dB	ASSE Z weighted Wm dB
11.40	53.9	53.4	61
12.40	54	53.5	62
13.40	54.6	54	60.5
14.40	54.8	54	60.7
15.40	55.2	54.1	60.6
16.40	54	52.9	59.6
17.40	54.6	54.2	59.8
18.40	54.4	53.8	60
19.40	53.3	52.9	59.6
20.40	52.6	52.2	59.4
21.40	52.3	51.9	58.9
22.40	52.6	53	60.1
23.40	52.2	52.5	59.9
0.40	52	52.2	59.5
1.40	51.9	51.8	59.4
2.40	51.6	51.6	59.2
3.40	51.7	51.6	59.6
4.40	51.8	51.7	59.8
5.40	52.2	52	59.8
6.40	53.2	52.9	59.6
7.40	55.4	54.2	59.8
8.40	55.6	54.1	60.4
9.40	55.4	54.2	62.4
10.40	60	59.2	65.9

**Tabella 14 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 01**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 02 rivalutato all'interno della struttura**

	<b>ASSE X</b>	<b>ASSE Y</b>	<b>ASSE Z</b>
	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
11.35	56.2	55.4	63.3
12.35	58.0	58.6	63.6
13.35	56.9	55.9	63.7
14.35	57.3	56.2	64.0
15.35	56.9	55.7	63.6
16.35	56.9	55.8	63.5
17.35	56.4	55.5	63.7
18.35	56.5	55.6	63.6
19.35	56.0	55.1	63.3
20.35	55.9	54.9	62.8
21.35	55.7	54.9	63.5
22.35	55.9	55.1	63.8
23.35	55.6	54.7	63.5
0.35	55.8	55.1	63.7
1.35	55.3	54.7	63.5
2.35	56.1	55.1	63.9
3.35	55.6	54.8	63.9
4.35	56.2	55.3	64.1
5.35	55.5	54.6	62.6
6.35	56.5	55.7	62.7
7.35	56.6	56.0	63.1
8.35	56.7	55.7	63.3
9.35	56.8	56.0	63.5
10.35	56.8	56.0	63.5

**Tabella 15 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 02**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

**VIB 03 rivalutato all'interno della struttura**

	<b>ASSE X</b>	<b>ASSE Y</b>	<b>ASSE Z</b>
	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
11.35	54.7	53.2	60.9
12.35	55.1	53.8	61.0
13.35	55.7	54.4	61.5
14.35	55.7	55.3	61.0
15.35	54.7	54.1	60.0
16.35	54.0	53.0	60.2
17.35	53.2	51.5	59.4
18.35	53.1	51.4	59.4
19.35	52.7	51.1	59.1
20.35	52.4	50.6	58.5
21.35	52.2	50.2	58.8
22.35	52.2	49.9	60.4
23.35	52.0	49.8	59.3
0.35	52.3	50.0	59.4
1.35	52.0	49.9	59.4
2.35	52.2	49.9	59.4
3.35	51.9	49.7	59.6
4.35	51.8	49.7	59.5
5.35	52.8	50.4	60.4
6.35	54.7	52.5	61.8
7.35	55.1	53.1	61.6
8.35	55.2	53.0	62.1
9.35	55.9	53.9	62.2
10.35	55.5	54.1	61.6

**Tabella 16 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 03**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 04 rivalutato all'interno della struttura**

	<b>ASSE X</b>	<b>ASSE Y</b>	<b>ASSE Z</b>
	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
13.56	74.3	72.3	76.9
14.56	75.5	73.3	77.0
15.56	67.8	65.5	70.1
16.56	62.4	59.8	63.9
17.56	55.4	51.3	57.7
18.56	52.8	50.7	53.7
19.56	54.1	51.8	56.6
20.56	55.5	52.6	55.9
21.56	57.0	53.9	57.2
22.56	53.4	51.6	53.6
23.56	58.9	56.7	60.6
0.56	52.4	51.8	53.0
1.56	50.3	49.3	52.5
2.56	50.2	49.5	51.3
3.56	51.7	49.3	52.5
4.56	50.3	49.2	52.6
5.56	53.9	51.2	55.8
6.56	54.0	52.2	55.4
7.56	59.0	58.3	61.2
8.56	67.3	67.2	70.5
9.56	69.0	68.3	75.1
10.56	86.4	87.6	85.6
11.56	65.7	63.8	69.0
12.56	70.5	67.8	74.5

**Tabella 17 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 04**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 05 rivalutato all'interno della struttura**

	<b>ASSE X</b>	<b>ASSE Y</b>	<b>ASSE Z</b>
	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
10.56	49.9	61.8	62.2
11.56	46.7	46.4	47.1
12.56	46.7	46.5	47.4
13.56	46.7	46.4	47.8
14.56	46.8	46.4	47.2
15.56	46.7	46.4	47.3
16.56	46.7	46.4	46.9
17.56	46.6	46.3	46.8
18.56	46.6	46.4	46.8
19.56	46.7	46.3	46.6
20.56	46.7	46.4	46.5
21.56	46.6	46.4	46.5
22.56	46.7	46.4	46.4
23.56	46.7	46.4	46.4
0.56	47.1	46.4	46.4
1.56	47.0	46.5	46.5
2.56	46.7	46.4	46.4
3.56	46.7	46.4	46.4
4.56	46.7	46.4	46.6
5.56	46.8	46.6	47.0
6.56	46.8	46.5	47.0
7.56	46.8	46.5	47.1
8.56	46.9	46.5	47.1
9.56	46.8	46.7	47.2

**Tabella 18 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 05**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 06 rivalutato all'interno della struttura**

	<b>ASSE X</b>	<b>ASSE Y</b>	<b>ASSE Z</b>
	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
11.12	78.3	90.0	86.4
12.12	52.9	58.8	61.2
13.12	54.3	60.8	62.1
14.12	52.8	58.6	59.8
15.12	52.7	58.3	59.5
16.12	53.5	58.7	62.6
17.12	53.8	60.5	61.3
18.12	53.9	60.4	59.6
19.12	53.8	59.3	64.0
20.12	54.0	58.1	67.0
21.12	53.2	57.4	66.6
22.12	53.2	56.8	66.4
23.12	52.8	56.3	65.7
0.12	52.4	55.8	65.2
1.12	52.3	55.7	64.4
2.12	51.9	55.0	63.0
3.12	51.9	55.0	61.8
4.12	51.8	55.0	61.6
5.12	52.3	56.3	62.2
6.12	53.1	57.9	62.2
7.12	53.4	59.0	62.7
8.12	55.4	62.6	65.0
9.12	53.8	61.0	62.5
10.12	54.0	60.5	63.5

**Tabella 19 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 06**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 07 rivalutato all'interno della struttura**

	<b>ASSE X</b>	<b>ASSE Y</b>	<b>ASSE Z</b>
	<b>limite</b>	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
11.19	57.8	56.3	64.7
12.19	57.8	56.7	65.3
13.19	57.9	56.8	64.7
14.19	56.8	55.6	63.6
15.19	56.5	61.4	65.3
16.19	56.9	56.0	63.8
17.19	56.9	56.0	63.8
18.19	56.6	56.2	64.0
19.19	56.6	56.0	64.3
20.19	56.5	55.9	64.4
21.19	60.6	61.9	65.8
22.19	56.3	55.7	65.0
23.19	56.4	55.8	65.1
0.19	56.4	55.8	65.2
1.19	56.5	55.9	65.4
2.19	56.4	55.8	65.4
3.19	56.5	55.9	65.4
4.19	56.5	55.9	65.5
5.19	56.6	55.9	65.3
6.19	57.0	56.4	65.4
7.19	57.1	56.4	65.3
8.19	57.4	56.6	64.7
9.19	56.9	56.2	66.0
10.19	56.9	56.2	64.5

**Tabella 20 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 07**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 08 rivalutato all'interno della struttura**

	<b>ASSE X</b>	<b>ASSE Y</b>	<b>ASSE Z</b>
	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>	<b>weighted Wm</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
11.47	55.4	55.9	63.1
12.47	54.3	57.2	62.7
13.47	55.4	57.0	63.8
14.47	55.8	56.9	65.0
15.47	55.2	57.1	64.1
16.47	53.9	56.1	63.1
17.47	56.4	58.1	64.1
18.47	54.6	57.2	64.0
19.47	53.0	54.0	62.8
20.47	51.8	52.0	61.1
21.47	51.9	51.8	61.0
22.47	51.9	51.7	61.3
23.47	51.8	51.8	61.5
0.47	51.8	51.6	61.6
1.47	52.2	51.8	62.0
2.47	52.2	51.8	62.2
3.47	52.2	51.7	62.4
4.47	52.5	52.0	62.6
5.47	52.9	53.0	63.4
6.47	53.4	53.8	64.0
7.47	54.8	56.6	64.9
8.47	54.6	56.6	65.3
9.47	54.4	56.9	64.6
10.47	53.9	56.1	63.6

**Tabella 21 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 08**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

Componente Vibrazione – *Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

### 3.1.1 Confronto con i limiti

#### Misure giornaliere di vibrazione

Si procede quindi ad effettuare il confronto con i limiti normativi ricordando che, come indicato nel paragrafo precedente a seguito delle considerazioni sul ricalcolo delle misure effettuate in prossimità degli edifici è stato sommato per ciascuna componente un valore cautelativo di 5 dB al livello misurato nelle vicinanze della struttura.

#### VIB 01 – rivalutato all'interno della struttura

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	limite	weighted Wm	limite	weighted Wm	limite	weighted Wm
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
11.40	77	53.9	77	53.4	80	61
12.40	77	54	77	53.5	80	62
13.40	77	54.6	77	54	80	60.5
14.40	77	54.8	77	54	80	60.7
15.40	77	55.2	77	54.1	80	60.6
16.40	77	54	77	52.9	80	59.6
17.40	77	54.6	77	54.2	80	59.8
18.40	77	54.4	77	53.8	80	60
19.40	77	53.3	77	52.9	80	59.6
20.40	77	52.6	77	52.2	80	59.4
21.40	77	52.3	77	51.9	80	58.9
22.40	77	52.6	77	53	80	60.1
23.40	77	52.2	77	52.5	80	59.9
0.40	77	52	77	52.2	80	59.5
1.40	77	51.9	77	51.8	80	59.4
2.40	77	51.6	77	51.6	80	59.2
3.40	77	51.7	77	51.6	80	59.6
4.40	77	51.8	77	51.7	80	59.8
5.40	77	52.2	77	52	80	59.8
6.40	77	53.2	77	52.9	80	59.6
7.40	77	55.4	77	54.2	80	59.8
8.40	77	55.6	77	54.1	80	60.4
9.40	77	55.4	77	54.2	80	62.4
10.40	77	60	77	59.2	80	65.9

**Tabella 22 - Livelli di vibrazione giornalieri rivalutati presso la postazione VIB 01**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 02 - rivalutato all'interno della struttura**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	limite dB	weighted Wm dB	limite dB	weighted Wm dB	limite dB	weighted Wm dB
11.35	77	56.2	77	55.4	80	63.3
12.35	77	58	77	58.6	80	63.6
13.35	77	56.9	77	55.9	80	63.7
14.35	77	57.3	77	56.2	80	64
15.35	77	56.9	77	55.7	80	63.6
16.35	77	56.9	77	55.8	80	63.5
17.35	77	56.4	77	55.5	80	63.7
18.35	77	56.5	77	55.6	80	63.6
19.35	77	56	77	55.1	80	63.3
20.35	77	55.9	77	54.9	80	62.8
21.35	77	55.7	77	54.9	80	63.5
22.35	77	55.9	77	55.1	80	63.8
23.35	77	55.6	77	54.7	80	63.5
0.35	77	55.8	77	55.1	80	63.7
1.35	77	55.3	77	54.7	80	63.5
2.35	77	56.1	77	55.1	80	63.9
3.35	77	55.6	77	54.8	80	63.9
4.35	77	56.2	77	55.3	80	64.1
5.35	77	55.5	77	54.6	80	62.6
6.35	77	56.5	77	55.7	80	62.7
7.35	77	56.6	77	56	80	63.1
8.35	77	56.7	77	55.7	80	63.3
9.35	77	56.8	77	56	80	63.5
10.35	77	56.8	77	56	80	63.5

**Tabella 23 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 02**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 03 - rivalutato all'interno della struttura**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	limite	weighted Wm	limite	weighted Wm	limite	weighted Wm
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
11.35	77	54.7	77	53.2	80	60.9
12.35	77	55.1	77	53.8	80	61
13.35	77	55.7	77	54.4	80	61.5
14.35	77	55.7	77	55.3	80	61
15.35	77	54.7	77	54.1	80	60
16.35	77	54	77	53	80	60.2
17.35	77	53.2	77	51.5	80	59.4
18.35	77	53.1	77	51.4	80	59.4
19.35	77	52.7	77	51.1	80	59.1
20.35	77	52.4	77	50.6	80	58.5
21.35	77	52.2	77	50.2	80	58.8
22.35	77	52.2	77	49.9	80	60.4
23.35	77	52	77	49.8	80	59.3
0.35	77	52.3	77	50	80	59.4
1.35	77	52	77	49.9	80	59.4
2.35	77	52.2	77	49.9	80	59.4
3.35	77	51.9	77	49.7	80	59.6
4.35	77	51.8	77	49.7	80	59.5
5.35	77	52.8	77	50.4	80	60.4
6.35	77	54.7	77	52.5	80	61.8
7.35	77	55.1	77	53.1	80	61.6
8.35	77	55.2	77	53	80	62.1
9.35	77	55.9	77	53.9	80	62.2
10.35	77	55.5	77	54.1	80	61.6

**Tabella 24 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 03**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 04 - rivalutato all'interno della struttura**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	limite	weighted Wm	limite	weighted Wm	limite	weighted Wm
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
13.56	77	74.3	77	72.3	80	76.9
14.56	77	75.5	77	73.3	80	77
15.56	77	67.8	77	65.5	80	70.1
16.56	77	62.4	77	59.8	80	63.9
17.56	77	55.4	77	51.3	80	57.7
18.56	77	52.8	77	50.7	80	53.7
19.56	77	54.1	77	51.8	80	56.6
20.56	77	55.5	77	52.6	80	55.9
21.56	77	57	77	53.9	80	57.2
22.56	77	53.4	77	51.6	80	53.6
23.56	77	58.9	77	56.7	80	60.6
0.56	77	52.4	77	51.8	80	53
1.56	77	50.3	77	49.3	80	52.5
2.56	77	50.2	77	49.5	80	51.3
3.56	77	51.7	77	49.3	80	52.5
4.56	77	50.3	77	49.2	80	52.6
5.56	77	53.9	77	51.2	80	55.8
6.56	77	54	77	52.2	80	55.4
7.56	77	59	77	58.3	80	61.2
8.56	77	67.3	77	67.2	80	70.5
9.56	77	69	77	68.3	80	75.1
10.56	77	86.4	77	87.6	80	85.6
11.56	77	65.7	77	63.8	80	69
12.56	77	70.5	77	67.8	80	74.5

**Tabella 25 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 04**

Le misure effettuate in postazione VIB 04 hanno riscontrato il rispetto dei limiti imposti dalla normativa. È stato riscontrato un unico superamento nella fascia oraria fra le 10.00 e le 11.00.

Tale livello può essere imputato ad un evento straordinario non imputabile alle vibrazioni prodotte dal passaggio delle vetture sulla statale SS16, dato che il valore riscontrato nel resto della giornata non ha evidenziato nessuna criticità che potesse portare ad un superamento dei limiti.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 05 - rivalutato all'interno della struttura**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	limite dB	weighted Wm dB	limite dB	weighted Wm dB	limite dB	weighted Wm dB
10.56	77	49.9	77	61.8	80	62.2
11.56	77	46.7	77	46.4	80	47.1
12.56	77	46.7	77	46.5	80	47.4
13.56	77	46.7	77	46.4	80	47.8
14.56	77	46.8	77	46.4	80	47.2
15.56	77	46.7	77	46.4	80	47.3
16.56	77	46.7	77	46.4	80	46.9
17.56	77	46.6	77	46.3	80	46.8
18.56	77	46.6	77	46.4	80	46.8
19.56	77	46.7	77	46.3	80	46.6
20.56	77	46.7	77	46.4	80	46.5
21.56	77	46.6	77	46.4	80	46.5
22.56	77	46.7	77	46.4	80	46.4
23.56	77	46.7	77	46.4	80	46.4
0.56	77	47.1	77	46.4	80	46.4
1.56	77	47	77	46.5	80	46.5
2.56	77	46.7	77	46.4	80	46.4
3.56	77	46.7	77	46.4	80	46.4
4.56	77	46.7	77	46.4	80	46.6
5.56	77	46.8	77	46.6	80	47
6.56	77	46.8	77	46.5	80	47
7.56	77	46.8	77	46.5	80	47.1
8.56	77	46.9	77	46.5	80	47.1
9.56	77	46.8	77	46.7	80	47.2

**Tabella 26 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 05**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 06 rivalutato all'interno della struttura**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	lineare	weighted Wm	lineare	weighted Wm	lineare	weighted Wm
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
11.12	77	78.3	77	90	80	86.4
12.12	77	52.9	77	58.8	80	61.2
13.12	77	54.3	77	60.8	80	62.1
14.12	77	52.8	77	58.6	80	59.8
15.12	77	52.7	77	58.3	80	59.5
16.12	77	53.5	77	58.7	80	62.6
17.12	77	53.8	77	60.5	80	61.3
18.12	77	53.9	77	60.4	80	59.6
19.12	77	53.8	77	59.3	80	64
20.12	77	54	77	58.1	80	67
21.12	77	53.2	77	57.4	80	66.6
22.12	77	53.2	77	56.8	80	66.4
23.12	77	52.8	77	56.3	80	65.7
0.12	77	52.4	77	55.8	80	65.2
1.12	77	52.3	77	55.7	80	64.4
2.12	77	51.9	77	55	80	63
3.12	77	51.9	77	55	80	61.8
4.12	77	51.8	77	55	80	61.6
5.12	77	52.3	77	56.3	80	62.2
6.12	77	53.1	77	57.9	80	62.2
7.12	77	53.4	77	59	80	62.7
8.12	77	55.4	77	62.6	80	65
9.12	77	53.8	77	61	80	62.5
10.12	77	54	77	60.5	80	63.5

**Tabella 27 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 06**

Le misure effettuate in postazione VIB 06 hanno riscontrato un pieno rispetto dei limiti imposti dalla normativa. È stato riscontrato un unico superamento nella fascia oraria fra le 11.00 e le 12.00.

Tale livello può essere imputato ad un evento straordinario non imputabile alle vibrazioni prodotte dal passaggio delle vetture sulla statale SS16, dato che il valore riscontrato nel resto della giornata non ha evidenziato nessuna criticità che potesse portare ad un superamento dei limiti.

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 07 rivalutato all'interno della struttura**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	limite dB	limite dB	limite dB	weighted Wm dB	limite dB	weighted Wm dB
11.19	77	57.8	77	56.3	80	64.7
12.19	77	57.8	77	56.7	80	65.3
13.19	77	57.9	77	56.8	80	64.7
14.19	77	56.8	77	55.6	80	63.6
15.19	77	56.5	77	61.4	80	65.3
16.19	77	56.9	77	56	80	63.8
17.19	77	56.9	77	56	80	63.8
18.19	77	56.6	77	56.2	80	64
19.19	77	56.6	77	56	80	64.3
20.19	77	56.5	77	55.9	80	64.4
21.19	77	60.6	77	61.9	80	65.8
22.19	77	56.3	77	55.7	80	65
23.19	77	56.4	77	55.8	80	65.1
0.19	77	56.4	77	55.8	80	65.2
1.19	77	56.5	77	55.9	80	65.4
2.19	77	56.4	77	55.8	80	65.4
3.19	77	56.5	77	55.9	80	65.4
4.19	77	56.5	77	55.9	80	65.5
5.19	77	56.6	77	55.9	80	65.3
6.19	77	57	77	56.4	80	65.4
7.19	77	57.1	77	56.4	80	65.3
8.19	77	57.4	77	56.6	80	64.7
9.19	77	56.9	77	56.2	80	66
10.19	77	56.9	77	56.2	80	64.5

**Tabella 28 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 07**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - Indagini Ambientali

Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio

**VIB 08 rivalutato all'interno della struttura**

	ASSE X		ASSE Y		ASSE Z	
	limite	weighted Wm	limite	weighted Wm	limite	weighted Wm
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
11.47	77	55.4	77	55.9	80	63.1
12.47	77	54.3	77	57.2	80	62.7
13.47	77	55.4	77	57	80	63.8
14.47	77	55.8	77	56.9	80	65
15.47	77	55.2	77	57.1	80	64.1
16.47	77	53.9	77	56.1	80	63.1
17.47	77	56.4	77	58.1	80	64.1
18.47	77	54.6	77	57.2	80	64
19.47	77	53	77	54	80	62.8
20.47	77	51.8	77	52	80	61.1
21.47	77	51.9	77	51.8	80	61
22.47	77	51.9	77	51.7	80	61.3
23.47	77	51.8	77	51.8	80	61.5
0.47	77	51.8	77	51.6	80	61.6
1.47	77	52.2	77	51.8	80	62
2.47	77	52.2	77	51.8	80	62.2
3.47	77	52.2	77	51.7	80	62.4
4.47	77	52.5	77	52	80	62.6
5.47	77	52.9	77	53	80	63.4
6.47	77	53.4	77	53.8	80	64
7.47	77	54.8	77	56.6	80	64.9
8.47	77	54.6	77	56.6	80	65.3
9.47	77	54.4	77	56.9	80	64.6
10.47	77	53.9	77	56.1	80	63.6

**Tabella 29 - Livelli di vibrazione giornalieri presso la postazione VIB 08**

Progetto Definitivo per Appalto Integrato - *Indagini Ambientali*

*Componente Vibrazione – Relazione illustrativa risultanze monitoraggio*

#### **4. CONCLUSIONI**

Le postazioni di misura sono state scelte in modo da permettere il rilievo della componente vibratoria potenzialmente immessa dal transito dei veicoli sulla statale SS16.

Al fronte dell'impossibilità di accedere all'interno delle abitazioni si è proceduto fissando lo strumento nelle immediate vicinanze delle strutture o in parti ad esse solidali e limitrofe sempre cercando (ove possibile) di porsi alla stessa distanza della casa dall'infrastruttura o addirittura in posizione più prossima (situazione più cautelativa).

Tali posizioni, infatti risultano:

- facilmente accessibili in qualunque momento anche nelle fasi successive alla realizzazioni dell'opera (non dipendendo dalla disponibilità all'accesso dei residenti);
- cautelativamente più prossime all'infrastruttura;
- riconducibili, grazie a modelli matematici, alla posizione dell'edificio (con variazioni attese limitate e con un valore calcolato e non più misurato).

In questi casi in cui lo strumento è stato posizionato all'esterno degli edifici si è proceduto con il ricalcolo dell'esposizione andando ad utilizzare la legge di propagazione delle vibrazioni con la distanza e dei coefficienti correttivi per simulare l'attenuazione o l'amplificazione relativa alle strutture abitative monitorate, in modo da poter ricavare l'esposizione alle vibrazioni all'interno degli edifici da monitorare.

Si è proceduto quindi ad effettuare il ricalcolo dei valori misurati al livello del terreno aggiungendo cautelativamente un valore di 5 dB al livello misurato nelle vicinanze della struttura.

Dai risultati ottenuti dopo il ricalcolo dei valori si può concludere che si è riscontrato un pieno rispetto dei limiti imposti dalla normativa. È stato notato un unico superamento nella postazione VIB 04 nella fascia oraria fra le 10.00 e le 11.00 e nella postazione VIB 06 nella fascia oraria compresa fra le 11.00 e le 12.00.

Tali livelli possono essere imputati ad un evento straordinario non imputabile alle vibrazioni prodotte dal passaggio delle vetture sulla statale SS16, dato che i valori riscontrati nel resto della giornata non hanno evidenziato nessuna criticità che potesse portare ad un superamento dei limiti