

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC VERONA - PADOVA

SUB TRATTA VERONA – VICENZA

1° SUB LOTTO VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

RELAZIONE

VIBRAZIONI: STUDIO PREVISIONALE VIBRAZIONI FASE DI CANTIERE

RELAZIONI: RELAZIONE STUDIO VIBRAZIONI

GENERAL CONTRACTOR		ITALFERR S.p.A.		SCALA: -
ATI bonifica IL PROGETTISTA INTEGRATORE Franco Persio Bocchetto iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n° 8664 – Sez. A settore Civile ed Ambientale Data: Aprile 2016	Consorzio IRICAV DUE Il Direttore Data: Aprile 2016			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I N 0 D	0 1	D	I 2	R G	C A 0 0 0 0	0 0 2	A

ATI bonifica	VISTO ATI BONIFICA	
	Firma	Data
	Ing. F. P. Bocchetto	Aprile 2016

Progettazione

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	REVISIONE MATTM (Prot.0001350/CTVA 14/04/16)	N. Cognome R. Pieronini	Aprile 2016	N. Cognome E. Serpi	Aprile 2016	N. Cognome B. Gimaldi	Aprile 2016	Ing. T. Bastianello
								Data: Aprile 2016

File: IN0D01DI2RGCA0000002A_00A.doc	CUP.: J41E91000000000 CIG: 3320049F17	n. Elab.:
-------------------------------------	--	-----------

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3. GRANDEZZE DI RIFERIMENTO	8
4. VALORI DI RIFERIMENTO.....	10
4.1. VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA INTERNAZIONALE ISO 2631	12
4.2. VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA ITALIANA UNI 9614.....	13
4.3. VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA ITALIANA UNI 9916.....	16
4.4. ISO/TS 10811-2:2000 - ESPOSIZIONE DELLE APPARECCHIATURE SENSIBILI ALLE VIBRAZIONI.....	18
5. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO	22
5.1. AMBITO TERRITORIALE	22
5.2. DESCRIZIONE DEI RICETTORI E DELLE SORGENTI.....	22
5.2.1. EDIFICI STORICI.....	24
5.2.2. AREE CRITICHE UNI 9614.....	25
6. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	26
7. ATTIVITA' DI CANTIERE E FONTI DI INQUINAMENTO VIBRAZIONALE	28
7.1. FRONTE AVANZAMENTO LAVORO (FAL)	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
7.1.1. OPERE FERROVIARIE	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
7.1.1.1. RILEVATO/RASO	29
7.1.1.2. TRINCEA	30
7.1.1.3. VIADOTTO.....	30
7.1.2. CAVE DI PRESTITO.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
7.1.3. ELETTRIDOTTI.....	32
7.1.4. CAVIDOTTI.....	35
8. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA	38
9. SINTESI DELLO STATO ANTE OPERAM.....	39
10. GLI IMPATTI CON LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	40
10.1. ILLUSTRAZIONE DELLE TECNICHE PREVISIONALI ADOTTATE	40
10.1.1. VALUTAZIONE DELL'EMISSIONE DELLE MACCHINE DI CANTIERE	44
10.2. AFFIDABILITÀ E TARATURA DEL MODELLO DI SIMULAZIONE	49
11. PREVISIONE DELL'IMPATTO POST OPERAM E INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ	50
11.1. VALUTAZIONE UNI9614.....	50
11.2. VALUTAZIONE UNI 9916.....	51
12. TRATTI CRITICI PER L'IMPATTO VIBRAZIONALE E INTERVENTI DI MITIGAZIONE	53

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 3 di 54

1. PREMESSA

Nell'ambito della procedura di Valutazione dell'Impatto Ambientale, Piano di Utilizzo Terre e Verifica di Ottemperanza formalizzata dal Contraente Generale con le note prot. 20/2016 e 21/2016 del 02.02.2016, il Ministero dell'Ambiente ha richiesto delle integrazioni con nota prot. 0001350 del 14.04.2016, all'interno della quale è richiamata - come parte integrante - anche la richiesta della Commissione Tecnica Regionale di Valutazione di Impatto (nota prot. 1054901 del 16.03.2016).

Il presente studio, relativo all'impatto vibrazionale prodotto dalla fase di costruzione della linea A.V./A.C. Verona – Padova, tratto Verona - Montebello Vicentino, È stato redatto in base alle delle seguenti specifiche richieste Per tutta la cantierizzazione, ivi compresi gli elettrodotti e cavidotti che i siti di produzione inerti:

42/47 effettuare uno studio della componente finalizzato alla valutazione degli effetti sugli edifici, con riferimento alla norma UNI 9916, ed anche alla valutazione degli effetti sulla popolazione (disturbo), con riferimento alla norma UNI 9614;

43/48 effettuare una stima previsionale dell'impatto dovuto alle vibrazioni su eventuali ricettori potenzialmente impattati (individuati planimetricamente) e più prossimi alle aree di cantiere fornendo, oltre ai parametri di emissione dei singoli macchinari impiegati, la caratterizzazione della sorgente in termini di modalità, di fasi di cantiere e attività, indicando inoltre il contributo dovuto ai mezzi di trasporto per la movimentazione dei materiali, indicando:

- *dati di input dell'eventuale modello previsionale utilizzato, descritti e tabellati;*
- *evidenza della taratura del modello;*
- *i livelli di vibrazione stimati dal modello di calcolo previsionale, per la verifica del rispetto dei limiti indicati dalle norme UNI 9614 e UNI 9916;*

e riportare i risultati in tabelle di sintesi dei ricettori e/o delle aree individuate, indicandone tipologia, distanza dal cantiere e, per gli edifici, il numero dei piani e relativa sensibilità alle vibrazioni, per la verifica del rispetto dei limiti indicati dalle norme tecniche di settore;

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 4 di 54

1.1. ITER METODOLOGICO

La costruzione e l'esercizio di una linea ferroviaria sono infatti fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante caratterizzate da un'area di influenza di ampiezza dipendente dalle caratteristiche idrogeologiche dei terreni.

In fase di costruzione, le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi all'utilizzo delle diversi macchinari da costruzione (ad es. rulli compattatori trivelle per la realizzazione dei pali).

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, dalla durata dell'evento vibratorio e dal tipo di attività svolta.

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.

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 effettuato un breve *escursus descrittivo* della normativa tecnica vigente e delle sue indicazioni più cogenti.
- Caratterizzazione ante operam. In questa fase dello studio è stato analizzato il territorio allo stato attuale (situazione ante operam) con lo scopo di verificarne la sensibilità sia del sistema antropico che di quello fisico. Mediante sopralluoghi mirati ed analisi comparata dei dati riportati dalle cartografie aerofotogrammetriche è stato effettuato un controllo della destinazione d'uso, dell'altezza di tutti i ricettori potenzialmente impattati. Come da richiesta del Ministero il censimento è stato esteso anche alla parte di territorio interessata dagli elettrodotti, cavidotti e dal bacino ad uso irriguo che sarà utilizzato per la produzione di inerti (Doc. IN0D 02 DI2 P6 IM0006 146 ÷ IN0D 02 DI2 P6 IM0006 158).

- Rilevamento delle vibrazioni. Le indagini sperimentali sulle vibrazioni sono state, nello specifico, finalizzate a:
 - valutare l'entità dell'attuale livello vibrazionale presente all'interno delle abitazioni prossime alla Linea Storica
 - costruire un modello sperimentale della propagazione nel terreno e della trasmissione agli edifici da estendere a tutta l'area di progetto.I risultati sono riportati nella Relazione Misure Vibrazioni IN0D 01 DI2 RG AR0003 001 A e nelle schede di rilevamento documenti IN0D 01 DI2 RH AR0003 002 A ÷ IN0D 01 DI2 RH AR0003 007 A
- Individuazione delle attività di cantiere di maggiore criticità e dei relativi fattori di emissione . E' stata effettuata una disanima delle attività di cantiere al fine di individuare le più significative in termini di impatto. Sono stati quindi riportati i fattori di emissione utilizzati.
- Simulazioni e individuazione delle criticità. Applicando il modello di simulazione sviluppato sulla base dei dati sperimentali, sono stati stimati i livelli vibrazionali indotti dalle attività del corso d'opera e sono state individuate le aree in cui potrebbero verificarsi dei superamenti dei valori di riferimento. I risultati sono riportati nelle *planimetrie di individuazione delle aree critiche* doc IN0D 00 DI2 P6 CA0006 001 A ÷ IN0D 01 DI2 P6 IM0006 013 A.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO INOD	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 6 di 54

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

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

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

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

- ANSI S1.1-1986 (ASA 65-1986), Specifications for Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and Digital Filters, ASA, New York, 1993;
- ISO 2631, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997;
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989;
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 3: Evaluation of exposure to whole-body vibration in the frequency range 0.1 to 0.63 Hz, 1985;
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, 1990;
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, Amendment 1, Predicting natural frequencies and damping of buildings;
- ISO 4865, Metodi di analisi e presentazione dei dati;

Titolo:

STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	Pag.
IN0D	01	D I2 RG	CA0000 002	A	7 di 54

- 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, 2014;
- UNI 9614, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, 1990;
- UNI 9670, Risposta degli individui alle vibrazioni apparecchiatura di misura.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.
- ISO/TS 10811-2:2000 - Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni

3. GRANDEZZE DI RIFERIMENTO

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} m/s² (normativa ISO1683).

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

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

Tabella 1 - Rappresentazione del campo di frequenze di interesse per terzi di ottava

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

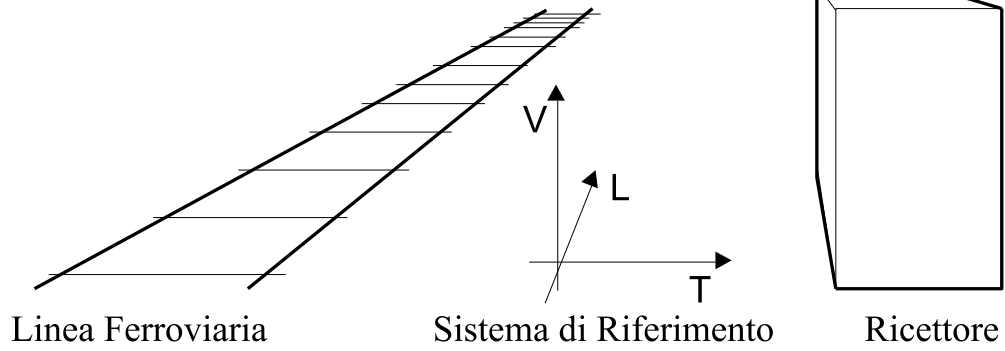


Figura 1 - Orientamento delle componenti di vibrazione. L = longitudinale, T = trasversale, V = verticale, rispetto alla linea ferroviaria.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 10 di 54

4. VALORI DI RIFERIMENTO

La costruzione e l'esercizio di una linea ferroviaria sono fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante caratterizzate da un'area di influenza variabile in funzione delle caratteristiche idrogeologiche del terreno e delle caratteristiche della sorgente emissiva.

Le cause di tali vibrazioni - in fase di cantiere - sono da ricondursi, alle attività di scavo, compattazione del materiale e movimentazione mezzi necessarie per la realizzazione dell'infrastruttura. Nel primo caso, essendo univocamente determinata la sorgente, conoscendone la localizzazione e 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.

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

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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 11 di 54

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 dai treni).

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

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

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

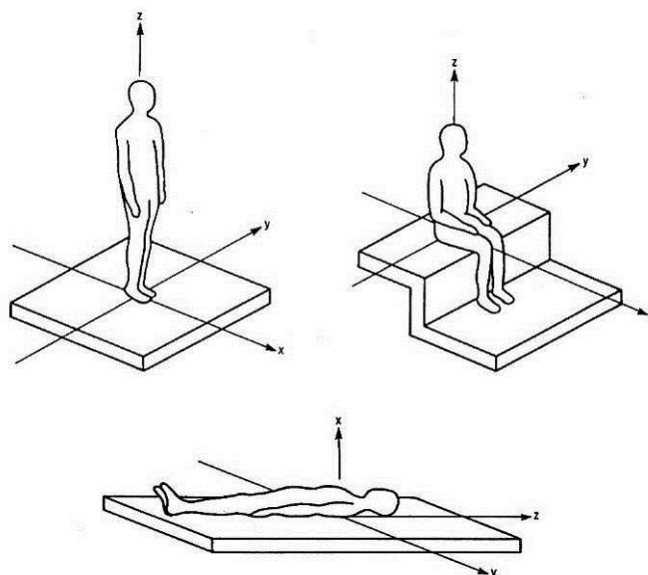


Figura 2 - Definizione degli assi di riferimento rispetto alla posizione della persona (ISO2631)

4.1. 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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 13 di 54

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

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

Tabella 2 - Valore dei moltiplicatori delle curve base per diverse tipologie destinazioni di uso delle aree e periodo della giornata

4.2. VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA ITALIANA UNI 9614:1990

La norma UNI 9614 *Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo* individua i limiti di soglia in funzione della destinazione d'uso degli edifici. Il superamento di tali limiti può costituire una fonte di disturbo per le persone esposte riducendone il loro benessere di vita. Vengono in particolare distinti quattro tipi di ricettori:

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

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

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

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

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

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

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

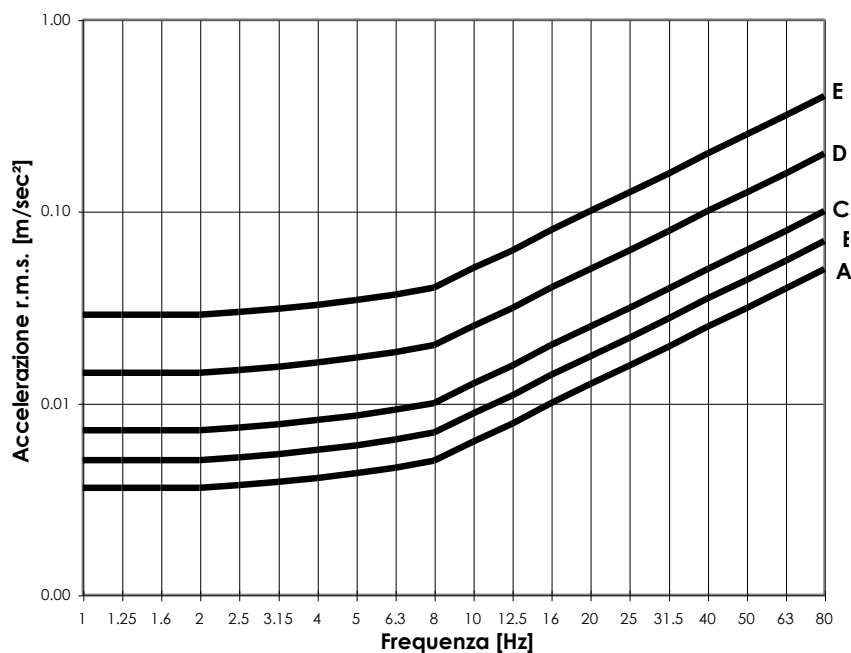


Figura 3 - Curve limite ISO 2631: A aree critiche, B aree residenziali e ore notturne, C aree residenziali e ore diurne, D uffici, E officine e laboratori.

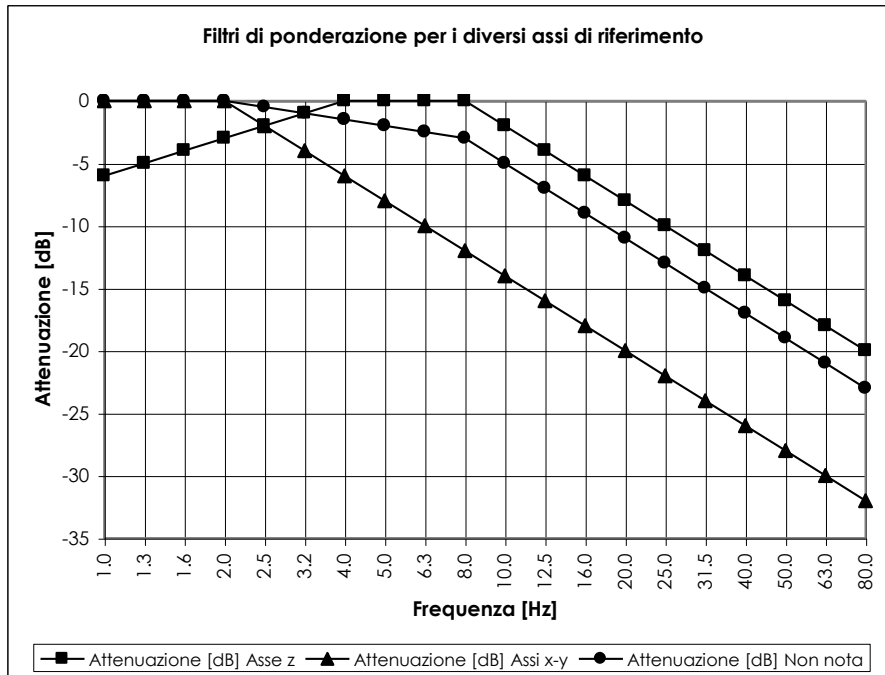


Figura 4 - Attenuazione dei filtri di ponderazione per diverse posture dell'individuo (UNI 9614)

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

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

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

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

Luogo	A [m/s ²]	L [dB]
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

Tabella 3 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per l'asse z

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

Tabella 4 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per gli assi x e y

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

Per quanto riguarda le vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari, la UNI 9614¹ facendo riferimento al rapporto ORE DI21², indica come valori limite per le residenze, quelli riportati in tabella:

	a [m/s ²]	L [dB]
Asse Z	30	89
Assi X e Y	21,6	86,7

Tabella 5 - Valori limite raccomandati nel Rapporto Ore DI21

Considerato che le analisi sono effettuate nel presente studio applicando il filtro per posture non nota, i valori saranno confrontati con il limite previsto per l'asse x e y, più restrittivo.

4.3. VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA ITALIANA 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

¹ Vedi appendice punto A 4

² Vibrations transmises par le sol – Vibrations provoquées dans la batiments par la curculation. Analyse das rapportts de mesures effectuées aur divers réseaux . ORE, Question D151, Rapport 5 Utrecht 1983. Il rapporto analizza le misure effettuate su diverse reti ferroviarie all'interno di fabbricati e valuta il raffronto tra esse e i limiti raccomandati.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 17 di 54

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 frequenze	Tutte 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

4.4. 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,

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 19 di 54

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 perché 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).

VC curve	R.m.s. velocity $\mu\text{m/s}$	Peak velocity for sine waves mm/s	Peak velocity for random vibration (10 min) mm/s	
			8 Hz	100 Hz
A	50	0,071	0,22	0,25
B	25	0,035	0,11	0,12
C	12,5	0,018	0,056	0,062
D	6	0,0085	0,027	0,030
E	3	0,0042	0,013	0,015

Figura 5 - Velocità di picco per curve limite

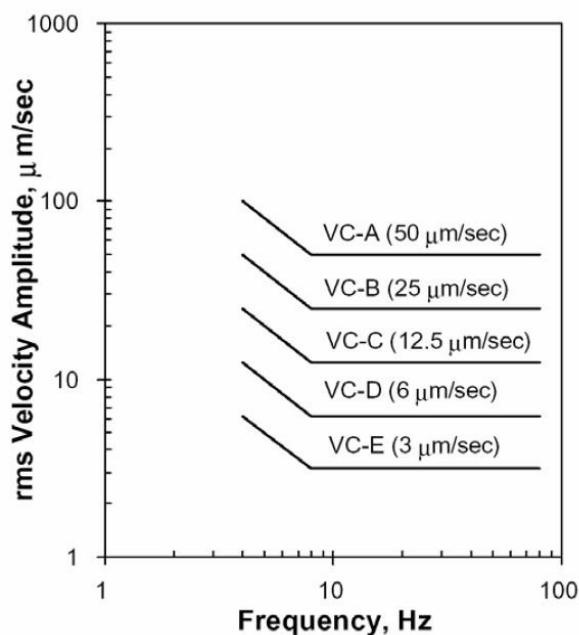


Figura 6- Curve limite Velocità di picco

come conseguenza di natura acustica contestuale alle immissioni sonore di alcune macchine operatrici caratterizzate da livelli di pressione sonora energeticamente

Titolo:

STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	Pag.
IN0D	01	D I2 RG	CA0000 002	A	21 di 54

significativi alle basse frequenze (escavatori, betoniere, kelly, ecc.), qualora le onde sonore possiedano frequenze coincidenti con le frequenze naturali dei vetri e qualora il fenomeno sia di durata tale da eccitare i vetri.

I riscontri sperimentali suggeriscono particolari attenzioni ai gruppi elettrogeni perché la presenza di tubi di scappamento alti (richiesti per una migliore diffusione in atmosfera dei fumi) può determinare l'immissione di onde stazionari a bassissima frequenza. In queste condizioni è verosimile che i vetri entrino in risonanza, vibrino ed emettano all'interno del locale un rumore avente le medesime frequenze. Trattandosi di basse frequenze, la sensazione sonora conseguente è un "rombo".

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 22 di 54

5. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO

5.1. AMBITO TERRITORIALE

L'indagine ha interessato i 33 km circa del 1° sublotto della linea A.V./A.C. dalla stazione di Verona Porta Vescovo a Montebello Vicentino.

In tutto risultano interessati n. 10 comuni ricadenti nelle province di Verona e Vicenza.

Nella tabella seguente se ne riporta l'elenco dettagliato.

REGIONE	PROVINCIA	COMUNE	CODICE ISTAT	NOTE
VENETO	Verona	Verona	023091	
		San Martino Buon Albergo	023073	
		Zevio	023097	
		Calderio	023017	
		Belfiore	023007	
		San Bonifacio	023069	
		Arcole	023004	
		Vicenza	Lonigo	024052
	Gambellara		024043	Oltre fascia 250 m
			Montebello Vicentino	024060

5.2. DESCRIZIONE DEI RICETTORI E DELLE SORGENTI

Per quanto concerne i ricettori, il sublotto Verona P.V. – Montebello Vi.no si caratterizza, nel primo tratto in uscita da Verona (circa 2,5 km), per un edificato strutturato e a destinazione prevalentemente residenziale ed a uffici. I fabbricati risalgono ad un'epoca recente e possono essere in cemento armato o in struttura mista. In alcuni casi si presentano di notevole altezza (anche 6 piani) e sono situati in posizione adiacente all'attuale sedime ferroviario.

Usciti da Verona, il territorio interessato è a valenza agricola. La densità edilizia è bassa anche se si possono riscontrare piccole fazioni con edificato strutturato.

Gli edifici presentano un'altezza media di n. 2 piani e comunque non superano mai i 3 piani. L'epoca di costruzione è varia, e la struttura può essere in cemento armato, in muratura o più spesso si ipotizza mista, sovente non è facilmente e univocamente definibile.

Per quanto riguarda gli edifici produttivi, all'interno del corridoio ristretto non è stata evidenziata la presenza di impianti potenzialmente configurabili come aree critiche.

Per il dettaglio relativo ai singoli ricettori si fa comunque riferimento, al censimento redatto per la componente rumore.

I risultati di detto censimento sono stati riportati, su una base cartografica in scala 1:2000 (doc IN0D 00 DI2 P6 IM0006 001 B ÷ IN0D 01 DI2 P6 IM0006 032 B) e su apposite schede contenenti le informazioni riguardanti la localizzazione, lo stato e la consistenza e la relativa documentazione fotografica (doc IN0D 01 DI2 SH IM0006 001 A).

Come da richiesta della Commissione Tecnica VIA, il censimento è stato esteso anche alla parte di territorio interessata dagli elettrodotti, cavidotti e dal bacino ad uso irriguo che sarà utilizzato per la produzione di inerti (Doc. IN0D 02 DI2 P6 IM0006 146 ÷ IN0D 02 DI2 P6 IM0006 158).

Per una più immediata lettura del territorio, nelle suddette planimetrie, oltre al codice dei ricettori censiti³, sono state evidenziate mediante l'utilizzo di colori e retini destinazione d'uso e altezza dei ricettori censiti.

Tipologia dei ricettori

- residenziali e assimilabili (es. hotel)
- produttivo/commercio (capannone, magazzino, deposito)
- uffici e servizi
- servizi per l'istruzione
- servizi sanitari
- luogo di culto interesse culturale o cimitero
- altro

Altezza dei ricettori

1. Edificio h = 3,50 m (1 piano)
2. Edificio h = 7,50 m (2 piani)

³ Il codice ricettore è costituito da una stringa alfanumerica composta dal Codice ISTAT del comune in cui ricade il fabbricato, da una lettera che indica se trattasi di produttivo o meno e da un numero progressivo. Per migliorare la leggibilità dell'elaborato planimetrico, la parte del codice costituita dall'identificativo ISTAT viene riportata sulla tavola in basso a destro e lungo il confine comunale.

3. Edificio h = 10,50 m (3 piani)
4. Edificio h = 13,50 m (4 piani)
5. Edificio h > 13,50 m (5 piani e oltre)

5.2.1. Edifici storici

Per quanto concerne gli edifici storico monumentali, è stata evidenziata la presenza di due elementi vincolati⁴. Entrambi sono localizzati sul lato sud della linea a Verona e fanno parte del complesso ecclesiastico Istituto Sorelle della Misericordia. Sono precisamente costituiti da:

- Edificio datato XVII sec - XVIII sec situato in corrispondenza del km 2+875 (vedi figura 1)
- Edificio datato XVI sec. situato in corrispondenza del km 3+050 (vedi figura)

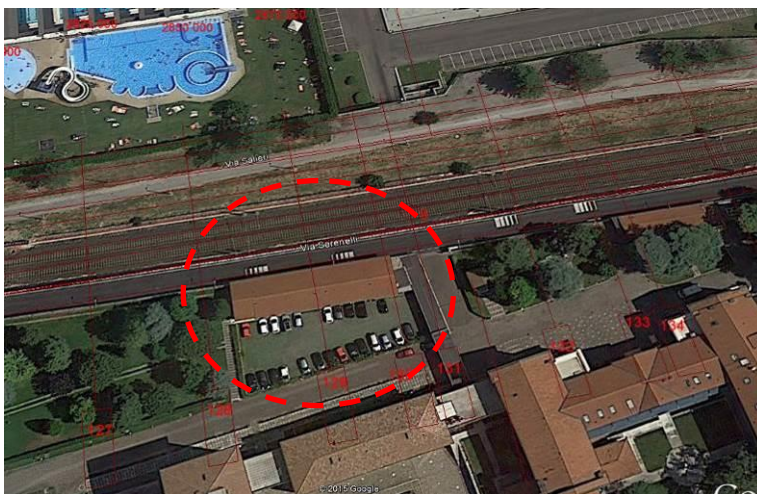


Figura 7 – Edificio situato al km 2+875

⁴ Fonte: Catalogo e Altante del Veneto – Ville Venete

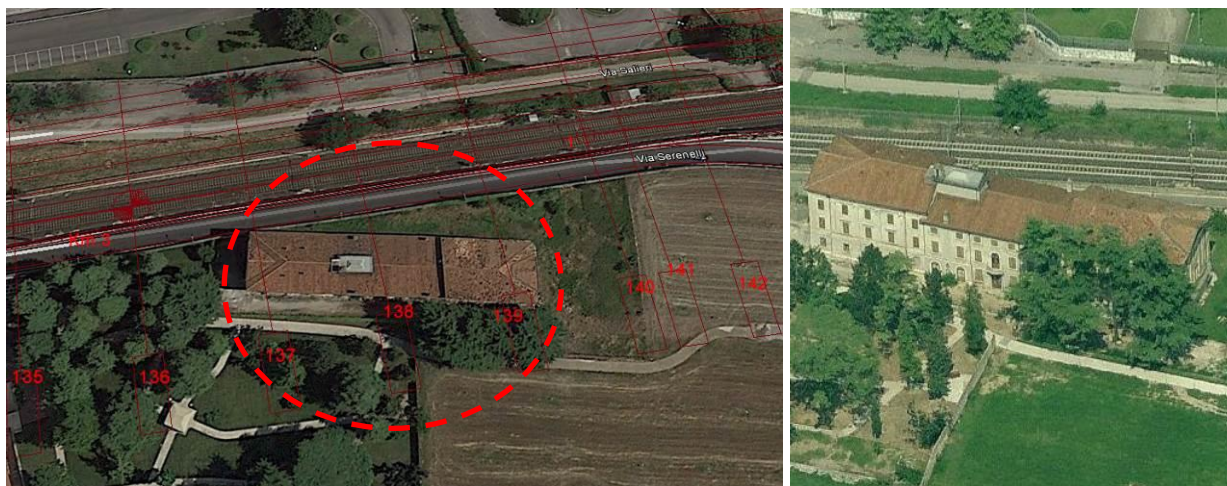


Figura 8 – Edificio situato al km 3+050

Per quanto concerne le sorgenti vibrazionali, la più significativa è certamente costituita dalla linea ferroviaria. Secondariamente si evidenziano le infrastrutture stradali

5.2.2. Aree critiche UNI 9614

Secondo UNI 9614 sono da considerate aree critiche le sale operatorie e i laboratori in cui si svolgono lavori manuali (ad es. laboratori orafi, di orologeria, etc.).

In un'ottica cautelativa, nel presente studio sono state classificate come aree critiche i ricettori classificati come servizi sanitari, al di là della dislocazione delle sale operatorie.

Inoltre oltre ai laboratori di cui alla norma, è stata verificata l'eventuale presenza in prossimità del tracciato di stabilimenti industriali o artigianali la cui attività poteva essere condizionata dalle vibrazioni indotte dal transito dei rotabili.

A tal fine sono state considerate le ditte che potrebbero far uso di sistemi laser per tagli, fresature e saldature di precisione, e quindi industrie meccaniche di precisione e di componentistica aeronautica e per auto, laboratori dentali, oreficeria e gioielleria industriale.

Sulla scorta delle verifiche di campo effettuate e delle segnalazioni delle aziende medesime sono state quindi individuati i seguenti stabilimenti;

cod. 023069 – P1008 Brevetti Bizz – Lavorazioni Meccaniche Speciali;

cod. 024052 – P2004h FIAMM S.p.A. – Stabilimento Accumulatori Industriali.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 26 di 54

6. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Il progetto della nuova linea AV/AC nel tratto in questione: Verona – Montebello Vicentino, si sviluppa dalla Stazione di Verona Porta Vescovo in corrispondenza del km 151+265 della linea storica corrispondente al Km 0+000 del presente progetto, fino alla progressiva km 32+525 circa subito a monte della attuale stazione di Montebello Vicentino per cui non è previsto alcun intervento, per una estesa complessiva di 32,5 km circa.

Nel seguito si riportano, nell'ordine, gli ambiti territoriali dei Comuni interessati dalla tratta in oggetto:

Il tracciato in progetto ha inizio all'interno del fascio binari di Verona Porta Vescovo e si sviluppa nel territorio come di seguito sinteticamente descritto:

Nel tratto iniziale, in uscita lato est dalla stazione di Verona Porta Vescovo, la nuova linea si mantiene in stretto affiancamento alla linea storica per circa 4 km di cui i primi due in rilevato alto analogamente all'esistente a meno della tratta da km 0+775 a km 2+220 lungo il quale la posizione altimetrica della nuova AV/AC è più bassa rispetto alla storica allo scopo di minimizzare gli impatti sul contesto territoriale urbanizzato. Planimetricamente, dal km 1+900 al km 3+400 circa, è previsto uno spostamento della linea storica verso nord tale da consentire l'inserimento della nuova linea AV/AC sul sedime ferroviario esistente, essendo in tale zona fortemente condizionati dalle preesistenze antropiche.

In questi primi 4 km le caratteristiche geometriche di tracciato ricalcano quelle della linea esistente e pertanto la velocità di progetto si mantiene non superiore a 130 km/h.

Successivamente, nell'ambito del Comune di S. Martino Buon Albergo, il tracciato si allontana dalla linea storica curvando verso sud, per affiancarsi al raccordo autostradale con la S.S. 11, in fase di ampliamento.

Dal km 4+840 fino al km 6+840 (L=1600m) circa il tracciato sottopassa in galleria artificiale il nuovo svincolo autostradale di Verona Est, l'autostrada A4 e la Tangenziale Sud di Verona.

Nel tratto descritto la velocità di tracciato aumenta fino a 210 km/h, con pendenza massima dell' 11.50 per mille in corrispondenza dell'approccio del tratto in galleria artificiale.

Dal km 6+500 al km 27+770 circa il progetto si sviluppa in corridoio libero, con una velocità di tracciato di 250 km/h, mantenendosi a sud dell'abitato di San Bonifacio.

In questo tratto sono previsti diversi tratti in viadotto e precisamente:

- dal km 7+660 al km 10+020 sviluppo L = 2360 m viadotto sul Torrente Fibbio
- dal km 11+502 al km 11+715 sviluppo L = 213 m viadotto sul Torrente Illasi e Torrente Prognolo
- al km 16+509 sviluppo L= 22 m ponte sul fosso Dugale
- dal 20+919 al km 21+991 sviluppo L= 1772 m viadotto sul Torrente Alpone
- dal km 24+874 al km 25+314 sviluppo L = 440 m viadotto San Bonifacio

Dal km 27+770, subito dopo la nuova stazione di Lonigo, il tracciato corre in affiancamento stretto a sud della linea storica.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 28 di 54

7. ATTIVITA' DI CANTIERE E FONTI DI INQUINAMENTO VIBRAZIONALE

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. Di minore significatività sono le attività legate alle cave di prestito e alla realizzazione degli elettrodotti.

7.1. REALIZZAZIONE DELL'OPERA FERROVIARIA

7.1.1. Cantieri fissi

Per la realizzazione della linea AV/AC, sono stati previsti diverse tipo di cantiere:

- cantiere base che costituisce l'organismo direzionale a cui fanno capo gli impianti destinati alla produzione:
- Cantieri Industriali e cioè cantieri con le più importanti funzioni produttive;
- Cantieri Operativi e cioè cantieri di riferimento per il FAL per lo stoccaggio materiali;
- Cantiere Tecnologico e cioè un'area per lo stoccaggio di materiali per impianti ferroviari (bobine, ecc.);
- Cantiere d'Armamento e cioè un'area per lo stoccaggio di traversine, rotaie e ballast ricavata in ambito ferroviario.

Ai fini delle possibili ricadute sulla componente in esame, sono gli impianti produttivi quelli che potrebbero generare una qualche forma di disturbo. Le fonti possono essere costituite dalla movimentazione degli autocarri al suo interno o dagli impianti previsti. Di contro proprio per l'estensione areale di questi ed il posizionamento di tali aree e degli impianti in esso previsti risulta comunque trascurabile il potenziale impatto arrecato al territorio.

7.1.2. Fronte Avanzamento Lavori

L'individuazione dei possibili impatti sull'ambiente di un fronte avanzamento lavori deve partire da una dettagliata descrizione delle fasi di attività che si susseguono per la costruzione delle varie tipologie di corpo ferroviario.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 29 di 54

A tal proposito si deve evidenziare come le modalità operative del fronte avanzamento lavori, descritte per le diverse tipologie costruttive dell'infrastruttura (rilevato, galleria, viadotto e trincea), diano un'indicazione approfondita delle attività che tipicamente caratterizzano tali scenari.

Tali dati, verificati anche secondo l'esperienza costruttiva di infrastrutture con caratteristiche analoghe a quella in progetto, saranno utilizzati nell'ambito dello studio come rappresentativi delle attività di realizzazione della Linea A.V. VR-PD, che verranno definite in modo esaustivo solo in una successiva fase procedurale.

Di seguito vengono descritte le fasi di lavoro relative la realizzazione delle seguenti tipologie di corpo ferroviario ricorrenti e caratteristiche per la linea in esame:

- Rilevato/Raso
- Trincea;
- Viadotto;

7.1.2.1. Rilevato/Raso

La realizzazione di un rilevato comprende le seguenti fasi realizzative

Scavo di scotico e scavo di bonifica: Lo scavo di scotico interessa in totale i primi 50 cm di terreno vegetale, lo scavo di bonifica interesserà uno spessore variabile tra 50 e 150 cm. L'attività avviene con un escavatore. Il terreno viene in parte accumulato a bordo rilevato, in parte caricato su camion e allontanato.

Stesura materiale di bonifica: Completata la fase di scavo e verificate le caratteristiche tecniche dei terreni ha inizio la posa del materiale di bonifica costituito da materiale idoneo. Il materiale viene steso con l'ausilio di una ruspa in strati di spessore variabile in relazione al grado di umidità dello stesso. Per materiali troppo secchi o troppo umidi, si stendono strati di spessore ridotto provvedendo, in caso di materiale secco, ad irrorare con acqua. In questi casi si ha pertanto un allungamento dei tempi di lavoro.

Stesura anticapillare: l'attività consiste nella stesura di strati di ghiaietto a cui viene data la giusta pendenza con un Greder. Un rullo conferisce la giusta compattazione al materiale.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 30 di 54

Stesura strati di rilevato: Gli strati del rilevato hanno uno spessore di 50 cm e vengono stesi con l'ausilio di una ruspa, di un greder, di un autobotte (se necessaria) ed infine di rullo compattatore.

Posa rivestimento laterale: Un escavatore provvede alla posa del terreno vegetale accumulato nell'apposita area di stoccaggio. Il terreno inerbito costituirà la protezione del rilevato stesso.

Stesura supercompattato: Terminata la stesura di tutti gli strati del rilevato, inizia la stesura di uno spessore di 30 cm di supercompattato: I macchinari utilizzati in questa fase sono costituiti da pale e rullo compattatore.

Stesura subballast: Macchine finitrici stendono uno spessore di 12 cm di subballast e successivamente viene passato un rullo compattatore.

Posa della sovrastruttura ferroviaria: Con l'ausilio di pale viene posato il ballast. Successivamente vengono posati i binari e le traversine. Questa operazione viene eseguita da un cantiere/treno, che posa i binari e le traversine e successivamente le fa vibrare per immergerle nel ballast.

Elettrificazione: La posa dell'elettrificazione viene effettuata previa realizzazione delle relative opere di fondazione costituite da pali trivellati e da un dado di fondazione. Una gru va a posare il palo TE.

Tra le fasi di lavoro sopra descritte, si è considerata rappresentativa dal punto di vista vibrazionale quella della posa degli strati del rilevato per l'attività di compattazione con rullo compattatore.

7.1.2.2. Trincea

Nel lotto in esame sono presenti dei tratti in trincea di modesta altezza (circa 1 m) Per tale motivo nelle simulazioni si farà riferimento ai risultati della tipologia a raso

7.1.2.3. Viadotto

La realizzazione di un viadotto comprende le seguenti fasi realizzative

Scavo e regolarizzazione terreno: Questa prima fase di lavoro serve per creare le condizioni idonee al transito dei mezzi d'opera impiegati. Vengono quindi create delle

piazzole. Lo scavo è finalizzato a portare il terreno a livello del piano di campagna, quindi interessa solo i primi centimetri. Viene poi realizzata una piazzola di lavoro con idoneo materiale da rilevato.

Esecuzione dei pali di fondazione: Una trivella esegue l'operazione di trivellazione del terreno. Un escavatore o una pala allontana il terreno. In relazione ai tempi di trivellazione, per lo scavo di un palo di 50 m sono necessarie circa 6 h. Terminato lo scavo la trivellatrice si sposta su un altro palo, mentre l'attività sul palo scavato continua con la posa delle gabbie di armatura e il getto che viene eseguito con un'autobetoniera ed ha una durata di 3-4 ore.

Realizzazione dei plinti di fondazione: Le lavorazioni sono costituite dal montaggio delle armature e delle casseformi e dalla esecuzione del getto che viene effettuato con autobetoniere con pompa e con l'ausilio di vibratori.

Realizzazione delle pile: Le lavorazioni sono costituite dal montaggio delle armature e delle casseformi e dalla realizzazione del getto che viene effettuato con autobetoniere con pompa e con l'ausilio di vibratori.

Posa delle travi: Le travi prefabbricate vengono approvvigionate a piè d'opera e varate con apposita macchina

Getto delle solette: Le lavorazioni sono costituite dal montaggio delle armature e delle casseformi e dalla realizzazione del getto che viene effettuato con autobetoniere con pompa e con l'ausilio di vibratori.

Impermeabilizzazione: Sull'intera superficie della soletta viene stesa apposita guaina bituminosa approvvigionata a piè d'opera da mezzi pesanti.

Posa della sovrastruttura ferroviaria: Con l'ausilio di pale viene posato il ballast. Successivamente vengono posati i binari e le traversine. Questa operazione viene eseguita da un cantiere/treno, che posa i binari e le traversine e successivamente le fa vibrare per immergerle nel ballast.

Elettrificazione: La posa dell'elettrificazione viene effettuata previa realizzazione delle relative opere di fondazione costituite da pali trivellati e da un dado di fondazione. Una gru va a posare il palo TE.

La fase di lavoro considerata caratteristica per l'aspetto vibrazionale è quella che prevede la trivellazione e il getto dei pali di fondazione delle pile.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 32 di 54

7.1.3. Sito di produzione inerti/bacino ad uso irriguo

La coltivazione procederà per fasce; la coltivazione sarà articolata su di una striscia di scotico, una striscia di scavo ed una in recupero.

Da un punto di vista topografico e temporale, gli scavi potranno procedere secondo una successione di “strisce”. Schematicamente, il fronte principale di coltivazione, disposto trasversalmente ad ogni singola “striscia” in cui verranno suddivisi i terreni di cava, è scavabile dall'alto con escavatore a benna rovescia avanzando progressivamente in senso longitudinale lungo ciascuna di tali “strisce”.

Questo fronte di scavo verrà traslato progressivamente, rimanendo parallelo al fronte di scopertura della coltre vegetale e dello sterile terroso ed a quello di ripristino: ciò sino al completo esaurimento del fondo.

Si prevede che saranno impiegati i seguenti mezzi:

- autocarri da 20 mc;
- escavatori a benna rovescia;
- pale per il caricamento del materiale

7.1.4. Elettrodotti

La realizzazione degli elettrodotti aerei è suddivisibile nelle seguenti fasi operative principali:

Attività preliminari: Sono costituite da realizzazione di infrastrutture provvisorie. Con il procedere delle opere, verranno realizzate le “infrastrutture provvisorie”, come le aree del cantiere base, il tracciamento dell’opera per l’ubicazione dei sostegni alla linea, le piste di accesso di larghezza media di circa 4 m, nonché la realizzazione delle piazzole in cui saranno realizzati i sostegni e che costituiscono i così detti microcantieri. Trattasi pertanto di aree destinate alle operazioni di scavo, getto in cemento armato delle fondazioni, rinterro ed infine all’assemblaggio degli elementi costituenti la tralicciatura del sostegno. Mediamente interessano un’area delle dimensioni di circa 40 x 50 m.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 33 di 54

Esecuzione delle fondazioni dei sostegni: Ciascun sostegno a traliccio è dotato di quattro piedi e delle relative fondazioni, mentre per i sostegni tubolari monostelo normalmente le fondazioni sono costituite da un blocco monolitico in cemento armato gettato in opera.

La fondazione costituisce la struttura interrata atta a trasferire i carichi strutturali (compressione e trazione) dal sostegno al sottosuolo.

Ciascun piedino di fondazione è composto di tre parti:

- a) da una base in calcestruzzo armato, simmetrica rispetto al proprio asse verticale, che appoggia sul fondo dello scavo ed è formata da una serie di platee (parallelepipedi a pianta quadrata) sovrapposte;
- b) un colonnino a sezione circolare, inclinato secondo la pendenza del montante del sostegno;
- c) un “moncone” annegato nel calcestruzzo al momento del getto, collegato al montante del “piede” del sostegno; il moncone è costituito da un angolare, completo di squadrette di ritenuta, che si collega con il montante del piede del sostegno mediante un giunto a sovrapposizione; i monconi sono raggruppati in tipi, caratterizzati dalla dimensione dell’angolare, ciascuno articolato in un certo numero di lunghezze.

Le fondazioni unificate sono utilizzabili solo su terreni normali di buona e media consistenza, pertanto le fondazioni per sostegni posizionati su terreni con scarse caratteristiche geomeccaniche, su terreni instabili o su terreni allagabili sono oggetto di indagini geologiche e sondaggi mirati, sulla base dei quali vengono, di volta in volta, progettate ad hoc. Tenuto conto delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni, per gli elettrodotti di progetto, si è previsto l’impiego, dove possibile, di fondazioni della serie unificata. In particolare:

- per sostegni Tralicciati, terminali e di forte angolo di deviazione, si sono previste fondazioni trivellate monofittone con trave perimetrale di collegamento dei piedini.
- per il sostegno Monostelo TAB30 (Unificazione RFI) si è previsto l’impiego di una Fondazione Unificata posato su pali trivellati.
- per il sostegno Monostelo PA60 (Unificazione RFI), relativo all’Elettrodotto di Montebello, si è previsto l’impiego della Fondazione Unificata per suolo con capacità portante ammissibile 1,00 daN/cmq.

Si prevede che saranno impiegati i seguenti mezzi:

- 1 autocarro da trasporto con gru;
- 1 escavatore;
- 1 autobetoniera;
- 1 mezzi promiscui per trasporto;
- 1 gru per il montaggio carpenteria;
- 1 trivella per i pali,

Trasporto e montaggio dei sostegni: Terminata la fase di realizzazione delle strutture di fondazione, si procederà al trasporto dei profilati metallici zincati ed al successivo montaggio in opera, a partire dai monconi già immorsati nel calcestruzzo delle fondazioni. Per evidenti ragioni di ingombro e praticità i tralicci saranno trasportati sui siti per parti, mediante l'impiego di automezzi; per il montaggio si provvederà al sollevamento degli stessi con autogrù ed argani. I diversi pezzi saranno collegati fra loro tramite bullonatura.

Messa in opera dei conduttori e delle corde di guardia: L'individuazione delle tratte di posa, di norma 10÷12 sostegni (5÷6 km), dipende dall'orografia del tracciato, dalla viabilità di accesso e dalla possibilità di disporre di piccole aree site alle due estremità della tratta individuata, sgombre da vegetazione o comunque poco alberate, ove disporre le attrezzature di tiro (argani, freno, zavorre ecc.). Lo stendimento della corda pilota, viene eseguito, dove necessario per particolari condizioni di vincolo, con l'elicottero, in modo da rendere più spedita l'operazione ed evitare danni alle colture sottostanti. A questa fase segue lo stendimento dei conduttori che avviene recuperando la corda pilota con l'ausilio delle attrezzature di tiro, argani e freno, dislocate, come già detto in precedenza alle estremità della tratta oggetto di stendimento, la cui azione simultanea, definita "Tesatura frenata", consente di mantenere alti dal suolo, dalla vegetazione, e dagli ostacoli in genere, i conduttori durante tutte le operazioni. La regolazione dei tiri e l'ammorsettatura sono le fasi conclusive che non presentano particolari problemi esecutivi.

Ripristini con demolizione e rimozione di eventuali opere provvisorie ed eventuale ripiantumazione dei siti con essenze autoctone, dopo aver opportunamente ripristinato l'andamento originario del terreno.

Per quanto concerne le tempistiche per la realizzazione delle fondazioni e il montaggio del sostegno si prevede una durata media di circa 10 giorni nel caso della

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 35 di 54

realizzazione di 7 – 10 sostegni, mentre per stendimento e tesatura dei conduttori di energia e delle funi di guardia circa 21 giorni sempre nel caso della realizzazione di 7 – 10 sostegni. Nel complesso i tempi necessari non superano quindi il mese e mezzo, tenuto conto anche della sosta necessaria per la stagionatura dei getti.

La fase di lavoro considerata caratteristica per l'aspetto vibrazionale è quella che prevede la trivellazione e il getto dei pali di fondazione delle pile.

7.1.5. Cavidotti

In generale le operazioni di realizzazione si articoleranno secondo le fasi elencate nel modo seguente:

Realizzazione delle infrastrutture temporanee di cantiere, delle piste e delle piazzole di deposito delle terre da scavo;

Scavi: Le operazioni di scavo delle trincee da Pozzetto a Pozzetto e Buche Giunti verranno eseguite con opportuni mezzi escavatori, nelle adiacenze di sotto servizi verranno impiegati idonee attrezzature che permettano uno scavo cauto al fine di preservare l'integrità degli stessi. La quasi totalità degli scavi sarà del tipo a Sezione Obbligata, quindi le pareti dello scavo saranno sorrette da opportune tavole in legno che verranno tenute in posizione mediante l'utilizzo di puntelli in ferro posti ad un intervallo tale da garantire l'integrità dello scavo. In presenza di scavi particolarmente profondi e nelle adiacenze della linea ferroviaria, verranno posti in opera una doppia serie di puntelli in ferro a profondità diverse. Al termine di ogni tratto di trincea (circa 100 m) verranno installati i Pozzetti Rompi Tratta ed al termine del tiro saranno eseguiti gli scavi relativi alle Buche Giunti;

Predisposizioni delle trincee a ricevere i Tubi in PVC e Tritubo e posa degli stessi:

Dopo la realizzazione della trincea (circa 100 m), dovrà essere steso, sul fondo della stessa uno strato di 10cm di sabbia o magrone cementizio per il livellamento del fondo scavo. Verranno posati i Tubi in PVC ed il Tritubo, verranno installati i Pozzetti Rompi Tratta e successivamente verrà realizzato il Getto del Bauletto in CLS armato con rete elettrosaldata. Nel mentre sarà possibile iniziare un nuovo tratto di circa 100 m.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 36 di 54

Reinterro e ripristini: Dopo un periodo sufficiente per permettere al cemento di solidificarsi, si procederà con le attività di reinterro con la terra precedentemente accantonata.

Stendimento dei cavi: I cavi arriveranno nella zona di posa avvolti su bobine. La bobina verrà montata su un cavalletto, piazzato ad una certa distanza dallo scavo in modo da ridurre l'angolo di flessione del conduttore quando esso viene posato sul terreno.

Riempimento tubi con bentonite: Dopo lo stendimento di un tratto di cavo, da buca giunti a buca giunti, si dovrà eseguire il riempimento con Bentonite, usufruendo dei Pozzetti Rompi Tratta

Realizzazione delle giunzioni: Dopo lo stendimento di due tratti successivi di cavi, potrà essere eseguita la giunzione dei cavi all'interno della Buca Giunti precedentemente predisposta.

Ripristini: Al termine dalla fase di posa dei cavi, si procederà alla realizzazione degli interventi di ripristino. La fase comprende tutte le operazioni necessarie per riportare il territorio attraversato nelle condizioni ambientali precedenti alla realizzazione dell'opera. Le opere di ripristino previste possono essere raggruppate nelle seguenti due tipologie principali:

- ripristini stradali. Dopo aver costipato opportunamente i reinterri, si dovrà ripristinare il piano stradale i.
- ripristini geomorfologici ed idraulici. Si procede alla riprofilatura delle aree interessate dai lavori nella riconfigurazione delle pendenze preesistenti, ricostruendo la morfologia originaria del terreno e provvedendo alla riattivazione di fossi e canali irrigui, nonché delle linee di deflusso eventualmente preesistenti.

Generalmente in ciascun cantiere si prevede che saranno impiegati i seguenti mezzi per tratte di 150 m circa:

- 1 autocarri da trasporto con gru (per 1 giorni);
- 1 escavatore (per 2 giorni);
- 1 autobetoniera (per 1 giorno);
- 1 mezzi promiscuo per trasporto (per 3 giorni).

Titolo:

STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	Pag.
IN0D	01	D I2 RG	CA0000 002	A	37 di 54

La fase di lavoro considerata caratteristica per l'aspetto vibrazionale è quella dello scavo iniziale⁵.

⁵ Tenuto conto che la massima estesa dei cavidotti interessano terreni agricoli, le simulazioni saranno effettuate per tale casistica. Ulteriori approfondimenti potranno essere effettuata nelle successive fasi progettuali.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 38 di 54

8. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

I dati necessari alla compilazione del quadro geologico dell'area di interesse sono stati ricavati dal SIA e dalle relazioni Geologico- Geotecniche sviluppare per il PD sulla base delle campagne di sondaggi.

L'area in esame ricade all'interno del settore occidentale della Pianura padano-veneta, interessando depositi di materiali sciolti generati dalla deposizione di sedimenti prevalentemente di tipo continentale depositi fluviali, glaciali, lacustri e palustri. Per quanto riguarda il territorio di interesse del progetto in esame, ai fini dello studio vibrazionale sono state individuate le tre seguenti formazioni geologiche di riferimento:

- Tipo 1 - Terreni costituiti da materiali granulari addensati, principalmente ghiaie e ghiaie con sabbia talvolta debolmente limose caratterizzati da spessori fino a i 10 e 15 m da piano campagna, seguiti da materiali più francamente sabbiosi in profondità. Tale tipologia di terreno ricade nella zona iniziale di Verona fino al km 7+600 corrispondente alla spalla ovest del viadotto Fibbio. La falda si presenta a quote variabili e precisamente fino al km 4+000 si attesta fra +46 e +48 m slm (quota campagna con fabbricati da + 52 a +60 m s.l.m.), mentre proseguendo verso est, in corrispondenza della galleria si trova tra i +40 e i +35 m slm (quota campagna con fabbricati + 46 m s.l.m.).
- Tipo 2 - Terreni costituiti da depositi sabbioso limosi, generalmente sciolti per uno spessore superficiale di 2-5 m. Al di sotto di tale livello superficiale, sono presenti sabbie inframezzate ad argille. In considerazione del fatto che la falda è prossima al piano campagna sono possibili fenomeni di liquefazione. Tali conformazione idrogeologica si circoscrive ai tratti compresi tra le progressive da km 13+000 a km 16+000 e da km 20+000 a km 25+000
- Tipo 3 - Terreni costituiti nello strato superficiale di spessore variabile, che può essere stimato essere mediamente pari a 5 m, da argille e limi, variamente compatti. Al di sotto di tale livello superficiale, sono presenti sabbie anche grossolane e frammiste a ghiaie. Sulla base delle letture piezometriche ad oggi disponibili, la falda si pone a poca profondità da p.c., dell'ordine di 1.0÷2.0 m.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 39 di 54

9. SINTESI DELLO STATO ANTE OPERAM

Nella planimetria – Clima Vibrazionale Ante Operam doc. IN0D 01 DI2 PZ IM0006 014 A sono stati riportati i risultati di tutte le misurazioni effettuate nel territorio interessato dal progetto. Da evidenziare che, poiché il tracciato è per la maggior parte in variante le misure possono riferirsi anche a siti non adiacenti al tracciato di progetto, ma che comunque forniscono un valido riferimento dell'immissione dei livelli vibrazionali all'interno dei fabbricati nei tratti in affiancamento.

In definitiva, i dati riportati nei precedenti paragrafi e nella planimetria evidenziano, in tutti i casi, livelli vibrazionali decisamente maggiori al primo piano rispetto al piano terreno dei fabbricati a conferma di un comportamento comunque amplificatorio delle strutture in elevazione.

Sempre all'interno dei fabbricati i valori si mantengono sempre inferiori a 74 dB, valore che le norme ISO 2631 e UNI 9614 individuano come limite notturno delle vibrazioni di tipo continuo valutate in postura non nota all'interno degli edifici residenziali.

Di contro in corrispondenza dei punti 4 (corrispondenti al piano primo) delle sezione 2 e 3 sono stati registrati livelli vibrazionali prossimi a tale limite e precisamente:

- $L_w = 73,1$ in corrispondenza del transito n. 20 della sezione 2
- $L_w = 73,8$ in corrispondenza del transito n. 23 della sezione 3

In tutte e due i casi trattasi di treni merci.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO INOD	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 40 di 54

10. GLI IMPATTI CON LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

La modellazione del comportamento del terreno sotto l'azione dinamica delle sorgenti rappresenta un problema di estrema complessità, da un lato per la difficoltà insita nella scelta di parametri rappresentativi del terreno, dall'altro per la conoscenza spesso sommaria della funzione di trasferimento sorgente/ricettore caratteristica dello stesso.

Il livello di vibrazione determinato nello spazio circostante da una sorgente eccitatrice è funzione della tipologia di sorgente e di una serie di attenuazioni dipendenti dalla forma della sorgente e dal tipo di onda considerata, dall'assorbimento del terreno, dall'eventuale presenza di discontinuità nello stesso e dal passaggio delle sollecitazioni dal terreno alle fondazioni.

La propagazione nel corpo dell'edificio è determinante sia per gli abitanti che per le strutture in quanto pavimenti, pareti e soffitti degli edifici sono soggetti a significative amplificazioni delle vibrazioni rispetto a quelle trasmesse dalle fondazioni. I problemi maggiori si verificano quando la frequenza propria dei solai coincide con la frequenza di picco dello spettro di vibrazione del terreno. In tali casi è anche possibile la comparsa di disturbo da rumore per re-irradiazione delle strutture.

10.1. ILLUSTRAZIONE DELLE TECNICHE PREVISIONALI ADOTTATE

L'algoritmo utilizzato per la fase di cantiere è lo stesso utilizzato per lo studio delle vibrazioni in fase di esercizio. Tale algoritmo è stato individuato sulla base dell'analisi statistica dei rilievi effettuati nei tratti di progetto.

La sezione più complicata è comunque quella rappresentata dal mezzo di propagazione. Si nota infatti che la varietà delle conformazioni morfologiche del terreno comporta le maggiori incertezze di valutazione.

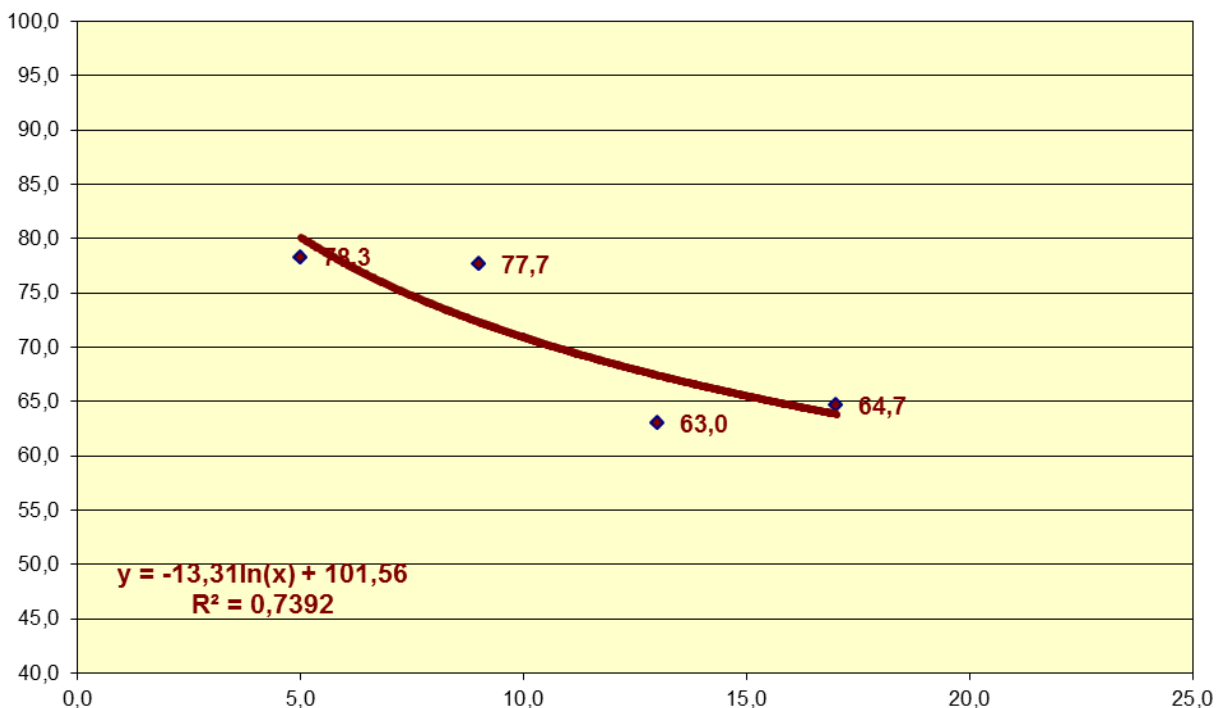
I fattori che possono influire nel determinare l'attenuazione di un mezzo di trasmissione sono molteplici. I più determinanti sono costituiti dalla natura del mezzo, dal suo grado di costipazione, dall'attrito statico fra i granuli e quindi dalla granulometria, dalla fratturazione del mezzo, dalla stratigrafia, dalla presenza di acqua

e da altri fattori la cui differente combinazione può determinare gradi di attenuazione differenti in mezzi litologicamente similari.

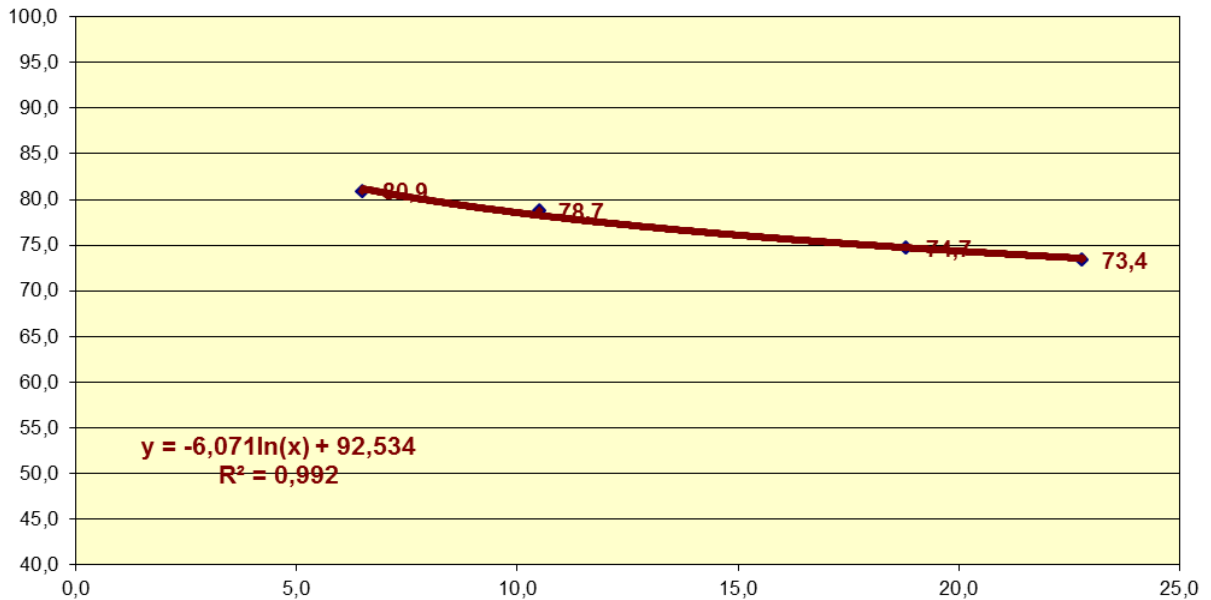
La molteplicità delle variabili in gioco nella trasmissione delle onde vibrazionali nel terreno suggerisce l'utilizzo di modelli costituiti da algoritmi creati su base sperimentale. A tal proposito si nota che conoscendo la mutua distanza tra le postazioni di rilievo, dai dati misurati in loco è stato possibile estrapolare le funzioni di trasferimento che descrivono l'attenuazione del terreno in funzione della distanza.

In questo caso la sorgente presente nell'area è costituita dalla linea ferroviaria attuale e la curva di regressione è stata quindi in base all'attenuazione del fenomeno vibratorio generato dal transito dei convogli. Nelle seguenti figure si riportano le curve di attenuazione del terreno elaborate su base sperimentale.

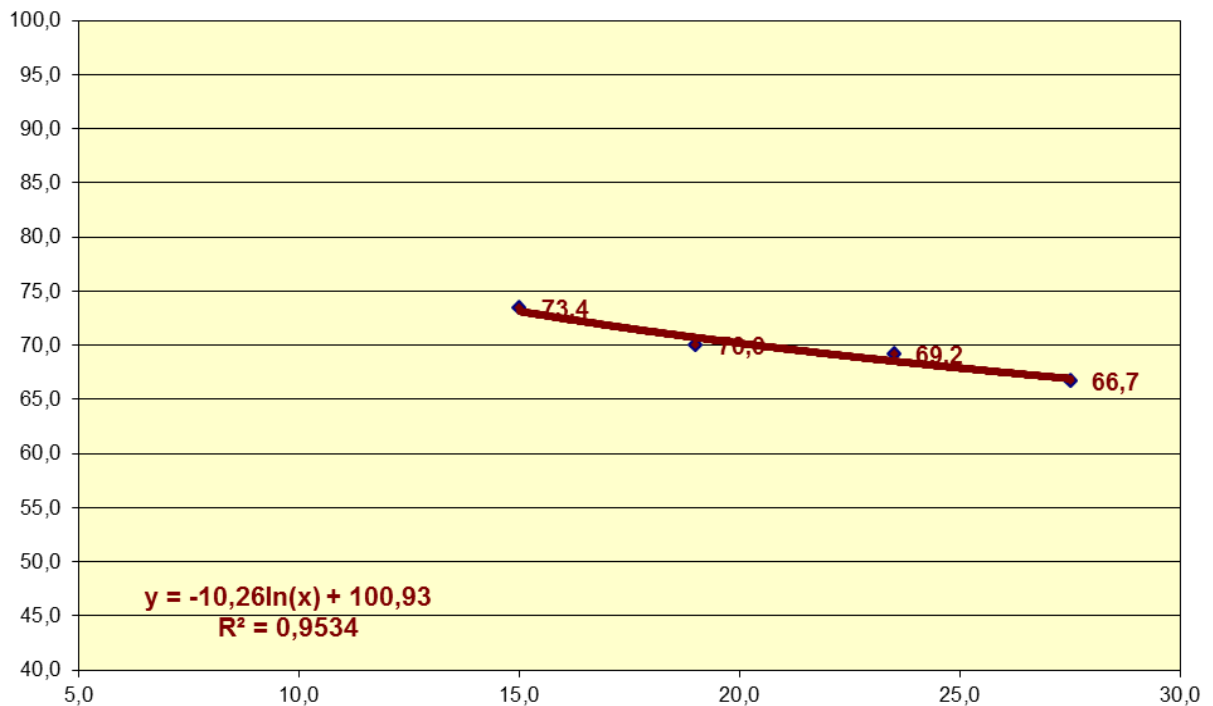
CURVA DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO SEZIONE 1 - VERONA



CURVA DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO SEZIONE 2 - SAN BONIFACIO



CURVA DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO SEZIONE 3 - LOCARA



 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 43 di 54

Si nota che le equazioni sopra riportate evidenziano in tutti i casi un coefficiente di correlazione elevato.

Dalle equazioni di regressione è stato possibile ricavare la funzione di abbattimento del terreno come di seguito riportato:

- Sezione 1 $\Delta L_{\text{terreno S1}} = 30,65 \cdot \text{LOG}(d) - 21,42 \text{ dB}$
- Sezione 2 $\Delta L_{\text{terreno S2}} = 13,99 \cdot \text{LOG}(d) - 11,37 \text{ dB}$
- Sezione 3 $\Delta L_{\text{terreno S3}} = 23,7 \cdot \text{Log}(d) - 27,81 \text{ dB}$

Tenuto conto che in presenza di terreni sciolti a sabbia e ghiaia i valori di attenuazione forniti da analoghe campagne di monitoraggio si attestano intorno a 1 dB/m, le curve di attenuazione sopra elaborate evidenziano una elevata trasmissione delle vibrazioni in particolare nelle sezione 2 e secondariamente anche nella sezioni 3 e 4.

Tale particolarità è nello specifico determinata all'elevato contenuto d'acqua di questi terreni. Come riportato nel paragrafo 7, in tutti i casi i terreni, costituiti da sabbie nella sezione 2 e limi e argille nelle sezioni 3 e 4, si presentano infatti saturi d'acqua.

Valori di abbattimento nella norma caratterizzano invece la sezione 1 dove i terreni sono costituiti da ghiaie e sabbie e la falda si trova ad almeno 6 m da piano campagna

Le vibrazioni trasmesse agli edifici subiscono un primo abbattimento in corrispondenza del sistema fondazionale propagandosi verso l'alto variando da piano a piano.

Da un'analisi di regressione dei risultati sperimentali è stato possibile estrapolare le funzioni di trasferimento che descrivono la risposta degli edifici alle vibrazioni.

L'effetto combinato attenuazione fondazioni + amplificazione solai (N_p = numero di piani abitati) è stato calcolato in base ai dati rilevati in ciascuna delle sezioni di misura e quindi mediate al fine di definire una funzione univoca valutata come media del comportamento dei corpi edilizi monitorati:

$$\Delta L_{EP} = 6,4 - 3,1 N_p \text{ dB}$$

10.1.1. Valutazione dell'emissione delle macchine di cantiere

Le emissioni di vibrazione in fase di costruzione sono ampiamente variabili in relazione al tipo di attrezzatura/macchina operatrice impiegata, al contesto di utilizzazione e all'operatore. Nel presente studio sono stati utilizzati sia dati di fonte bibliografica sia dati direttamente acquisiti nel corso di misure svolte in cantieri di grandi opere realizzate in Italia.

Per quanto riguarda i dati bibliografici, è stato in particolare utilizzato il volume L.H. Watkins - "Environmental impact of roads and traffic" - Appl. Science Publ., che alle pagine 231-241 riporta una serie di dati sperimentali sull'emissione di vibrazioni da parte di svariati tipi di macchine da cantiere, utilizzate nelle costruzioni stradali e ferroviarie. Da tale raccolta di dati sono stati estratti gli spettri di emissione delle macchine riportate nella Tabella 6.

Tabella 6 - Spettri di accelerazione in mm/s^2 (Dati da letteratura)

Macchina/Attrezzatura	Distanza	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
Camion da cantiere	10	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0.12	0.15	0.29	0.5	1.67	1.85	2.5	6	5.5	5.2	4
Camion ribaltabile	10	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0.23	0.41	0.5	0.6	1.1	2.99	9	3.9	3.3	4	10	8
Rullo compattatore vibrante	10	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8	0.7	0.8	1.1	1	2	1.55	6	29	3	1	1.6	2
Rullo compattatore (non vibrante)	10	0	0	0	1.6	1.7	2	0.85	5.8	11	18	20	40	20	4	12	7	3.7	3.7	5	4
Pala gommata carica	10	0	0	0	0.41	0.41	0.41	0.48	0.52	0.50	0.76	1.10	1.25	2	3	17	17	7.8	15	14	7.8
Pala gommata scarica ⁶	20	0	0	0	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.4	1.2	0.9	1.75	1.26	2	5.2	2.6	1.6	1.6	1.5	2
Ruspa cingolata piccola	10	0	0	0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.4	1.6	3.2	4.2	8	6	18	24	16	10	9	6	5.5

In Figura 7 sono riportati gli spettri di emissione tra 1 Hz e 80 Hz delle sorgenti contenute in tabella, misurati alla distanza indicata dalla sorgente, con sovrapposta la curva limite di percettibilità secondo UNI 9614.

⁶ Considerata la modesta sezione degli scavi per i cavidotti, si prende a riferimento l'emissione della pala meccanica per tale lavorazione.

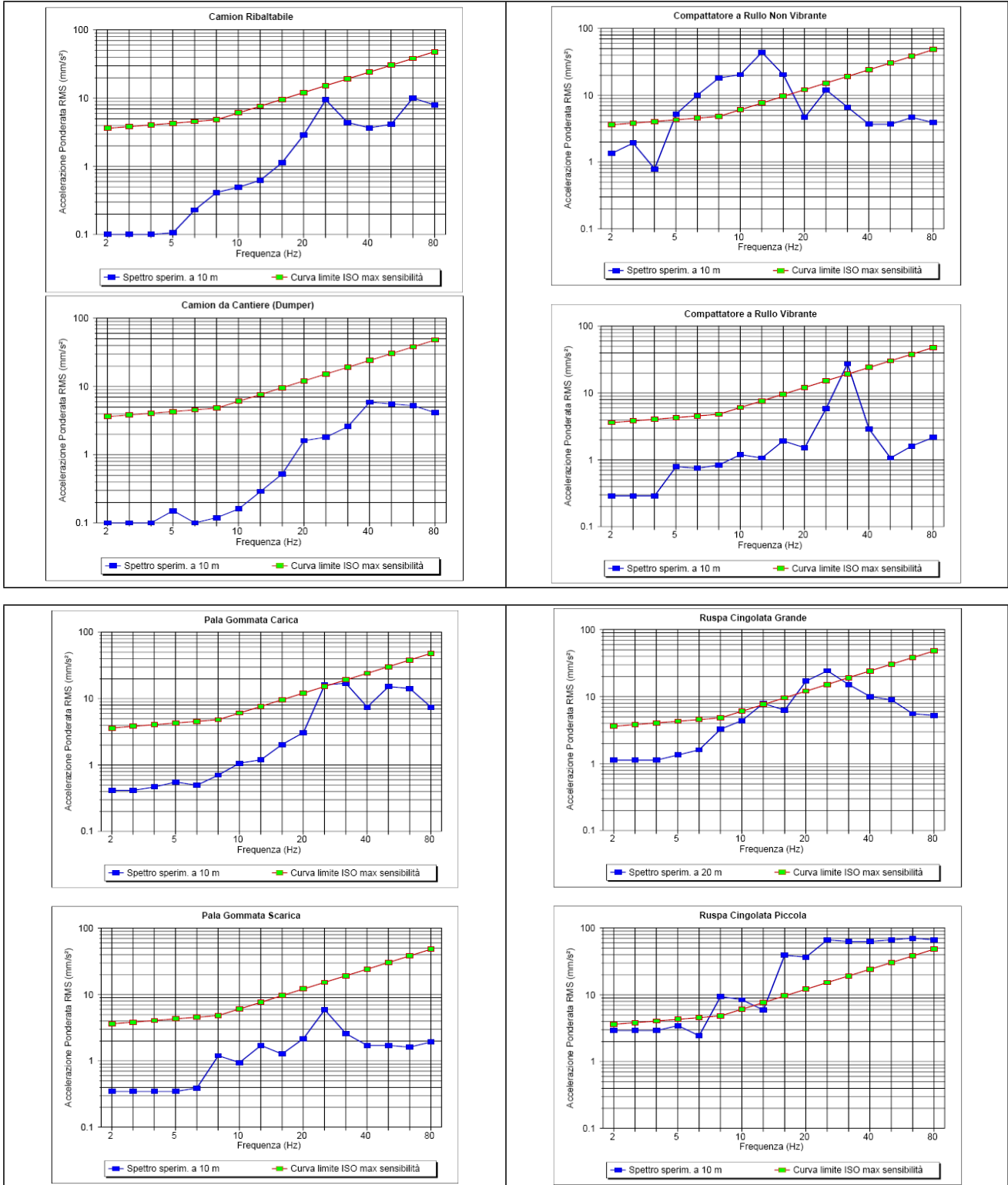


Figura 9 - Spettri di accelerazione

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO INOD	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 46 di 54

In Tabella 8 si riportano invece alcuni dati sperimentali.

Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
Realizzazione Pali – distanza di riferimento 4 m																				
dB	77,1	75,3	74,4	72,9	71,7	70,7	69,6	68,9	67,8	66,8	66,4	69,0	69,7	72,5	79,9	87,1	96,5	110,6	105,9	101,2
Scavo con Benna mordente – distanza di riferimento 3,5 m																				
dB	97,4	100,0	100,7	99,6	98,1	97,1	94,7	93,3	91,6	90,1	88,7	87,0	85,5	84,3	83,1	81,9	81,0	80,2	79,8	78,3
Compattazione – distanza di riferimento 2 m⁷																				
dB	74,9	77,5	75,8	75,0	76,2	77,8	76,3	76,7	77,7	79,2	81,9	96,2	91,0	82,6	96,1	90,6	104,0	97,4	97,6	96,1

Tabella 7 - Spettri di accelerazione in dB (Dati sperimentali)

Nella figura seguente sono riportati gli spettri di emissione tra 1 hz e 80 Hz delle sorgenti rilevate, misurati alla distanza indicata dalla sorgente.

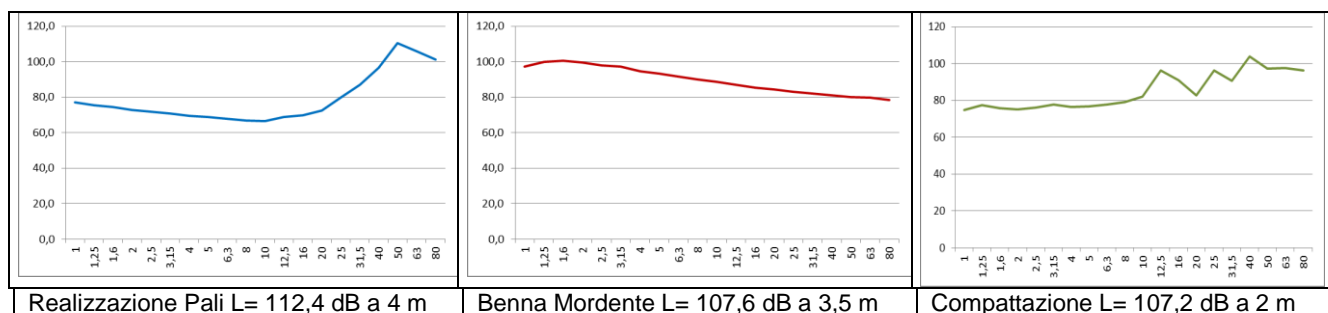


Figura 10 - Spettri di accelerazione dati sperimentali

Nelle figure seguenti si riportano invece La Time History e lo spettro rilevato per singolo asse, nonché la Time History elaborata per assi combinati postura non nota relativa alla Realizzazione dei Pali e allo scavo con Benna Mordente.

⁷ Fonte : Studio sul Rumore, sulle Vibrazioni e sull'impatto Atmosfera per il Ponte sullo Stretto di Messina

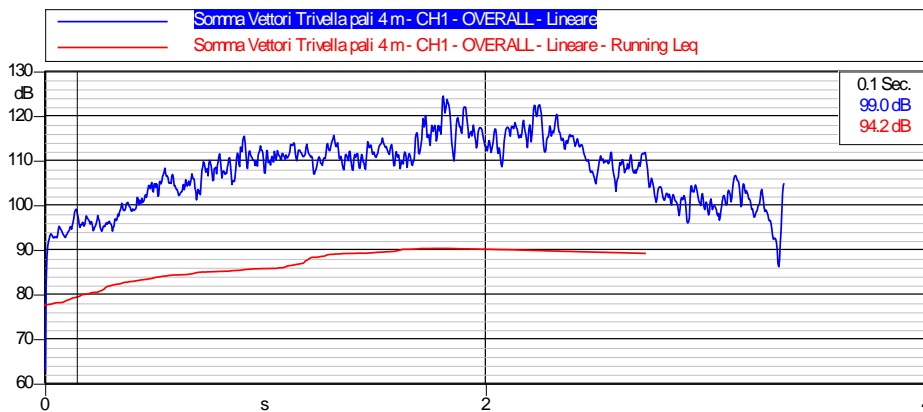
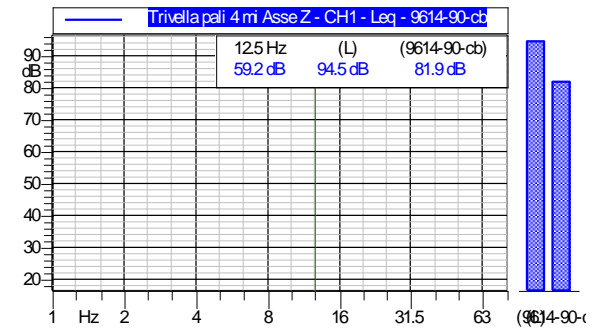
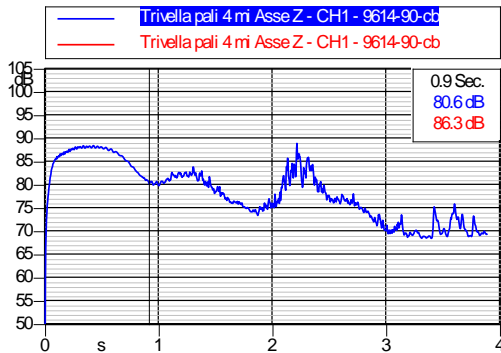
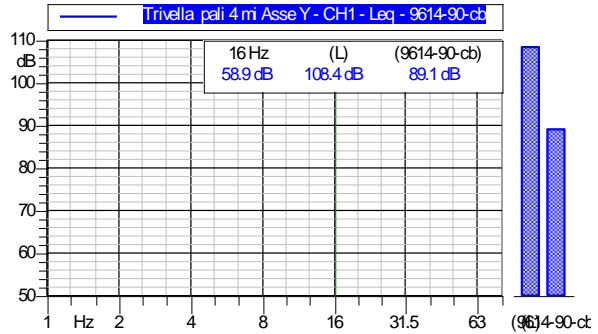
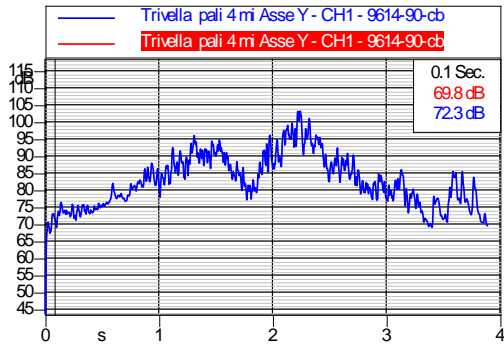
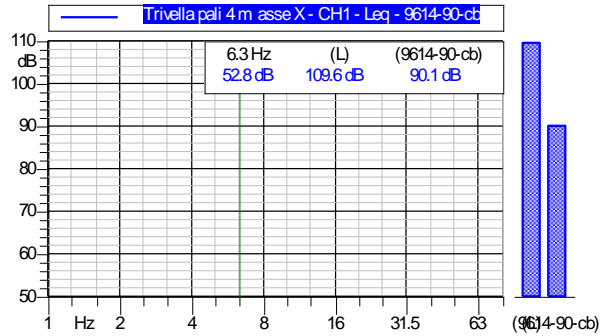
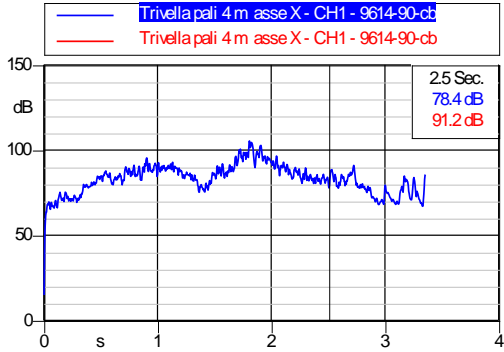


Figura 11 – Rilievo Sperimentale Realizzazione Pali di Fondazione

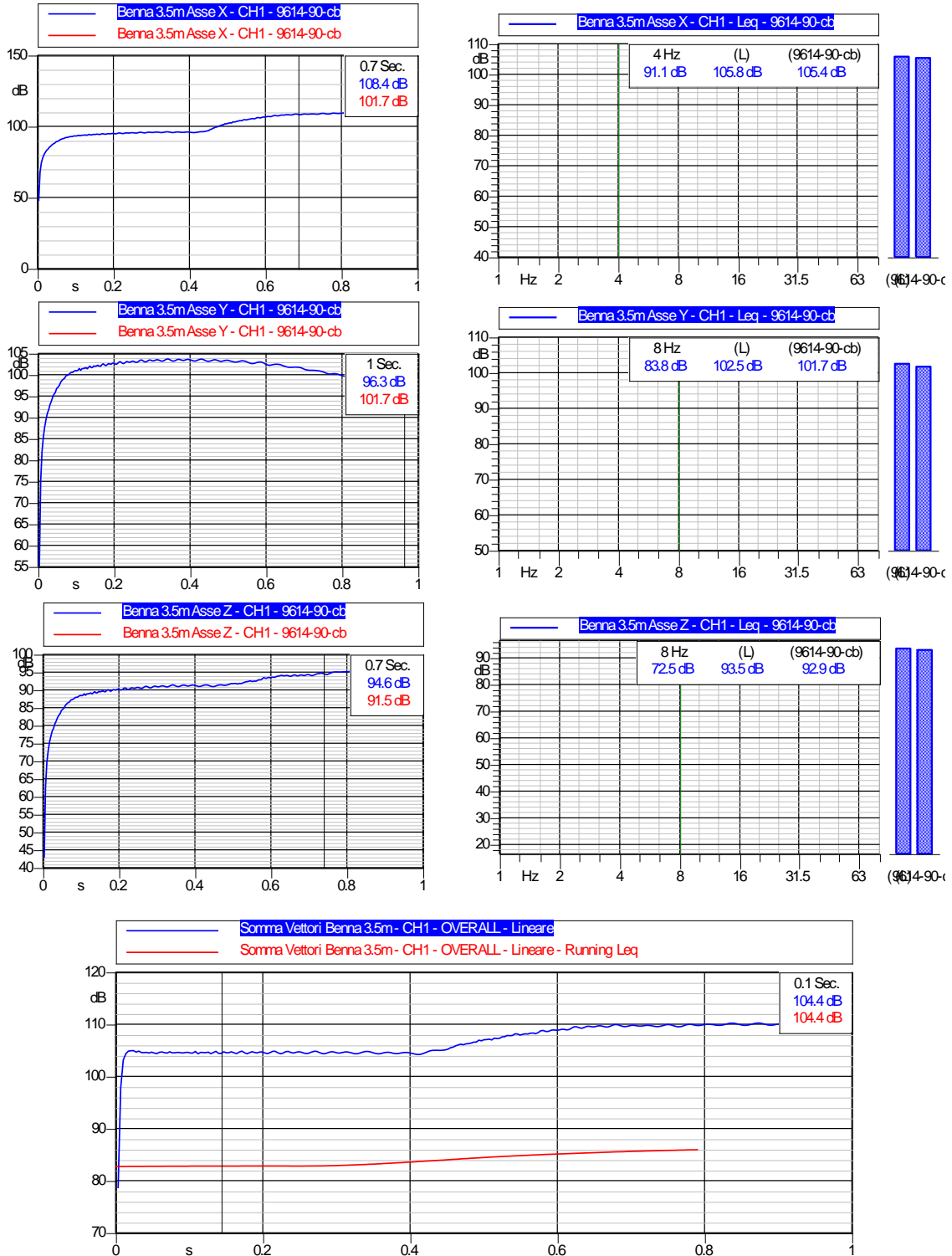


Figura 12 – Rilievo Sperimentale Scavo con Benna Mordente

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 49 di 54

10.2. AFFIDABILITA' E TARATURA DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

Come descritto nel dettaglio nel capitolo 10.1, l'esigenza di giungere ad un quadro previsionale possibilmente il più vicino alla realtà, ha suggerito l'adozione di un modello previsionale realizzato su analisi statistica dei dati sperimentali misurati in sito.

L'indagine sperimentale ha permesso di ricavare la funzioni di trasferimento dei terreni interessati dal progetto nonché di caratterizzare la risposta degli edifici alle vibrazioni in base alla tipologia degli stessi.

Va da se che l'affidabilità dei risultati ottenuti è insita nello stesso metodo di sviluppo dell'algoritmo che minimizza gli scarti tra le misure e quindi tara i coefficienti in base alle medesime.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 50 di 54

11. PREVISIONE DELL'IMPATTO POST OPERAM E INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ

In un'ottica cautelativa, nel presente studio è stato stimato l'impatto massimo prevedibile. Tuttavia l'entità dei livelli così stimati e il relativo disturbo ha una breve durata, per lo più qualche giorno, per decade rapidamente all'allontanarsi del fronte avanzamento lavori.

Lo studio esamina prioritariamente il disturbo ai sensi della UNI 9614, anche se sono effettuate valutazioni ai sensi della UNI 9916.

L'individuazione delle criticità che si potranno verificare con la realizzazione del progetto ha reso indispensabile determinare preventivamente i criteri di valutazione della sensibilità del territorio. A tale scopo è stato utilizzato come riferimento il censimento dei ricettori dello studio acustico redatto per il progetto preliminare integrato per la parte in galleria, per il sito di produzione degli inerti, per gli elettrodotti ed i cavidotti.

11.1. VALUTAZIONE UN I9614

I ricettori potenzialmente impattati sono costituiti prevalentemente da fabbricati residenziali ed uffici. Lungo la tratta in esame sono state classificate come aree critiche secondo UNI 9614, n. 2 edifici adibiti a servizi sanitari localizzati a Verona e n. 2 industrie la prima a San Bonifacio che però ricade in un tratto in viadotto e la seconda a Lonigo. In via cautelativa, per quanto riguarda i valori limite si è fatto riferimento ai valori suggeriti dalla norma ISO 2631/UNI 9614 per le vibrazioni di tipo continuo (vedi tabella 4 paragrafo 4.2). Per gli edifici residenziali è stato applicato il limite diurno pari a 77 dB.

Applicando le relazioni di calcolo messe a punto nei paragrafi precedenti sono state calcolati i livelli vibrazionali da attendersi al piano terra e all'ultimo piano di tutti i ricettori presenti nella fascia di indagine. Tali livelli sono stati quindi confrontati con i limiti della norma 2631/UNI 9416, individuando così puntualmente tutte le situazioni in cui vi è da attendersi l'insorgere di situazioni di disturbo alle persone. I livelli così stimati sono stati riportati nel documento Output dei livelli vibrazionali (doc IN0D01DI2RHCA0000002A) dove sono stati riportati tutti gli edifici ricadenti nella fascia di indagine i livelli stimati al

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 51 di 54

piano terreno e all'ultimo piano, i relativi limiti di norma e le eccedenze rilevate. I fabbricati per i quali è stato stimato un impatto sono complessivamente 184 e sono localizzati come riportato in tabella.

PROVINCIA	ISTAT	COMUNE	EDIFICI CON IMPATTO
Verona	023091	Verona	52
	023073	San Martino Buon Albergo	2
	026017	Belfiore	2
	023069	San Bonifacio	115
Vicenza	023052	Lonigo	3
	023060	Montebello Vicentino	-

Dai dati sopra riportati emerge che la situazione maggiormente critica è quella di San Bonifacio e di Verona. In questo caso l'impatto è determinato dalla prossimità dei ricettori in particolare alla linea storica esistente.

Da evidenziare che entrambi gli edifici storici vincolati che fanno parte del Complesso delle Sorelle della Misericordia presentano valori eccedenti i limiti della norma 2631/UNI 9416 per il fabbricati residenziali nel periodo notturno.

Risultano altresì impattate i n. 2 impianti produttivi classificati come aree critiche secondo UNI 9614, mentre risultano a norma i due servizi sanitari.

Per quanto concerne le cave, gli elettrodotti e i cavidotti è stata stimata una sola situazione di impatto per la realizzazione dei pali di fondazione dei piloni 15 e 16 dell'elettrodotto di San Bonifacio. La situazione di impatto avrà comunque durata estremamente limitata nel tempo

Dalla localizzazione dei fabbricati impattati sono stati quindi derivati i tratti di linea da considerare critici per l'impatto vibrazionale.

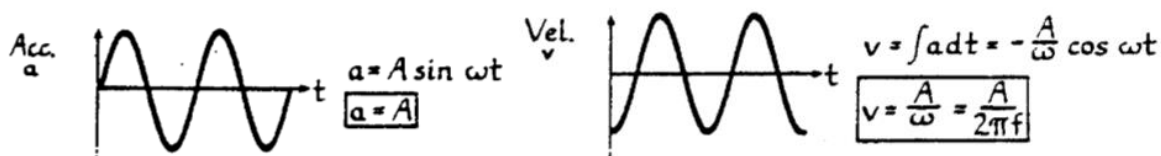
E' importante comunque sottolineare che i tratti critici riportati in tabella sono stati individuati in un'ottica di estrema tutela rispetto al possibile insorgere di situazioni di disturbo alle persone.

11.2. VALUTAZIONE UNI 9916

In relazione alle situazioni di maggiore criticità così come derivate dall'applicazione del modello di simulazione sperimentale, per tutti i ricettori impattati è stato poi verificato anche il rispetto dei limiti della UNI 9916. Tale verifica è stata effettuata in

un'ottica di particolare cautela in quanto il danno strutturale è evidentemente correlato a livelli delle vibrazioni di grandezza di gran lunga superiore rispetto alla soglia di disturbo alle persone.

A tal fine è stato necessario trasformare dapprima il valore dell'accelerazione stimata come livello in dB in accelerazione in m/s^2 mediante la formula $L = 20\text{Log}(a/a_0)$ dove $a_0 = 10^{-6} m/s^2$. Si è poi pervenuti alla trasformazione in velocità mediante l'applicazione della formula sotto riportata.



dove alla frequenza f è stata inserita la frequenza dominante del fenomeno vibratorio generato dall'attività di massimo impatto.

Tale frequenza + precisamente pari a:

- 40 Hz per l'attività di compattazione delle terre;
- 50 Hz per l'attività di trivellazione dei pali;
- 1,6 Hz per l'attività di trivellazione dei diaframmi con benna mordente.

In un'ottica cautelativa è stata quindi applicata la frequenza minore al valore complessivo del livello vibrazionale stimato.

Dall'analisi dei risultati riportati nella Tabella di Sintesi dei livelli stimati (doc IN0D 01 D12 RH CA0000 003 A) si può affermare che i limiti della UNI 9916 vengono sempre rispettati.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 53 di 54

12. TRATTI CRITICI PER L'IMPATTO VIBRAZIONALE E INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Nella tabella seguente si riporta in sintesi l'elenco dei tratti in cui le analisi effettuate hanno evidenziato un impatto vibrazionale.

CODICE	KM INIZIO	KM FINE	LUNGHEZZA [m]	FONTI
AC01	1+125	1+800	675	FAL
AC02	2+050	2+200	150	FAL
AC03	2+450	3+100	650	FAL
AC04	5+650	5+750	100	FAL
AC05	13+650	13+950	300	FAL
AC06	14+200	14+300	100	FAL
AC07	14+650	15+150	500	FAL
AC08	20+200	20+500	300	FAL
AC09	21+250	22+050	800	FAL
AC10	22+800	24+150	1350	FAL
AC11	24+700	25+350	650	FAL
AC12	27+875	27+975	100	FAL
AC13	30+050	30+415	365	FAL
AE01	-	-	-	Elettrodotto Locara

TOTALE	6.040
---------------	--------------

Il Fronte Avanzamento Lavori si conferma pertanto la principale fonte per l'impatto vibrazionale.

I tratti di linea critici per la fase di cantiere sono comunque localizzati nelle planimetrie in scala 1:2000 (doc IN0D 01 DI2 P6 CA0000 001 A ÷ IN0D 01 DI2 P6 CA0000 013 A).

I possibili interventi di mitigazione possono essere suddivisi in due grandi famiglie:

- Preliminari - Riguardano tutti gli interventi che per la loro stessa natura contribuiscono a tenere minimi livelli di emissione, quali ad esempio;
 - a. selezione delle macchine conformi alle norme armonizzate

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE FASE DI CANTIERE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 01	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO CA0000 002	REV. A	Pag. 54 di 54

- a. Utilizzo di attrezzature caratterizzate da minori emissioni di vibrazioni (martelli pneumatici a potenza regolabile, Rulli per la compattazione a bassa emissione di vibrazioni, macchine per il movimento terra gommate anziché cingolate, etc.)
 - b. utilizzo di macchine di recente costruzione (gruppi elettrogeni, compressori, martelli, demolitori, ecc.)
 - c. continua manutenzione dei mezzi e delle attrezzature (Lubrificazione, sostituzione pezzi usurati o inefficienti, controllo e serraggio giunzioni, bilanciatura, verifica allineamenti, verifica tenuta pannelli di chiusura
 - d. manutenzione della viabilità interna di cantiere.
- Attivi - Riguardano tutte le procedure operative e sono sintetizzabili nei seguenti punti:
- b. Avvisare la popolazione residente del possibile disturbo transitorio, in anticipo sull'avvicinamento del fronte d'avanzamento al ricettore
 - c. Inserire nel PMA i ricettori per i quali si stima un impatto significativo come presidi in cui svolgere le misure in fase di cantiere.

I livelli vibrazionali stimati sono riportati nelle tabelle di output del modello (doc IN0D 01 DI2 RH CA0000 002 A e IN0D 01 DI2 RH CA0000 003 A).

Da evidenziare che l'impatto massimo sul quale sono state effettuate le valutazioni nel presente studio e il relativo disturbo ha tuttavia una breve durata, per lo più qualche giorno, per decade rapidamente all'allontanarsi del fronte avanzamento lavori.