

**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 - COD. MI608**

 <p><b>STUDIO CORONA</b></p>	 <p>Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</p>	<p>ING. RENATO DEL PRETE</p> <p>Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</p>	 <p>Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</p>	 <p>Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</p>
	 <p>Società designata: <b>GA&amp;M</b></p> <p>Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</p>	<p><b>SETAC</b> Srl Servizi &amp; Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni</p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</p>	<p><b>ARKE'</b> INGEGNERIA s.r.l.</p> <p>Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</p>	<p><b>DOTT. GEOL. DANILLO GALLO</b></p> <p>Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</p>

<p>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p>  <p>Dott. Ing. Giuseppe Danilo MALGERI</p>	<p>INTEGRATORE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</p>  <p>Ing. Fabrizio BAJETTI</p>	<p>GEOLOGO</p>  <p>Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI</p>	<p>IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p>  <p>Ing. Gianluca CICIRIELLO</p>
---	--	---	---

<p><b>EB04</b></p>	<p><b>E - MITIGAZIONE AMBIENTALE</b></p> <p>EB - PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE</p> <p>PROGETTO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE - RELAZIONE ILLUSTRATIVA STUDIO VIBRAZIONI</p>
--------------------	---

<p>CODICE PROGETTO</p> <p>PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG.</p> <p><b>LO203</b>      <b>E</b>      <b>2301</b></p>	<p>NOME FILE</p> <p>EB04-T02IA00AMBRE02_A.dwg</p>	<p>REVISIONE</p> <p><b>A</b></p>	<p>SCALA:</p> <p>-----</p>
<p>CODICE ELAB.</p> <p><b>T02IA00AMBRE02</b></p>			

C					
B					
A	EMISSIONE	Novembre 2023	ARCH. CAROLINA BAJETTI	ING. GAETANO RANIERI	ING. FABRIZIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE E CRITERI METODOLOGICI GENERALI .....	2
1.1	Iter metodologico .....	3
2	QUADRO CONOSCITIVO .....	6
2.1	VALORI NORMATIVI DI RIFERIMENTO .....	6
2.1.1	Valori di riferimento della Normativa Internazionale ISO 2631 .....	7
2.1.2	Valori di riferimento della Normativa Italiana UNI 9614:2017 .....	8
2.1.3	Normativa UNI 9916:2014 .....	9
2.1.4	ISO/TS 10811-2:2000 - Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni .	10
2.2	CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO .....	12
2.3	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO .....	13
2.4	CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA .....	14
2.5	CAMPAGNA DI MONITORAGGIO .....	15
3	VERIFICA DEI POSSIBILI IMPATTI DEL PROGETTO IN FASE DI ESERCIZIO .....	16
4	VERIFICA DEI POSSIBILI IMPATTI DEL PROGETTO IN FASE DI CANTIERE .....	18

## 1 INTRODUZIONE E CRITERI METODOLOGICI GENERALI

Il presente studio vibrazionale è stato redatto in ottemperanza alle seguenti prescrizioni della Delibera CIPE n. 7 del 28.02.2018 e della Conferenza di Servizi del 9.3.2023, riportate in sintesi nei seguenti punti:

### Prescrizione 1.2.12

- ❖ *Valutare la stima degli impatti generati (rumore, vibrazioni, polveri), governo delle acque, impatti sugli ecosistemi all'intorno) e conseguenti misure di mitigazione previste anche con riferimento alle possibili sovrapposizioni degli effetti di altri cantieri eventualmente operativi in contemporanea. (Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica)*

### Prescrizione 1.2.17.7

- ❖ *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 1.2.17.8

- ❖ *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. (Regione Lombardia)*

### Prescrizione 1.2.17.9

- ❖ *Il progetto esecutivo deve contenere la documentazione di verifica elaborata secondo le specifiche norme tecniche della dichiarata inesistenza dell'impatto dovuto alla componente vibrazioni. (Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica)*

### Prescrizione 1.2.17.10

- ❖ *Dovrà essere redatto uno studio di valutazione previsionale della componente vibrazione, considerando sia le caratteristiche costruttive del manufatto, sia il volume di traffico indotto da mezzi pesanti, sia l'incremento dei fenomeni vibratorii causati dalle fasi di accelerazione e decelerazione in prossimità di svincoli e sulle rampe, al fine di individuare le relative opere di mitigazione ambientale (Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica)*

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.

## 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, 2017;
- 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 1-1 - 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.

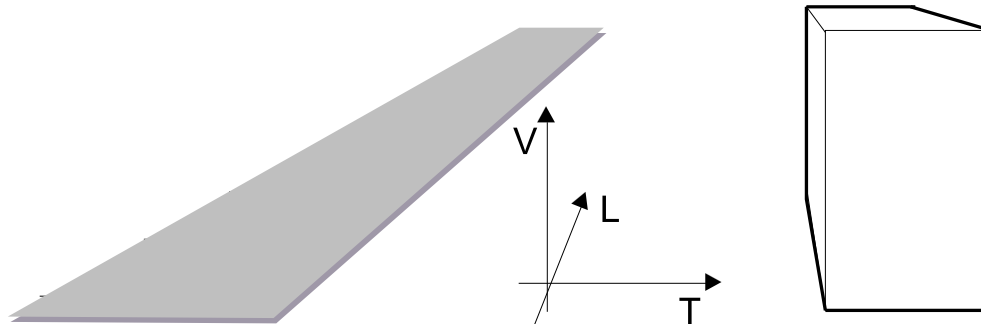


FIGURA 1-1 - ORIENTAMENTO DELLE COMPONENTI DI VIBRAZIONE. L = LONGITUDINALE, T = TRASVERSALE, V = VERTICALE, RISPETTO ALL'INFRASTRUTTURA

## 2 QUADRO CONOSCITIVO

### 2.1 VALORI NORMATIVI 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 2-1. 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.

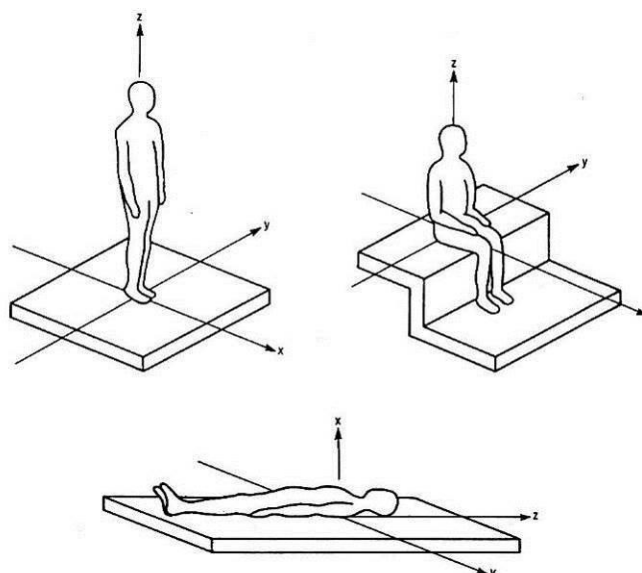


Figura 2-1 - Definizione degli assi di riferimento rispetto alla posizione della persona (ISO2631)

### 2.1.1 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 2-1 - VALORE DEI MOLTIPLICATORI DELLE CURVE BASE PER DIVERSE TIPOLOGIE DESTINAZIONI DI USO DELLE AREE E PERIODO DELLA GIORNATA



## 2.1.2 VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA ITALIANA UNI 9614:2017

La norma UNI 9614:2017 rappresenta la versione più aggiornata e definisce il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne o esterne agli edifici e i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi. La norma modifica, in modo sostanziale, la versione precedente introducendo un approccio innovativo e profondamente diverso nelle modalità di valutazione dei disturbi da vibrazione. Essa fa riferimento alla ISO 2631-2:2003, prevalentemente per i metodi di misurazione e valutazione, ed alla norma norvegese NS 8176.E. Relativamente alle modalità di misura, si sottolinea che, sebbene esse siano le stesse della versione precedente (UNI 9614:1990), nella versione più attuale (UNI 9614:2017) la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione delle vibrazioni immesse nell'edificio dalla specifica sorgente oggetto di indagine ( $v_{SOR}$ ), quale valore pari al 95esimo percentile della distribuzione cumulata di probabilità della massima accelerazione ponderata  $a_{w,max}$  misurata sui singoli eventi. Tale valore viene confrontato con una serie di limiti individuati per gli edifici a seconda della destinazione d'uso e dal periodo temporale di riferimento (diurno 6:00-22:00, notturno 22:00-6:00), il quale rappresenta un ulteriore elemento di novità rispetto al periodo temporale considerato all'interno della precedente versione UNI 9614:1990 (diurno 7:00-22:00, notturno 22:00-7:00).

I livelli di soglia indicati dalla suddetta norma sono riportati nella tabella seguente:

<b>Luogo</b>	<b>accelerazione (<math>m/s^2</math>)</b>	<b>Livello equivalente di accelerazione (dB)</b>
<b>Abitazioni (notte)</b>	$3,6 \cdot 10^{-3}$	71,1
<b>Abitazioni (giorno)</b>	$7,2 \cdot 10^{-3}$	77,1
<b>Luoghi lavorativi</b>	$14 \cdot 10^{-3}$	82,9
<b>Ospedali, case di cura ed affini</b>	$2 \cdot 10^{-3}$	66,0
<b>Asili e case di riposo</b>	$3,6 \cdot 10^{-3}$	71,1
<b>Scuole</b>	$5,4 \cdot 10^{-3}$	74,6

TABELLA 2-2 VALORI E LIVELLI LIMITE DI RIFERIMENTO MASSIMI PER LA MASSIMA ACCELERAZIONE PONDERATA DELLA SORGENTE  $v_{SOR}$  (UNI 9614:2017, CAP. 9)

Le misure devono essere eseguite in conformità alla suddetta norma tecnica. In particolare, la durata complessiva è legata al numero di eventi del fenomeno in esame necessaria ad assicurare una ragionevole accuratezza statistica, tenendo conto non solo della variabilità della sorgente ma anche dell'ambiente di misura. Per quanto concerne il rumore prodotto dalle attività di cantiere, le diverse attività dello stesso costituiscono una sorgente di disturbo con caratteristiche molto diverse da caso a caso; nella maggioranza dei casi, tuttavia, si tratta di fenomeni transitori di breve durata facilmente isolabili nella storia temporale delle attività. Come riportato nell'appendice A.4 – "Vibrazioni prodotte da attività di cantiere" della normativa vigente, per le attività di cantiere è necessario che i valori misurati siano raggruppati per tipologia di attività o quantomeno di scenario di cantiere. All'interno di un'attività o scenario di cantiere, il numero minimo di eventi da considerare è 15.

### 2.1.3 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

#### 2.1.4 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).

## 2.2 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.

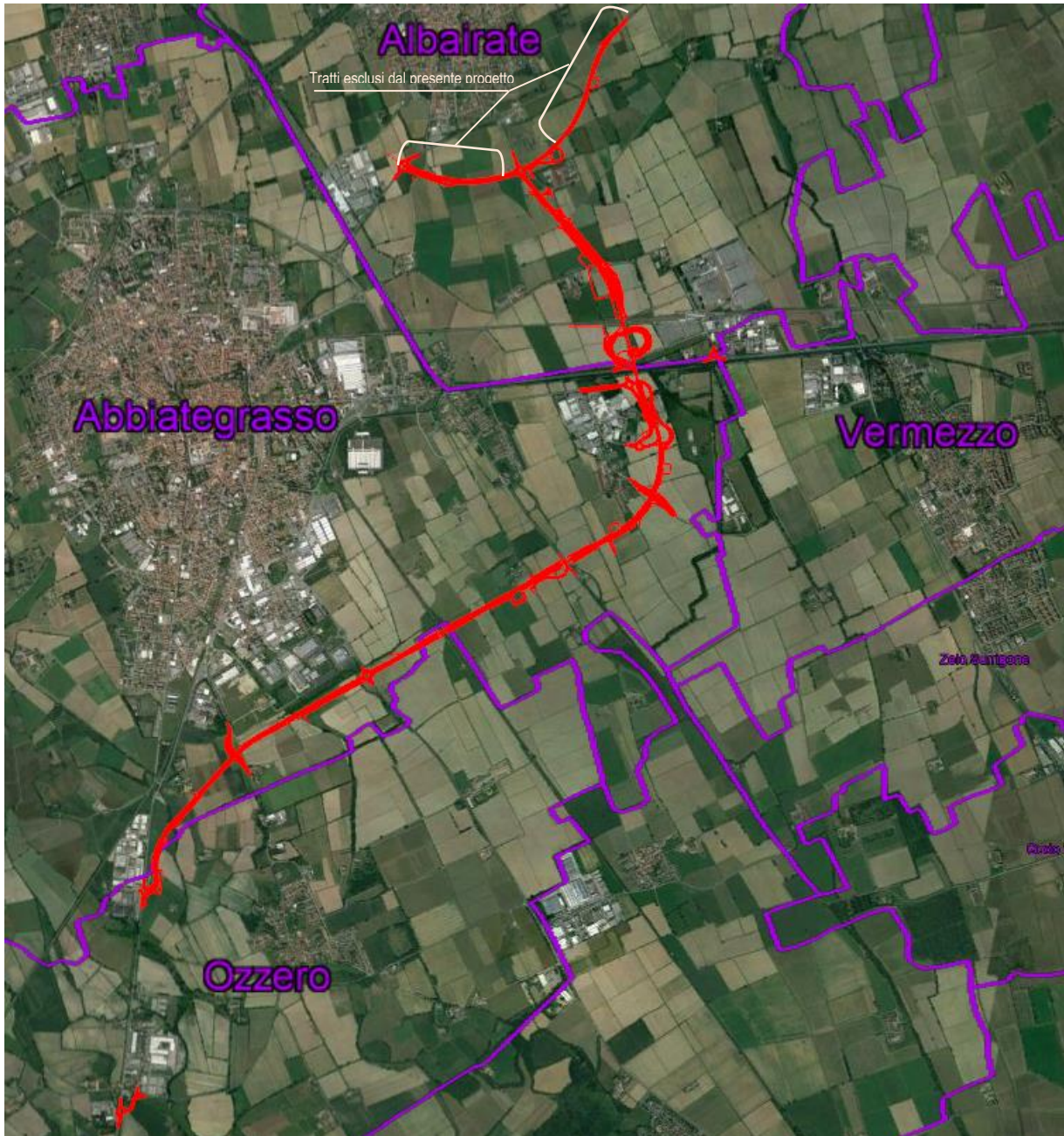


FIGURA 2-2 – INQUADRAMENTO DEL PROGETTO NEL TERRITORIO

Come evidenzia dall'inquadratura su ortofoto riportata 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 significativa nell'area è costituita dalla SS494 esistente.

## 2.3 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 scavalco 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 sopra 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 scavalco 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 tratta vengono raggiunte altezze sopra il piano campagna di circa 6 – 8 m.

Il tracciato 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).

## 2.4 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 fluvioglaciale del Fiume Ticino.

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

- Alluvioni fluvioglaciali 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 fluvioglaciali 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 fluvioglaciali 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.

## 2.5 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 rotonda di svincolo della variante a sud di Abbiategrasso.



FIGURA 2-3 – 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.



### 3 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.

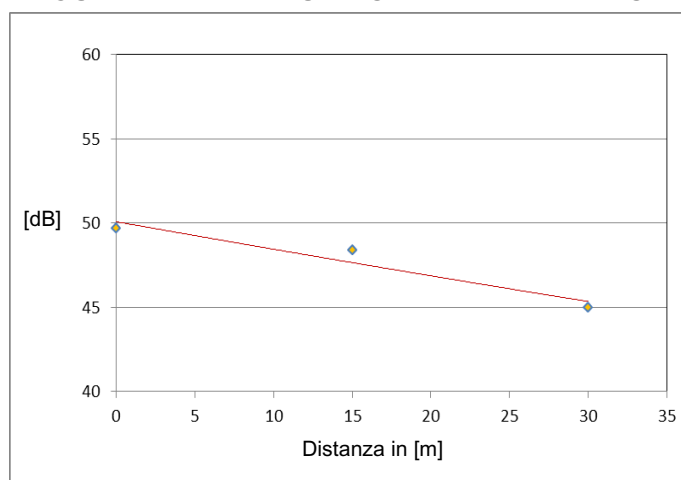
Da evidenziare che le misure riguardano un tratto di infrastruttura a raso e quindi i livelli misurati risultano normalmente cautelativi in quanto non tengono conto dell'abbattimento esercitato dal corpo stradale in stradale o in trincea, come pure dell'abbattimento generato all'interfaccia delle fondazioni.

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

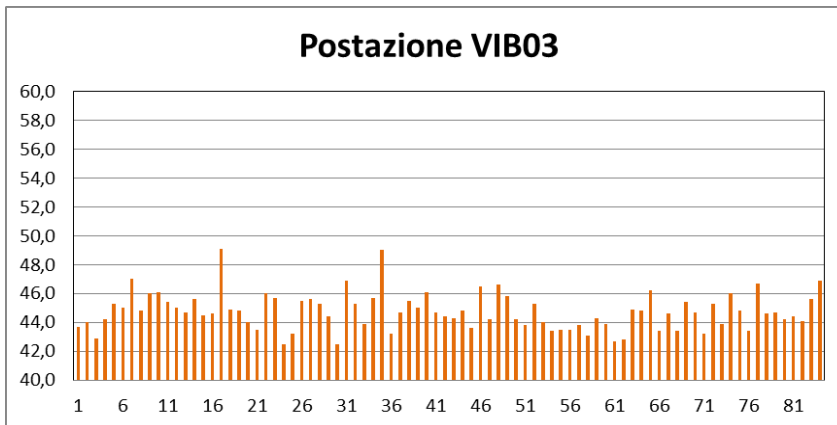
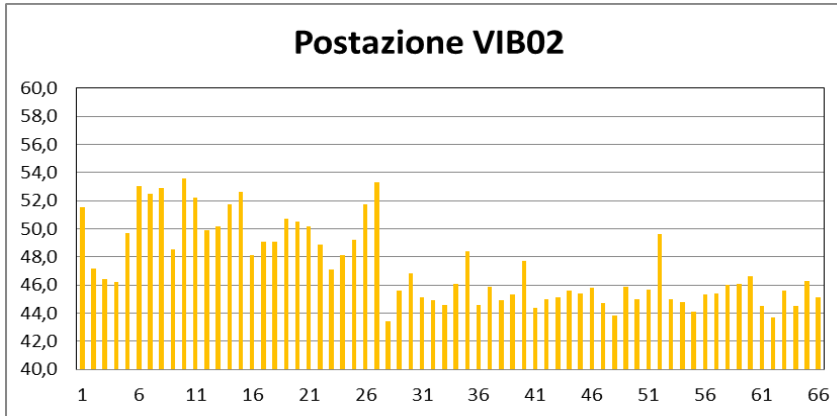
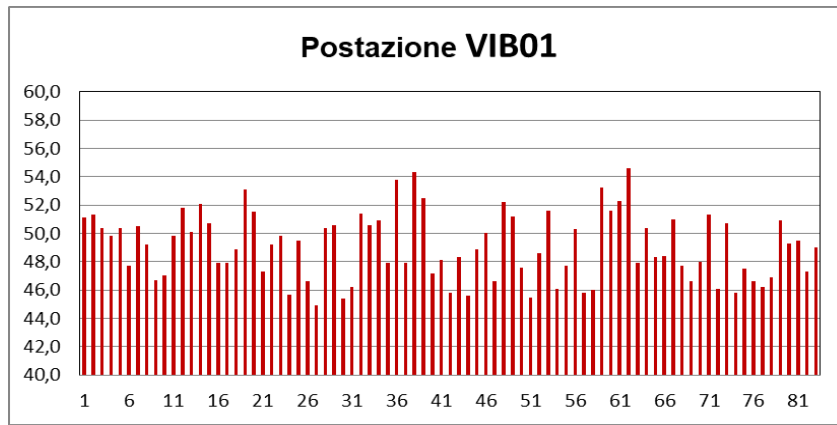
Di seguito si riporta la funzione di trasferimento nel terreno calcolata sulla base dei dati sperimentali riportati in tabella. L'andamento della curva evidenzia l'abbattimento dei livelli con la distanza dalla sorgente, confermando l'assenza un qualsivoglia rischio di impatto dovuto all'esercizio della 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.

#### 4 VERIFICA DEI POSSIBILI IMPATTI DEL PROGETTO 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, SEPPUR trattasi di attività temporanea di durata limitata, è certamente la trivellazione dei pali di fondazione delle opere d'arte.

Il modello di propagazione impiegato, valido per tutti i tipi di onde, si basa sull'equazione di Bornitz<sup>1</sup> che tiene conto dei diversi meccanismi di attenuazione a cui l'onda vibrazionale è sottoposta durante la propagazione nel suolo.

$$w_2 = w_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^n e^{-a(r_2-r_1)}$$

dove w1 e w2 sono le ampiezze della vibrazione alle distanze r1 e r2 dalla sorgente, n è il coefficiente di attenuazione geometrica e dipende dal tipo di onda e di sorgente, a è il coefficiente di attenuazione del materiale e dipende dal tipo di terreno.

Il primo termine dell'equazione esprime l'attenuazione geometrica del terreno:

$$w_2 = w_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^n$$

Questa oltre ad essere funzione della distanza, dipende dalla localizzazione e tipo di sorgente (lineare o puntuale, in superficie o in profondità) e dal tipo di onda vibrazionale (di volume o di superficie). Il valore del coefficiente n è determinato sperimentalmente secondo i valori individuati da Kim-Lee e, per gli scenari esaminati vale:

- n=1

Il secondo termine dell'equazione fa riferimento invece all'attenuazione dovuta all'assorbimento del terreno indotto dai fenomeni di dissipazione di energia meccanica in calore. Il coefficiente di attenuazione a è esprimibile secondo la seguente formula:

$$a = \frac{2\pi f \eta}{c}$$

dove f è la frequenza in Hz, c è la velocità di propagazione dell'onda in m/s e η il fattore di perdita del terreno. Questi dipendono dalle caratteristiche del terreno e i loro valori sono stati determinati dalla letteratura in ragione della natura del terreno (Sabbia con ghiaia / ghiaia con sabbia).

Per lo scenario considerato, di seguito i valori assunti per la determinazione del coefficiente di attenuazione a:

- η = 0,05 (fattore di perdita);
- c = 1400 m/s (velocità di propagazione).

<sup>1</sup> Richart Jr. FE, Hall Jr. JR, Woods RD. Vibrations of soils and foundations. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1970

Utilizzando tale metodologia, nota l'emissione vibrazionale del macchinario e la distanza tra ricettore-sorgente è possibile calcolare l'entità della vibrazione in termini accelerometrici in corrispondenza del potenziale edificio interferito.

Per quanto riguarda i valori di emissione, si è fatto riferimento a dati sperimentali desunti in letteratura.

La caratterizzazione delle emissioni di vibrazioni da parte di mezzi operativi non è soggetta alle stringenti normative e disposizioni legislative che normano invece l'emissione del rumore. Pertanto, in questo caso non si ha una caratterizzazione dell'emissione in condizioni standardizzate, ed una garanzia del costruttore a non superare un preciso valore dichiarato. Non si hanno nemmeno valori limite da rispettare per quanto riguarda i livelli di accelerazione comunicati ai recettori, e quindi ovviamente non è possibile specificare la produzione di vibrazioni con lo stesso livello di dettaglio con cui si è potuto operare per il rumore.

Posto che le attività individuate nello scenario riportato sono relative alle lavorazioni, svolte all'interno delle aree tecniche e di lavoro, finalizzate alla realizzazione delle opere su pali, il quadro dei mezzi di cantiere previsti all'interno delle aree sopraindicate e la relativa percentuale di utilizzo sono state assunte nei termini indicati in Tabella 4-1.

Si precisa inoltre che per tutte le lavorazioni concernenti palificazioni, è stata considerata la fase di palificazione tramite macchina per pali

<b>Attività</b>	<b>Mezzi di cantiere</b>	<b>N° mezzi</b>	<b>% effettiva di impiego</b>
<b>Palificazione</b>	Macchina per pali	1	100%

TABELLA 4-1 MEZZI DI CANTIERE SCENARI DI SIMULAZIONE

Per quanto concerne l'articolazione temporale delle lavorazioni a fini cautelativi, si è ipotizzato che le attività di trivellazione avvenga per 8 ore consecutive nel periodo diurno.

Per la caratterizzazione emissiva della sorgente relativa alla realizzazione dei pali tramite palificatrice si è fatto riferimento ai dati sperimentali desunti in letteratura e riferiti ad un rilievo ad una distanza di 5 m dalla sorgente.

<b>Frequenza (Hz)</b>	<b>1</b>	<b>1,25</b>	<b>1,6</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>3,15</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6,3</b>	<b>8</b>
<b>Accelerazione (mm/s<sup>2</sup>)</b>	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	17,2	17,2	16,6	16
<b>Frequenza (Hz)</b>	<b>10</b>	<b>12,5</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>31,5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>
<b>Accelerazione (mm/s<sup>2</sup>)</b>	23,2	13,3	3	3,1	3,7	3,9	22,4	28	111	52,7

TABELLA 4-2 SPETTRO EMISSIVO ASSUNTO PER LA CARATTERIZZAZIONE EMISSIVA VIBRAZIONALE DELLA PALIFICATRICE CALCOLATA A 5 M DALLA SORGENTE

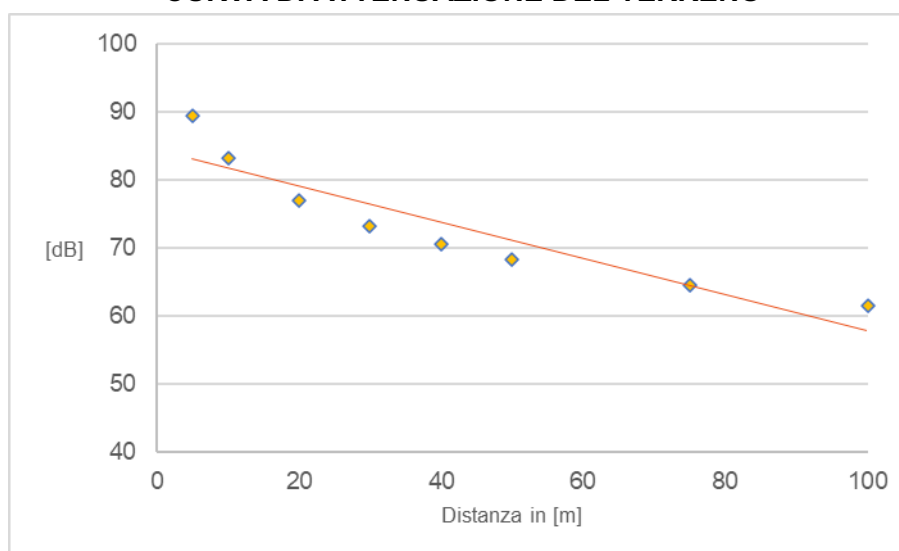
Attraverso la metodologia individuata, opportunamente tarata in funzione della localizzazione della sorgente e del terreno caratterizzante l'ambito di studio specifico, ed utilizzando la curva di ponderazione  $w_m$  secondo quanto previsto dalla normativa UNI 9614, è stato calcolato il livello di accelerazione massimo delle vibrazioni immesse nell'edificio dalla specifica sorgente oggetto di indagine in dB, a diverse distanze dal fronte di lavorazione.

Distanza	5 m	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	75 m	100 m
Lw,max	89,4	83,2	77,0	73,2	70,5	68,4	64,5	61,6

TABELLA 4-3 LIVELLI DELLE ACCELERAZIONI MASSIME IN DB IN FUNZIONE DELLA DISTANZA DALLA SORGENTE EMISSIVA PER LA PALIFICATRICE

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 dalle attività di cantiere della nuova infrastruttura per la popolazione residente.

### CURVA DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO



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.

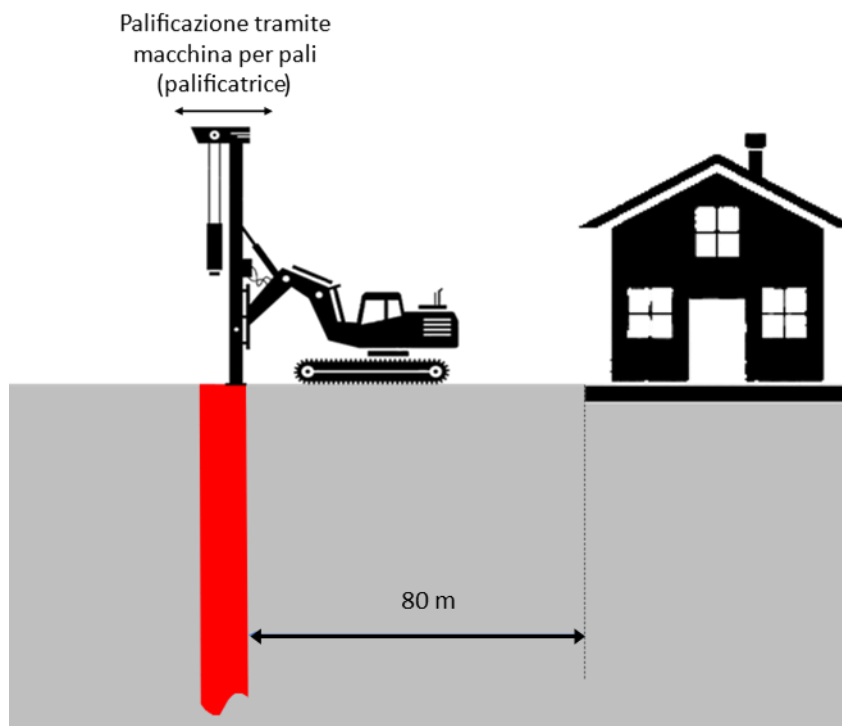


FIGURA 4-1 SCHEMATIZZAZIONE DELLE LAVORAZIONI DI PALIFICAZIONE

Le analisi condotte le cui risultanze sono riportate in Tabella 4-3, mostrano come il potenziale effetto indotto dalle lavorazioni avviene ad una distanza massima dall'area di lavorazione pari a 20 metri e come oltre tale distanza le onde vibrazionali tendano progressivamente ad attenuarsi fino a risultare del tutto trascurabili.

Per il caso in esame l'unico ricettore potenzialmente interessato dalle lavorazioni si trova ad una distanza dal fronte avanzamento lavori pari a 80 metri, distanza alla quale applicando la funzione di attenuazione del terreno le accelerazioni indotte dalle lavorazioni risultano essere pari a circa 64 dB, ben al di sotto dei valori di soglia indicati dalla norma UNI9614 del 2017.

In conclusione, a fronte delle analisi condotte si può escludere qualsiasi tipo di interferenza legato al disturbo ai ricettori.

Si tiene comunque ad evidenziare come i livelli di soglia della UNI 9614 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.