

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA
Lotto funzionale Brescia-Verona

PROGETTO ESECUTIVO

**PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE - SPECIFICA TECNICA
COMPONENTE VIBRAZIONI**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio Cepav due Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta) Data: _____	Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 0	E	E 2	S P	M B 0 0 0 3	0 0 1	C

PROGETTAZIONE								IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A	Emissione	Bellizzi	25/06/18	Lazzari	25/06/18	Taranta	25/06/18	
B	Revisione istruttoria Fase AO del NT dell'OA	Bellizzi	01/10/20	Lazzari	01/10/20	Liani	01/10/20	
C	Revisione istruttoria NT dell'OA del 09/04/21	Bellizzi	05/07/21	Liani	05/07/21	Liani	05/07/21	

CIG. 751447334A

File: INOR10EE2SPMB0003001C.docx



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008



INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	QUADRO INFORMATIVO ESISTENTE	6
3.	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
4.	MODALITA' DI MONITORAGGIO	16
4.1	Acquisizione dati pregressi	16
4.2	Sopralluoghi preliminari	16
4.3	Individuazione dei punti di monitoraggio	17
4.4	Fissaggio dell'accelerometro agli elementi strutturali	17
4.5	Modalità di rilievo	19
4.6	Rilievo di altre informazioni	20
4.7	Strumentazione	20
4.7.1	Taratura della strumentazione	21
4.7.2	Calibrazione della strumentazione	22
4.8	Indicatori	22
4.8.1	Indicatori vibrazionali	22
4.8.2	Altre informazioni	25
4.9	Misure previste e criteri di individuazione dei punti di monitoraggio	26
4.10	Articolazione temporale delle misure	31
4.11	Localizzazione dei punti di monitoraggio	32
4.12	Monitoraggio delle vibrazioni trasmesse a strutture fisse	33
5.	DOCUMENTAZIONE PRODOTTA E SISTEMA INFORMATIVO	36
5.1	Documentazione prodotta	36
5.2	Sistema informativo	36
6.	SCHEDE DI RILEVAMENTO TIPO	38
6.1	Scheda rilevamento – Componente Vibrazioni	38

ALLEGATO N. 1 - VIBRAZIONI - ELENCO DEI PUNTI DI MONITORAGGIO



1.PREMESSA

Scopo del monitoraggio delle vibrazioni, coerentemente con le indicazioni delle Linee Guida per la predisposizione del PMA delle opere soggette a Valutazione di Impatto Ambientale, è quello di definire lungo il tracciato della nuova tratta ferroviaria Alta Velocità / Alta Capacità tra Milano e Verona, Lotto Funzionale 1 Brescia est – Verona i livelli attuali di vibrazione (ante operam e ante esercizio, prima cioè della realizzazione della linea e della successiva entrata in funzione) e di seguirne l'evoluzione in fase di costruzione (corso d'opera, durante la fase realizzativa dell'intera linea) ed esercizio (funzionamento a regime della nuova linea ferroviaria), al fine di verificare le condizioni di criticità e la compatibilità con gli standard di riferimento.

Il monitoraggio sarà effettuato su recettori individuati nell'ambito di una fascia di territorio situata a cavallo della linea AV, ritenuta potenzialmente a rischio per le vibrazioni trasmesse.

In particolare, nella scelta delle aree da sottoporre a controllo, si sono considerati i seguenti fattori:

- livelli di emissione delle diverse sorgenti (convogli ferroviari, macchine di cantiere, ecc.);
- infrastrutture attualmente esistenti;
- geolitologia del terreno;
- tipologia e classe di sensibilità dei ricettori interessati.

Il monitoraggio ambientale delle vibrazioni sarà articolato su tre fasi temporali distinte:

ante operam (AO) / ante esercizio (AE)

Tramite misure in campo sarà definito lo stato attuale dei livelli di vibrazione in quelle aree ritenute critiche per la presenza di infrastrutture in esercizio o comunque sorgenti significative.

Le misure saranno precedute da sopralluoghi che certificheranno la presenza di livelli di vibrazione tali da giustificare l'effettuazione della misura in fase ante operam / ante esercizio.

In ogni caso, le aree individuate, saranno poi oggetto di monitoraggio nelle fasi successive (*costruzione, esercizio*).

Le rilevazioni dovranno rappresentare il termine di confronto per i futuri livelli di vibrazione indotti da attività di cantiere, fronte avanzamento lavori e transito dei treni sulla nuova linea ferroviaria.



La fase *ante operam* si riferisce alle misure effettuate prima dell'inizio dei lavori e finalizzate al confronto con misure che saranno effettuate durante la fase realizzativa della linea, ovvero il cosiddetto corso d'opera; la fase *ante esercizio* si riferisce invece alle misure effettuate prima dell'entrata in funzione della nuova linea, e quindi del passaggio dei convogli ferroviari, e finalizzate ad un confronto con la situazione di esercizio della linea ferroviaria.

corso d'opera (CO)

Saranno misurati e confrontati con la normativa e, dove previsto, con l'Ante Operam, i livelli di vibrazione su ricettori situati in prossimità dei cantieri o del fronte avanzamento lavori, prodotti dalle lavorazioni effettuate in tali aree.

post operam o di esercizio (ES)

Saranno monitorate le immissioni di vibrazioni dovute al passaggio dei convogli ferroviari, su ricettori potenzialmente critici, allo scopo di valutare i cambiamenti rispetto alla fase pre-esercizio, caratterizzare la sorgente e verificare il rispetto dei limiti normativi in vigore.

Le verifiche riguarderanno gli effetti:

- di "annoyance" sulla popolazione;
- di interferenza con le attività produttive ad alta sensibilità;
- su emergenze archeologiche e beni monumentali di particolare rilevanza;
- sugli edifici, per quello che riguarda i possibili danni materiali alle strutture
(**monitoraggio secondo la UNI9916 solo in casi particolari**).

I valori rilevati in corrispondenza dei ricettori consentiranno in particolare di valutare il disturbo alle persone secondo le norme ISO2631/UNI9614¹, il possibile disturbo da rumore per conversione delle vibrazioni prodotte dai transiti ferroviari e l'efficacia degli interventi di mitigazione.

¹ I limiti normativi e le curve di pesatura da applicarsi sugli spettri di accelerazione, definiti nella UNI 9614, sono in sostanziale accordo con quelli della ISO 2631 parte 2



Alcune misure, inoltre, potranno essere condotte in corrispondenza di alcune attività produttive presenti nell'ambito di influenza del progetto e particolarmente sensibili alle vibrazioni, al fine di verificare le possibili interferenze su tali attività.

Durante le attività di monitoraggio saranno rilevati, con strumentazione adeguata, gli spettri di accelerazione nella banda di frequenze:

- da 1 a 250 Hz per la valutazione del disturbo fisico sul corpo degli individui e per la valutazione di eventuali danni alle strutture;
- da 1 a 1000 Hz, in casi particolari, per la valutazione del rumore trasmesso per via strutturale, nel rispetto delle indicazioni del DPR 459/98, qualora più cautelativo.

La valutazione dell'annoyance sulla popolazione e la verifica del rispetto dei limiti imposti dalla ISO 2631/UNI 9614, garantiscono implicitamente l'assenza di interferenze con attività produttive particolarmente sensibili alle vibrazioni, oltre al rispetto dei limiti imposti dalla UNI 9916 per la valutazione dei danni alle strutture. Pertanto queste verifiche saranno eseguite solo in casi particolari (edifici molto prossimi alla linea, beni storico - monumentali di particolare rilevanza, ecc.); infatti gli studi vibrazionali sinora effettuati nei diversi campi prova effettuati e inerenti alla lavorazione maggiormente impattante di tutta l'opera (infissione palancole) ha fatto registrare unicamente il superamento della soglia del disturbo alla popolazione.

Il traffico ferroviario di progetto prevede due diversi orizzonti temporali: il traffico previsto all'attivazione e nei primi anni di esercizio e quello previsto a medio termine.

L'opera che sarà realizzata e messa in esercizio prevede la presenza delle mitigazioni che garantiranno il rispetto dei limiti vibrazionali con il traffico ferroviario previsto all'attivazione. Mentre, l'integrazione delle mitigazioni che assicureranno il rispetto dei limiti per le vibrazioni nel medio termine sarà posta in atto in una fase successiva e comunque prima della circolazione dei treni merci previsti nel medio termine. Conseguentemente il monitoraggio ambientale post operam delle vibrazioni definito dal presente progetto farà riferimento al solo traffico ferroviario all'attivazione.

Si precisa, infine, che il progetto di monitoraggio ambientale è da considerarsi in modo flessibile, infatti, qualora a seguito di anomalie riscontrate o di segnalazioni da parte di enti o privati od a seguito dell'analisi critica degli esiti del monitoraggio già effettuato, si verificasse la necessità di apportare modifiche, queste potranno prevedersi (in relazione all'ubicazione delle



postazioni e/o alla frequenza delle misure) pur mantenendo una sostanziale parità complessiva nella quantità di misure.

2. QUADRO INFORMATIVO ESISTENTE

Al fine di sviluppare il Progetto di Monitoraggio Ambientale della componente Vibrazioni per la nuova tratta Milano – Verona sono stati considerati diversi documenti. Non sono stati presi in esame rilievi di vibrazioni effettuati da terzi nel territorio interessato dalla linea in quanto, allo stato attuale, non esistono dati relativi a campagne sperimentali di monitoraggio condotte in modo organico.

In particolare si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- Linea AV Milano - Napoli, tratta Milano – Bologna, “Progetto Monitoraggio Ambientale componente vibrazioni”, revisione 2003;
- Linea AV Milano - Napoli, tratta Milano – Bologna, Relazioni ante operam e corso d’opera, anni 2003 e 2004;
- Linea Torino – Venezia, tratta Milano – Verona, “Studio di Impatto Ambientale della linea ferroviaria Alta Velocità Milano – Verona”, 2003;
- Linea Torino – Venezia, tratta Milano – Verona, “Rumore e Vibrazioni schede di censimento dei Ricettori”, IN05DE2NZAR00030021.
- Linea Torino – Venezia, tratta Milano – Verona, Lotto Funzionale Brescia-Treviglio “Rumore e Vibrazioni” Report Monitoraggio Ambientale.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le indagini per il monitoraggio della componente vibrazioni saranno effettuate secondo principi, metodi e strumenti conformi agli standard nazionali ed alle seguenti normative:

- UNI 9614:2017 - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo e successive revisioni;
- ISO 8041:2017;
- UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici;

- ISO 2631 parti 1 e 2 - Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo; Parte 1 – Requisiti generali; Parte 2 – Vibrazioni continue ed urti indotte in edifici (1-80 Hz);
- ISO 4866 Vibrazioni meccaniche ed urti - Vibrazioni di edifici - Guida per la misura di vibrazioni e valutazioni dei loro effetti sugli edifici;
- ISO 5347 - Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni e di urti, parzialmente aggiornata con ISO 16063;
- ISO 5348 - Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO 2017-3:2015 Vibrazioni meccaniche e urti - Sistemi di montaggio elastici - Parte 3: informazioni tecniche da scambiarsi per l'applicazione dell'isolamento da vibrazioni a nuovi edifici;
- UNI ISO 8727:2016 Vibrazioni meccaniche e urti - Esposizione dell'uomo - Sistemi di coordinate biodinamiche;
- UNI ISO 18431-1:2016 Vibrazioni meccaniche e urti - Elaborazione del segnale - Parte 1: Introduzione generale;
- UNI ISO 18431-2:2016 Vibrazioni meccaniche e urti - Elaborazione del segnale - Parte 2: Finestra temporale per l'analisi con la trasformata di Fourier;
- UNI ISO 18431-3:2016 Vibrazioni meccaniche e urti - Elaborazione del segnale - Parte 3: Metodi di analisi del tempo in frequenza;
- UNI ISO 18431-4:2016 Vibrazioni meccaniche e urti - Elaborazione del segnale - Parte 4: Analisi dello spettro di risposta agli urti;
- UNI 11568:2015 Vibrazioni - Strumentazione e analisi per la misura delle vibrazioni - Strumentazione di misura;
- UNI ISO 2631-1:2014 Vibrazioni meccaniche e urti - Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero - Parte 1: Requisiti generali.

La valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni è contemplata nella ISO 2631; in particolare nella parte 2 si tratta l'esposizione umana alle vibrazioni all'interno degli edifici. In Italia l'UNI (Organismo di Normazione Nazionale) ha emanato la UNI 9614 che concorda nei contenuti con la ISO 2631/2. La valutazione delle vibrazioni come possibile causa di danni strutturali o architettonici agli edifici è guidata dalle norme ISO 4866 e dalla UNI 9916 che è in

sostanziale accordo con la ISO 4866. Altra norma internazionale che permette di valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici è la DIN 4150/3.

Le norme UNI 9614 e UNI 9916 sono state revisionate da parte della Commissione Tecnica di Acustica e Vibrazioni dell'Ente Italiano di Normazione. Di seguito, vengono descritte le norme a carattere generale per l'applicazione specifica allo scopo del PMA.

Norma ISO 2631-2 “Evaluation of human exposure to whole-body vibration continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)”.

Considera due tipi di vibrazioni: continue ed intermittenti. Si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. La gamma di frequenze considerate va da 1 a 80 Hz. La grandezza per caratterizzare l'intensità del fenomeno vibratorio è l'accelerazione che viene espressa in termini di valore efficace (RMS):

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

dove:

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

T = tempo di integrazione.

In generale², i quattro parametri fisici per la determinazione del comportamento umano alle vibrazioni sono: l'intensità, la frequenza, la direzione e la durata (tempo di esposizione) delle vibrazioni.

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

- a) mantenimento dell'efficienza lavorativa;
- b) conservazione dello stato di salute e sicurezza;
- c) mantenimento del comfort;

per le quali sono stati stabiliti dei limiti di esposizione.

I limiti sono definiti a partire da curve di base, riportate nella tabella successiva, da applicarsi ad accelerazione e velocità misurate lungo l'asse z, gli assi x o y e o su tutti gli assi nel caso di posture non note o variabili.

La curva limite per posture non note o variabili tiene conto del fatto che, in alcuni casi (per esempio all'interno di edifici residenziali utilizzati da persone in piedi o coricate in diverse ore

² I requisiti generali sono descritti dalla ISO 2631/1



del giorno) non è possibile definire un asse specifico di vibrazione. Le curve di base, moltiplicate per i fattori riportati nella tabella successiva, definiscono i limiti da applicarsi per verificare il comfort degli individui all'interno di edifici.

Tab. 3.1.1.A.: Valori numerici delle curve di base

Frequenza [Hz]	Accelerazione (efficace) [m/s ²]			Velocità (efficace) [m/s]		
	Asse z	Assi x- y	Postura non nota	Asse z	Assi x- y	Postura non nota
1	1×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	1.59×10 ⁻⁴	5.73×10 ⁻⁴	5.73×10 ⁻⁴
1.25	8.9×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	1.13×10 ⁻⁴	4.58×10 ⁻⁴	4.58×10 ⁻⁴
1.6	8×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	7.96×10 ⁻⁴	3.58×10 ⁻⁴	3.58×10 ⁻³
2.0	7×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	5.57×10 ⁻⁴	2.87×10 ⁻⁴	2.87×10 ⁻⁴
2.5	6.3×10 ⁻³	4.51×10 ⁻³	3.72×10 ⁻³	4.01×10 ⁻⁴	2.87×10 ⁻⁴	2.37×10 ⁻⁴
3.2	5.7×10 ⁻³	5.68×10 ⁻³	3.87×10 ⁻³	2.88×10 ⁻⁴	2.87×10 ⁻⁴	1.95×10 ⁻⁴
4.0	5×10 ⁻³	7.21×10 ⁻³	4.07×10 ⁻³	1.99×10 ⁻⁴	2.87×10 ⁻⁴	1.62×10 ⁻⁴
5.0	5×10 ⁻³	9.02×10 ⁻³	4.3×10 ⁻³	1.59×10 ⁻⁴	2.87×10 ⁻⁴	1.36×10 ⁻⁴
6.3	5×10 ⁻³	1.14×10 ⁻²	4.6×10 ⁻³	1.26×10 ⁻⁴	2.87×10 ⁻⁴	1.16×10 ⁻⁴
8.0	5×10 ⁻³	1.44×10 ⁻²	5×10 ⁻³	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
10.0	6.3×10 ⁻³	1.8×10 ⁻²	6.3×10 ⁻³	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
12.5	7.81×10 ⁻³	2.25×10 ⁻²	7.8×10 ⁻³	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
16.0	1×10 ⁻²	2.89×10 ⁻²	1×10 ⁻³	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
20.0	1.25×10 ⁻²	3.61×10 ⁻²	1.25×10 ⁻²	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
25.0	1.56×10 ⁻²	4.51×10 ⁻²	1.56×10 ⁻²	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
31.5	1.97×10 ⁻²	5.68×10 ⁻²	1.97×10 ⁻²	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
40.0	2.5×10 ⁻²	7.21×10 ⁻²	2.5×10 ⁻²	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
50.0	3.13×10 ⁻²	9.02×10 ⁻²	3.13×10 ⁻²	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
63.0	3.94×10 ⁻²	1.14×10 ⁻¹	3.94×10 ⁻²	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵
80.0	5×10 ⁻²	1.44×10 ⁻¹	5×10 ⁻²	9.95×10 ⁻⁵	2.87×10 ⁻⁴	9.95×10 ⁻⁵

Tab. 3.1.1.B.: Fattori di moltiplicazione delle curve di base

Luogo	Periodo	Vibrazioni continue o intermittenti	Eccitazioni da vibrazioni impulsive, che si producono più volte nel giorno
Zone critiche di lavoro (quali: sale chirurgiche d'ospedali, laboratori di precisione, ecc.)	Giorno Notte	1	1
Residenze	Giorno Notte	2 ÷ 4 1.4	30 ÷ 90 1.4 ÷ 20
Uffici	Giorno Notte	4	60 ÷ 128
Luoghi di lavoro	Giorno Notte	8	90 ÷ 128

I limiti per quanto riguarda la risposta umana alle vibrazioni all'interno di edifici tengono pertanto conto del periodo del giorno, del tipo di vibrazione e distinguono tra i diversi tipi di insediamento.

I risultati delle misure, devono essere confrontati con la curva base di riferimento, moltiplicata per il corretto fattore moltiplicativo; il confronto può essere effettuato o singolarmente su tutti i valori ottenuti su ciascuna banda dello spettro o sul valore globale, pesato secondo le curve di ponderazione riportate nella seguente tabella.

Le curve di ponderazione devono essere applicate ai livelli misurati lungo l'asse z, gli assi x-y o su tutti gli assi, nel caso di posture non note o variabili.

Tab. 3.1.1.C.: Attenuazione dei filtri di ponderazione

<i>Frequenza [Hz]</i>	<i>Asse z [dB]</i>	<i>Assi x- y [dB]</i>	<i>Postura non nota o variabile³ [dB]</i>
1	6	0	0.1
1.25	5	0	0.2
1.6	4	0	0.3
2.0	3	0	0.5
2.5	2	2	0.8
3.2	1	4	1.2
4.0	0	6	1.8
5.0	0	8	2.5
6.3	0	10	3.6
8.0	0	12	4.8
10.0	2	14	6.2
12.5	4	16	7.8
16.0	6	18	9.6
20.0	8	20	11.4
25.0	10	22	13.2
31.5	12	24	15.1
40.0	14	26	17.2
50.0	16	28	19.1
63.0	18	30	21.1
80.0	20	32	23.1

Norma UNI 9614 - “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”.

I contenuti di questa norma sono sostanzialmente analoghi a quelli della ISO 2631/2 anche se il testo e l'articolazione dei paragrafi differiscono a volte notevolmente. Nella norma UNI sono riportate indicazioni supplementari riguardanti le vibrazioni residue, la valutazione del disturbo dovuta a vibrazioni di livello non costante e a vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari.

³ La curva di ponderazione per postura non nota o variabile è calcolata a partire dalla relazione

$$\text{Attenuazione} = \sqrt{1 + (f/5.6)^2} \text{ dove } f \text{ è la frequenza di banda considerata}$$



Rispetto alla norma ISO variano anche le definizioni delle tipologie di vibrazione.

Le vibrazioni immesse in un edificio possono essere definite:

- di livello costante, quando il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza rilevato mediante costante di tempo "slow" (1 s) varia nel tempo in un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB;
- di livello non costante, quando il livello suddetto varia in un intervallo di ampiezza superiore a 5 dB;
- impulsive, quando sono originate da eventi di breve durata costituiti da un rapido innalzamento del livello di accelerazione sino ad un valore massimo a cui segue un decadimento del livello che può presentare o meno, a seconda dello smorzamento della struttura, una serie di oscillazioni che tendono ad estinguersi nel tempo.

La soglia di percezione delle vibrazioni si pone a $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ (74 dB) per l'asse z e a $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ (71dB) per gli assi x e y (valori di accelerazione ponderata in frequenza).

A partire da tali valori vengono definiti i limiti da applicarsi alle accelerazioni complessive ponderate in frequenza che riportiamo nella tabella 3.1.2.A seguente.

Nel caso di posture non note o variabili, i livelli di accelerazioni globali, ponderati in frequenza, devono essere confrontati con i limiti più restrittivi, ossia quelli definiti lungo gli assi x ed y.

Nel caso di edifici residenziali, il confronto deve essere su limiti differenziati per il periodo diurno e notturno, di cui è definita la durata:

- *Periodo diurno*: dalle 7:00 alle 22:00,
- *Periodo notturno*: dalle 22:00 alle 7:00.

Tab. 3.1.2.A.: Limiti delle acc.totali ponderate in frequenza, di livello costante e non

Destinazione d'uso	Accelerazione [m/s ²]	La [dB]
<i>Asse z</i>		
Aree critiche	5.0×10^{-3}	74
Abitazioni (Notte)	7.0×10^{-3}	77
Abitazioni (Giorno)	10.0×10^{-3}	80
Uffici	20.0×10^{-3}	86
Fabbriche	40.0×10^{-3}	92
<i>Assi x e y</i>		
Aree critiche	3.6×10^{-3}	71
Abitazioni (Notte)	5.0×10^{-3}	74
Abitazioni (Giorno)	7.0×10^{-3}	77

Uffici	14.4×10 ⁻³	83
Fabbriche	28.8×10 ⁻³	89

Nella norma vengono infine definite delle curve di ponderazione da applicarsi ai livelli misurati lungo l'asse z, gli assi x-y o su tutti gli assi, nel caso di posture non note o variabili. Le curve di ponderazione per gli assi x, y e z sono le stesse definite nella ISO 2631; la curva per postura non nota o variabile corrisponde in linea di massima a quella della ISO 2631, arrotondata per difetto alla prima cifra decimale.

Tab. 3.1.2.B.: Attenuazione filtri di ponderazione

<i>Frequenza [Hz]</i>	<i>Asse z [dB]</i>	<i>Assi x- y [dB]</i>	<i>Postura non nota o variabile [dB]</i>
1	6	0	0
1.25	5	0	0
1.6	4	0	0
2.0	3	0	0
2.5	2	2	0.5
3.2	1	4	1
4.0	0	6	1.5
5.0	0	8	2
6.3	0	10	2.5
8.0	0	12	3
10.0	2	14	5
12.5	4	16	7
16.0	6	18	9
20.0	8	20	11
25.0	10	22	13
31.5	12	24	15
40.0	14	26	17
50.0	16	28	19
63.0	18	30	21
80.0	20	32	23

In riferimento a quanto sopra riportato, ed al recente aggiornamento della norma UNI 9614 (Settembre 2017) che prevede metodologie di misura differenti rispetto a quelle finora utilizzate nei PMA e SIA di riferimento, si ritiene opportuno che il presente monitoraggio venga eseguito in conformità alla recente normativa, considerando quindi i relativi limiti (definiti a secondo alla destinazione d'uso dell'immobile monitorato, nel cap. 9 della norma UNI 9614:2017). In caso di riscontro di superamenti, al fine di verificare se la valutazione fatta in fase di studio di impatto ambientale fosse almeno conforme alla precedente normativa vigente alla data della pronuncia di compatibilità positiva da parte dell'autorità competente, si potrà procedere anche con un monitoraggio ai sensi della precedente norma.

Norme ISO 4866 e UNI 9916.

La norma ISO 4866 “Mechanical vibration and shock. Vibration of buildings. Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings” e la norma UNI 9916 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazione sugli edifici” sono in sostanziale accordo tra loro e sono pertanto descritte assieme.

Queste due norme stabiliscono i criteri e forniscono una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Un altro scopo descritto nelle norme è quello di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevati in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime.

Per semplicità, sono considerate gamme di frequenza variabili da 0,1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazione causata dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio (per esempio vibrazioni indotte da macchinari all'interno degli edifici): tuttavia eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio.

Gli effetti di danno a carico delle strutture vengono classificati secondo tre livelli:

- 1) Danno di soglia: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazioni di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata, con frequenze maggiori di 4 Hz e velocità di vibrazione di 4÷50 mm/s, e per vibrazioni continue, con velocità di 2÷5 mm/s.
- 2) Danno minore: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco di muri a secco; formazione di fessure in murature di mattoni. Possono verificarsi per:
 - a) vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz nel campo di velocità vibrazione compreso tra 20÷100 mm/s;
 - b) vibrazioni continue associate a velocità di 3÷10 mm/s.

3) Danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura.

Possono verificarsi per:

- a) vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale tra 20÷200 mm/s;
- b) vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.

In fondo alla norma sono riportate due appendici; la prima costituisce una guida semplificata e utile per classificare gli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno.

Nell'ambito di questa classificazione, un sistema dinamico è costituito dal terreno e dallo strato di base (magrone) sul quale si trovano le fondazioni (se esistono) oltre che la struttura medesima dell'edificio. Si considerano 14 categorie semplificate tenendo conto dei seguenti fattori:

- il tipo di costruzione,
- il tipo di fondazione,
- il tipo di terreno,
- fattori d'importanza sociale.

La seconda appendice fornisce una succinta rassegna di dati, tratti da normativa o letteratura, inerenti i livelli di vibrazione ritenuti accettabili per le costruzioni.

DIN 4150/3 “Eschütterungen im Bauwesen. Entwirkungen auf bauliche Anlagen”.

La norma DIN 4150 è divisa in tre parti come la ISO 2631. La terza parte di questa norma riguarda la determinazione e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

Numerose misure di velocità di vibrazione hanno permesso di definire valori di velocità ammissibili:

Tab. 3.1.4.A.: Valori numerici delle velocità ammissibili

		VELOCITA' DI VIBRAZIONE [mm/s] ⁴
--	--	---------------------------------------------

⁴ Si intende la massima delle tre componenti della velocità nel punto di misure.

CATEGORIA	TIPI DI STRUTTURE	Misura alla fondazione			Misura al pavimento dell'ultimo piano
		Campi di freq. (Hz)			Frequenze diverse
		>10	10-50	50-100 ⁵	
1	Edifici utilizzati per scopi commerciali, edifici industriali e simili	20	20-40	40-50	40
2	Edifici residenziali e simili	5	5-15	15-20	15
3	Strutture particolarmente sensibili alle vibrazioni, non rientranti nelle categorie precedenti e di grande valore intrinseco	3	3-8	8-20	8

a) velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie:

- sull'edificio (nel suo complesso) : non determinabile data la grande dispersione dei valori e delle casistiche;
- sui pavimenti: $v < 20$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione;

b) velocità massime ammissibili per vibrazioni stazionario:

- sull'edificio (nel suo complesso): $v < 5$ mm/s in direzione orizzontale misurata all'ultimo piano;
- sui pavimenti: $v < 10$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

La norma indica anche le modalità di verifica di resistenza al massimo sforzo di flessione, ricavato a partire dalla misura della massima velocità di vibrazione.

Norma ISO 8041-1:2017

Il testo della norma internazionale ISO 8041-1:2017 sostituisce la norma UNI EN ISO 8041:2005.

La norma indica i requisiti e i limiti di accuratezza della strumentazione per la misurazione delle vibrazioni utilizzata per la quantificazione della risposta degli esseri umani alle vibrazioni.

La strumentazione, specificata dalla norma, si applica per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (UNI EN ISO 5349-1), le vibrazioni trasmesse al corpo intero (UNI 9614, ISO 2631-1, ISO 2631-2, ISO 2631-4) e le vibrazioni a bassa frequenza (da 0,1 Hz a 0,5 Hz) trasmesse al corpo intero (ISO 2631-1).

⁵ Per frequenze maggiori di 100 Hz possono applicarsi i valori riportati in questa colonna.



La norma stabilisce i requisiti per valutazioni o validazioni di modelli, verifiche periodiche o verifiche in situ.

Rispetto alla precedente versione, la norma introduce nuove metodologie di prova degli strumenti non di serie.

4. MODALITA' DI MONITORAGGIO

Le modalità di monitoraggio saranno sostanzialmente le stesse nelle differenti fasi (ante operam /ante esercizio, costruzione ed esercizio) e saranno costituite da sopralluoghi e da misure dei livelli vibrazionali su quei ricettori prossimi a sorgenti significative (in AO / AE) oppure critici in relazione alle attività di costruzione (CO) e di esercizio (ES) della linea.

Prima dell'inizio delle attività di misura, saranno effettuate indagini preliminari volte ad acquisire i dati esistenti ed a verificare e caratterizzare le postazioni di misura.

In linea generale, le fasi che si seguiranno per la caratterizzazione dei recettori e per effettuare le misure sui punti individuati, sono quelle descritte nei paragrafi che seguono.

4.1 *Acquisizione dati pregressi*

Verranno acquisiti gli eventuali rilievi di vibrazioni effettuati da terzi successivamente all'emissione del presente documento. Saranno effettuate ricerche bibliografiche sulla geolitologia del territorio di interesse in prossimità dei punti di monitoraggio nonché l'escursione termica giornaliera nei diversi mesi al fine di individuare i periodi in cui saranno da evitare le misure per terreno gelato.

4.2 *Sopralluoghi preliminari*

In questa fase viene verificata la presenza di sorgenti significative esistenti e successivamente la fattibilità delle misure nelle stazioni di monitoraggio individuate, sia dal punto di vista dei fattori ambientali che possono influenzare i rilievi che da quello del posizionamento della strumentazione.

A questo proposito, sono presi accordi o acquisiti permessi per effettuare le misure all'interno di edifici pubblici o di proprietà private. Qualora non si riescano ad effettuare le misure su una postazione nell'ambito del punto di rilievo definito, viene individuato un nuovo punto di

monitoraggio, che si trovi il più vicino possibile alla sorgente di vibrazione da indagare ed al punto prima individuato.

Nel corso del sopralluogo si caratterizza la postazione di misura definendone tutti i dati anagrafici per la sua identificazione univoca.

Particolare attenzione è dedicata al rilevamento delle caratteristiche strutturali degli edifici che possono trasmettere, amplificare o attenuare il fenomeno vibratorio.

Per poter descrivere in maniera adeguata e valutare correttamente gli effetti delle vibrazioni si opera una classificazione degli edifici sulla base degli elementi descritti nelle ISO 9916, che concorrono a determinare la reazione di una struttura sottoposta agli effetti delle vibrazioni meccaniche.

Questi sono:

- categoria della struttura;
- fondazioni;
- natura del terreno.

Infine si verifica la eventuale presenza di nuove sorgenti di vibrazioni sul territorio interessato dal monitoraggio oltre a quelle già previste ed individuate.

Le informazioni così ottenute saranno inserite in appositi campi delle schede “anagrafiche” di ogni rispettivo ricettore.

4.3 Individuazione dei punti di monitoraggio

Con riferimento ai criteri assunti descritti nel seguito, sono individuate le postazioni di monitoraggio in corrispondenza dei recettori che potrebbero rivelarsi particolarmente sensibili (edifici abitati, capannoni industriali, siti archeologici, beni storico - monumentali).

4.4 Fissaggio dell'accelerometro agli elementi strutturali



Il fissaggio dei trasduttori agli elementi strutturali degli edifici sarà conforme alle indicazioni del costruttore o alla norma ISO 5348 per gli accelerometri⁶. Le modalità adottate saranno indicate nel rapporto di prova.

Nei limiti del possibile dovranno essere evitati elementi di supporto del trasduttore; in ogni caso l'elemento di supporto deve potersi considerare rigido nel campo di frequenze di interesse. Esso può essere fissato all'elemento strutturale per mezzo di viti o resine incollanti ad essiccazione rapida.

Il fissaggio diretto del captatore è sempre preferibile. Sono ammessi il collegamento meccanico con vite, l'incollaggio ed il fissaggio magnetico; in ogni caso il metodo adottato non deve causare alterazioni della grandezza da misurare nel campo di frequenza di interesse.

Per valutare la risposta globale della struttura i trasduttori non devono essere fissati vicino o in corrispondenza di punti singolari, ossia di zone della struttura ove variazioni di rigidità locali, discontinuità accentuate od altro possono influire in modo significativo sulla risposta misurata.

Le misure saranno effettuate al primo e all'ultimo piano fuori terra. Nel caso non sia possibile accedere all'interno del primo piano fuori terra, gli accelerometri saranno collocati all'esterno dell'edificio, mantenendo la distanza entro un metro dallo stesso, tenendo conto del differente tipo di terreno.

Gli accelerometri saranno collocati al centro del locale, con gli assi in corrispondenza rispettivamente della linea ferroviaria, la sua perpendicolare e la verticale.

a) **Edifici residenziali:** l'accelerometro sarà fissato in modo differente alla struttura da monitorare in relazione alle necessità specifiche del rilevamento, in generale nel centro dell'ambiente nel quale vengono condotte le misure. In particolare sarà opportuno – quando possibile – individuare lo schema strutturale degli orizzontamenti identificando le campate dei solai e disponendo quindi i sensori in corrispondenza della mezzera degli stessi solai (ove sono attese le massime vibrazioni per la componente verticale). Si eviteranno pavimenti rivestiti con moquette, linoleum o palchetti in legno ancorati su sottostrutture lignee, al fine di garantire il migliore risultato nella trasduzione del segnale, in quanto il medesimo non viene filtrato da una eventuale risonanza massa-molla. Potranno essere utilizzati sensori triassiali oppure 3 sensori monoassiali disposti secondo le tre componenti ortogonali di accelerazione. In quest'ultimo caso

⁶ UNI ISO 5348:1991 Vibrazioni meccaniche ed urti. Montaggio meccanico degli accelerometri



i sensori potranno essere fissati ad un blocco di acciaio del peso di circa 10-15 kg dotato di viti filettate i cui assi coincidono con la terna cartesiana di riferimento. Il blocco di acciaio verrà semplicemente appoggiato al solaio, verificando la messa in bolla del blocco.

b) **Edifici industriali:** i criteri di fissaggio del trasduttore al basamento della macchina o del locale dipenderanno dalle specifiche condizioni operative e dalle caratteristiche del basamento o del locale stesso. Per quanto attiene il posizionamento dei sensori vale quanto indicato con riferimento agli edifici residenziali.

c) **Siti archeologici e beni storico-monumentali:** in corrispondenza dei punti di monitoraggio in esterno (reperti archeologici, siti storico-monumentali, etc.) il sensore verrà fissato ad un blocco di acciaio del peso di circa 10-15 kg dotato di viti filettate o altri dispositivi i cui assi coincidono con la terna cartesiana di riferimento. Il blocco di acciaio sarà semplicemente appoggiato al suolo, in zona piana, avendo cura di eliminare lo strato vegetale eventualmente presente, oppure sulla struttura muraria facente parte del bene archeologico o storico-monumentale.

4.5 Modalità di rilievo

Nell'ambito di ciascuna fase di monitoraggio, le misure potranno avere differente durata come descritto al successivo paragrafo "Articolazione temporale delle misure".

I rilievi sono eseguiti tenendo presente che:

- All'inizio di ogni rilievo si procede innanzitutto alla definizione del campo dinamico di misura con delle registrazioni di livelli di vibrazione nelle 3 direzioni ortogonali; quindi si effettua la misura del segnale.
- Gli indicatori rilevati durante le misure, sono quelli elencati al successivo paragrafo "Indicatori" ed in particolare vengono acquisiti i valori di accelerazione efficace, globale e per bande d'ottava.
- La calibrazione dell'intera catena di misura è effettuata all'inizio di ogni giornata di misure ed ogni qual volta possa servire (cambio cassette nel DAT, urto accidentale dell'accelerometro, ecc.).



Le misurazioni che saranno effettuate nella fase di corso d'opera (vibrazioni da attività di cantiere e di linea) avranno una durata di almeno 2 ore presidiate a seconda sia dell'attività monitorata che della significatività delle misure in riferimento alla norma UNI 9614:2017.

In fase di esercizio le misure sui ricettori dovranno avere durata tale da registrare/identificare almeno 15 eventi (in conformità all'Appendice A della norma UNI 9614:2017). L'evento è costituito dal passaggio dell'intero singolo convoglio sul binario.

Durante tutto il tempo della misura si avrà cura di evitare interferenze con movimenti dovuti a persone eventualmente presenti; nel caso fosse impossibile, la misura sarà schermata.

4.6 Rilievo di altre informazioni

Al fine di associare i singoli eventi alle misure saranno inoltre rilevate le lavorazioni impattanti, i flussi di traffico veicolare/ferroviario e le caratteristiche di altre potenziali sorgenti di vibrazioni nel periodo di registrazione prescelto. I dati saranno inseriti nelle schede di monitoraggio che verranno compilate per ogni campagna di misura.

4.7 Strumentazione

I sensori di misura sono trasduttori atti a misurare grandezze fisiche (siano esse cinematiche, meccaniche o di altro tipo) sia in campo statico sia in campo dinamico.

Generalmente il trasduttore è collegato ad un circuito elettronico di condizionamento in grado di fornire un segnale elettrico legato alla grandezza da misurare; il segnale può essere acquisito e registrato per le necessarie elaborazioni.

La catena complessiva di misura (trasduttori, apparecchi per il condizionamento del segnale ed il sistema di registrazione dati) deve essere calibrata in accordo con le specifiche del costruttore od alle norme ISO 5347 e ISO 16063. La calibrazione della catena di misura sarà effettuata mediante un apposito calibratore da campo. La calibrazione dell'intera catena di misura sarà effettuata all'inizio ed alla fine di ogni ciclo di misura.

Nel rapporto di prova dovrà essere completamente descritta la catena di misura ed acquisizione dati e dovranno essere precisate le caratteristiche di risposta in frequenza del sistema di misura completo.



La catena di misura si compone usualmente di:

- Accelerometri monoassiali/triassiali;
- Amplificatore di carica;
- Analizzatore di spettro in tempo reale o registratore magnetico DAT;
- PC portatile⁷;
- Software dedicato per l'acquisizione dati.

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

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

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

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

4.7.1 Taratura della strumentazione

Gli strumenti di misura utilizzati saranno corredati da certificato di taratura rilasciato da laboratorio qualificato secondo quanto definito dalla norma UNI 9614:2017 (**intervallo di taratura**

⁷ La registrazione del segnale può avvenire o su DAT o su PC o su entrambi

3 anni). I certificati di taratura della strumentazione di misura utilizzata saranno resi disponibili nella documentazione di monitoraggio.

4.7.2 Calibrazione della strumentazione

La calibrazione della catena di misura sarà svolta utilizzando appositi calibratori tarati. Il modo più comodo per eseguire in campo il controllo periodico della calibrazione consiste nell'impiego di una sorgente di vibrazione calibrata alimentata a batteria.

Qualora sia utilizzata un sistema di registrazione e di riproduzione, i segnali di calibrazione saranno registrati.

4.8 Indicatori

4.8.1 Indicatori vibrazionali

Grandezze di base

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

- il vettore *spostamento*, $\mathbf{s} = (s_x \quad s_y \quad s_z)$, misurato in m;
- il vettore *velocità*, $\mathbf{v} = (v_x \quad v_y \quad v_z)$, misurato in m/s;
- il vettore *accelerazione*, $\mathbf{a} = (a_x \quad a_y \quad a_z)$, misurato in m/s².

Queste grandezze possono alternativamente essere espresse, invece che in m, m/s, m/s², come livelli in dB rispetto a dei valori di riferimento, secondo le seguenti espressioni⁸:

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

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

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

Durante l'esecuzione del monitoraggio, la grandezza di base, che sarà rilevata per caratterizzare l'intensità delle vibrazioni, sarà l'accelerazione.

⁸ Queste definizioni possono essere applicate a ciascuna componente delle grandezze considerate così come ai loro valori efficaci, la cui definizione è data nel paragrafo successivo, ecc..

In situazioni specifiche (per esempio per la valutazione dei danni agli edifici), potranno inoltre essere misurate, tramite integrazione diretta del segnale proveniente dall'accelerometro, la velocità e/o lo spostamento.

Valore efficace della accelerazione e accelerazione ponderata totale efficace

Gli indicatori di disturbo alle vibrazioni di tipo psicofisico, legati alla capacità percettiva dell'uomo, vengono definiti in base alla risposta dell'organismo umano alla sollecitazione vibratoria. La grandezza fisica di interesse per valutare il disturbo alle persone è l'accelerazione e , trattandosi di fenomeni periodici, è necessario fare riferimento al valore efficace RMS. La determinazione delle leggi di variazione della sensibilità in funzione della frequenza e dei livelli è stata definita in ambito normativo ISO ed ha permesso di elaborare un criterio di valutazione delle vibrazioni che tiene conto dello spettro. La norma UNI utilizza invece indicatori globali integrati in tutto l'intervallo di frequenza, a cui si applicano opportune curve di pesatura.

Per le misure di vibrazioni il trasduttore meccanico elettrico che si impiega comunemente è l'accelerometro: un trasduttore la cui risposta è lineare e costante in frequenza se costante è l'accelerazione a cui è sottoposto.

Per l'intera storia temporale del segnale ponderato viene calcolato l'andamento nel tempo del valore efficace dell'accelerazione ponderata, per ogni singolo asse cartesiano:

$$a_{w,rms,j}(t) = \left(\frac{1}{\tau} \times \int_{t-\tau}^t a_{w,j}^2(\xi) \times d\xi \right)^{0,5}$$

dove:

- a: accelerazione in funzione del tempo;
- w: ponderazione in frequenza mediante la curva W_m indipendente dalla direzione di misura;
- j: indica l'asse di misura (x, y, z);
- t: indica il tempo d'integrazione pari a 1 s.

Il calcolo dell'accelerazione ponderata totale efficace $a_w(t)$ deve essere eseguito per combinazione, istante per istante, a partire dalle tre accelerazioni assiali ponderate calcolate mediante l'equazione seguente:

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,rms,x}^2(t) + a_{w,rms,y}^2(t) + a_{w,rms,z}^2(t)}$$

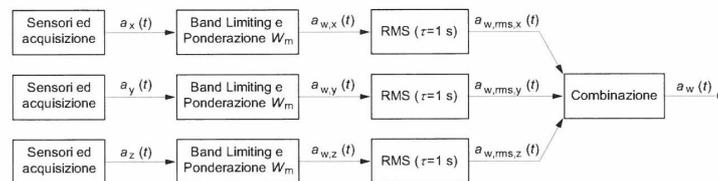
dove :

$a_{w,rms,x}$: componente del valore efficace dell'accelerazione ponderata rispetto all'asse x;

$a_{w,rms,y}$: componente del valore efficace dell'accelerazione ponderata rispetto all'asse y;

$a_{w,rms,z}$: componente del valore efficace dell'accelerazione ponderata rispetto all'asse z.

La combinazione delle tre componenti assiali del valore efficace dell'accelerazione ponderata è effettuata secondo quanto richiesto dalla norma UNI ISO 2631-1:1997 al punto 6.5 con k_x, k_y, k_z pari a 1. Si riporta di seguito lo schema del calcolo della accelerazione ponderata efficace.



La massima accelerazione ponderata è calcolata come il massimo dei valori dell'accelerazione ponderata efficace, all'interno del singolo j-esimo evento:

$$a_{w,max,j} = \max(a_w(t))$$

La massima accelerazione statistica, $a_{w,95}$ è data dalla seguente equazione:

$$a_{w,95} = \overline{a_{w,max}} + 1,8 \times \sigma$$

dove:

$a_{w,max}$ è il valore medio della massima accelerazione ponderata calcolato mediante la media aritmetica delle massime accelerazioni ponderate relative agli N eventi considerati:



$$\overline{a_{w,max}} = \frac{\sum_{i=1}^N a_{w,max,i}}{N}$$

s è lo scarto tipo della distribuzione delle massime accelerazioni ponderate, calcolato mediante l'equazione:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_{w,max,i} - \overline{a_{w,max}})^2}{N-1}}$$

Nel caso in cui non sia possibile misurare più di 5 eventi, il valore di $a_{w,95}$ non è sufficientemente attendibile; di conseguenza il valore di $a_{w,95}$ deve essere stimato mediante la più elevata delle massime accelerazioni ponderate relative agli N venti misurati. Questo aspetto deve essere chiaramente riportato all'interno del rapporto di misura.

Accelerazione associata alla sorgente

Le vibrazioni associate alla sorgente ritenuta fonte di disturbo devono essere quantificate mediante l'accelerazione ponderata massima statistica alla sorgente, V_{sor} , che deve essere calcolata a partire dalla accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni immesse, V_{imm} , e dalla accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni residue, V_{res} , con la seguente relazione:

$$V_{sor} = \sqrt{(V_{imm}^2 - V_{res}^2)}$$

4.8.2 Altre informazioni

Durante l'esecuzione delle misure, per ciascuna postazione e per ogni fase di monitoraggio, saranno rilevate anche le seguenti informazioni:

- lavorazioni effettuate nei cantieri;
- lavorazioni effettuate lungo la linea;



- traffico su infrastrutture stradali (flussi veicoli pesanti e leggeri, distanza minima dell'infrastruttura dal ricettore, ecc.) e ferroviarie (numero e composizione dei treni transitati, tipologia, distanza dal ricettore, ecc.).

Il rilievo del traffico in prossimità di sorgenti veicolari o ferroviarie potrà essere effettuato tramite l'impiego di una telecamera ed un sistema di fotocellule, con un sistema di spire (da adottarsi per il rilievo del solo traffico stradale) o con altra metodica.

4.9 Misure previste e criteri di individuazione dei punti di monitoraggio

I punti di monitoraggio delle vibrazioni sono stati individuati nell'ambito delle aree potenzialmente impattate durante la fase di costruzione e di esercizio della linea ad alta velocità / alta capacità, ovvero aree in cui più probabilmente potrebbero essere raggiunti i limiti di accelerazione globale ponderata indicati dalla norma UNI 9614:2017.

I recettori in cui sono stati posizionati i punti di monitoraggio sono stati scelti in base a:

- distanza dalla sorgente (massimo 200 m);
- presenza di cantieri operativi limitrofi agli edifici;
- presenza di attività particolarmente impattanti lungo linea ed in corrispondenza di edifici abitati;
- presenza di siti archeologici o beni storico-monumentali ricadenti in una fascia di 200 m dalla linea;
- probabile esposizione alle vibrazioni indotte dal passaggio del treno (distanza massima 200 m).

Le distanze sono da intendersi misurate dall'asse del binario più esterno per quanto attiene le linee ferroviarie e dal ciglio delle strade per il passaggio di mezzi di cantiere.

Una volta determinata l'area critica ed individuati gli edifici ricadenti in tale area, per mezzo delle schede contenute nel documento "Rumore e Vibrazioni schede di censimento dei Ricettori", si è proceduto a selezionare gli edifici che probabilmente saranno maggiormente impattati. Saranno comunque oggetto di monitoraggio i ricettori per i quali le simulazioni modellistiche eseguite nell'ambito dello Studio Vibrazionale hanno evidenziato possibili criticità in fase di esercizio (per ricettori tra loro vicini potrà essere eseguita la misura solo su quello più esposto).



La corretta individuazione dei punti di monitoraggio sarà verificata ulteriormente per mezzo di sopralluoghi dettagliati, finalizzati al riconoscimento diretto dei parametri in grado di intervenire sulla propagazione, smorzamento e amplificazione delle vibrazioni tra sorgenti e ricettori (tipologie di fondazioni, spessori dei solai, inerzia della struttura portante dell'edificio, etc.) e sulla criticità del ricettore (presenza di attività industriali che utilizzano macchine, sistemi o tecnologie di precisione, etc.).

Dovrà essere valutata anche l'effettiva abitabilità e la disponibilità dei proprietari alla realizzazione delle misure.

Nel caso in cui si siano riscontrati più ricettori ricadenti nei criteri assunti per la scelta dei punti di monitoraggio poco distanti tra loro, si è individuato quale punto di monitoraggio il ricettore potenzialmente soggetto ai livelli di vibrazione più gravosi.

Nella fase *ante operam / ante esercizio* sarà definito lo stato attuale tramite la misurazione dei livelli di vibrazioni in quelle aree in cui sono già presenti sorgenti significative (strade ad intenso traffico, ferrovie, ecc.).

Nella fase di *costruzione* saranno controllati e confrontati con la normativa e con le misure già effettuate dal monitoraggio, i livelli di vibrazione sui ricettori di cantiere e di linea individuati.

Nella fase di *esercizio* saranno rilevate le immissioni di vibrazione dovute al passaggio di convogli ferroviari sulla nuova linea AV/AC, in corrispondenza di ricettori critici, allo scopo di valutare l'evoluzione della situazione vibrazionale rispetto alla fase ante esercizio e l'efficacia degli interventi di mitigazione adottati e l'eventuale necessità di adottarne ulteriori.

I punti di monitoraggio possono essere distinti in base all'attività monitorata in:

- punti a monitoraggio del fronte avanzamento lavori,
- punti a monitoraggio di cantieri,
- punti a monitoraggio dell'esercizio ferroviario.

Le misure presso i ricettori saranno condotte in ambiente abitativo interno, con una postazione di misura ubicata al primo piano fuori terra ed una all'ultimo piano dello stesso edificio nel caso di edifici a più piani, in quei locali abitativi nei quali, a seguito di sopralluogo ed analisi preliminare, sono prevedibili i livelli di vibrazione più elevati in concomitanza delle diverse sorgenti.

Qualora presso un punto siano previste misure relative a più fasi, nelle diverse campagne sarà mantenuta la stessa localizzazione della postazione di rilievo.

I rilievi saranno effettuati congiuntamente lungo gli assi x, y, z. L'orientamento degli assi x e y sarà documentato in modo da poter essere riprodotto nelle misure effettuate in fasi successive.

Sono comunque sottoposti a monitoraggio anche quei punti, qualora venissero individuati, di riconosciuta elevata sensibilità alle vibrazioni quali: beni monumentali, siti archeologici, industrie che operano utilizzando macchinari e strumentazione di precisione.

Nel corso delle misure saranno annotati i flussi di traffico veicolare, durante le misure in fase di costruzione saranno inoltre descritte le lavorazioni in corso nelle aree di lavoro. Per la fase di esercizio, oltre ai dati di traffico veicolare, si acquisiranno i dati di transito ferroviario: in particolare sarà indicata ora e durata di transito nonché le caratteristiche dei convogli ferroviari.

Di seguito sono specificati i criteri di selezione dei punti di monitoraggio adottati con riferimento alle diverse fasi.

Ante operam(AO) / ante esercizio (AE)

Nella fase ante operam/ante esercizio le misure saranno previste presso quei ricettori nei quali può essere significativo l'effetto di sorgenti già presenti sul territorio. Sono stati comunque considerati:

- Ricettori posti a distanza minore o uguale a 200 m dalla linea AV che risentano dell'interferenza di infrastrutture esistenti(autostrada A4, Linea FS Milano-Venezia, altre strade statali e/o provinciali di elevato traffico) o in progetto;
- Ricettori sensibili.

Tutti i ricettori che prevedono la fase di AO/AE avranno anche una fase di monitoraggio durante la fase realizzativa della linea e/o durante l'esercizio della stessa.

La durata delle misure (una misura per ogni punto di monitoraggio) per i punti per cui in fase di sopralluogo è stata accertata la presenza di sorgenti significative, sarà pari ad almeno 2 ore presidiate. Nel caso di edificio a più piani, vi saranno due postazioni: una al primo piano fuori terra ed una all'ultimo piano.

Corso d'opera (CO)

I punti di monitoraggio sono stati individuati assumendo i seguenti criteri:

- Fronte avanzamento lavori: con riferimento alle diverse attività previste (infissione palancole, esecuzione/infissione pali di fondazione, scavo, compattazione terra) sono stati individuati i ricettori abitati o ad elevata sensibilità ambientale più prossimi ai lavori lungo il tracciato;
- Cantieri: per i cantieri in cui sono previste attività impattanti dal punto di vista delle vibrazioni si realizzerà una misura presso il ricettore più esposto ad una distanza inferiore a 200 m dal perimetro del cantiere. In relazione alle lavorazioni previste sono oggetto di monitoraggio i cantieri operativi, le aree necessarie alla realizzazione delle gallerie e i cantieri armamento.

Verranno analizzate le vibrazioni prodotte dai cantieri, verificando nei ricettori sensibili più vicini ai cantieri e fronte avanzamento lavori il rispetto dei limiti differenziali.

Nell'eventualità che nel corso della fase di costruzione emergano aree di interesse archeologico ad oggi non conosciute per le quali sia previsto il loro mantenimento, saranno individuati punti di misura integrativi dei livelli di vibrazione.

La durata delle misure (quattro misure per ogni anno di corso d'opera per ogni punto di monitoraggio individuato) sarà pari ad almeno 2 ore presidiate a seconda sia dell'attività monitorata che della significatività della raccolta dati in funzione dei parametri tecnici richiesti dalla norma UNI 9614:2017. Nel caso di edificio a più piani, vi saranno due postazioni: una al primo piano fuori terra ed una all'ultimo piano.

Per la scelta del periodo di attivazione della misura, nel caso dei cantieri si farà riferimento alle attività standard all'interno dell'orario di lavoro, nel caso di attività di linea verranno monitorate le lavorazioni da ritenersi maggiormente impattanti.

Nel caso in cui si dovesse rilevare il superamento della soglia di disturbo alla popolazione si provvederà mediante comunicazione a segnalare la criticità riscontrata; il modulo di comunicazione dovrà contenere la descrizione delle lavorazioni in essere al momento della misura e l'indicazione della loro durata prevista e definire eventuali opere di mitigazione finalizzate al rispetto del limite.

Con l'ottica di poter sviluppare indicatore di criticità, si rimane in attesa di uno specifico TT per condividere la linea guida che dovrà essere emessa da parte del Nucleo Tecnico, così come condiviso nel tavolo tecnico del 03/11/20, per la gestione di eventuali situazioni di criticità registrate durante il monitoraggio di CO (definizione di un eventuale indicatore di allerta e soglie di riferimento), in linea con quanto già fatto per la componente Rumore e Atmosfera.

In particolare, a valle di tali linee guida, potranno essere calate le potenziali mitigazioni da poter impiegare, con lo scopo di dissipare l'evento vibrazionale temporaneo, nello specifico:

- Tagli netti nel terreno c.d. “prefori”;
- Ordine di infissione delle palancole, ovvero prediligendo dapprima il lato verso il recettore e poi il lato di fronte, in maniera tale che la palancolata posata in precedenza possa creare una barriera fisica interrata fungendo da dissipatore;
- Valutazione della tipologia di esecuzione delle opere tramite “campi prova”, con lo scopo di individuare la miglior metodica fattibile a livello progettuale che nel contempo emetta il minor impatto vibrazionale possibile;
- Condivisione con la popolazione interessata delle tempistiche di esecuzione;

Esercizio (ES)

In relazione alle informazioni disponibili sono state individuate diverse tipologie di punti di monitoraggio:

- Ricettori abitati distanti meno di 200 metri dai tratti di linea in cui sono previsti interventi di mitigazione con riferimento alle vibrazioni;
- punti di riconosciuta elevata sensibilità alle vibrazioni (beni storico monumentali e siti archeologici), posti ad una distanza inferiore o uguale a 200 m;
- edifici, posti ad una distanza comunque inferiore a 200 m, dove è previsto un livello di vibrazioni indotto dal passaggio treni, maggiore o uguale al limite indicato dalla norma UNI 9614 (Appendice A, Prospetto III) diminuito di un dB.

Come già indicato con riferimento alla fase di costruzione, anche in esercizio saranno individuati punti di misura integrativi, nell’eventualità che emergano aree di interesse archeologico ad oggi non conosciute.

Le misure saranno svolte quando il traffico ferroviario sarà arrivato a regime (non prima dei 6 mesi dall’entrata in esercizio della linea). Le misure presso ciascun ricettore individuato (una misura per ogni punto di monitoraggio) dovranno registrare almeno **15 transiti (come specificato nell’appendice A della norma UNI 9614:2017)**. La durata della misura sarà adeguata al fine di comprendere tali passaggi e in ogni caso non inferiore a 2 ore presidiate.

Nei tratti in cui la linea AV/AC corre in affiancamento alla linea storica la misura verrà eventualmente aumentata del tempo necessario per rendere la misura la più significativa possibile ai fini del monitoraggio della sola linea AV/AC. Nel caso di edificio a più piani, vi saranno due postazioni: una al primo piano fuori terra ed una all’ultimo piano.

Per una analisi accurata e cautelativa degli effetti vibrazionali sui ricettori si considera una fascia di verifica con lo strumento del monitoraggio post operam di 50 m dalla ferrovia.

In tutti i casi in cui si dovesse rilevare il superamento dei limiti si definiranno e si porranno in atto le relative mitigazioni finalizzate al rispetto del limite.

Misure presso la viabilità di progetto (Extralinee)

Le modalità di monitoraggio presso i ricettori individuati per il monitoraggio vibrazionale delle opere afferenti la realizzazione delle nuove viabilità stradali, contemplate nel progetto della linea AV/AC Brescia-Verona, risultano essere le medesime utilizzate per il monitoraggio dell'infrastruttura ferroviaria. Ovviamente differenziano nelle modalità applicate in Fase di PO-Esercizio, in quanto non andranno a rilevare i valori prodotti dal transito dei convogli, ma quelli attribuibili al traffico gommato presente sulle nuove viabilità stradali.

4.10 Articolazione temporale delle misure

La scelta dei periodi di monitoraggio sarà fatta, tra l'altro, considerando le caratteristiche microclimatiche dell'ambiente di misura; vista infatti la sensibilità degli accelerometri, variazioni di temperatura e alti valori di umidità relativa possono influire sui risultati in maniera significativa.

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

Oltre ai fattori climatici, i rilievi sono influenzati dalle variazioni cicliche dei flussi di traffico. Sono perciò escluse le misure in periodi particolari (giorni festivi e prefestivi, mese di agosto, ultima settimana di dicembre, settimana di Pasqua, giorni di mercato o coincidenti con eventi attrattori di traffico).

Le campagne di rilievo, dove previste, saranno effettuate, per ogni punto di monitoraggio, una volta nelle fase ante operam, quattro volte l'anno nella fase di corso ed una volta durante la fase di esercizio.



Per i ricettori che prevedono fasi “AE” (ossia una misura in fase ante esercizio e una in fase di esercizio), la misura della fase “A” sarà da realizzarsi terminata la realizzazione della linea (ossia in corrispondenza dell’ultima campagna di Fase CO), prima dell’entrata in esercizio della stessa ovvero del transito treni, a monitoraggio dei quali è prevista la fase “E”.

Sulla base della durata dei campionamenti temporali previsti su ciascuna postazione di monitoraggio, del numero dei recettori, dell’elaborazione dati e restituzione degli stessi tramite schede di misura e documenti periodici e dei periodi in cui si svolgeranno i lavori di realizzazione della linea Alta Velocità, si definirà un programma delle attività relative al monitoraggio durante le diverse fasi.

In corso d’opera, per effettuare le misure, si privilegeranno i primi periodi in cui sono previste le massime interferenze al fine di acquisire informazioni utili a minimizzare i disturbi causati dalle attività di costruzione nelle fasi successive. Le campagne di misura per il fronte avanzamento lavori saranno effettuate trimestralmente e in occasione delle lavorazioni critiche dal punto di vista delle vibrazioni. Anche presso i cantieri le misure avranno una frequenza trimestrale e le misure saranno programmate contestualmente alle lavorazioni più impattanti. Tali frequenze potranno comunque essere intensificate in caso di criticità. Le campagne di misura si protrarranno per tutta la durata delle attività impattanti di costruzione della specifica opera per cui è stato attivato il punto di monitoraggio. Nei tre mesi precedenti al completamento dell’opera/entrata in esercizio, verranno eseguite le misure di “ante-esercizio”, mirate anche alla misurazione vibrazionale prodotta dal transito “spot” del treno prova.

Una volta che il passaggio treni sarà a regime (circa 6 mesi dall’entrata in esercizio) inizierà la vera e propria fase di esercizio/Fase PO. Questa si protrarrà per circa 2 mesi durante i quali saranno effettuati rilievi in tutte le aree di monitoraggio individuate, controllando il rispetto dei valori limite dettati dalla normativa e verificando l’efficacia delle opere di mitigazione.

4.11 Localizzazione dei punti di monitoraggio



Applicando alla tratta Alta Velocità Milano - Verona la metodologia di selezione dei punti descritta precedentemente sono state identificate le aree da sottoporre a monitoraggio nelle fasi ante operam / ante esercizio, corso d'opera ed esercizio.

In generale i punti sono stati scelti e posizionati in aree che possono essere considerate come rappresentative, sia per quanto riguarda la fase di costruzione che per quella di esercizio, di situazioni simili riscontrabili lungo tutto il tracciato della linea che verrà realizzata.

La localizzazione, nell'ambito di tale fascia territoriale, di ciascuno dei punti oggetto del monitoraggio, identificati mediante un codice del tipo "AV-xx-VIB-nn" (in cui la sigla "AV" è l'acronimo di Alta Velocità, "xx" sigla identificativa del comune di ubicazione, "VIB" sta per "Componente Vibrazioni", mentre "nn" è il numero d'ordine a due cifre proprio di ciascun punto), è riportata nelle tavole dell'Atlante Cartografico in scala 5000 annesso alla presente relazione, unitamente alle rappresentazioni e altre indicazioni relative alle caratteristiche di ubicazione ed estensione delle aree di cantiere, tecniche e di stoccaggio, e delle principali opere quali gallerie, trincee, viadotti, sovrappassi e sottopassi (per la corretta rappresentazione di sottovia e cavalcaferrovia e delle opere relative all'idraulica si faccia comunque riferimento agli elaborati specifici).

Nell'allegato 1 vengono riportati i punti di monitoraggio individuati; per ogni punto sono indicati, tra l'altro: il codice del punto, informazioni sull'ubicazione (lotto, pk, posizione e distanza rispetto alla linea, comune, la scheda di censimento del ricettore individuabile nel documento IN05DE2NZAR00030021, ecc.), interferenze, fasi, frequenza, eventuali note, il riferimento alla tavola dell'atlante cartografico su cui trovare il punto.

La localizzazione dei punti/ricettori individuati sul territorio è riportata nel suddetto Atlante Cartografico relativo alla componente Vibrazioni.

4.12 Monitoraggio delle vibrazioni trasmesse a strutture fisse

Il problema delle vibrazioni degli edifici ha assunto, negli ultimi anni, sempre maggiore importanza sia in relazione alla diversa tipologia strutturale delle costruzioni moderne, più snelle e più leggere grazie ad un più razionale utilizzo dei materiali con migliori caratteristiche di resistenza meccanica, sia in relazione al moltiplicarsi delle fonti di vibrazione, in special modo quelle generate dalle attività dell'uomo: sorgenti di vibrazione quali attività di cantiere, scoppi di mine, funzionamento di macchine e traffico stradale e ferroviario, possono essere causa di



disturbo e apprensione degli occupanti di edifici e ciò può portare alla necessità di verificare se le vibrazioni siano tali da indurre o meno danni alla costruzione, soprattutto in presenza di evidenti danni architettonici generati da altre cause.

In generale, danni strutturali all'edificio nel suo insieme attribuibili a fenomeni vibratorii sono estremamente rari e quasi sempre derivano dal concorso di altre cause. Perché le vibrazioni possano arrecare danni strutturali è necessario che esse raggiungano livelli tali da causare, prima, fastidio e disturbo agli occupanti.

Nell'ambito del progetto in esame si precisa che la commissione CTVA-MATTM in sede di Delibera CIPE n.42/17, analizzata la VIA e relativo SIA del progetto Brescia Est - Verona, ha ritenuto di esprimere una sola prescrizione (n. 250) in merito al possibile danno agli edifici da vibrazioni indotte, di seguito riportata:

250. Relativamente al Santuario del Frassino, sito nel comune di Peschiera del Garda, data la prossimità dell'infrastruttura al complesso monumentale, effettuare il monitoraggio del monumento ed in particolare degli apparati decorativi esterni; si prescrive altresì un intervento di preconsolidamento di tali apparati (da sottoporre alla preventiva autorizzazione da parte della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Verona, Rovigo e Vicenza) prima dei lavori di scavo, al fine di limitare la possibilità di eventuali danni causati dalle vibrazioni. Qualsiasi anomalia dovesse risultare dal monitoraggio in fase di cantiere, dovrà essere tempestivamente comunicata alla citata Soprintendenza per le valutazioni di competenza.

Sarà quindi effettuato il monitoraggio delle vibrazioni secondo la UNI 9916 per il monumento della succitata prescrizione in occasione delle lavorazioni più significative per la generazione di fenomeni vibratorii.

Per tutti gli altri ricettori, in particolare ad uso residenziale, le lavorazioni previste sono caratterizzate da una emissione vibrazionale trascurabile ai fini del controllo dell'effetto sulle strutture, in relazione anche alle distanze tra il sito di lavorazione e il ricettore stesso. L'entità delle vibrazioni rilevate nell'ambito del monitoraggio del disturbo (UNI 9614) presso gli edifici ravvicinati ai tratti della linea già realizzati (Treviglio-Brescia), confermano la scarsa utilità di effettuare anche le verifiche per il controllo degli effetti sugli edifici.

Al fine di approfondire ulteriormente l'argomento, nel periodo settembre-ottobre 2020 il consorzio Cepavdue ha effettuato uno studio vibrazionale preventivo in campo prova, condotto per la lavorazione più significativa per l'impatto da vibrazioni, rappresentata dalla vibroinfissione



delle palancole. L'indagine ha previsto il contemporaneo monitoraggio del disturbo alla popolazione e del danno agli edifici in 4 punti in linea alle distanze di 5-10-15 e 25 m dal punto di infissione.

I risultati dello studio per questa attività, che si può considerare la più impattante per la componente vibrazionale, hanno evidenziato un superamento atteso delle soglie per il disturbo fino a circa 70 m di distanza (infissione con prefori). Per quanto concerne invece gli effetti sulle strutture non sono stati in generale rilevati superamenti dei valori di riferimento per la velocità di picco p.c.p.v. a 25 m di distanza; solo per un intervallo di pochi secondi dell'infissione alla frequenza di 25 Hz sono stati rilevati picchi istantanei allineati o lievemente superiori ai valori di riferimento. Si precisa che i valori di riferimento definiti dalla norma tecnica DIN4150-3 riguardano solo l'effetto diretto delle vibrazioni sugli edifici: al di sotto di tali valori, salvo casi particolari, è ragionevole presumere che non vi sia alcun danno (neppure cosmetico); il superamento di tali valori invece non implica il verificarsi del danno ma è un segnale della necessità di indagini più approfondite. Alla luce dei risultati dello studio si può asserire che i valori di picco delle velocità, rilevate in occasione dell'infissione di palancole con prefori (lavorazione in grado di produrre i livelli di vibrazioni attesi più elevati nell'ambito delle attività costruttive della linea A.V.), a parità di condizioni di propagazione (caratteristiche geomeccaniche dei terreni) e di lavoro, sono da considerarsi in generale inferiori ai valori di riferimento della norma UNI 9916. Come già sottolineato potrebbero però manifestarsi eventuali sporadici picchi di velocità fino a 25 m di distanza sorgente-ricettore, o poco oltre, e per tale ragione appare eventualmente utile valutare l'opportunità di eseguire un monitoraggio delle vibrazioni in fondazione secondo la norma UNI 9916 presso solo quegli edifici che si dovessero venire a trovare ad una distanza minima inferiore a 30 m dal punto più ravvicinato e sia previsto dal progetto esecutivo la realizzazione di palancole.

In conclusione si ribadisce la poca significatività di analizzare anche la velocità vibrazionale per il controllo degli effetti alle strutture ai sensi della UNI 9916, per tutti i punti di monitoraggio previsti dal PMA esecutivo, per i quali sarà quindi svolta solo l'analisi vibrazionale del disturbo ai sensi della UNI 9614:2017.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte solamente per i seguenti punti di monitoraggio potrà essere svolta anche la verifica secondo la UNI 9916 contestualmente alle misure per il monitoraggio del disturbo (UNI 9614), durante l'infissione delle palancole:

- AV-PE-VR-1-13



- AV-PE-VR-1-14

5.DOCUMENTAZIONE PRODOTTA E SISTEMA INFORMATIVO

Al termine dell'effettuazione delle campagne di misura i dati raccolti, relativi a ciascuna postazione di monitoraggio, sono elaborati al fine di valutare l'interferenza subita, mettendo in relazione i valori misurati con le condizioni ante operam / ante esercizio e con i valori di normativa, allo scopo di verificare il rispetto degli standard per la salute pubblica.

Al termine di ogni fase, e con cadenza trimestrale durante la fase di corso d'opera, verranno prodotti dei documenti di sintesi delle misure, al fine di fornire una visione di insieme di tutti i dati raccolti, commentati e spiegati anche per mezzo di opportune elaborazioni. Per la fase di corso d'opera, al termine della stessa, sarà prodotta inoltre una relazione conclusiva che comprenderà dati e analisi di sintesi di tutte le misure effettuate nel periodo di costruzione della linea, al fine, tra l'altro, di valutare quali cambiamenti ha subito il livello vibrazionale nell'intorno dei ricettori durante le attività e in che modo le eventuali mitigazioni adottate hanno influito sui suddetti livelli.

5.1 Documentazione prodotta

Durante lo svolgimento del monitoraggio saranno prodotti i seguenti documenti:

- A. **Relazione ante operam:** sarà emessa una relazione al termine delle campagne di monitoraggio relative alla fase ante operam.
- B. **Relazioni trimestrali in fase di corso d'opera:** al termine di ogni trimestre di monitoraggio di corso d'opera sarà predisposta una sintesi delle misure e delle elaborazioni effettuate durante i 3 mesi di riferimento evidenziando le eventuali situazioni critiche incontrate, le soluzioni mitigative adottate e i risultati ottenuti. Al termine della fase CO sarà prodotta inoltre una relazione conclusiva che comprenderà dati ed analisi di sintesi di tutte le misure effettuate.
- C. **Relazione post operam:** sarà emessa una relazione al termine delle campagne di monitoraggio relative alla fase di esercizio, che conterrà quindi anche i rapporti con le eventuali misure eseguite in fase AE.

5.2 Sistema informativo



La piattaforma SOS costituirà lo strumento informatico che permetterà di memorizzare i dati grezzi ambientali raccolti durante le fasi ante operam, costruzione e post operam della linea ferroviaria ad alta velocità della tratta Milano-Verona, lotto funzionale Brescia Est-Verona, per il monitoraggio delle 9 componenti ambientali monitorate (nello specifico componente rumore).

Tale canale informatico di comunicazione convoglia tutti i dati grezzi di ogni singola componente caricati dalle società incaricate dal Cepav Due al momento della certificazione dei dati per ogni singola componente.

Per quanto riguarda il caricamento dei dati ambientali sul sistema SOS (Sensor Observation Service) si concordano le seguenti tempistiche di trasmissione:

Componente rumore e vibrazioni: 15 giorni lavorativi.

L'archiviazione dei dati risultanti dalle campagne di monitoraggio, nonché le analisi dei dati ad esse relative, saranno visionabili nella banca dati dell'Osservatorio Ambientale, che permetterà la visualizzazione di numerose informazioni relative ai punti di monitoraggio (schede anagrafiche dei ricettori) ed ai risultati delle misure (schede di misura).

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
10Codifica Documento
EE2SPMB0003001Rev.
CFoglio
38 di 41

6.SCHEDE DI RILEVAMENTO TIPO

Scheda tipo che verrà condivisa con le ARPA in sede di restituzione dati

6.1 Scheda rilevamento – Componente Vibrazioni

MONITORAGGIO AMBIENTALE LINEA FERROVIARIA AV/AC BRESCIA VERONA

Componente vibrazioni - Misure per la valutazione del disturbo alle persone

Fase: ANTE OPERAM IN CORSO D'OPERA ESERCIZIO

PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Tratto ferroviario AV/AC di rif.:	
Metodica:	VR-1
Data e Ora (dalle - alle):	
Codice punto:	
Periodo di misura:	Diurno
Durata del rilievo:	2 ore
Descrizione della strumentazione:	
Tecnico che ha curato la valutazione:	

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

Provincia:	
Comuni interessati :	
Località:	
Coord. UTM WGS84:	

LOCALIZZAZIONE CARTOGRAFICA DELLA STAZIONE DI MONITORAGGIO

STRALCIO CTR

FOTO RICETTORE MONITORATO

DESCRIZIONE DELL'AREA PER L'ESECUZIONE DEI RILIEVI

CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

Descrizione:	
N. piani:	
Struttura:	
Stato di conservazione:	

FOTO CON LOCALIZZAZIONE DEI SENSORI

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
10Codifica Documento
EE2SPMB0003001Rev.
CFoglio
39 di 41*Posizionamento strumentazione, piano terra**Posizionamento strumentazione, piano primo***SINTESI DEI RISULTATI**

Ricettore:	destinazione d'uso	Ubicazione:	
Codice punto:		Coord. UTM WGS84:	

PIANO TERRA

Evento nr:	Orario:	a_{w,max} (dB)	a_{w,max,j} (mm/s²)	a_{w,95}
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
.....				

PIANO PRIMO

Evento nr:	Orario:	a_{w,max} (dB)	a_{w,max,j} (mm/s²)	a_{w,95}
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
.....				

Limiti di riferimento UNI 9614:2017 – Ambienti ad uso abitativo**GRAFICO PIANO TERRA**

Grafico orario con individuazione dei 15 picchi analizzati

GRAFICO PIANO PRIMO

Grafico orario con individuazione dei 15 picchi analizzati

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
10Codifica Documento
EE2SPMB0003001Rev.
CFoglio
40 di 41**SORGENTI VIBRAZIONALI:**

Lavorazioni effettuate nei cantieri:.....

Lavorazioni effettuate lungo la linea:.....

Sorgente stradale:

Distanza minima dell'infrastruttura dal ricettore:

Denominazione strada	Direzione:....		Direzione:....		Note:
	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	

Sorgente stradale:

Distanza minima dell'infrastruttura dal ricettore:

Denominazione strada	Direzione:....		Direzione:....		Note:
	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	

Sorgente ferroviaria - Denominazione:.....**Distanza dal ricettore:...****Direzione:**

N.	Ora di passaggio	Velocità km/h	Tipo treno	Composizione treno	Note
1					
2					
3					
...					
n					

Sorgente ferroviaria - Denominazione:.....**Distanza dal ricettore:****Direzione:**

N.	Ora di passaggio	Velocità km/h	Tipo treno	Composizione treno	Note
1					
2					
3					
...					
n					

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
10

Codifica Documento
EE2SPMB0003001

Rev.
C

Foglio
41 di 41

ALLEGATO N. 1 - VIBRAZIONI - ELENCO DEI PUNTI DI MONITORAGGIO

codice punto	tratto	PK	lato linea	distanza da interferenza / linea (m)	località	comune	prov.	regione	opere AV/AC interferenti (fase CO)	altre infrastrutture interferenti	ambito misura	Fasi	frequenza misura	tipologia misura	Interventi di mitigazione previsti	note	tavola atlante
AV-DE-VR-1-01	AV/AC	121+140	N	100 dalla linea	cascina Serraglio	Desenzano sul Garda	BS	LOMBARDIA	GA07	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			4
AV-DE-VR-1-02	AV/AC e Cantiere	120+800	S	20 dal cantiere e 160 dalla linea		Desenzano sul Garda	BS	LOMBARDIA	GN02 e cantiere operativo L402		FAL cantiere esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi		RECETTORE STRALCIATO A CAUSA DELLA VOLONTA' DEL PRIVATO	4
AV-CA-VR-1-06	AV/AC	110+590	N	45		Calcinato	BS	LOMBARDIA	VI11	Esistente: A4 Mi-Ve; via Cavour	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			1
AV-LO-VR-1-07	AV/AC	103+820	N	60	cascina Faccendina	Lonato/Calcinato	BS	LOMBARDIA	RI41/IV20	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			2
AV-LO-VR-1-08	AV/AC e Cantiere	116+490	N	350 dal cantiere e 50 dalla linea		Lonato	BS	LOMBARDIA	GN02	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL cantiere esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			3
AV-LO-VR-1-09	AV/AC	118+280	impronta	impronta		Lonato	BS	LOMBARDIA	GN02	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			3
AV-DE-VR-1-10	AV/AC	123+600	S	60		Desenzano sul Garda	BS	LOMBARDIA	CVF via Montonale Basso IV21	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi		RECETTORE STRALCIATO A CAUSA DELLA VOLONTA' DEL PRIVATO	4
AV-DE-VR-1-11	AV/AC	126+800	S	50		Desenzano sul Garda	BS	LOMBARDIA	TR07/GA08	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			5
AV-PZ-VR-1-12	AV/AC	129+450	S	10	cascina Rovaglia	Pozzolengo	BS	LOMBARDIA	TR11	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			6
AV-LO-VR-1-24	Extralinea	115+900	N	10 dall'extralinea	Fenil Nuovo Molini	Lonato	BS	LOMBARDIA	Extralinea INZ6	Esistente: SS11	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			3
AV-CA-VR-1-25	Extralinea	110+800	S	5 dall'extralinea	Zemogna	Calcinato	BS	LOMBARDIA	Extralinea NW20	Esistente: A4 Mi-Ve e Via Cavour	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			2
AV-CA-VR-1-26	Extralinea	110+590	N	5 dall'extralinea	Gavardina	Calcinato	BS	LOMBARDIA	Extralinea INZ1	Esistente: A4 Mi-Ve e Via Cavour	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			1
AV-DE-VR-1-27	AV/AC	120+650	impronta	impronta		Desenzano sul Garda	BS	LOMBARDIA	GN02	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			4
AV-MZ-VR-1-28	AV/AC	105+780	S	80	Lazzaretto	Mazzano	BS	LOMBARDIA	RI89/GA27/SLA8	Esistente: FS MI-VE	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			1
AV-CA-VR-1-29	AV/AC	109+400	N	150	cascina Margherita	Calcinato	BS	LOMBARDIA	RI86	Esistente: FS MI-VE	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			1

codice punto	tratto	PK	lato linea	distanza da interferenza / linea (m)	località	comune	prov.	regione	opere AV/AC interferenti (fase CO)	altre infrastrutture interferenti	ambito misura	Fasi	frequenza misura	tipologia misura	Interventi di mitigazione previsti	note	tavola atlante
AV-PE-VR-1-03	AV/AC	132+550	S	20 dalla linea	Madonna del Frassino	Peschiera del Garda	VR	VENETO	GA11	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi		Ricettore individuato come garanzia anche per il Santuario del Frassino - bene vincolato (impossibilità ingresso)	6
AV-PE-VR-1-04	Extralinea	133+080	S	20 dall'extralinea		Peschiera del Garda	VR	VENETO	INZ8	Esistente: A4 Mi-Ve e SP19	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi		RECETTORE DA STRALCIARE IN QUANTO ANNULLATA L'EXTRALINEA INZ8 DAL PE	6
AV-SO-VR-1-05	AV/AC	142+050	N	45		Sona	VR	VENETO	GN04/GI09/GA17		FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi		Diniego temporaneo	8
AV-PE-VR-1-13	AV/AC	131+350	S	120	Otella	Peschiera del Garda	VR	VENETO	TR15	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			6
AV-PE-VR-1-14	AV/AC	131+980	S	30		Peschiera del Garda	VR	VENETO	GA11	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			6
AV-CN-VR-1-15	AV/AC	136+455	S	10	S.Lorenzo	Castelnuovo sul Garda	VR	VENETO	GA14	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			7
AV-CN-VR-1-16	AV/AC	138+950	S	60	Ca' Bruciata	Castelnuovo sul Garda	VR	VENETO	RI54,TR20 e RI55	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			8
AV-SO-VR-1-17	AV/AC	139+890	S	49		Sona	VR	VENETO	RI56/FA40/V115	Esistente: A4 Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			8
AV-SM-VR-1-18	AV/AC	144+900	S	100		Sommacampagna	VR	VENETO	RI58 e TR23	Esistente: FS MI-VE	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			9
AV-SM-VR-1-19	AV/AC	147+900	S	55	Siberia	Sommacampagna	VR	VENETO	RI60/SL94	Esistente: FS Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			10
AV-SM-VR-1-20	AV/AC	148+720	S	20	Betlemme	Sommacampagna	VR	VENETO	RI61/SLF3/FA26	Esistente: FS Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			10
AV-SM-VR-1-21	AV/AC	150+090	S	25		Sommacampagna	VR	VENETO	RI61/TR26	Esistente: FS Mi-Ve	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			10
AV-SM-VR-1-22	Extralinea	150+700	S	5 dall'extralinea	Canova	Sommacampagna	VR	VENETO	Extralinea NR22	Esistente: A22 Brennero e SR62	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			10
AV-PE-VR-1-23	Extralinea	132+850	N	5 dall'extralinea	Badoara	Peschiera del Garda	VR	VENETO	Extralinea NV21	Esistente: A4 Mi-Ve e SS11	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi			6
AV-PE-VR-1-30	AV/AC	132+250	S	175	Mano di Ferro	Peschiera del Garda	VR	VENETO	GN03/GA12	Esistente: A4 Mi-Ve e SP28	FAL esercizio	AO-CO-PO	1 Fase AO 4/anno Fase CO 1 Fase PO	Almeno 2 ore presidiate con identificazione eventi		Richiesta da ARPAV nel mese di Settembre 2020, in corso di valutazione il recupero della Fase AO Stalicio definitivo per esplicita volontà del privata dichiarata in data 25/05/2021 al RCO-SGA Cepav II	6