

LAVORI DI COLLEGAMENTO TRA LA S.S.11 A MAGENTA E LA TANGENZIALE OVEST DI MILANO

VARIANTE DI ABBIATEGRASSO E ADEGUAMENTO IN SEDE DEL TRATTO ABBIATEGRASSO-VIGEVANO FINO AL PONTE SUL FIUME TICINO

1° STRALCIO DA MAGENTA A VIGEVANO - TRATTA C

PROGETTO ESECUTIVO

 Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4863 W)	 Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-28211	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	 Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	 Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102
	 Società designata: GA&M Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	 Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	 Via Impresatore, Trabiano (V) - 70126 Bari Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970	DOTT. GEOL. DANILLO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO



Dott. Ing. Giuseppe Danilo MALGERI

INTEGRATORE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE



Ing. Valerio BAJETTI

GEOLOGO



Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE



Ing. Gianluca CICIRIELLO

EB04

E - MITIGAZIONE AMBIENTALE

EB - PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE

PROGETTO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE - RELAZIONE ILLUSTRATIVA STUDIO VIBRAZIONI

CODICE PROGETTO PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. LO203      E      1801		NOME FILE EB04-T02IA00AMBRE02_A.dwg		REVISIONE A	SCALA: -----
CODICE ELAB.      T02IA00AMBRE02					
C					
B					
A	EMISSIONE A SEGUITO DI RAPPORTO INTERMEDIO DI VERIFICA ITCF-C186001-07-ATF-RA-00001	FEBBRAIO 2019	ING. VALERIO BAJETTI	ING. GAETANO RANIERI	ING. VALERIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE E CRITERI METODOLOGICI GENERALI .....	2
1.1	Iter metodologico .....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
3	VALORI DI RIFERIMENTO .....	5
3.1	Valori di riferimento della Normativa Internazionale ISO 2631 .....	6
3.2	Valori di riferimento della Normativa Italiana UNI 9614:1990 .....	6
3.3	Normativa UNI 9916:2014 .....	9
3.4	ISO/TS 10811-2:2000 - Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni .....	10
4	CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO.....	11
5	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO .....	12
6	CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA .....	12
7	CAMPAGNA DI MONITORAGGIO.....	13
8	SINTESI DEI RISULTATI .....	14
8.1	Verifica dei possibili impatti del progetto in fase di esercizio .....	14
8.2	Impatti in fase di cantiere .....	16

## 1 INTRODUZIONE E CRITERI METODOLOGICI GENERALI

Il presente studio vibrazionale è stato redatto in ottemperanza alle seguenti prescrizioni CIPE contenute nella Delibera 28.02.2018, riportate in sintesi nei seguenti punti:

### Prescrizione 1.2.9.2

- ❖ *Si dovrà ulteriormente approfondire l'individuazione modellistica dei campi di vibrazione risultanti post operam sugli edifici più esposti, mirando anche in questo caso ad una minimizzazione degli effetti compatibilmente al bilancio costi benefici ed allo stato dell'arte delle tecniche. (Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare)*

### Prescrizione 1.2.9.13

- ❖ *Si richiede di redigere uno studio previsionale per la componente vibrazioni al fine di individuare e censire, in primo luogo, le situazioni potenzialmente critiche sulla base della sensibilità e distanza dei recettori dai tratti della infrastruttura dai quali, per le tipologie e caratteristiche specifiche, si possono maggiormente originare fenomeni vibratorii potenzialmente in grado di essere avvertiti dagli occupanti gli edifici o tali da interferire con attività e lavorazioni sensibili. Queste valutazioni devono essere supportate da dati quantitativi, modellistici e di misure secondo il caso, delle distanze a partire dalle quali i livelli di vibrazioni possono essere ritenuti trascurabili. (Regione Lombardia)*

### Prescrizione 1.2.9.15

- ❖ *Per le situazioni potenzialmente critiche dal punto di vista dell'impatto da vibrazioni, che fossero state eventualmente rilevate, dovranno essere effettuate opportune misure post operam dei livelli di vibrazione finalizzate ad accertare la compatibilità di tali livelli relativamente al disturbo agli occupanti gli edifici e l'interferenza con attività sensibili.*

La costruzione e l'esercizio di un'infrastruttura di trasporto è fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante. In fase di esercizio, le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi al transito dei mezzi (in questo caso autovetture e mezzi commerciali), mentre in fase di cantiere alla tipologia di attività previste (scavi, trivellazione pali, stendimento strati di rilevato, etc).

Nel primo caso, essendo univocamente determinata la sorgente, conoscendone la localizzazione, la posizione rispetto ai potenziali ricettori, attraverso la definizione delle caratteristiche dinamiche della stessa risulta agevole produrre delle previsioni di impatto. Nel secondo caso, intervenendo molteplici sorgenti, differenti tra loro sia per tipologia che per ambito spaziale e temporale, l'attività previsionale è più complessa.

In generale si può comunque affermare che l'entità dei livelli generati e quindi l'area di influenza potenziale è dipendente dalla tipologia della sorgente (strada piuttosto che ferrovia per la fase di esercizio, attività di cantiere in fase di costruzione) e dalle caratteristiche del mezzo in cui si propagano le onde e cioè dalle caratteristiche idrogeologiche dei terreni.

Le vibrazioni sono in grado di determinare effetti indesiderati sulla popolazione esposta, sugli edifici e su alcune particolari attività produttive.

Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. L'annoyance deriva dalla combinazione di effetti che coinvolgono la percezione uditiva e la percezione tattile delle vibrazioni. Gli effetti sulle persone sono estesi all'intero corpo e possono essere ricondotti genericamente ad un aumento dello stress, con conseguente attivazione di ripetute reazioni di orientamento e di adattamento, e con eventuale insorgenza o aggravamento di malattie ipertensive.

La continua tendenza in alcuni settori dell'industria e della ricerca a perfezionare e rendere più precise le strumentazioni ha determinato il consolidarsi di situazioni di elevata sensibilità alle vibrazioni. Il funzionamento di microscopi ottici ed elettronici può ad esempio essere disturbato da livelli di vibrazioni inferiori alla soglia di percezione umana.

Le vibrazioni possono in alcune situazioni (presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati/prolungati livelli di sollecitazione dinamica) causare danni agli edifici. Tali situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance.

Per la valutazione delle soglie di accettabilità relative a tali effetti sono state approntate diverse normative tecniche nazionali e internazionali (UNI - ISO - DIN), le quali, pur non avendo validità di legge, forniscono delle precise indicazioni.

Gli effetti delle vibrazioni sono strettamente legati alla tipologia dell'onda vibratoria e al mezzo di trasmissione.

## 1.1 ITER METODOLOGICO

L'iter metodologico seguito può essere schematizzato secondo le fasi di lavoro di seguito riportate: Individuazione dei valori di riferimento. Ai fini di una più immediata comprensione è stato dapprima effettuato un breve *escursus descrittivo* della normativa tecnica vigente e delle sue indicazioni più cogenti.

Caratterizzazione ante operam. In questa fase dello studio è verificato il territorio allo stato attuale (situazione ante operam) con lo scopo di individuare la sensibilità sia del sistema antropico che di quello fisico.

Rilevamento delle vibrazioni. In assenza dell'infrastruttura di progetto, le indagini sperimentali sulle vibrazioni sono state, nello specifico, finalizzate a:

- valutare l'entità dell'attuale livello vibrazionale presente in prossimità della SS494 esistente a diverse distanze dal ciglio stradale anche al fine di caratterizzare la trasmissione del fenomeno nel terreno
- individuare l'entità dei livelli vibrazionali attribuibili al singolo transito veicolare alle diverse distanze dal ciglio stradale
- valutare la propagazione delle onde vibrazionali nel terreno.

Individuazione delle eventuali criticità. In questa parte dello studio sulla base dei risultati delle indagini sperimentali sono state quindi individuate le aree dove si potrebbe verificare un superamento dei valori di riferimento.

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'inquinamento da vibrazioni viene regolamentato da normative tecniche sulle disturbo sull'uomo e sugli effetti sugli edifici dal momento che non esiste tutt'oggi una legislazione specifica in merito a livello nazionale

Tali norme sono relative alle grandezze ed ai parametri che devono essere misurati, ai sistemi di rilevazione e alle caratteristiche della strumentazione impiegata.

Il livello di vibrazioni sull'uomo vengono trattati in particolare dalla norma UNI 9614 in accordo con la ISO 2631. Gli standard di protezione sull'uomo previsti dalle predette normative garantiscono ampiamente rispetto alla possibile insorgenza di danni agli edifici e, pertanto, l'azione sugli edifici deve essere valutata nel caso di beni monumentali o storici per i quali possono essere assunti limiti più restrittivi. Le normative a cui fare riferimento per la valutazione dei danni strutturali sono la UNI 9916 e la ISO 4866 i cui contenuti tecnici sono in sostanziale accordo. Vengono di seguito elencati i principali riferimenti adottati:

- ANSI S1.1-1986 (ASA 65-1986), Specifications for Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and Digital Filters, ASA, New York, 1993;
- ISO 2631, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997;

- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989;
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 3: Evaluation of exposure to whole-body vibration in the frequency range 0.1 to 0.63 Hz, 1985;
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, 1990;
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, Amendment 1, Predicting natural frequencies and damping of buildings;
- ISO 4865, Metodi di analisi e presentazione dei dati;
- ISO 5347, Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni;
- ISO 5348, Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983;
- UNI 9916, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, 1990;
- UNI 9614, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, 1990;
- UNI 9670, Risposta degli individui alle vibrazioni apparecchiatura di misura.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.

La grandezza primaria per la misura delle vibrazioni ai ricettori è il valore RMS (Root-Mean-Square) dell'accelerazione:

$$a = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T [a(t)]^2 dt \right]^{0.5}$$

Il livello di accelerazione viene espresso in dB come:

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

dove  $a_0$  è il valore dell'accelerazione di riferimento, pari a  $10^{-6} \text{ m/s}^2$  (normativa ISO1683).

Gli spettri di vibrazione, nel campo di frequenze da 1 a 80 Hz, vengono rappresentati per terzi di ottava, con i valori centrali di ottava indicati nella seguente tabella.

Numero di banda di frequenza	Frequenza centrale [Hz]	Numero di banda di frequenza	Frequenza centrale [Hz]
0	1	10	10
1	1.25	11	12.5
2	1.6	12	16
3	2	13	20
4	2.5	14	25
5	3.15	15	31.5
6	4	16	40
7	5	17	50
8	6.3	18	63
9	8	19	80

TABELLA 1 - RAPPRESENTAZIONE DEL CAMPO DI FREQUENZE DI INTERESSE PER TERZI DI OTTAVA

Nella definizione della direzione del moto di vibrazione si intende con longitudinale la direzione parallela all'asse dei binari, trasversale la direzione perpendicolare all'asse dei binari, verticale la direzione perpendicolare al piano orizzontale come evidenziato in figura.

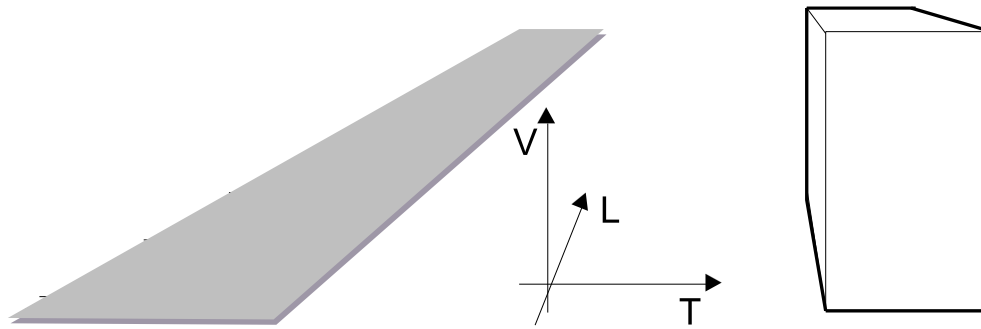


FIGURA 1 - ORIENTAMENTO DELLE COMPONENTI DI VIBRAZIONE. L = LONGITUDINALE, T = TRASVERSALE, V = VERTICALE, RISPETTO ALL'INFRASTRUTTURA

### 3 VALORI DI RIFERIMENTO

Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. L'annoyance deriva dalla combinazione di effetti che coinvolgono la percezione uditiva e la percezione tattile delle vibrazioni. Gli effetti sulle persone sono estesi all'intero corpo e possono essere ricondotti genericamente ad un aumento dello stress, con conseguente attivazione di ripetute reazioni di orientamento e di adattamento, e con eventuale insorgenza o aggravamento di malattie ipertensive.

Le vibrazioni possono in alcune situazioni, od in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati/prolungati livelli di sollecitazione dinamica, causare danni agli edifici. Tali situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance.

Per la valutazione delle soglie di accettabilità relative a tali effetti sono state approntate diverse normative tecniche nazionali e internazionali (UNI - ISO - DIN), le quali, pur non avendo validità di legge, forniscono delle precise indicazioni.

Al fine di valutare l'impatto vibrazionale all'interno degli edifici in termini di disturbo indotto sulle persone, la norma internazionale di riferimento è la ISO 2631, recepita in modo parziale dalla normativa italiana UNI 9614.

Si noti che i livelli massimi di vibrazione imposti per la limitazione del disturbo sulla persona sono generalmente più restrittivi di quelli relativi al danneggiamento degli edifici (normativa ISO 4866 e UNI 9916). Quindi, si può ragionevolmente assumere che, nel caso la vibrazione non superi in maniera sostanziale i limiti fissati per il disturbo sugli individui, non si abbiano effetti seppur minimi di danneggiamento sugli edifici. Inoltre, livelli vibrazionali tali da causare danneggiamento degli edifici sono tali da causare una riduzione di comfort vibrazionale e acustico (da rumore solido) inaccettabile e non caratteristico del fenomeno esaminato (vibrazioni da traffico stradale).

Per valutare l'effetto della vibrazione sul comfort, le componenti di moto lungo le tre direzioni vengono "sommate" (composte) in corrispondenza del ricettore, quando come nel caso in esame nessuna di queste è predominante sulle altre. Il valore totale dell'accelerazione  $\hat{a}_r$  al ricettore, funzione della frequenza, si ottiene a partire dalle tre componenti di moto longitudinale  $\hat{a}_{r,L}$ , trasversale  $\hat{a}_{r,T}$ , e verticale  $\hat{a}_{r,V}$  come:

$$\hat{a}_r = \sqrt{[\hat{a}_{r,L}]^2 + [\hat{a}_{r,T}]^2 + [\hat{a}_{r,V}]^2}$$

Il sistema di riferimento impiegato per la definizione degli effetti della persona è definito in Figura 2. Data la diversa destinazione d'uso degli edifici soggetti alla valutazione del livello vibratorio, si è adottato il criterio della posizione dell'individuo non nota o variabile.

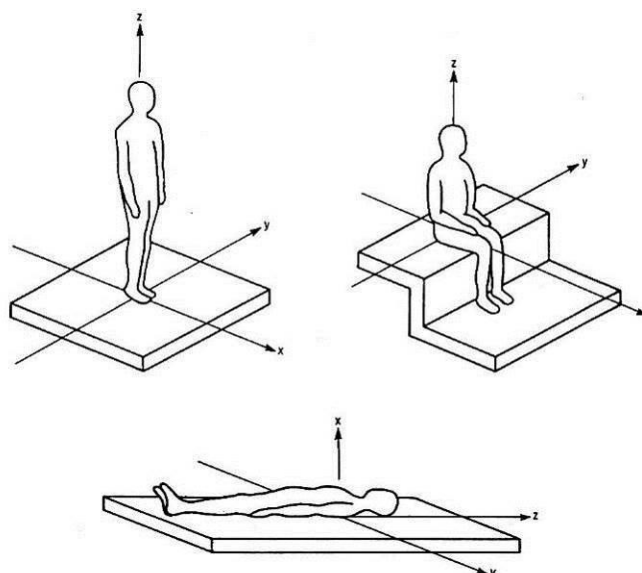


Figura 2 - Definizione degli assi di riferimento rispetto alla posizione della persona (ISO2631)

### 3.1 VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA INTERNAZIONALE ISO 2631

La Normativa ISO2631, indicando come quantità primaria per la misura dell'ampiezza di vibrazione il valore r.m.s. (root-mean-square) dell'accelerazione pesata in frequenza definito nel paragrafo 3, fissa i limiti di emissione di vibrazioni sull'individuo tramite curve base, definite nell'intervallo di frequenza da 1 a 80 Hz. Tali curve di ampiezza di vibrazione in funzione della frequenza rappresentano i limiti di non disturbo; il loro superamento implica la possibile interferenza delle vibrazioni indotte con le attività umane.

A seconda del luogo in cui si trova l'individuo, o il tipo di edificio, vengono assegnati sempre dalla normativa opportuni moltiplicatori delle curve base. Gli edifici vengono suddivisi, con un criterio di sensibilità decrescente, nelle seguenti categorie:

- aree di lavoro critiche (camere operatorie ospedaliere durante l'orario di funzionamento, laboratori di precisione);
- aree residenziali;
- uffici;
- officine.

Un'ulteriore distinzione viene fatta rispetto a vibrazioni in periodo notturno (dalle 22 alle 7) o diurno (dalle 7 alle 22). A partire dalle curve base si ottiene una serie di curve funzioni della frequenza, che rappresentano il limite di comfort riferito al livello di vibrazione in termini di accelerazione (valore r.m.s.), per diverse condizioni di luogo e ora.

Luogo	Ora	Coefficiente di moltiplicazione
Aree critiche	Giorno e notte	1
Residenziali	Giorno	Da 2 a 4
	Notte	1.4
Uffici	Giorno e notte	4
Officine e laboratori	Giorno e notte	8

TABELLA 2 - VALORE DEI MOLTIPLICATORI DELLE CURVE BASE PER DIVERSE TIPOLOGIE DESTINAZIONI DI USO DELLE AREE E PERIODO DELLA GIORNATA

### 3.2 VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA ITALIANA UNI 9614:1990

La norma UNI 9614 *Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo* individua i limiti di soglia in funzione della destinazione d'uso degli edifici. Il superamento di tali limiti può

costituire una fonte di disturbo per le persone esposte riducendone il loro benessere di vita. Vengono in particolare distinti quattro tipi di ricettori:

1. Aree critiche
2. Abitazioni
3. Uffici
4. Fabbriche

E' da evidenziare che tra le aree critiche la norma riporta le sale operatorie ospedaliere, i laboratori e i locali dove vengono svolte attività di particolare precisione. Le sopracitate aree sono comunque considerate come aree critiche solo negli intervalli di tempo in cui vengono utilizzate o svolte le attività di precisione.

I reparti ospedalieri di degenza e i locali pubblici in genere sono invece assimilati alle residenze.

I limiti sono espressi in base al livello di accelerazione in dB:

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

dove  $a$  è il valore efficace r.m.s. dell'accelerazione sul periodo  $T$  di misura, e  $a_0$  il valore di riferimento precedentemente definito.

Considerando cumulativo l'effetto di tutte le componenti di accelerazione per frequenze da 1 a 80 Hz vanno introdotti opportuni filtri di ponderazione che rendano tali componenti equivalenti dal punto di vista della percezione da parte dell'individuo (vedi figure 2 e 3).

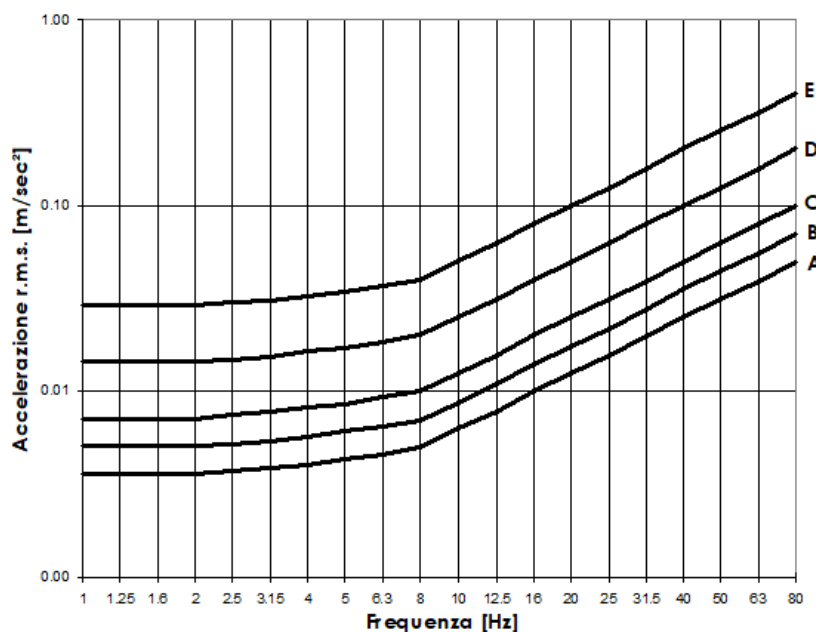


FIGURA 3 - CURVE LIMITE ISO 2631: A AREE CRITICHE, B AREE RESIDENZIALI E ORE NOTTURNE, C AREE RESIDENZIALI E ORE DIURNE, D UFFICI, E OFFICINE E LABORATORI.



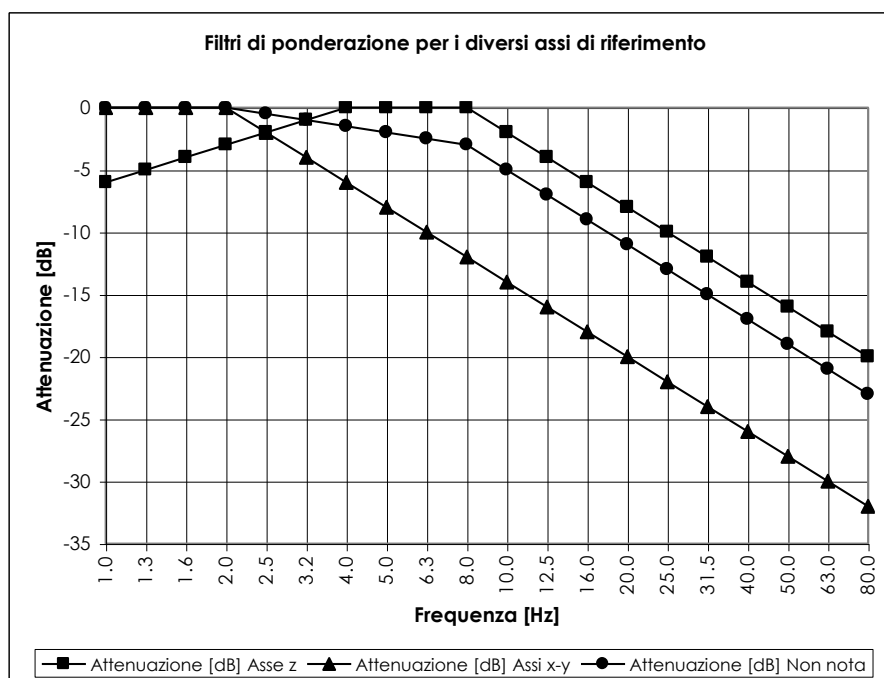


FIGURA 4 - ATTENUAZIONE DEI FILTRI DI PONDERAZIONE PER DIVERSE POSTURE DELL'INDIVIDUO (UNI 9614)

Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza  $L_w$  è fornito dalla relazione:

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

dove  $L_{i,w}$  sono i livelli di vibrazione in accelerazione calcolati per terzi di ottava, ponderati in frequenza secondo i filtri mostrati nelle figure precedenti.

Nei Prospetti II e III, la norma individua i limiti per le sorgenti di livello costante in relazione agli assi x e y o z.

Luogo	A [m/s <sup>2</sup> ]	L [dB]
Aree critiche	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
Abitazioni (notte)	7,0 10 <sup>-3</sup>	77
Abitazioni (giorno)	10,0 10 <sup>-3</sup>	80
Uffici	20,0 10 <sup>-3</sup>	86
Fabbriche	40,0 10 <sup>-3</sup>	92

TABELLA 3 - VALORI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA PER L'ASSE Z

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

TABELLA 4 - VALORI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA PER GLI ASSI X E Y

Nel caso, come quello in esame in cui, in via cautelativa, siano impiegati filtri per posture non nota, la norma prescrive che siano impiegati i valori limite relativi agli assi x e y, più restrittivi

### 3.3 **NORMATIVA UNI 9916:2014**

La recente UNI 9916 (versione gennaio 2014) riprende la norma DIN 4150. Questa fa riferimento alla “peak component particle velocity” definita nel punto 7.5 della stessa norma. In alcuni casi, alla p.c.p.v. devono essere associate una o più frequenze che sono predominanti nella registrazione. Le norme suggeriscono procedimenti atti ad individuare tali frequenze dominanti.

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

La DIN 4150 specifica che i valori di riferimento indicati riguardano solo l'effetto diretto delle vibrazioni. Non sono quindi contemplati gli effetti indiretti quali, per esempio, cedimenti provocati dalla compattazione del terreno a seguito delle vibrazioni. Tali effetti indiretti devono essere eventualmente considerati a parte.

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

Si evidenzia infine che l'esistenza di pochi o anche di un solo punto in cui si verifica superamento dei limiti, può essere sintomo di situazione suscettibile di causare danno architettonico.

La DIN 4150-3 considera tre classi di edifici:

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

e considera due tipologie di vibrazione:

- vibrazione di breve durata (il caso in esame)
- vibrazione permanente.

La DIN 4150-3 prevede la misurazione ed il controllo del livello di vibrazione sia in fondazione (per tutte e tre le componenti) che ai piani superiori con particolare riferimento al piano più elevato per quanto riguarda le componenti orizzontali della velocità. Tali misurazioni forniscono un quadro della risposta globale dell'edificio; sono inoltre necessarie misurazioni relative alla risposta dei solai ai singoli piani, che possono essere limitate alla misurazione della componente verticale della velocità, registrata al centro del solaio.

Le vibrazioni di breve durata sono quelle per cui sono da escludere problemi di fatica o amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata.

I limiti sono riportati nel prospetto seguente per quanto riguarda sia le fondazioni che le componenti orizzontali della velocità ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato.

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

CLASSE	TIPO EDIFICIO	VALORI DI RIFERIMENTO PER LA VELOCITÀ DI VIBRAZIONE P.C.P.V. [mm/s]				
		FONDAZIONI			PIANO ALTO	SOLAI COMPONENTE VERTICALE
		Da 1 a 10Hz	Da 10 a 50Hz	Da 50 a 100Hz	Tutte le frequenze	Tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalm. simili	20	Varia linearmente da 20 (f=10Hz) a 40 (f=50Hz)	Varia linearmente da 40 (f=50Hz) a 50 (f=100Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 (f=10Hz) a 15(f=50Hz)	Varia linearmente da 15 (f=50Hz) a 20 (f=100Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate ( es monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 (f=10Hz) a 8(f=50Hz)	Varia linearmente da 8 (f=50Hz) a 10 (f=100Hz)	8	3/4

Per le frequenze oltre i 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz

### 3.4 ISO/TS 10811-2:2000 - ESPOSIZIONE DELLE APPARECCHIATURE SENSIBILI ALLE VIBRAZIONI

Le norme ISO 10811-1 e ISO 10811-2 descrivono le modalità di misura, valutazione e classificazione delle vibrazioni e degli urti a carico di edifici che accolgono equipaggiamenti sensibili.

In particolare la norma ISO/TS 10811-1 definisce un metodo per la classificazione degli urti e delle vibrazioni negli edifici a partire da misure. Il sistema di classificazione delle condizioni di vibrazioni ambientali rappresenta una linea guida per i progettisti, costruttori e utilizzatori di attrezzature sensibili agli urti e alle vibrazioni, e per i costruttori di immobili.

Vengono considerati gli urti e le vibrazioni che, da solai, tavoli, pareti, soffitti o dai sistemi di smorzamento, ecc., vengono trasmessi ad una attrezzatura sensibile. Le sorgenti possono essere classificate in tre tipologie:

- Sorgenti esterne, ad esempio il traffico stradale, ferroviario o aereo, i lavori di costruzione (realizzazione pali di fondazione, demolizioni, ecc.).
- Attrezzature e macchine per uso industriale collocate all'interno degli edifici, come ad esempio presse, martelli, attrezzature rotanti, movimentazione carroponti, ecc.
- Attività umane correlate all'utilizzo delle attrezzature sensibili, come ad esempio il calpestio su pavimenti, in particolare quelli galleggianti.

Il campo di frequenze di interesse è compreso tra 2 Hz e 200 Hz, anche se normalmente le frequenze dominanti si collocano al di sotto dei 100 Hz perchè rappresentano la risposta dell'edificio alle sollecitazioni dinamiche.

I criteri di velocità vibrazionale massima ammissibile per la strumentazione di precisione sono basati sul riconoscimento dei singoli eventi disturbanti determinati dalla singola sorgente. Questo è giustificato dal fatto che è molto poco probabile che due eventi di differente origine, anche se generati nello stesso istante temporale, possano essere coerenti in fase e quindi considerati additivi.

Generalmente i manuali operativi delle case costruttrici contengono informazioni dettagliate in merito ai livelli massimi ammissibili di vibrazione.

In assenza di informazioni più dettagliate la Figura 5 e Figura 6 forniscono gli orientamenti in merito ai criteri di protezione da applicare alle apparecchiature sensibili.

Le curve VC (Vibration Criteria) sono ampiamente utilizzate nelle aziende nel campo della microelettronica e attività simili. Le curve hanno un campo di velocità costante (in termini di valore r.m.s. in terze di ottava) da 8 Hz a 100 Hz. Al di sotto di 8 Hz le curve VC forniscono un valore di velocità costante.

I numeri contenuti in tabella sono applicabili per il campo frequenza in cui la velocità è costante. In accordo con la ISO/TS 10811-1 la velocità di picco corrispondente può essere stimata per forme d'onda sinusoidali e per vibrazioni casuali. In questo ultimo caso la stima è fornita per un tempo di esposizione di 10 minuti ed è riferita a due frequenze di terze d'ottava, la prima a 8 Hz e la seconda a 100 Hz. Le classi di strumentazioni/apparecchiature sensibili associate alle curve A, B, C, D e E, ordinate per sensibilità decrescente, considerano valori di velocità di picco ammissibile fino a 50  $\mu\text{m/s}$  per microscopi ottici, bilance di precisione, bilance ottiche, ecc (curva A) e valori minimi pari a 3  $\mu\text{m/s}$  per i sistemi che richiedono una straordinaria stabilità dinamica, come ad esempio i sistemi di puntamento laser per le grandi distanze (Curva E).

#### 4 CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO

Il territorio interessato dalle opere in progetto ricade interamente nella provincia di Milano; nello specifico, è per lo più ricompreso per lo più nei territori dei comuni di Abbiategrasso e Albairate anche se sono marginalmente interessati anche i comuni di Ozzero e Vermezzo.



FIGURA 5 – INQUADRAMENTO DEL PROGETTO NEL TERRITORIO

Come evidenzia dall'inquadramento su ortofoto riportato in figura, l'area presenta una vocazione prevalentemente agricola con scarsa presenza di edificazione. I potenziali ricettori sono costituiti per lo più da residenze rurali mediamente di 2 piani di altezza che risultano poste ad una distanza minima di 60 m da ciglio dell'infrastruttura di progetto

Nel territorio di Abbiategrasso, a sud del Naviglio Grande, si evidenzia la presenza dell'area produttiva cerchiata in figura. I capannoni risultano in questo caso situati ad una distanza di circa 80 m dal ciglio della variante.

L'unica sorgente significa nell'area è costituita dalla SS494 esistente.

## 5 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

La prima parte del tracciato ha inizio in corrispondenza dello svincolo a rotatoria di interconnessione di Albairate (Svincolo n°5 - verso nord tratta A, verso est tratta B); dopo un rettilineo di circa 670 m descrive una curva e si riporta in prossimità dello scavalamento della linea Milano-Mortara dove è previsto lo svincolo sopraelevato per l'accesso alla stazione FS (svincolo n°10); l'opera d'arte è posta su un rettilineo e successivamente, con una curva avente supera il Naviglio Grande. Per quanto concerne l'altimetria, la tratta in progetto presenta quindi un primo tratto con andamento al di sopra del piano campagna con franchi variabili tra 0,80 e 2,80 m, fino alla rampa di salita verso il viadotto sulla linea RFI Milano-Mortara.

Successivamente, proseguendo verso sud ed in corrispondenza dello svincolo della zona industriale di Abbiategrasso (Mendosio), il tracciato si riporta al piano campagna con franchi variabili da 1,60 a 2,80 m.

Tra la progressiva km 2+900 e km 3+500 è previsto lo scavalamento della roggia Ticinello mentre successivamente il tracciato si riporta al piano campagna per poi risalire nuovamente in corrispondenza del ponte sul Naviglio Bereguardo tra le progressive 3+900 e 4+450, in tale tratte vengono raggiunte altezze sopra il piano campagna di circa 6 – 8 m.

Il tracciato e si porta a sud dell'abitato di Abbiategrasso, attraversando il sistema irriguo di alcune aziende agricole e rimanendo in rilevati di altezza compresa tra 1,0 e 2,4 m prima dello svincolo in corrispondenza della SS 526 (Svincolo n°12).

Dopo la rotatoria, prosegue per poi connettersi con lo svincolo a rotatoria Abbiategrasso sud (Svincolo n°13), al sedime della SS494 dove ha termine l'intervento in variante della tratta C.

In questo tratto, il corpo stradale si pone per un primo tratto di circa 1200 m, ad una quota variabile tra 1,0 – 3,0 m dal piano campagna. Successivamente, per circa 480 m, la presenza di un gradone in terra naturale, impone l'attraversamento in trincea prima dell'ultimo tratto di raccordo alla SS 494 (termine intervento in variante).

## 6 CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

L'area in esame fa parte della media pianura lombarda ed è caratterizzata dalla presenza di una successione di depositi quaternari legati all'attività fluviale e fluvio-glaciale del Fiume Ticino.

Si riportano di seguito le unità stratigrafiche distinte, a partire dalla più antica:

- Alluvioni fluvio-glaciali riferibili alla glaciazione Wurmiana, suddivise sulla base di considerazioni litologiche e geomorfologiche, in diverse fasi stadiali wurmiane. A monte della linea dei fontanili si hanno alluvioni fluvio-glaciali ghiaiose, localmente molto grossolane, con paleosuolo giallo rossiccio di ridotto spessore, talora ricoperte da limi più recenti; tali depositi sono attribuite al periodo Riss-Wurm del Pleistocene Superiore. A valle della linea dei fontanili si hanno invece alluvioni ghiaioso-ciottolose e fluviali prevalentemente sabbioso-limose con debole strato di alterazione brunastro; tali depositi sono attribuite al periodo Wurm del Pleistocene Superiore.

Dal punto di vista litologico sono costituiti da ghiaie e sabbie a supporto clastico, mal selezionate e discretamente arrotondate; la matrice è generalmente sabbiosa grossolana di colore grigio, anche se non sono rari orizzonti fini limosi. I clasti sono prevalentemente di natura granitoidale, scistosa e gneissica e privi di alterazione. L'insieme di questi materiali forma il cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura Padana" che definisce i depositi riferibili all'ultima fase di colmamento della pianura, avvenuta nel corso del Pleistocene superiore, ad opera di apparati fluviali di notevoli dimensioni. Nel complesso questi depositi costituiscono una complessa successione di lenti e orizzonti che si interdigitano reciprocamente con variazioni granulometriche più o meno nette e marcate sia in orizzontale che in verticale. Questi terreni fino a c.ca 140 metri di profondità sono stati depositi nel corso del Pleistocene superiore ad opera degli scaricatori fluvio-glaciali provenienti dai fronti di espansione dei ghiacciai e sono classificati in letteratura come "Diluvium Recente". Essi sono stati trasportati dalle acque di fusione dei ghiacciai innalzando il livello della pianura fino all'odierna morfologia, in successione ai sedimenti di origine marina costituiti da argille e argille marnose.

- Alluvioni ghiaiose recenti ed attuali (Olocene superiore) degli alvei fluviali abbandonati ed attivi. Sono costituite da ghiaie e ghiaie sabbiose con locali intercalazioni di livelli sabbioso – limosi legati a fenomeni di esondazione.

L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi geognostici effettuati ha permesso la distinzione, relativamente agli orizzonti più superficiali, di tre unità:

- Sabbia con ghiaia / ghiaia con sabbia – si tratta di terreni granulari di composizione medio grossolana generalmente privi di frazione fine limosa (presente solo localmente in tracce); rappresenta la litologia più diffusa lungo il tracciato stradale in esame.
- Sabbia limosa ghiaiosa – si tratta di terreni prevalentemente sabbiosi con una percentuale non trascurabile di limo e di ghiaia; è stato individuato presso Albairate, al termine della "Tratta A".
- Limo sabbioso / limo con sabbia – questa litozona fine è stata individuata lungo la "Tratta C" a Sud di Abbiategrasso

Per quanto concerne la falda nella tratta C oggetto del presente studio, si rileva che il livello della superficie piezometrica risulta attestarsi ad una profondità di circa 2.5 m ÷ 5.76 m dall'attuale piano campagna.

## 7 CAMPAGNA DI MONITORAGGIO

I dati rilevati sono stati finalizzati a:

1. valutare l'entità dei livelli vibrazionali indotti dai singoli transiti veicolari
2. individuare i livelli vibrazionali complessivamente indotti dall'esercizio dell'attuale SS494;
3. valutare la propagazione delle onde vibrazionali nel terreno

Al fine di rispondere alle esigenze sopra elencate è stata predisposta una apposita campagna di monitoraggio effettuata in data 11/12/2018.

Le indagini sono state eseguite in una sezione caratteristica definita in base alla presenza di una sorgente stradale esistente e alle caratteristiche ai terreni. Tale sezione è stata individuata nello specifico in corrispondenza della nuova rotatoria di svincolo della variante a sud di Abbiategrasso.



FIGURA 6 – LOCALIZZAZIONE SEZIONE DI MISURA

Nella suddetta sezione sono state individuate n. 3 postazioni di misura a distanze predeterminate dal ciglio stradale così come di seguito descritto:

- Postazione VIB01: caratterizza l'emissione dell'infrastruttura esistente che si ritiene comunque comparabile a quella della futura infrastruttura..
- Postazione VIB02: caratterizzare la funzione di trasferimento del terreno alla distanza di 15 m dalla postazione VIB01.
- Postazione VIB03: caratterizzare la funzione di trasferimento del terreno alla distanza di 30m dalla postazione VIB01.

## 8 SINTESI DEI RISULTATI

### 8.1 VERIFICA DEI POSSIBILI IMPATTI DEL PROGETTO IN FASE DI ESERCIZIO

Le indagini in ciascun punto hanno avuto una durata di 40 circa in cui sono stati registrati un numero di transiti variabile tra 66 e 83 costituiti in prevalenza da veicoli leggeri che risultano numericamente preponderanti sull'arteria in esame.

Da evidenziare che le misure riguardano un tratto di infrastruttura a raso e quindi i livelli misurati risultano normalmente cautelativi in quanto non tengono conto dell'abbattimento esercitato dal corpo stradale in stradale o in trincea, come pure dell'abbattimento generato all'interfaccia delle fondazioni.

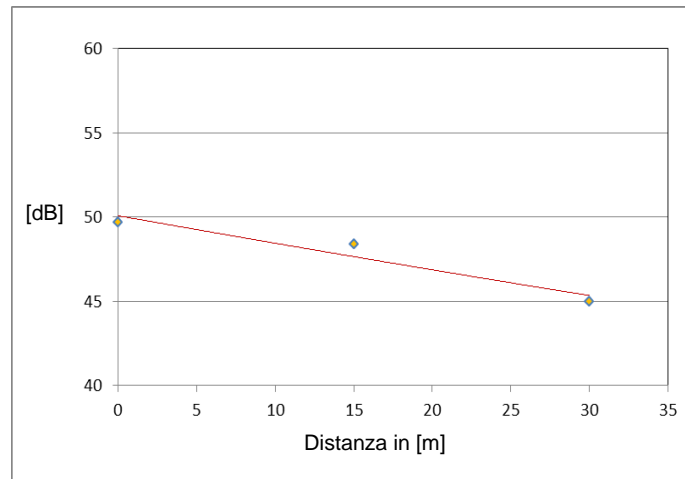
Nella seguente tabella si riportano i livelli dell'accelerazione in dB complessivamente misurati nelle n. 3 postazioni. Detti valori, che rappresentano la media energetica degli eventi vibrazionali costituiti dai singoli transiti nell'intervallo di misura, risultano di gran lunga inferiori ai limiti previsti dalla più restrittiva Norma UNI 9614 anche per le Aree Critiche (71 dB).

VIB01 ciglio	VIB02 a 15 m dal ciglio	VIB03 a 30 m dal ciglio
49,7 dB	48,4 dB	45,0 dB

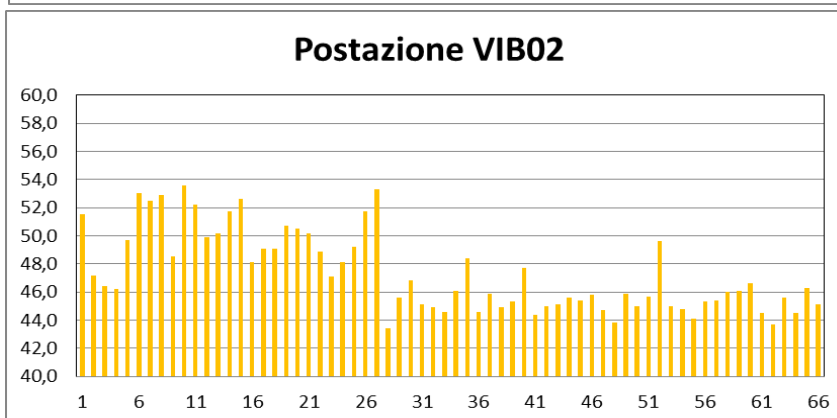
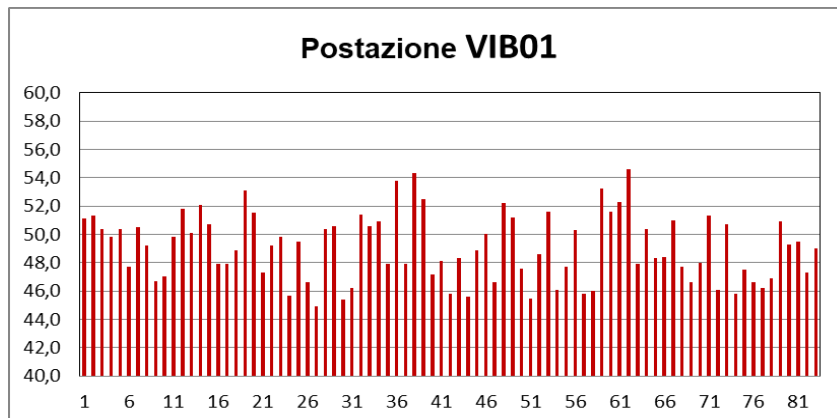
Di seguito si riporta la funzione di trasferimento nel terreno calcolata sulla base dei dati sperimentali riportati in tabella. L'andamento della curva evidenzia l'abbattimento dei livelli con la

distanza dalla sorgente, confermando l'assenza un qualsivoglia rischio di impatto dovuto all'esercizio della nuova infrastruttura per la popolazione residente.

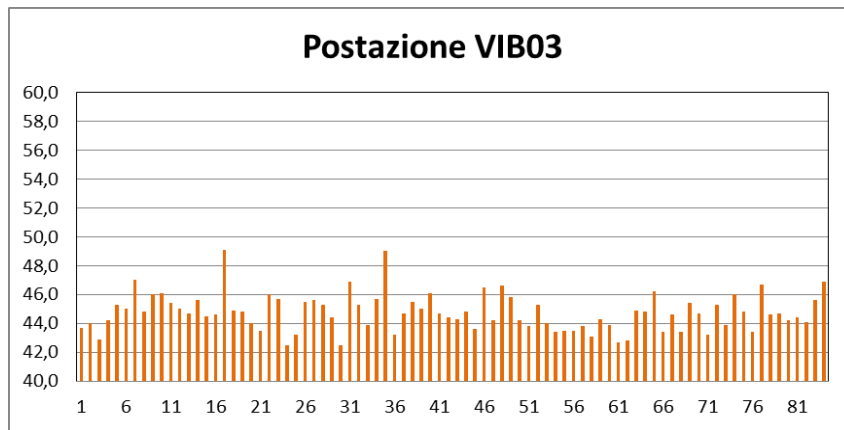
**CURVA DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO**



Considerate le richieste di massima salvaguardia desunte dalla lettura delle prescrizioni, il fenomeno vibrazionale è stato analizzato nella condizione di gran lunga più gravosa non più solo costituita dalla media nel periodo bensì dal singolo evento generato dai singoli transiti veicolari. Nei seguenti diagrammi si riportano nelle n. 3 postazioni i livelli misurati per ogni singolo transito veicolare.







Dall'analisi dei diagrammi si rileva non solo un abbattimento della media dei livelli con l'aumentare della distanza dal ciglio ma anche una minore variabilità delle differenze dei valori misurati tra i diversi passaggi.

In ogni caso, e cioè anche in corrispondenza della postazione più svantaggiata VIB01, i livelli vibrazionali indotti dal traffico veicolare si presentano anche volendo considerare i valori dei singoli transiti, di gran lunga inferiori (54,6 dB) ai limiti previsti dalla più restrittiva Norma UNI 9614 per le Aree Critiche, confermando, anche in questo caso, l'assenza di impatto per la fase di esercizio.

## 8.2 IMPATTI IN FASE DI CANTIERE

L'attività di cantiere può determinare livelli vibrazionali anche di notevole entità nell'ambiente. Nello specifico risultano particolarmente impattanti le attività del Fronte Avanzamento Lavori.

L'individuazione dei possibili impatti sull'ambiente di un fronte avanzamento lavori deve partire da un'analisi delle attività prevedibili per la costruzione delle varie tipologie di corpo stradale.

Considerata l'assenza di gallerie nel tratto, un'attività che potrebbe generare livelli vibrazionali di una certa significatività nella realizzazione dell'infrastruttura in progetto è certamente la trivellazione dei pali di fondazione delle opere d'arte.

Da evidenziare comunque che trattasi di attività temporanea di durata limitata.

Si riportano nella seguente figura i risultati sperimentali della realizzazione di pali di fondazione in altro cantiere desunti da bibliografia.

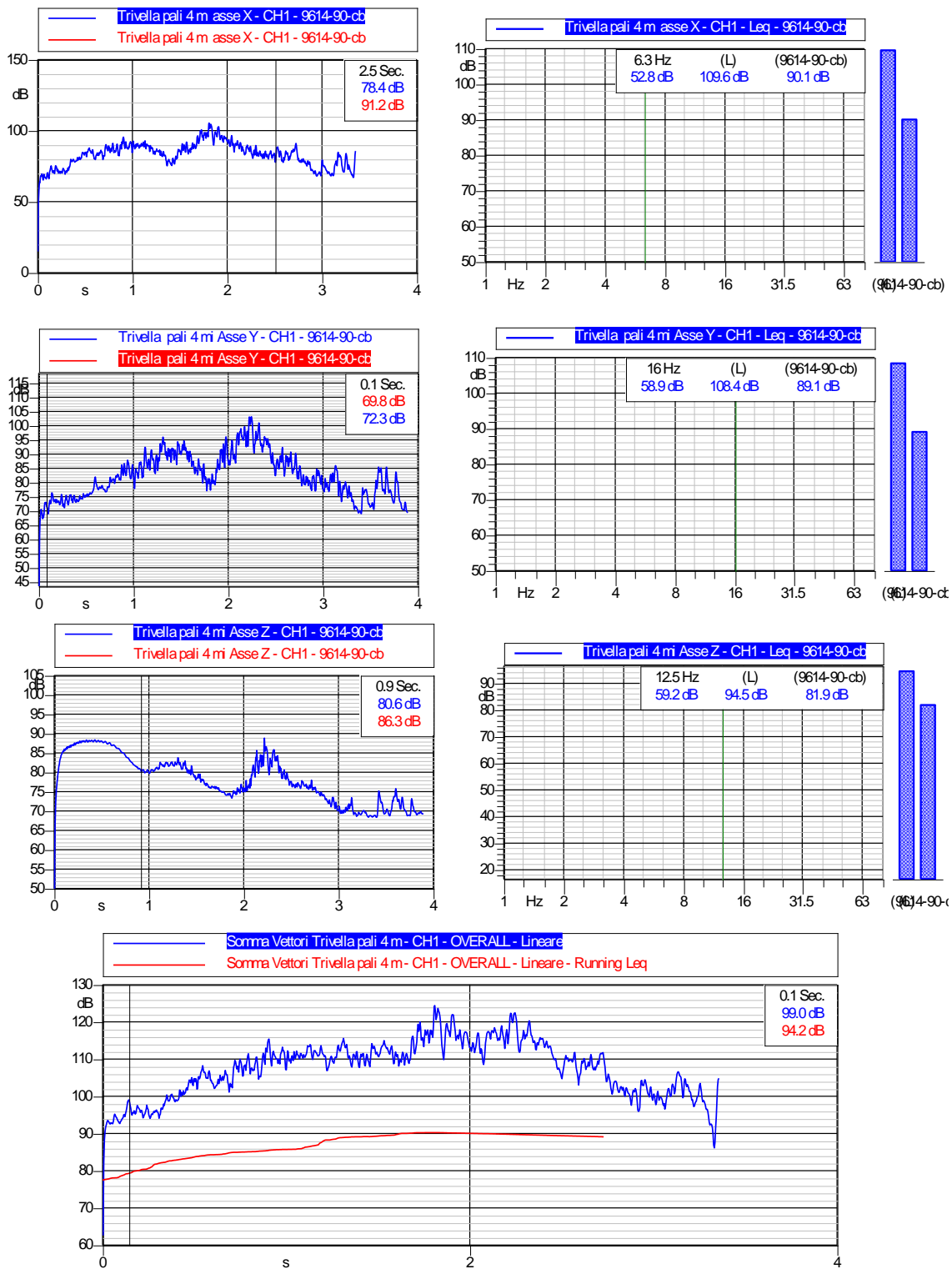


FIGURA 7 – RILIEVO SPERIMENTALE REALIZZAZIONE PALI DI FONDAZIONE

Anche se i dati riportati in figura si riferiscono ad una situazione di scavo specifica che non può quindi essere trasferita tout court al progetto in esame, i dati confermano che l'entità dei livelli per questo tipo di lavorazione è da considerarsi significativa.

Per quanto concerne i possibili impatti, l'analisi critica del progetto nel territorio ha evidenziato una sola situazione di potenziale criticità in corrispondenza di un casale posto al km 3+180 C2 alla distanza di almeno 80 m dalla pila posta in sponda destra del viadotto VI02.

Tenuto conto della funzione di trasferimento nel terreno desunta dalle indagini di campo effettuate si stima un abbattimento dell'onda nel terreno di circa 12 dB; a questo deve essere inoltre aggiunto

l'ulteriore abbattimento dovuto alla struttura edilizia del ricettore che è propria del fabbricato ma che sulla base di indagini eseguite in altri progetti può essere stimata in un abbattimento di circa 8 dB. Ne consegue che il livello stimabile all'interno di questo fabbricato nel caso più critico è pari a 74 dB che risulta pertanto inferiore al limite di 77 dB previsto dalla UNI 9614 (vedi tabella 4 par. 3.2) per il disturbo in periodo diurno in ambiente abitativo.

Si evidenzia inoltre che i limiti della UNI 9614 presi a riferimento sono da considerarsi cautelativi in quanto il fenomeno considerato è temporaneo e sono volti alla salvaguardia del disturbo alle persone. Tali limiti risultano pertanto più restrittivi di quelli relativi al danneggiamento degli edifici (normativa ISO 4866 e UNI 9916). Quindi, si può ragionevolmente assumere un rischio di impatto per la fase di cantiere del tutto trascurabile se non nullo per la situazione in esame.

In un'ottica di massima cautela è stato comunque previsto anche un monitoraggio vibrazionale per il corso d'opera (vedi PMA) che interessa nello specifico il ricettore sopra indicato.

Tenuto conto della temporaneità del disturbo dei cantieri si possono individuare le seguenti misure gestionali:

Interventi di mitigazione preliminare riguardanti:

- selezione delle macchine conformi alle norme armonizzate
- impiego di macchine per il movimento terra gommate anziché cingolate. La dislocazione di impianti fissi (con limitata produzione di vibrazioni)
- continua manutenzione dei mezzi e delle attrezzature
- emissione di specifiche procedure interne sulle modalità di esecuzione delle lavorazioni.