

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

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 O D	0 0	D	I 2	R G	I M 0 0 0 6	0 0 5	B

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

Progettazione

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	
A	EMISSIONE DEFINITIVA	N. Cognome	Maggio 2015	N. Cognome	Maggio 2015	N. Cognome	Maggio 2015	Ing. T. Bastianello	
		R. Pieroncin		E. Serpi		L.Abrami			
B	EMISSIONE ISTRUTTORIA ITALFERR	N. Cognome	Luglio 2015	N. Cognome	Luglio 2015	N. Cognome	Luglio 2015		
		R. Pieroncin		E. Serpi		L.Abrami			
C	REVISIONE MATTM (Prot.0001350/CTVA 14/04/16)	N. Cognome	Aprile 2016	N. Cognome	Aprile 2016	N. Cognome	Aprile 2016		
		R. Pieroncin		E. Serpi		B. Grimaldi			
									Data: Aprile 2016

File: IN0D01DI2RGIM0006005C_00A.doc	CUP.: J41E91000000000 CIG: 3320049F17	n. Elab.:
-------------------------------------	--	-----------

INDICE

1. PREMESSA.....	4
1.1. ITER METODOLOGICO.....	5
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	8
3. GRANDEZZE DI RIFERIMENTO	10
4. VALORI DI RIFERIMENTO.....	12
4.1. VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA INTERNAZIONALE ISO 2631	14
4.2. VALORI DI RIFERIMENTO DELLA NORMATIVA ITALIANA UNI 9614:1990.....	15
4.3. NORMATIVA UNI 9916:2014	19
4.4. ISO/TS 10811-2:2000 - ESPOSIZIONE DELLE APPARECCHIATURE SENSIBILI ALLE VIBRAZIONI.....	20
5. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO	23
5.1. AMBITO TERRITORIALE.....	23
5.2. DESCRIZIONE DEI RICETTORI E DELLE SORGENTI.....	23
5.2.1. EDIFICI STORICI.....	25
5.2.2. AREE CRITICHE UNI 9614.....	26
6. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	27
7. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA	29
8. CAMPAGNA DI MONITORAGGIO.....	30
8.1. MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRITORIO INTERESSATO DAL PROGETTO.....	30
8.1.1. SEZIONE 1 – VERONA.....	32
8.1.2. SEZIONE 2 – SAN BONIFACIO.....	36
8.1.3. SEZIONE 3 – LOCARA	40
8.2. MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL’EMISSIONE DEI CONVOGLI AV.....	45
9. SINTESI DELLO STATO ANTE OPERAM.....	49
10. GLI IMPATTI CON LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	50
10.1. CONSIDERAZIONI GENERALI.....	50
10.2. ILLUSTRAZIONE DELLE TECNICHE PREVISIONALI ADOTTATE	52
10.2.1. INTERAZIONE RUOTA-ROTAIA	54
10.2.2. VELOCITÀ DEI TRENO	55
10.2.3. NATURA DEL TERRENO E LEGGI DI ATTENUAZIONE NEL SUOLO.....	55
10.2.4. TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI AGLI EDIFICI.....	62
10.2.5. VALUTAZIONE DELL’EMISSIONE DEI ROTABILI	63
10.2.5.1. LINEA AV.....	63
10.2.5.2. LINEA STORICA.....	77

10.3.	APPROCCIO METODOLOGICO – TRANSITO CONTEMPORANEO DEI CONVOGLI	80
10.4.	AFFIDABILITA' E TARATURA DEL MODELLO DI SIMULAZIONE	81
11.	PREVISIONE DELL'IMPATTO POST OPERAM E INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ	82
11.1.	VALUTAZIONE UNI 9614.....	82
11.2.	VALUTAZIONE UNI 9916.....	83
12.	INTERVENTI DI MITIGAZIONE E LIVELLI POST MITIGAZIONE.....	86

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO INOD	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 4 di 87

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 realizzazione del progetto della linea A.V./A.C. Verona – Padova, tratto Verona Porta Vescovo – Montebello Vicentino è stato pertanto aggiornato per effetto delle seguenti specifiche richieste:

35 di redigere una valutazione di impatto sulle vibrazioni (ante operam e fase di esercizio) con particolare riferimento al transito contemporaneo di convogli, sia per i ricettori prossimi alla nuova infrastruttura sia presso i ricettori ubicati nelle aree in cui la nuova infrastruttura si avvicina e/o si affianca alla linea storica.

36 di redigere una valutazione di impatto sulle vibrazioni (ante operam e fase di cantiere e fase di esercizio) con particolare riferimento a eventuali ricettori di tipo industriale-artigianale dotati di macchinari di precisione, il cui corretto funzionamento può essere pregiudicato dalle vibrazioni indotte dai convogli, che contenga:

- ✓ *i dati di input del modello previsionale utilizzato, descritti e tabellati;*
- ✓ *evidenza della taratura del modello;*
- ✓ *i livelli vibratori stimati dal modello di calcolo previsionale, per la verifica del rispetto dei limiti indicati dalle norme UNI 9614 e UNI 9916;*
- ✓ *interventi di mitigazione.*

In relazione al Quesito 35, sono state effettuate nuove valutazioni considerando la situazione più cautelativa dovuta al transito contemporaneo di n. 3 convogli sui binari. Ne deriva che sul lato nord, la situazione simulata è quella di n. 2 treni sulla Linea storica e di n. 1 treno sul binario dispari della Linea AV/AC. più prossimi ai singoli

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 5 di 87

ricettori. Tenuto conto che già per le emissioni era stata considerata come emissione caratteristica il 90° percentile dei dati rilevati in campo, la stima effettuata risulta essere decisamente prudenziale. Inoltre le valutazioni sono state estese anche ai tratti della linea storica in affiancamento non interessati dai lavori.

Per quanto concerne il Quesito 36, sono state in primis acquisite tutte le segnalazioni del territorio per poi procedere ad una ulteriore verifica di campo sugli impianti produttivi prossimi al tracciato di progetto che svolgono attività con macchinari il cui funzionamento potrebbe essere pregiudicato dalle vibrazioni. A tal fine sono state considerate le ditte che potrebbero far uso di sistemi laser per tagli, fresature e saldature di precisione, industrie meccaniche di precisione e di componentistica aeronautica e per auto, laboratori dentali, oreficeria e gioielleria industriale.

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 esercizio, le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi all'interazione del sistema veicolo/armamento/struttura di sostegno.

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

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

La continua tendenza in alcuni settori dell'industria e della ricerca a perfezionare e rendere più precise le strumentazioni ha determinato il consolidarsi di situazioni di elevata sensibilità alle vibrazioni. Il funzionamento di microscopi ottici ed elettronici

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 6 di 87

può ad esempio essere disturbato da livelli di vibrazioni inferiori alla soglia di percezione umana.

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

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

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

L'iter metodologico seguito può essere schematizzato secondo le fasi di lavoro di seguito riportate:

- Individuazione dei valori di riferimento. Ai fini di una più immediata comprensione è stato dapprima effettuato un breve *escursus descrittivo* della normativa tecnica vigente e delle sue indicazioni più cogenti.
- Caratterizzazione ante operam. In questa fase dello studio è 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.
- 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
 - caratterizzare l'emissione dei livelli vibrazionali dei treni AV (ETR e Italo) e tradizionali
 - costruire un modello sperimentale della propagazione nel terreno e della trasmissione agli edifici da estendere a tutta l'area di progetto.

I risultati delle indagini di campo sono riportati nelle relazioni IN0D 01 DI2 RG AR0003 001 A e IN0D 01 DI2 RG AR0003 002 A A nelle schede di rilevamento documenti IN0D 01 DI2 RH AR0003 001 A ÷ IN0D 01 DI2 RH AR0003 007 A

- Simulazioni e individuazione delle criticità. Applicando il modello di simulazione sviluppato sulla base dei dati sperimentali, sono stati stimati i livelli vibrazionali indotti dal transito dei convogli ferroviari sulla linea AV/AC, e sulla linea Storica limitatamente ai tratti di affiancamento nei quali, per necessità di progetto, si dovranno eseguire deviazioni o varianti dei binari esistenti. In questo parte dello studio sono state quindi individuate le aree dove vi sono da attendersi dei superamenti dei valori di riferimento. I risultati sono riportati nelle *planimetrie di individuazione delle aree critiche* doc IN0D 00 DI2 P6 IM0006 129 C ÷ IN0D 00 DI2 P6 IM0006 145 C.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 8 di 87

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

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

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

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

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

- ISO 5347, Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni;
- ISO 5348, Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983;
- UNI 9916, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, 1990;
- UNI 9614, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, 1990;
- UNI 9670, Risposta degli individui alle vibrazioni apparecchiatura di misura.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.

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.

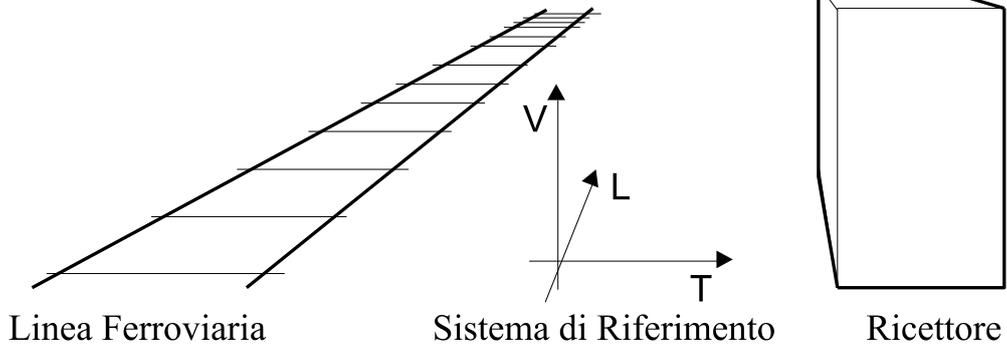


Figura 1 - Orientamento delle componenti di vibrazione. L = longitudinale, T = trasversale, V = verticale, rispetto alla linea ferroviaria.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 12 di 87

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 di esercizio della linea (armamento, rotabili, velocità)..

Le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi, in fase di esercizio all'interazione del sistema veicolo/armamento/struttura di sostegno, in fase di cantiere alle attività di scavo, compattazione e movimentazione mezzi necessarie per la realizzazione dell'infrastruttura. Nel primo caso, essendo univocamente determinata la sorgente, conoscendone la localizzazione, la posizione rispetto ai potenziali ricettori, attraverso la definizione delle caratteristiche dinamiche della stessa risulta agevole produrre delle previsioni di impatto. Nel secondo caso, intervenendo molteplici sorgenti, differenti tra loro sia per tipologia che per ambito spaziale e temporale, l'attività previsionale è più complessa.

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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 13 di 87

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

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

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

Il veicolo ferroviario può essere definito *come sorgente di vibrazione intermittente*. Infatti, un ricettore adiacente ad una linea ferroviaria è soggetto ad una serie di eventi di breve durata, separati da intervalli in cui la vibrazione ambientale denota una ampiezza significativamente più bassa

A tal proposito si fa presente che nel rapporto "*Vibrations transmises par le sol – Vibrations provoquées dans la batiments par la curculation. Analyse das rapportts de mesures effectuées aur divers réseaux*" - ORE, Question DI21, Rapport 5 Utrecht 1983, le analisi delle misure effettuate lungo diverse reti ferroviarie in fabbricati residenziali ha suggerito l'adozione di limiti di riferimento sensibilmente più elevati rispetto a quelli utilizzati per le vibrazioni continue.

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.

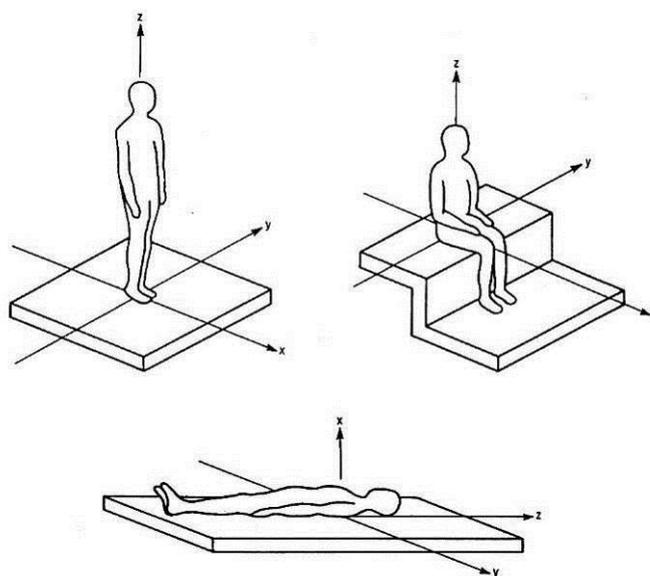


Figura 2 - Definizione degli assi di riferimento rispetto alla posizione della persona (ISO2631)

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:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 15 di 87

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

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 sopracitate aree sono comunque considerate come aree critiche solo negli intervalli di tempo in cui vengono utilizzate o svolte le attività di precisione.

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

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

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

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

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

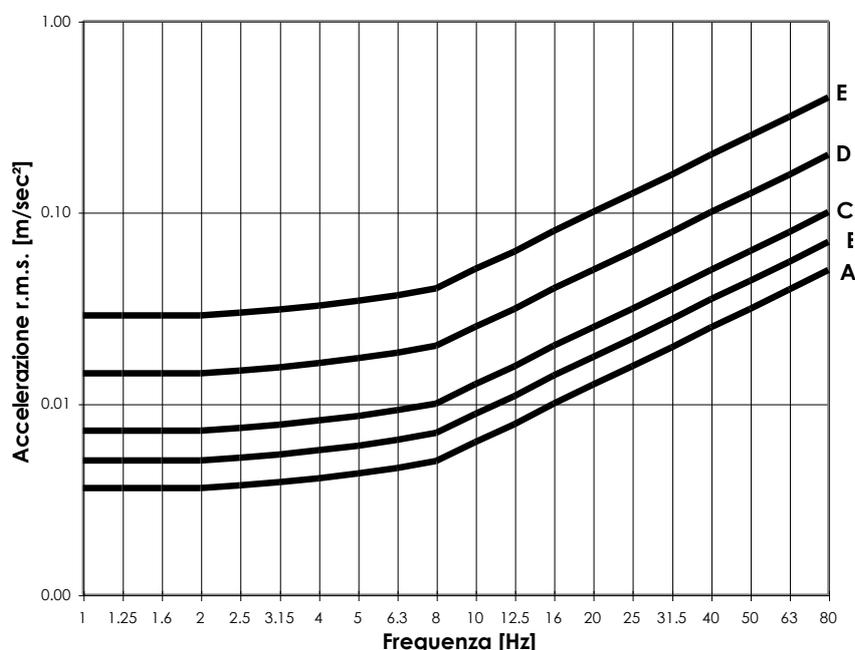


Figura 3 - Curve limite ISO 2631: A aree critiche, B aree residenziali e ore notturne, C aree residenziali e ore diurne, D uffici, E officine e laboratori.

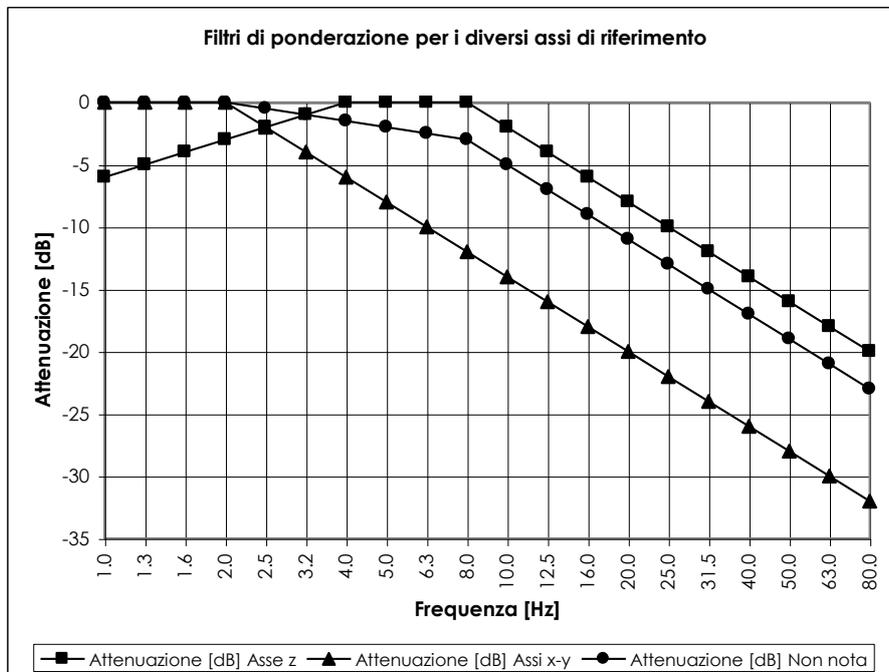


Figura 4 - Attenuazione dei filtri di ponderazione per diverse posture dell'individuo (UNI 9614)

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 18 di 87

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.

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				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 19 di 87

4.3. **NORMATIVA UNI 9916:2014**

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

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

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

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

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

La DIN 4150-3 considera tre classi di edifici:

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

e considera due tipologie di vibrazione:

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

La DIN 4150-3 prevede la misurazione ed il controllo del livello di vibrazione sia in fondazione (per tutte e tre le componenti) che ai piani superiori con particolare riferimento al piano più elevato per quanto riguarda le componenti orizzontali della

velocità. Tali misurazioni forniscono un quadro della risposta globale dell'edificio; sono inoltre necessarie misurazioni relative alla risposta dei solai ai singoli piani, che possono essere limitate alla misurazione della componente verticale della velocità, registrata al centro del solaio.

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

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

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

CLASSE	TIPO EDIFICIO	VALORI DI RIFERIMENTO PER LA VELOCITÀ DI VIBRAZIONE P.C.P.V. [mm/s]				
		FONDAZIONI			PIANO ALTO	SOLAI COMPONENTE VERTICALE
		Da 1 a 10Hz	Da 10 a 50Hz	Da 50 a 100Hz	Tutte 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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 21 di 87

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

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

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

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

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

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

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

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

Linea AV/AC VERONA – PADOVA**1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	Pag.
IN0D	00	D I2 RG	IM0006 005	C	22 di 87

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).

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 23 di 87

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. 8 comuni ricadenti nelle province di Verona e Vicenza.

Nella tabella seguente se ne riporta l'elenco dettagliato.

PROVINCIA	COMUNE	CODICE ISTAT
Verona	Verona	023091
	San Martino Buon Albergo	023073
	Zevio	023097
	Calderio	023017
	Belfiore	023007
	San Bonifacio	023069
Vicenza	Lonigo	024052
	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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 24 di 87

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 completi di informazioni riguardanti la localizzazione, lo stato e la consistenza e la relativa documentazione fotografica (doc IN0D 01 DI2 SH IM0006 001 A).

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. 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)

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.

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)

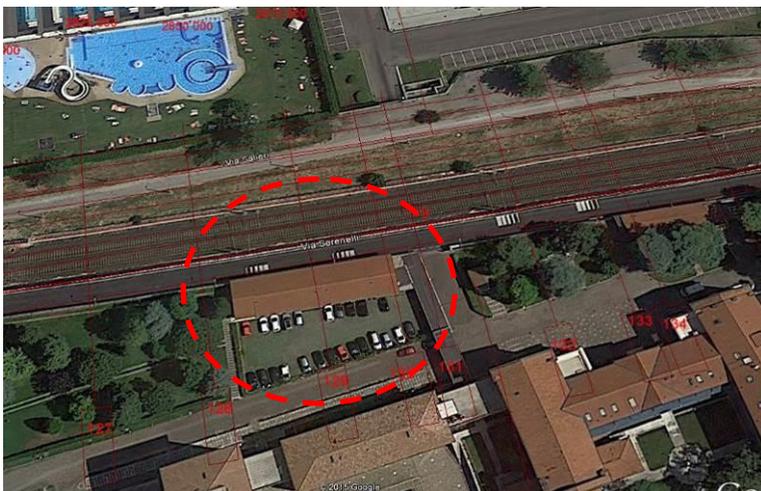


Figura 5 – Edificio situato al km 2+875



Figura 6 – Edificio situato al km 3+050

⁴ Fonte: Catalogo e Altante del Veneto – Ville Venete

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 26 di 87

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				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 27 di 87

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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 28 di 87

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				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 29 di 87

7. 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				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 30 di 87

8. CAMPAGNA DI MONITORAGGIO

I dati rilevati sono stati finalizzati a:

1. individuare i livelli vibrazionali attualmente indotti dall'esercizio ferroviario all'interno delle abitazioni prossime alla Linea Storica
2. caratterizzare l'emissione dei livelli vibrazionali dei treni AV (ETR e Italo)
3. costruire un modello sperimentale della propagazione nel terreno e della trasmissione agli edifici da estendere a tutta l'area di progetto.

Al fine di rispondere alle esigenze sopra elencate sono state effettuate due distinte campagne di monitoraggio: la prima ha interessato il territorio direttamente interessato dal progetto localizzando le stazioni di monitoraggio in adiacenza della linea storica attualmente in esercizio, mentre la seconda, per la specifica finalità, ha riguardato un ambito estraneo al progetto dove era presente una linea AV/AC in esercizio.

8.1. MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRITORIO INTERESSATO DAL PROGETTO

Le indagini sono state eseguite individuando n. 3 sezioni caratteristiche in base ai terreni e alle caratteristiche del corpo ferroviario e del territorio.

In ciascuna sezione sono stati effettuati rilievi in n. 4 postazioni di misura così come di seguito descritte:

Postazione P1: caratterizza l'emissione dei rotabili sulla Linea Storica. In dipendenza della tipologia del corpo ferroviario, il punto è stato localizzato presso il confine della proprietà ferroviaria, ad una distanza variabile tra 5 m e 15 m dall'asse del binario di corsa più vicino.

Postazione P2: caratterizzare la funzione di trasferimento del terreno nonché costituisce riferimento per la determinazione dell'attenuazione all'interfaccia delle fondazioni. Il punto è localizzato all'esterno dell'edificio in posizione determinata rispetto alla facciata del fabbricato.

Postazione P3: determina l'attenuazione all'interfaccia fondazioni/terreno; per tale motivo il punto è localizzato in corrispondenza del primo solaio (piano terra preferibilmente).

Postazione P4: finalizzata alla valutazione del comportamento alla vibrazioni del manufatto edilizio al variare dell'altezza. A tale scopo il punto è localizzata all'interno dell'edificio, all'ultimo solaio, che nel caso

La figura di seguito riportata riportano lo schema di localizzazione dei punti di misura. Nello specifico il punto P4 corrisponde sempre al primo piano, in quanto gli edifici interessati dalle indagini sono di 2 piani..

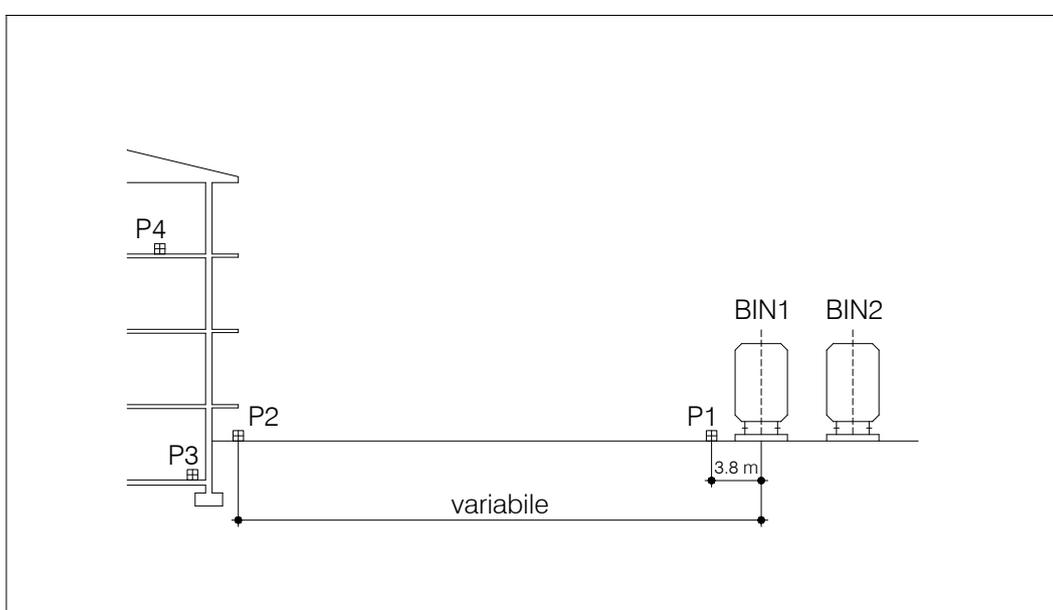


Figura 7 - Sezione trasversale tipo con indicazione delle postazioni di monitoraggio

Il monitoraggio è stato svolto nella settimana nel periodo compreso tra il 18 febbraio e il 26 febbraio 2015.

In ciascuna sezione i rilievi sono stati eseguiti in contemporanea nelle 4 postazioni individuate.

Nei seguenti paragrafi è riportata una descrizione sintetica delle condizioni di misura, delle punti, nonché le tabelle contenenti i dati rilevati come livello di accelerazione complessiva ponderata secondo UNI 9614 (assi combinati) in dB con l'indicazione degli elementi caratteristici di ciascun transito (Tipo treno, direzione ad indicare il binario, lunghezza convoglio e velocità).

Per le informazioni di dettaglio sulla campagna di misura e sui transiti si rimanda comunque alla relazione IN0D 01 DI2 RG AR0003 002 A e alle schede di rilevamento IN0D 01 DI2 RH AR0003 005 A ÷ IN0D 01 DI2 RH AR0003 007 A.

8.1.1. Sezione 1 – Verona

Localizzazione: In uscita da Verona (altezza progressiva di progetto km 2+580 dove la LS subirà una variante con conseguente avvicinamento al fabbricato)

Terreno (cfr par. 7): Tipo 1 ghiaie e sabbie con falda a profondità superiore a 5 m dal p.c.

Tipologia corpo ferroviario: raso

Tipo edificio: n. 2 piani fuori terra - struttura presumibilmente mista muratura e c.a.



Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno	Quota relativa piano del ferro			
1	Esterno prossimità binario	5.00 m	-0.5 m			
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	114,8	78,5
2	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+10	301,5	88,7	76,0
3	OVEST	REGIONALE	2+7	22,3	8,1	74,6
4	EST	MINUETTO	2+4	51,9	44,5	76,8
5	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	90,8	78,4
6	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	22,2	69,6
7	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	147,5	83,0
8	OVEST	MERCI	2+6	160,3	52,8	77,2

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 33 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
1	Esterno prossimità binario	5.00 m		-0.5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
9	EST	MERCI	1+17	360,3	117,5	75,5
10	OVEST	REGIONALE	2+5	171,0	50,3	73,7
11	EST	REGIONALE	2+6	197,1	88,3	76,6
12	EST	MINUETTO	2+3	51,9	24,3	71,7
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	78,7	77,6
14	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	76,5
15	OVEST	MINUETTO	2+4	51,9	39,9	76,2
16	OVEST	MERCI	1+21	440,3	102,4	75,4
17	OVEST	REGIONALE	2+6	197,1	70,4	75,2
18	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	75,1	76,5
19	EST	REGIONALE	2+7	223,2	87,0	73,6
20	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	98,4	77,1
21	EST	MERCI	1+21	440,3	80,1	77,0
22	EST	MERCI	1+30	620,3	121,1	76,5
23	EST	MINUETTO	2+4	51,9	39,9	78,6
24	EST	MERCI	1+14	300,3	79,0	76,3
25	OVEST	MINUETTO	2+3	51,9	26,8	72,9
26	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	73,8	75,1
27	EST	MERCI	1+28	580,3	121,7	76,3
28	OVEST	MERCI	1+22	460,3	71,9	75,3
29	OVEST	MERCI	1+21	440,3	85,2	73,1
30	EST	MINUETTO	2+2	51,9	33,9	76,0
31	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	79,4	76,9

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
2	Esterno proprietà	13.00 m		-0.5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	114,8	63,5
2	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+10	301,5	88,7	63,5
3	OVEST	REGIONALE	2+7	22,3	8,1	65,4
4	EST	MINUETTO	2+4	51,9	44,5	63,0
5	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	90,8	64,1
6	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	22,2	58,1
7	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	147,5	62,4
8	OVEST	MERCI	2+6	160,3	52,8	63,7

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 34 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
2	Esterno proprietà	13.00 m		-0.5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
9	EST	MERCI	1+17	360,3	117,5	62,0
10	OVEST	REGIONALE	2+5	171,0	50,3	61,3
11	EST	REGIONALE	2+6	197,1	88,3	62,1
12	EST	MINUETTO	2+3	51,9	24,3	59,1
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	78,7	64,4
14	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	61,8
15	OVEST	MINUETTO	2+4	51,9	39,9	68,7
16	OVEST	MERCI	1+21	440,3	102,4	66,4
17	OVEST	REGIONALE	2+6	197,1	70,4	64,7
18	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	75,1	63,5
19	EST	REGIONALE	2+7	223,2	87,0	64,8
20	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	98,4	64,1
21	EST	MERCI	1+21	440,3	80,1	66,8
22	EST	MERCI	1+30	620,3	121,1	67,0
23	EST	MINUETTO	2+4	51,9	39,9	67,3
24	EST	MERCI	1+14	300,3	79,0	59,7
25	OVEST	MINUETTO	2+3	51,9	26,8	59,4
26	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	73,8	63,2
27	EST	MERCI	1+28	580,3	121,7	63,8
28	OVEST	MERCI	1+22	460,3	71,9	61,7
29	OVEST	MERCI	1+21	440,3	85,2	62,8
30	EST	MINUETTO	2+2	51,9	33,9	59,0
31	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	79,4	64,2

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
3	Interno edificio PT	21.80 m		0 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	114,8	62,1
2	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+10	301,5	88,7	61,6
3	OVEST	REGIONALE	2+7	22,3	8,1	60,8
4	EST	MINUETTO	2+4	51,9	44,5	59,6
5	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	90,8	61,2
6	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	22,2	56,2
7	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	147,5	66,7

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 35 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
3	Interno edificio PT	21.80 m		0 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
8	OVEST	MERCI	2+6	160,3	52,8	60,6
9	EST	MERCI	1+17	360,3	117,5	58,5
10	OVEST	REGIONALE	2+5	171,0	50,3	58,4
11	EST	REGIONALE	2+6	197,1	88,3	59,3
12	EST	MINUETTO	2+3	51,9	24,3	53,7
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	78,7	61,4
14	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	58,5
15	OVEST	MINUETTO	2+4	51,9	39,9	62,6
16	OVEST	MERCI	1+21	440,3	102,4	62,9
17	OVEST	REGIONALE	2+6	197,1	70,4	60,6
18	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	75,1	61,4
19	EST	REGIONALE	2+7	223,2	87,0	61,4
20	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	98,4	59,2
21	EST	MERCI	1+21	440,3	80,1	60,1
22	EST	MERCI	1+30	620,3	121,1	63,6
23	EST	MINUETTO	2+4	51,9	39,9	63,7
24	EST	MERCI	1+14	300,3	79,0	59,1
25	OVEST	MINUETTO	2+3	51,9	26,8	57,5
26	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	73,8	61,2
27	EST	MERCI	1+28	580,3	121,7	61,1
28	OVEST	MERCI	1+22	460,3	71,9	60,1
29	OVEST	MERCI	1+21	440,3	85,2	62,5
30	EST	MINUETTO	2+2	51,9	33,9	56,1
31	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	79,4	61,3

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
4	Interno edificio P1	21.80 m		3 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	114,8	65,1
2	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+10	301,5	88,7	67,4
3	OVEST	REGIONALE	2+7	22,3	8,1	65,7
4	EST	MINUETTO	2+4	51,9	44,5	61,2
5	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	90,8	68,3
6	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	22,2	62,9
7	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	147,5	69,1

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
4	Interno edificio P1	21.80 m		3 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
8	OVEST	MERCI	2+6	160,3	52,8	61,5
9	EST	MERCI	1+17	360,3	117,5	63,5
10	OVEST	REGIONALE	2+5	171,0	50,3	64,0
11	EST	REGIONALE	2+6	197,1	88,3	63,0
12	EST	MINUETTO	2+3	51,9	24,3	57,9
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	78,7	66,8
14	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	60,4
15	OVEST	MINUETTO	2+4	51,9	39,9	65,7
16	OVEST	MERCI	1+21	440,3	102,4	62,3
17	OVEST	REGIONALE	2+6	197,1	70,4	65,6
18	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	75,1	66,8
19	EST	REGIONALE	2+7	223,2	87,0	60,2
20	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	98,4	66,7
21	EST	MERCI	1+21	440,3	80,1	63,8
22	EST	MERCI	1+30	620,3	121,1	65,8
23	EST	MINUETTO	2+4	51,9	39,9	67,4
24	EST	MERCI	1+14	300,3	79,0	62,9
25	OVEST	MINUETTO	2+3	51,9	26,8	62,0
26	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	73,8	67,6
27	EST	MERCI	1+28	580,3	121,7	65,0
28	OVEST	MERCI	1+22	460,3	71,9	63,5
29	OVEST	MERCI	1+21	440,3	85,2	64,8
30	EST	MINUETTO	2+2	51,9	33,9	59,4
31	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	79,4	67,0

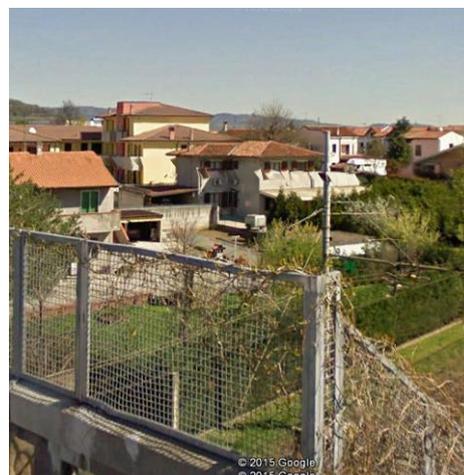
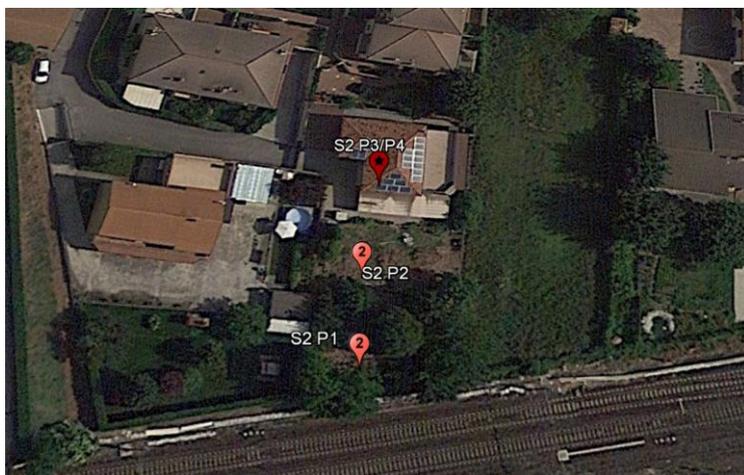
8.1.2. Sezione 2 – San Bonifacio

Localizzazione: Interno abitato San Bonifacio

Terreno (cfr par. 7): Tipo 2 sabbie con falda quasi a quota campagna (problemi di liquefazione)

Tipologia corpo ferroviario: raso

Tipo edificio: n. 2 piani fuori terra - struttura presumibilmente in c.a.



Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno	Quota relativa piano del ferro			
1	Esterno prossimità binario	6.50 m	-0.5 m			
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	99,5	79,4
2	EST	REGIONALE	2+7	223,2	32,7	68,4
3	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	118,0	93,1
4	EST	MERCI	1+23	480,3	86,3	75,9
5	EST	REGIONALE	2+7	223,2	35,6	72,9
6	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	105,9	80,9
7	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	76,6
8	OVEST	MINUETTO	2+1	51,9	17,3	67,9
9	EST	MINUETTO	2+1	51,9	15,9	68,5
10	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	114,8	82,4
11	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	104,6	81,2
12	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	118,0	82,8
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	82,6	76,3
14	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	100,8	77,7
15	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	35,8	69,6
16	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	90,8	79,2
17	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	76,1
18	OVEST	MINUETTO	2+3	51,9	15,1	68,4
19	OVEST	MERCI	1+21	440,3	104,8	79,2
20	OVEST	MERCI	1+23	480,3	81,9	77,8
21	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	104,6	82,8
22	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	39,9	70,7
23	EST	REGIONALE	2+7	223,2	39,2	73,0
24	OVEST	MINUTETTO	2+2	51,9	20,2	79,1

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 38 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
2	Esterno proprietà	18.80 m		-0.5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	99,5	73,6
2	EST	REGIONALE	2+7	223,2	32,7	63,5
3	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	118,0	75,8
4	EST	MERCI	1+23	480,3	86,3	69,2
5	EST	REGIONALE	2+7	223,2	35,6	66,5
6	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	105,9	75,2
7	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	73,5
8	OVEST	MINUETTO	2+1	51,9	17,3	60,0
9	EST	MINUETTO	2+1	51,9	15,9	62,0
10	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	114,8	75,6
11	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	104,6	74,3
12	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	118,0	75,7
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	82,6	73,7
14	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	100,8	74,0
15	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	35,8	63,5
16	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	90,8	72,7
17	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	73,3
18	OVEST	MINUETTO	2+3	51,9	15,1	62,9
19	OVEST	MERCI	1+21	440,3	104,8	72,3
20	OVEST	MERCI	1+23	480,3	81,9	73,9
21	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	104,6	72,2
22	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	39,9	63,8
23	EST	REGIONALE	2+7	223,2	39,2	65,4
24	OVEST	MINUTETTO	2+2	51,9	20,2	69,6

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
3	Interno edificio PT	33.50 m		0 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	99,5	65,5
2	EST	REGIONALE	2+7	223,2	32,7	55,5
3	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	118,0	70,0
4	EST	MERCI	1+23	480,3	86,3	64,3
5	EST	REGIONALE	2+7	223,2	35,6	57,6
6	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	105,9	68,7

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 39 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
3	Interno edificio PT	33.50 m		0 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
7	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	66,3
8	OVEST	MINUETTO	2+1	51,9	17,3	53,0
9	EST	MINUETTO	2+1	51,9	15,9	56,1
10	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	114,8	60,4
11	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	104,6	68,7
12	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	118,0	69,6
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	82,6	65,4
14	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	100,8	65,3
15	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	35,8	55,7
16	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	90,8	67,7
17	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	66,5
18	OVEST	MINUETTO	2+3	51,9	15,1	55,4
19	OVEST	MERCI	1+21	440,3	104,8	66,2
20	OVEST	MERCI	1+23	480,3	81,9	68,6
21	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	104,6	68,8
22	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	39,9	56,3
23	EST	REGIONALE	2+7	223,2	39,2	57,9
24	OVEST	MINUTETTO	2+2	51,9	20,2	65,5

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
4	Interno edificio P1	33.50 m		3 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	99,5	69,2
2	EST	REGIONALE	2+7	223,2	32,7	62,1
3	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	118,0	72,0
4	EST	MERCI	1+23	480,3	86,3	69,2
5	EST	REGIONALE	2+7	223,2	35,6	62,7
6	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	105,9	70,7
7	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	69,7
8	OVEST	MINUETTO	2+1	51,9	17,3	58,7
9	EST	MINUETTO	2+1	51,9	15,9	61,3
10	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	114,8	72,1
11	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	104,6	70,9
12	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	118,0	71,4

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
4	Interno edificio P1	33.50 m		3 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	82,6	70,2
14	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	100,8	70,2
15	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	35,8	61,8
16	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	90,8	70,6
17	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	95,0	69,7
18	OVEST	MINUETTO	2+3	51,9	15,1	61,3
19	OVEST	MERCI	1+21	440,3	104,8	71,4
20	OVEST	MERCI	1+23	480,3	81,9	73,1
21	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	104,6	70,7
22	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	39,9	62,2
23	EST	REGIONALE	2+7	223,2	39,2	63,6
24	OVEST	MINUTETTO	2+2	51,9	20,2	70,7

8.1.3. Sezione 3 – Locara

Localizzazione: Nel comune di Locara in ambito agricolo

Terreno (cfr par. 7): Tipo 3 argille e limi saturi d'acqua

Tipologia corpo ferroviario: Rilevato

Tipo edificio: n. 2 piani fuori terra - struttura presumibilmente in c.a.



Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 41 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
1	Esterno prossimità binario	15 m		-5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	23,2	65,9
2	EST	REGIONALE	2+7	223,2	75,2	74,0
3	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	153,0	69,1
4	OVEST	FRECCIA ROSSA	2+11	301,5	62,8	68,0
5	OVEST	MERCI	1+19	400,3	82,8	75,5
6	EST	MINUETTO	2+2	51,9	23,2	71,1
7	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	111,6	73,6
8	EST	MINUETTO	1+1	51,9	20,5	70,6
9	EST	MERCI	1+21	440,3	32,9	69,1
10	EST	MINUETTO	2+4	51,9	22,9	71,6
11	EST	MERCI	1+16	340,3	66,3	75,4
12	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	72,8
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	116,4	71,0
14	OVEST	MERCI	1+18	380,3	71,7	79,6
15	OVEST	MERCI	1+31	640,3	113,7	71,8
16	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	77,9	70,1
17	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	108,7	71,8
18	OVEST	REGIONALE	2+3	118,8	53,2	69,9
19	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	71,7
20	OVEST	MINUETTO	2+4	51,9	26,0	72,5
21	EST	MINUETTO	2+4	51,9	28,8	80,3
22	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	108,7	74,1
23	EST	MERCI	1+24	500,3	120,7	78,2
24	EST	REGIONALE	2+7	223,2	77,9	74,1
25	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	22,6	70,2
26	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	70,6
27	OVEST	MERCI	1+19	400,3	69,4	71,8
28	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	87,0	74,5
29	EST	MINUETTO	2+4	51,9	23,2	73,4
30	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	111,6	73,5

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
2	Esterno proprietà	23.50 m		-0.5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	23,2	63,8

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 42 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
2	Esterno proprietà	23.50 m		-0.5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
2	EST	REGIONALE	2+7	223,2	75,2	68,6
3	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	153,0	66,8
4	OVEST	FRECCIA ROSSA	2+11	301,5	62,8	64,3
5	OVEST	MERCI	1+19	400,3	82,8	70,9
6	EST	MINUETTO	2+2	51,9	23,2	65,0
7	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	111,6	68,7
8	EST	MINUETTO	1+1	51,9	20,5	66,7
9	EST	MERCI	1+21	440,3	32,9	63,7
10	EST	MINUETTO	2+4	51,9	22,9	66,3
11	EST	MERCI	1+16	340,3	66,3	72,7
12	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	68,5
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	116,4	67,8
14	OVEST	MERCI	1+18	380,3	71,7	74,8
15	OVEST	MERCI	1+31	640,3	113,7	66,2
16	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	77,9	66,9
17	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	108,7	68,3
18	OVEST	REGIONALE	2+3	118,8	53,2	66,4
19	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	67,5
20	OVEST	MINUETTO	2+4	51,9	26,0	71,4
21	EST	MINUETTO	2+4	51,9	28,8	75,2
22	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	108,7	69,7
23	EST	MERCI	1+24	500,3	120,7	72,3
24	EST	REGIONALE	2+7	223,2	77,9	68,7
25	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	22,6	63,7
26	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	67,4
27	OVEST	MERCI	1+19	400,3	69,4	67,1
28	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	87,0	70,4
29	EST	MINUETTO	2+4	51,9	23,2	66,9
30	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	111,6	69,9

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
3	Interno edificio PT	33.50 m		- 5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	OVEST	MINUETTO	2+2			

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 43 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
3	Interno edificio PT	33.50 m		- 5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
2	EST	REGIONALE	2+7	51,9	23,2	53,8
3	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	223,2	75,2	58,2
4	OVEST	FRECCIA ROSSA	2+11	275,4	153,0	54,7
5	OVEST	MERCI	1+19	301,5	62,8	55,5
6	EST	MINUETTO	2+2	400,3	82,8	65,3
7	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	51,9	23,2	60,9
8	EST	MINUETTO	1+1	275,4	111,6	58,6
9	EST	MERCI	1+21	51,9	20,5	61,4
10	EST	MINUETTO	2+4	440,3	32,9	58,2
11	EST	MERCI	1+16	51,9	22,9	57,8
12	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	340,3	66,3	64,0
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	59,1
14	OVEST	MERCI	1+18	275,4	116,4	59,8
15	OVEST	MERCI	1+31	380,3	71,7	69,2
16	OVEST	REGIONALE	2+7	640,3	113,7	61,4
17	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	223,2	77,9	58,9
18	OVEST	REGIONALE	2+3	275,4	108,7	60,6
19	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	118,8	53,2	56,5
20	OVEST	MINUETTO	2+4	275,4	113,2	61,0
21	EST	MINUETTO	2+4	51,9	26,0	62,4
22	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	51,9	28,8	62,5
23	EST	MERCI	1+24	275,4	108,7	59,1
24	EST	REGIONALE	2+7	500,3	120,7	58,0
25	OVEST	MINUETTO	2+2	223,2	77,9	58,8
26	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	51,9	22,6	55,1
27	OVEST	MERCI	1+19	275,4	113,2	60,2
28	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	400,3	69,4	62,1
29	EST	MINUETTO	2+4	275,4	87,0	62,1
30	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	51,9	23,2	58,0

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
4	Interno edificio P1	33.50 m		- 2 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
1	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	23,2	59,9

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 44 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

Punto	Localizzazione	Distanza asse binario esterno		Quota relativa piano del ferro		
4	Interno edificio P1	33.50 m		- 2 m		
Misura	Direzione	Tipo	Composizione	Lunghezza	Velocità	LW d(B)
2	EST	REGIONALE	2+7	223,2	75,2	60,2
3	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	153,0	58,5
4	OVEST	FRECCIA ROSSA	2+11	301,5	62,8	58,8
5	OVEST	MERCI	1+19	400,3	82,8	68,3
6	EST	MINUETTO	2+2	51,9	23,2	63,1
7	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	111,6	60,9
8	EST	MINUETTO	1+1	51,9	20,5	63,4
9	EST	MERCI	1+21	440,3	32,9	60,5
10	EST	MINUETTO	2+4	51,9	22,9	59,9
11	EST	MERCI	1+16	340,3	66,3	65,5
12	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	60,6
13	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	116,4	61,7
14	OVEST	MERCI	1+18	380,3	71,7	71,8
15	OVEST	MERCI	1+31	640,3	113,7	64,1
16	OVEST	REGIONALE	2+7	223,2	77,9	61,7
17	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	108,7	62,1
18	OVEST	REGIONALE	2+3	118,8	53,2	58,8
19	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	61,7
20	OVEST	MINUETTO	2+4	51,9	26,0	65,7
21	EST	MINUETTO	2+4	51,9	28,8	66,9
22	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	108,7	61,0
23	EST	MERCI	1+24	500,3	120,7	73,8
24	EST	REGIONALE	2+7	223,2	77,9	61,1
25	OVEST	MINUETTO	2+2	51,9	22,6	61,8
26	OVEST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	113,2	61,3
27	OVEST	MERCI	1+19	400,3	69,4	64,4
28	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	87,0	64,5
29	EST	MINUETTO	2+4	51,9	23,2	59,4
30	EST	FRECCIA BIANCA	2+9	275,4	111,6	64,9

8.2. MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'EMISSIONE DEI CONVOGLI AV

Considerata la finalità dell'indagine, di primaria importanza è stata la scelta dei siti di misura. Questi dovevano essere rappresentativi della situazione di progetto sia dal punto di vista della linea per tipologia e velocità dei rotabili sia per le caratteristiche del corpo ferroviario.

Per tali specificità, la scelta del sito è ricaduta necessariamente sulla linea Milano – Bologna, individuando come maggiormente idoneo il tratto di linea compreso tra il km 30 e il km 40, che racchiudeva peraltro tutte le tipologie del corpo ferroviario da indagare.

Nello specifico sono state quindi selezionate le seguenti sezioni caratteristiche:

Sezione 1 - km 37+950 - Rilevato medio/alto

Sezione 2 - km 34+400 - Raso/rilevato basso

Sezione 3 - km 32+900 - Galleria artificiale

Sezione 4 - km 31+900 - Trincea



Figura 1: Area di indagine

In ciascuna delle sezioni sopra riportate è stata individuata una postazione per quanto possibile prossima alla linea in esercizio (recinzione ferrovia), che viene presa come riferimento per l'emissione vibrazionale:

Sezione 1 – rilevato h=5 m - postazione a 17,70 m dal binario di corsa vicino

Sezione 2 – rilevato h=1 m - postazione a 10,00 m dal binario di corsa vicino

Sezione 3 – galleria artificiale – postazione a 11 m dalla parete della galleria

Sezione 4 – trincea h = 4 m . postazione in prossimità della recinzione a 6,30 m dal binario di corsa vicino

In ciascuna postazione sono stati acquisiti i dati relativi a n. 18 transiti. Il monitoraggio si è svolto tra le giornate del 19 e 20 novembre 2014, e quindi, considerato il periodo, in una situazione di terreno bagnato.

Le informazioni di dettaglio sulla campagna di misura e sui transiti sono contenute nella relazione IN0D 01 DI2 RG AR0003 001 A e nelle schede di rilevamento IN0D 01 DI2 RH AR0003 001 A ÷ IN0D 01 DI2 RH AR0003 004 A. Nelle tabelle seguenti si riportano in sintesi i dati rilevati come accelerazione complessiva ponderata secondo UNI 9614 (assi combinati) in dB nelle diverse sezioni con l'indicazione degli elementi caratteristici di ciascun transito (Tipo treno, direzione ad indicare il binario, lunghezza convoglio e velocità).

Tabella 6 - Sezione 1: Rilevato – Punto di misura a 17,70 m binario vicino

PRG	DATA	ORA	DIR	TIPO	Lunghezza (m)	Velocità (Km/h)	L (dB)
1	19/11/2014	18:33:51	S	ITALO	200,0	155,1	84,4
2	19/11/2014	18:34:58	N	ITALO	200,0	176,4	83,1
3	19/11/2014	18:38:11	S	FRECCIA ROSSA	327,6	183,1	85,8
4	19/11/2014	18:43:50	S	FRECCIA ROSSA	327,6	190,2	83,8
5	19/11/2014	18:53:53	S	ITALO	200,0	163,6	83,7
6	19/11/2014	18:58:23	S	FRECCIA ROSSA	327,6	197,8	82,8
7	19/11/2014	19:04:30	S	ITALO	200,0	176,4	83,7
8	19/11/2014	19:11:04	N	FRECCIA ROSSA	327,6	191,4	82,9
9	19/11/2014	19:15:55	N	FRECCIA ROSSA	327,6	186,6	85,6
10	19/11/2014	19:23:57	N	FRECCIA ROSSA	327,6	187,7	85,4
11	19/11/2014	19:25:57	S	FRECCIA ROSSA	327,6	182,0	84,2
12	19/11/2014	19:33:26	N	FRECCIA ROSSA	327,6	183,1	85,9
13	19/11/2014	19:36:30	N	ITALO	200,0	176,4	85,8

PRG	DATA	ORA	DIR	TIPO	Lunghezza (m)	Velocità (Km/h)	L (dB)
14	19/11/2014	19:37:19	N	FRECCIA ROSSA	327,6	185,4	86,0
15	19/11/2014	20:04:39	S	ITALO	200,0	171,4	84,5
16	19/11/2014	20:20:37	N	FRECCIA ROSSA	327,6	182,0	82,5
17	19/11/2014	20:29:19	N	FRECCIA ROSSA	327,6	170,4	88,8
18	19/11/2014	20:34:14	S	FRECCIA ROSSA	327,6	182,0	86,0

Tabella 7 - Sezione 2: Raso/rilevato basso - Punto di misura di misura a 10 m binario vicino

PRG	DATA	ORA	DIR	TIPO	Lunghezza (m)	Velocità (Km/h)	L Leq (dB)
1	19/11/2014	18:33:51	S	ITALO	200,0	155,1	84,4
2	19/11/2014	18:34:58	N	ITALO	200,0	176,4	83,1
3	19/11/2014	18:38:11	S	FRECCIA ROSSA	327,6	183,1	85,8
4	19/11/2014	18:43:50	S	FRECCIA ROSSA	327,6	190,2	83,8
5	19/11/2014	18:53:53	S	ITALO	200,0	163,6	83,7
6	19/11/2014	18:58:23	S	FRECCIA ROSSA	327,6	197,8	82,8
7	19/11/2014	19:04:30	S	ITALO	200,0	176,4	83,7
8	19/11/2014	19:11:04	N	FRECCIA ROSSA	327,6	191,4	82,9
9	19/11/2014	19:15:55	N	FRECCIA ROSSA	327,6	186,6	85,6
10	19/11/2014	19:23:57	N	FRECCIA ROSSA	327,6	187,7	85,4
11	19/11/2014	19:25:57	S	FRECCIA ROSSA	327,6	182,0	84,2
12	19/11/2014	19:33:26	N	FRECCIA ROSSA	327,6	183,1	85,9
13	19/11/2014	19:36:30	N	ITALO	200,0	176,4	85,8
14	19/11/2014	19:37:19	N	FRECCIA ROSSA	327,6	185,4	86,0
15	19/11/2014	20:04:39	S	ITALO	200,0	171,4	84,5
16	19/11/2014	20:20:37	N	FRECCIA ROSSA	327,6	182,0	82,5
17	19/11/2014	20:29:19	N	FRECCIA ROSSA	327,6	170,4	88,8
18	19/11/2014	20:34:14	S	FRECCIA ROSSA	327,6	182,0	86,0

Tabella 8 - Sezione 3: Galleria Artificiale – Punto di misura a 11 m da piedritto galleria

PRG	DATA	ORA	DIR	TIPO	Lunghezza (m)	Velocità (Km/h)	L Leq (dB)
1	20/11/2014	10:18:45	N	FRECCIA ROSSA	327,6	213,6	94,4
2	20/11/2014	10:22:16	S	FRECCIA ROSSA	327,6	245,7	83,3
3	20/11/2014	10:33:23	S	FRECCIA ROSSA	327,6	239,7	84,0
4	20/11/2014	10:39:19	N	FRECCIA ROSSA	301,5	215,3	82,2
5	20/11/2014	10:44:36	N	FRECCIA ROSSA	327,6	209,1	80,8
6	20/11/2014	10:47:28	N	FRECCIA ROSSA	327,6	213,6	81,0

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

PROGETTO INOD	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 48 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

PRG	DATA	ORA	DIR	TIPO	Lunghezza (m)	Velocità (Km/h)	L Leq (dB)
7	20/11/2014	10:52:39	N	ITALO	200,0	230,7	81,7
8	20/11/2014	11:01:58	S	ITALO	200,0	230,7	82,0
9	20/11/2014	11:18:56	N	FRECCIA ROSSA	327,6	245,7	81,9
10	20/11/2014	11:27:34	S	FRECCIA ROSSA	327,6	245,7	83,7
11	20/11/2014	11:31:46	S	FRECCIA ROSSA	327,6	245,7	84,9
12	20/11/2014	11:33:13	N	FRECCIA ROSSA	327,6	245,7	81,9
13	20/11/2014	11:41:37	N	ITALO	200,0	230,7	82,1
14	20/11/2014	12:13:48	N	FRECCIA ROSSA	301,5	226,1	83,0
15	20/11/2014	12:18:39	S	FRECCIA ROSSA	327,6	245,7	86,3
16	20/11/2014	12:24:31	N	FRECCIA ROSSA	327,6	234,0	83,8
17	20/11/2014	12:31:34	N	FRECCIA ROSSA	327,6	213,6	85,2
18	20/11/2014	12:39:59	S	FRECCIA ROSSA	327,6	213,8	83,9

Tabella 9 - Sezione 4: Trincea - Punto di misura di misura a 6,30 m binario vicino

PRG	DATA	ORA	DIR	TIPO	Lunghezza (m)	Velocità (Km/h)	L Leq (dB)
1	19/11/2014	15:12:18	N	FRECCIA ROSSA	327,6	178,7	86,9
2	19/11/2014	15:18:05	S	FRECCIA ROSSA	327,6	192,8	96,0
3	19/11/2014	15:29:45	N	FRECCIA ROSSA	327,6	182,0	97,0
4	19/11/2014	15:31:25	S	FRECCIA ROSSA	327,6	170,5	89,9
5	19/11/2014	15:47:24	S	FRECCIA ROSSA	327,6	185,5	96,6
6	19/11/2014	16:02:32	S	ITALO	200,0	153,9	100,3
7	19/11/2014	16:13:04	N	FRECCIA ROSSA	327,6	191,5	88,3
8	19/11/2014	16:17:15	S	FRECCIA ROSSA	327,6	192,8	96,8
9	19/11/2014	16:29:40	S	FRECCIA ROSSA	327,6	183,2	89,3
10	19/11/2014	16:31:31	N	FRECCIA ROSSA	327,6	192,8	97,3
11	19/11/2014	16:37:45	N	ITALO	200,0	160,8	87,6
12	19/11/2014	16:42:03	S	FRECCIA ROSSA	327,6	190,3	87,5
13	19/11/2014	17:07:19	S	ITALO	200,0	151,3	101,2
14	19/11/2014	17:14:31	N	FRECCIA ROSSA	327,6	192,8	88,8
15	19/11/2014	17:17:19	N	ITALO	200,0	160,8	90,7
16	19/11/2014	17:20:55	S	FRECCIA ROSSA	327,6	190,3	97,8
17	19/11/2014	17:28:27	N	FRECCIA ROSSA	327,6	190,3	88,9
18	19/11/2014	17:37:30	S	FRECCIA ROSSA	327,6	192,8	98,7

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 49 di 87

9. SINTESI DELLO STATO ANTE OPERAM

Nella planimetria – Clima Vibrazionale Ante Operam doc. IN0D 01 DI2 PZ IM0006 001 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:

- Lw = 73,1 in corrispondenza del transito n. 20 della sezione 2
- Lw = 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				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 50 di 87

10. GLI IMPATTI CON LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

10.1. CONSIDERAZIONI GENERALI

La modellazione del comportamento del terreno sotto l'azione dinamica di tali 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.

Le vibrazioni dovute all'esercizio ferroviario sono originate dalle azioni all'interfaccia ruota-rotaia, indotte dalla rugosità delle superfici di rotolamento, che si propagano dal veicolo in transito agli edifici circostanti attraverso la struttura del terreno.

La vibrazione risultante viene percepita come moto meccanico degli elementi componenti l'edificio.

Nel caso di tracciati caratterizzati dalla presenza di tratti in rilevato le vibrazioni al terreno sono generalmente comprese tra i 20 e gli 80 Hz, con livelli di accelerazione dell'ordine di 60-70 dB⁵, per distanze da 15 a 30 metri dalla linea ferroviaria o metropolitana con velocità di esercizio sino a 100 Km/h.

⁵ 0 dB \cong 1 μ m7s²

Le vibrazioni all'interno degli edifici sono spesso vicine alla soglia di sensibilità umana e pertanto valutazioni adeguate debbono essere effettuate, mettendo correttamente in conto caso per caso le variabilità presenti nelle caratteristiche del suolo e nelle soluzioni progettuali adottate per gli edifici.

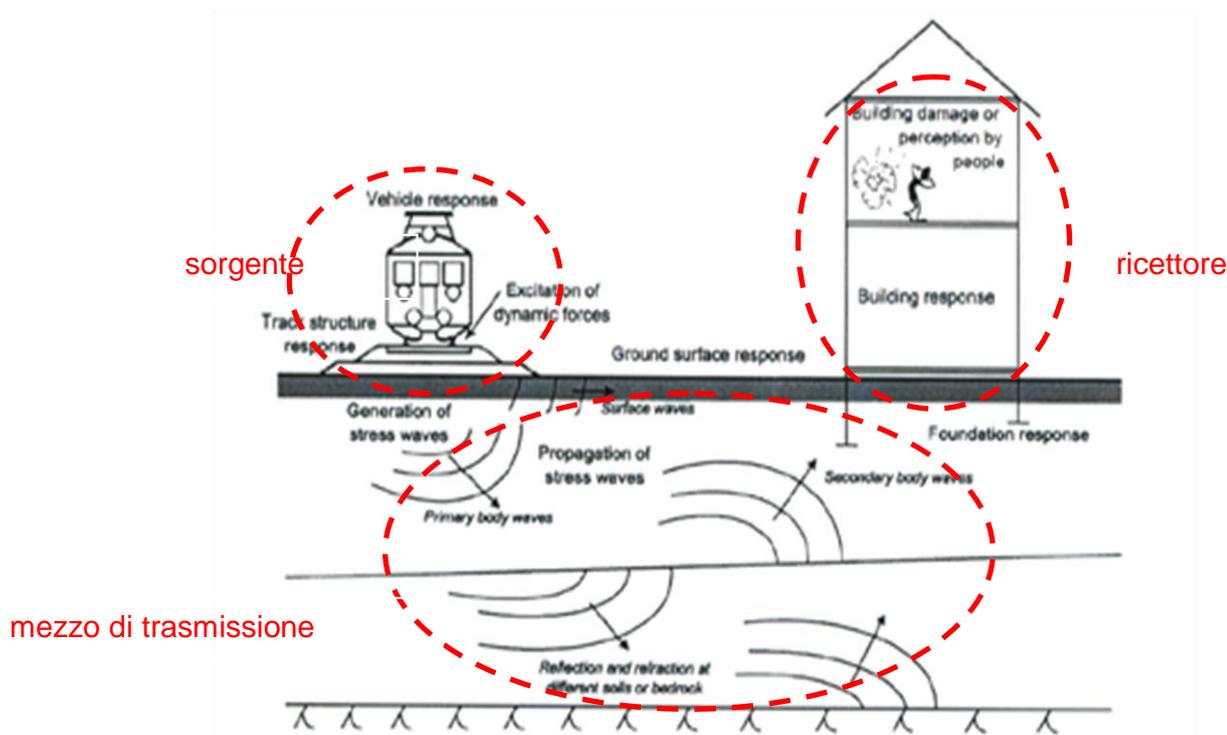
L'impiego di misure di controllo delle vibrazioni può risultare efficace, se necessario, per ridurre i disturbi all'interno degli edifici.

Un tipico intervento consiste nell'impiego di materassini resilienti di sotto-ballast che possono ridurre i livelli vibrazionali per frequenze superiori ai 30 Hz.

Tuttavia deve essere posta attenzione al fatto che questa soluzione potrebbe tendere ad incrementare le vibrazioni nel campo tra i 15 e i 30 Hz, il che potrebbe risultare negativo qualora siano presenti negli edifici componenti flessibili in grado di vibrare significativamente a tali frequenze.

Uno studio finalizzato ad una valutazione previsionale degli effetti nocivi delle vibrazioni e ai benefici prodotti dagli interventi mitigativi proposti non può pertanto prescindere dall'analisi dei tre elementi della catena di trasmissione (sorgente, mezzo di trasmissione e ricettore).

Nei paragrafi seguenti si forniranno alcune indicazioni sulla caratterizzazione dei diversi elementi.



10.2. ILLUSTRAZIONE DELLE TECNICHE PREVISIONALI ADOTTATE

La realizzazione della campagna di monitoraggio presso i ricettori sensibili ha consentito una conoscenza di tipo puntuale dello stato attuale delle vibrazioni.

Avendo tuttavia la necessità di estendere tale conoscenza all'intero corridoio di interferenza, è stato chiaramente necessario ricorrere all'uso di opportuni modelli previsionali di tipo teorico e/o empirico.

L'esigenza di giungere ad quadro previsionale possibilmente il più vicino alla realtà, ha suggerito l'adozione di un modello previsionale realizzato ad hoc, tarato attraverso indagini specifiche effettuate in siti ritenuti rappresentativi sia per la geolitologia sia per la tipologia costruttiva del corpo ferroviario.

L'indagine sperimentale ha permesso quindi, da un lato, di definire gli spettri di emissione delle diverse tipologie di convogli ferroviari, da un altro, 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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 53 di 87

I dati raccolti e analizzati nel dettaglio nei paragrafi precedenti sono stati quindi la base dello sviluppo di un algoritmo semplificato che ha consentito di fornire una caratterizzazione della qualità ambientale dei ricettori presenti all'interno del corridoio di interferenza nelle fase post operam.

Di seguito si premettono alcune brevi note teoriche di introduzione alla problematica:

La dipendenza parametrica del disturbo vibrazionale negli edifici deve essere esaminata in termini spettrali al fine di poter adeguatamente valutare i meccanismi di propagazione e di attenuazione/amplificazione nella catena di trasmissione costituita dai seguenti elementi:

- sorgente del disturbo (transito dei rotabili sull'infrastruttura ferroviaria);
- suolo da attraversare dalla linea alla struttura dell'edificio;
- caratteristiche dei componenti dell'edificio;
- curve di ponderazione che mettono in conto la sensibilità fisiologica dell'uomo (nel caso in esame, con riferimento alla norma UNI 9614, è stata messa in conto la curva di ponderazione per postura variabile o non nota).

In generale gli aspetti che intervengono nel condizionare l'importanza del disturbo vibrazionale negli edifici si possono quindi riassumere nei seguenti punti:

- a) Interazione ruota- rotaia
- b) Velocità del treno
- c) Comportamento corpo ferroviario: tipo e dimensioni della linea (tunnel, trincea, superficie, rilevato, viadotto); spessore delle pareti della infrastruttura in tunnel o in trincea
- d) Trasmissione nel terreno: natura e caratteristiche del suolo; leggi di attenuazione nel suolo
- e) Trasmissione agli edifici: distanza plano-altimetrica tra linea e fondazioni edificio; caratteristiche del sistema fondazionale degli edifici; caratteristiche strutturali degli edifici .

Nei successivi sotto paragrafi vengono esaminati nel dettaglio i più importanti aspetti che influenzano il disturbo vibrazionale e le modalità con cui sono stati considerati nell'elaborazione del modello previsionale.

Altri aspetti sopra menzionati, pur molto importanti, non vengono considerati in modo esplicito nello studio in oggetto, in quanto già messi in conto negli spettri sperimentali

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 54 di 87

di riferimento in prossimità dell'armamento su ballast assunti come dati di partenza nelle successive analisi di previsione.

10.2.1. Interazione ruota-rotaia

Per quanto concerne la sorgente che, come detto, è costituita dal complesso treno – armamento, è, in particolare, indispensabile la conoscenza dei seguenti elementi base:

Materiale rotabile:

- tipologia dei veicoli;
- carico per ruota;
- lunghezza del veicolo;
- interperno; passo del carrello;
- caratteristiche di aggressività;
- condizioni di alterazione dell'interfaccia ruota-rotaia
- rigidità e capacità dissipativa della sospensione primaria del carrello del veicolo
- caratteristiche dei sistemi di attacco della rotaia

Armamento:

- massa della rotaia
- rigidità
- smorzamenti
- masse
- coefficienti di difettosità

La tabella di seguito riportata fornisce l'incremento del livello di vibrazione al terreno dovuto a differenti condizioni di alterazione dell'interfaccia ruota-rotaia, rispetto alla situazione ideale di rotaia liscia e ruota perfettamente circolare⁶.

Tab. – Interfaccia ruota – rotaia

⁶ Con riferimento a: Table 8-2 "Increase in A-weighted groundborne noise due to various wheel/rail conditions relative to smooth welded rail and trued wheels", pag. 8-9 di *Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control* - G. P. Wilson 1982 U. S. Department of Transportation - Washington.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 55 di 87

Condizioni	Incremento
<i>I ruota rotaia corrugate</i>	da 3 a 6 db
<i>II appiattimenti della ruota</i>	da 5 a 10 dB
<i>III appiattimenti della ruota, corrugazioni della rotaia e della ruota</i>	da 10 a 20 dB

Per quanto concerne questo aspetto peculiare, si nota che lo stesso è implicitamente e in via cautelativa già considerato nei dati misurati sperimentalmente.

10.2.2. Velocità del treno

La velocità del treno ha un effetto significativo sul disturbo vibrazionale negli edifici, anche se spesso inferiore a quanto potrebbe essere atteso sulla base di considerazioni soggettive.

I livelli di vibrazione variano con legge logaritmica in base dieci in funzione delle variazioni nella velocità del treno, ossia:

$$Lv_{rif} = Lv_{mis} + \cdot \text{Log}\left(\frac{v_{rif}}{v_{mis}}\right)$$

dove:

Lv_{rif} Livello stimato alla velocità di riferimento

$Lv_{mis.}$ Livello acustico misurato

v_{rif} velocità di riferimento pari a 250 km/h

$v_{mis.}$ velocità di transito del convoglio

K coefficiente da letteratura compreso tra 10 e 20. Nel caso specifico, sulla scorta dei risultati delle indagini sperimentali è stato valutato per tale coefficiente un valore pari a 10.

10.2.3. Natura del terreno e leggi di attenuazione nel suolo

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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 56 di 87

I fattori che possono influire nel determinare l'attenuazione di un mezzo roccioso 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 simili.

Agli effetti dell'analisi del terreno alle azioni dinamiche risulta quindi determinante la suddivisione tra rocce lapidee (tipo a nella norma UNI 9916) e rocce sciolte (da tipo B a tipo F nella norma UNI 9916).

A tal proposito è possibile effettuare alcune considerazioni di carattere puramente generale.

Anzitutto va considerato che le rocce lapidee trasmettono tutta la gamma di frequenze e principalmente le più alte, mentre le rocce sciolte lasciano passare solo le basse frequenze, che comunque corrispondono a quelle di risposta degli edifici.

Inoltre mentre le rocce lapidee difficilmente possono subire variazioni di struttura sotto sollecitazioni dinamiche, le rocce sciolte, risultano di gran lunga più sensibili. La loro risposta alla azione di disturbo è diversa a seconda che l'intensità del disturbo sia lieve o al contrario forte.

Nel primo caso non si ha una vera variazione della struttura mentre nel secondo caso la vibrazione produce per tutte le rocce sciolte un assestamento e quindi una riduzione di porosità. Ciò avviene in misura maggiore per le rocce incoerenti poiché i granuli sottoposti a vibrazione perdono resistenza di attrito e quindi vengono favoriti fenomeni di scorrimento con assestamenti e rifluimenti.

Da esperienze su terreni sabbiosi risulta che il detto effetto della riduzione della resistenza al taglio si fa sentire maggiormente al diminuire della densità ed al crescere dei diametri medi dei granuli.

Come si intuisce il ruolo del terreno risulta fondamentale e complesso in tutti i problemi dinamici, e non si può affermare categoricamente che un tipo di terreno è più adatto di un altro a propagare vibrazioni in ogni condizione. Ad esempio, si registrano accelerazioni più deboli nei terreni sabbiosi che nell'argilla umida, mentre la vibrazione decresce più rapidamente nell'argilla che nella sabbia.

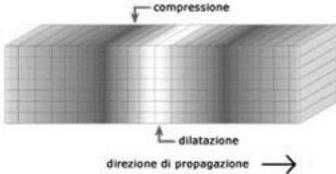
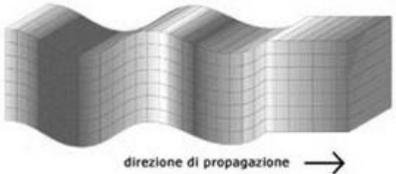
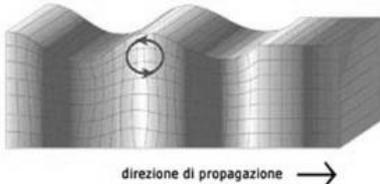
Si sottolinea inoltre che la presenza di stati fessurativi e/o coattivi nelle strutture edilizie determinano un ulteriore incremento della sensibilità ai fenomeni vibratorii.

La caratterizzazione dei terreni deve essere condotta con riferimento alla definizione di parametri rappresentativi del comportamento meccanico dei terreni in presenza di sollecitazioni di taglio dinamiche in fase di servizio o nel campo delle piccole e medie deformazioni. Il comportamento del terreno, soggetto ad uno sforzo di taglio, è governato dal modulo di taglio G e dal modulo di Poisson. Il modulo di taglio dipende dallo stato di addensamento del terreno, dal livello tensionale e dal livello di deformazione di taglio; in realtà la variazione del livello di deformazione è praticamente ininfluente fintantoché lo stato deformativo è limitato al campo elastico; superato tale campo, il modulo di taglio decresce in modo più o meno repentino a seconda del tipo di terreno.

Per quanto concerne le modalità di trasmissione, gli studi teorici condotti in diverse sedi e prevalentemente dall'*Ente di Ricerca Ferroviaria Europea (ORE)* e controllati con ampie indagini sperimentali portano a ricondurre i fenomeni di propagazione a quelli tipici dell'energia vibrazionale attraverso il terreno.

Il transito del treno genera pertanto onde di corpo (compressione e taglio), e onde di superficie (Rayleigh e Love), che si compongono come di seguito riportato:

- onde superficiali (onde di Rayleigh) per una percentuale di circa il 67%;
- onde di taglio per una percentuale di circa il 26%;
- onde di compressione e taglio per una percentuale di circa il 7%.

ONDE DI CORPO	
P – Onde di compressione	S – Onde di taglio
	
ONDE DI SUPERFICIE	
L – Onde di Love	R – Onde di Rayleigh
	

Per le linee in galleria si distinguono due casi;

- A) *Linee in galleria profonda* dove generalmente prevalgono invece le onde di compressione e di taglio.
- B) *Linee in galleria non profonda* dove le onde di superficie (onde di Rayleigh e Love) assumono maggior rilievo rispetto alle onde di compressione e di taglio.

Poiché lo specifico caso in esame prevede una sorgente irraggiante di tipo lineare, le onde di superficie sono attenuate solamente per effetto dello smorzamento. Le onde di corpo si attenuano comunque sia per effetto della distanza (effetto geometrico) che per effetto dello smorzamento intrinseco del materiale suolo.

L'effetto geometrico è indipendente dalla frequenza, mentre quello dissipativo cresce linearmente con la frequenza. In particolare la formula che viene utilizzata per il calcolo dell'attenuazione delle vibrazioni nella loro propagazione attraverso il terreno è:

$$L = 20 \cdot \log \left[10^{\frac{L_c}{20}} + 10^{\frac{L_t}{20}} + 10^{\frac{L_s}{20}} \right]$$

dove:

L_c, L_t, L_s sono rispettivamente i livelli trasmessi attraverso onde di compressione, taglio e superficie:

$$L_c = L_0 + 20 \cdot \log(\beta_c) - K_c \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) - \alpha_c \cdot (R - R_0) \cdot \frac{f}{V_c}$$

$$L_t = L_0 + 20 \cdot \log(\beta_t) - K_t \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) - \alpha_t \cdot (R - R_0) \cdot \frac{f}{V_t}$$

$$L_s = L_0 + 20 \cdot \log(\beta_s) - K_s \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) - \alpha_s \cdot (R - R_0) \cdot \frac{f}{V_s}$$

dove:

L e L_0 sono i livelli di vibrazioni in decibel attenuato e alla sorgente

R e R_0 sono le rispettive distanze riferite all'asse della linea

gli indici c, t, s si riferiscono rispettivamente alle onde di compressione, di taglio e di superficie

$\beta_c, \beta_t, \beta_s$ sono i fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione delle onde del terreno

K_c, K_t, K_s sono i coefficienti di attenuazione geometrica per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno

$\alpha_c, \alpha_t, \alpha_s$ sono i fattori di perdita per dissipazione per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno [dB]

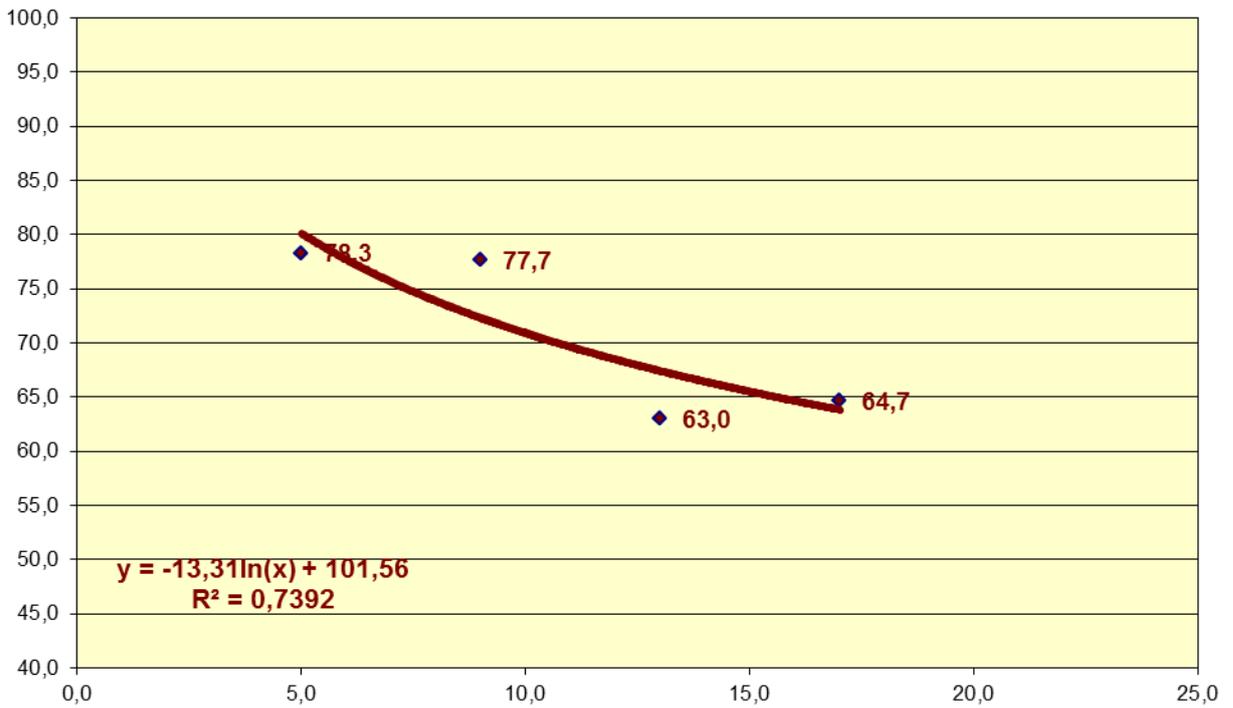
V_c, V_t, V_s sono le velocità di propagazione delle onde nel terreno [m/s]

f è la frequenza [Hz]

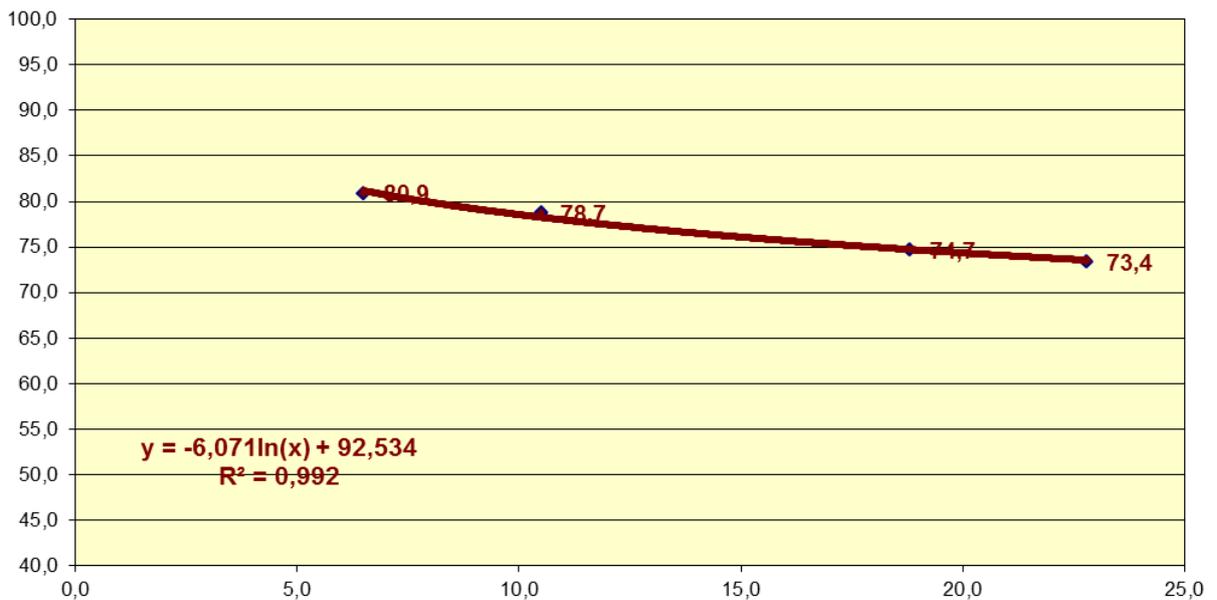
Da quanto detto sopra si rileva chiaramente la molteplicità delle variabili in gioco nella trasmissione delle onde vibrazionali nel terreno ed è proprio in considerazione di ciò che, nel presente studio si è considerato più corretto operare con la costruzione di un modello su base sperimentale. A tal proposito si nota che conoscendo la mutua distanza tra le postazioni, dai dati misurati in loco è stato possibile estrapolare le funzioni di trasferimento che descrivono l'attenuazione del terreno in funzione della distanza. Nel caso specifico la curva di regressione è stata costruita in base ai valori medi calcolati relativamente al transito dei treni Lunga Percorrenza (Freccia Bianca), che costituiscono un campione rappresentativo per numero e caratteristiche di maggiore omogeneità dei transiti.

Nelle seguenti figure si riportano le curve di attenuazione del terreno.

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



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 $\Delta L_{\text{terreno S2}} = 23,7 \cdot \text{Log}(d) - 27,81 \text{ dB}$

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 nella sezione 2 e secondariamente anche nella sezione 3.

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 62 di 87

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

10.2.4. Trasmissione delle vibrazioni agli edifici

Le vibrazioni si 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:

Sezione 1 Verona - $\Delta L_{EP} = 8,1 - 5,1 N_p$ dB

Sezione 2 San Bonifacio - $\Delta L_{EP} = 4,4 - 3,0 N_p$ dB

Sezione 3 Locara - $\Delta L_{EP} = 5,6 - 2,1 N_p$ dB

Le relazioni sopra riportate evidenziano un abbattimento variabile sia alle fondazioni che ai piani.

Ciò evidentemente dipende dalla tipologia delle fondazioni (a plinti isolati o su travi continue, su pali, etc,) e dalla struttura della parte in elevazione (muratura, in c.a ed o mista). Per una stessa tipologia costruttiva, la risposta di un fabbricato dipende da come è armata la struttura, della tipologia e spessore della muratura, dell'orditura dei solai, del numero dei piani, etc.

Gli elementi sopra elencati costituiscono caratteristiche specifiche di ogni fabbricato che possono essere definite solo con indagini ad hoc (acquisizione dei progetti depositati, verifiche in sito anche con la predisposizione di eventuali saggi)

Tali verifiche sono quindi difficilmente individuabili alla scala territoriale del presente studio ed è quindi per tale motivo che nel presente studio si ritenuto opportuno definire una funzione univoca valutata come media del comportamento dei corpi edilizi monitorati:

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

10.2.5. Valutazione dell'emissione dei rotabili

Nel presente studio, l'impatto vibrazionale non è determinato solo dal transito dei convogli sulla nuova linea AV/AC ma, nei tratti in affiancamento, anche dall'esercizio della Linea Storica.

E' quindi necessario valutare, sulla scorta delle indagini sperimentali, le emissioni caratteristiche per entrambe le direttrici ferroviarie interessate.

In via cautelativa, l'approccio metodologico seguito è stato quello individuare come emissione caratteristica il 90° percentile dei dati rilevati in campo, depurati di eventuali transiti anomali. A tale scopo è stato ovviamente necessario omogeneizzare i livelli misurati per i diversi transiti in base a velocità e distanza.

Mediante le relazioni matematiche riportate nei paragrafi precedenti, i dati misurati in campo sono stati quindi riportati alle velocità di progetto previste per i diversi tratti di linea (cfr par. 9.2.2) e riferiti ad una distanza prefissata in dipendenza dalla tipologia del corpo ferroviario mediante le curve di attenuazione del terreno riportate al precedente par. 9.2.3..

10.2.5.1. Linea AV

L'emissione dei convogli AV è stata stimata in base ai dati misurati lungo la linea AV/AC Milano Bologna, nelle diverse tipologie di corpo ferroviario⁷ (vedi paragrafo 8.2). In particolare per le velocità di progetto, il tracciato è stato suddiviso in 5 tratte dove sono interessate le tipologie di corpo ferroviario indicate in tabella.

TRATTO	VELOCITÀ [km/h]	TIPOLOGIE CORPO FERROVIARIO INTERESSATE	SEZIONE PER CURVA DI ATTENUAZIONE TERRENO
<i>Km 0+000 - 0+800</i>	115	Raso - Trincea	Sezione 1
<i>Km 0+800 -3+500</i>	130	Trincea – Raso – Rilevato	Sezione 1
<i>Km 3+500- 4+650</i>	160	Rilevato - Trincea	Sezione 1
<i>Km 4+650 – 7+900</i>	210	Galleria - Trincea	Sezione 1
<i>Km 7+900 – fine progetto</i>	250	Rilevato - Raso	Sezione 2 - Sezione 3

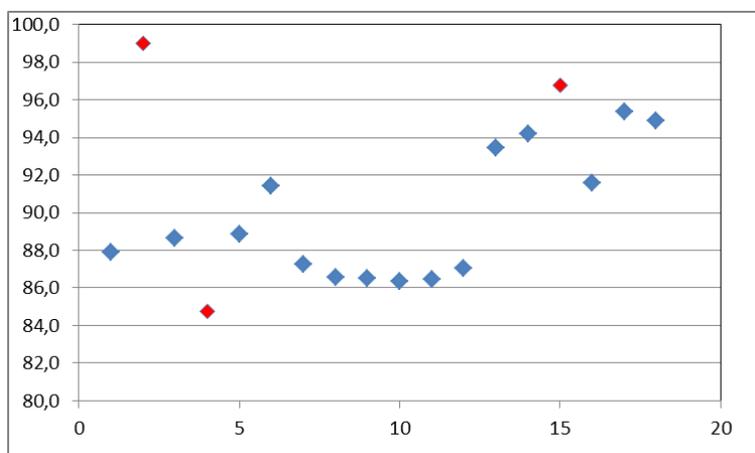
⁷ Le tipologie del corpo ferroviario per le quali è significativa la trasmissione delle vibrazioni sono raso, rilevato, trincea, galleria

Di seguito si riportano le tabelle e i diagrammi contenenti i dati di emissione omogeneizzati per le diverse situazioni e la valutazione dell'emissione caratteristica pari al 90° percentile. In rosso sono stati segnalati i transiti anomali esclusi dalla valutazione.

Sezione 1 – Tratto da Km 0+000 - 0+800 – Raso (lato sud)

V=115 km/h – Distanza di riferimento 10 m

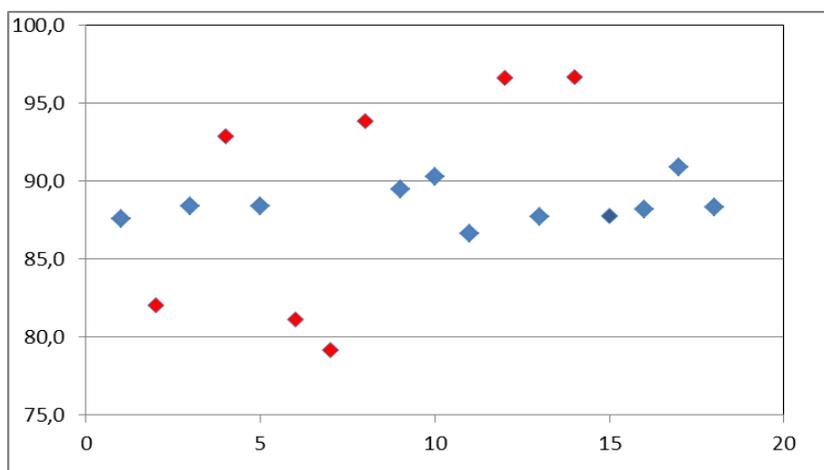
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw omogeneiz.(dB)	
10,0	89,4	FRECCIA ROSSA	162,4	87,9	
10,0	100,3	ITALO	154,8	99,0	
10,0	89,9	ITALO	153,2	88,7	
10,0	87,5	ITALO	216,2	84,8	
10,0	91,4	FRECCIA ROSSA	206,5	88,9	
10,0	93,3	FRECCIA ROSSA	177,4	91,4	
10,0	88,5	FRECCIA ROSSA	152,4	87,3	
10,0	88,8	FRECCIA ROSSA	192,7	86,6	
10,0	88,3	ITALO	174,8	86,5	
10,0	88,6	FRECCIA ROSSA	192,7	86,4	
10,0	88,8	FRECCIA ROSSA	196,2	86,5	
10,0	88,7	ITALO	169,4	87,0	
15,0	89,6	FRECCIA ROSSA	165,2	93,4	
15,0	91,2	FRECCIA ROSSA	199,6	94,2	
15,0	92,8	FRECCIA ROSSA	159,4	96,9	
15,0	87,6	ITALO	159,6	91,6	
15,0	93,1	FRECCIA ROSSA	235,4	95,0	90° Percentile
15,0	91,6	FRECCIA ROSSA	186,9	94,9	94,6 dB



Sezione 1 – Tratto da Km 0+000 - 0+800 – Trincea (lato nord)

V=115 km/h – Distanza di riferimento 10 m

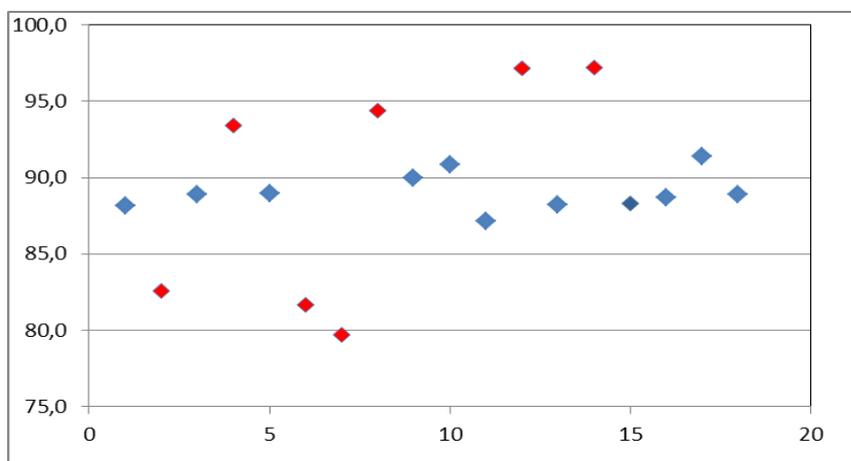
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
6,3	96,0	FRECCIA ROSSA	192,8	87,6	
6,3	89,9	FRECCIA ROSSA	170,5	82,0	
6,3	96,6	FRECCIA ROSSA	185,5	88,4	
6,3	100,3	ITALO	153,9	92,9	
6,3	96,8	FRECCIA ROSSA	192,8	88,4	
6,3	89,3	FRECCIA ROSSA	183,2	81,1	
6,3	87,5	FRECCIA ROSSA	190,3	79,2	
6,3	101,2	ITALO	151,3	93,9	
6,3	97,8	FRECCIA ROSSA	190,3	89,5	
6,3	98,7	FRECCIA ROSSA	192,8	90,3	
11,3	86,9	FRECCIA ROSSA	178,7	86,6	
11,3	97,0	FRECCIA ROSSA	182,0	96,6	
11,3	88,3	FRECCIA ROSSA	191,5	87,7	
11,3	97,3	FRECCIA ROSSA	192,8	96,7	
11,3	87,6	ITALO	160,8	87,8	
11,3	88,8	FRECCIA ROSSA	192,8	88,2	
11,3	90,7	ITALO	160,8	90,9	
11,3	88,9	FRECCIA ROSSA	190,3	88,3	90° Percentile
					90,3



Sezione 1 – Tratto da Km 0+800 - 3+500 – Trincea (lato nord)

V=130 km/h – Distanza di riferimento 10 m

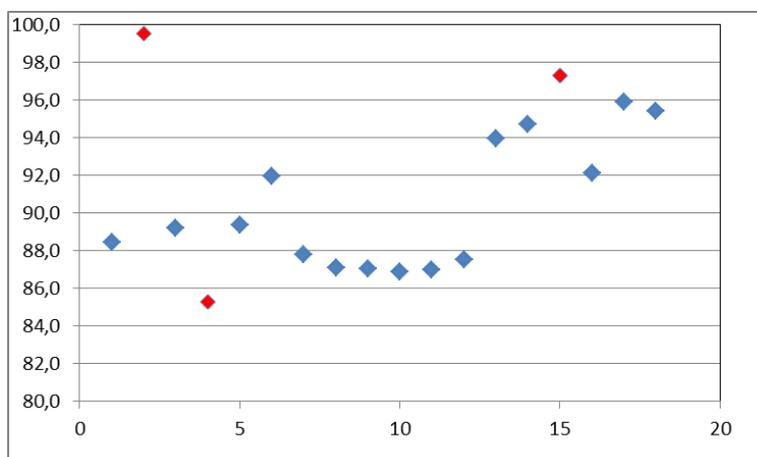
DISTANZA BINARIO	Lw misurato (dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw omogeneiz. (dB)	
6,3	96,0	FRECCIA ROSSA	192,8	88,1	
6,3	89,9	FRECCIA ROSSA	170,5	82,6	
6,3	96,6	FRECCIA ROSSA	185,5	88,9	
6,3	100,3	ITALO	153,9	93,4	
6,3	96,8	FRECCIA ROSSA	192,8	88,9	
6,3	89,3	FRECCIA ROSSA	183,2	81,7	
6,3	87,5	FRECCIA ROSSA	190,3	79,7	
6,3	101,2	ITALO	151,3	94,4	
6,3	97,8	FRECCIA ROSSA	190,3	90,0	
6,3	98,7	FRECCIA ROSSA	192,8	90,8	
11,3	86,9	FRECCIA ROSSA	178,7	87,1	
11,3	97,0	FRECCIA ROSSA	182,0	97,2	
11,3	88,3	FRECCIA ROSSA	191,5	88,2	
11,3	97,3	FRECCIA ROSSA	192,8	97,2	
11,3	87,6	ITALO	160,8	88,3	
11,3	88,8	FRECCIA ROSSA	192,8	88,7	
11,3	90,7	ITALO	160,8	91,4	90° Percentile
11,3	88,9	FRECCIA ROSSA	190,3	88,9	90,8 dB



Sezione 1 – Tratto da Km 0+800 - 3+500 – Raso (lato nord)

V=130 km/h – Distanza di riferimento 10 m

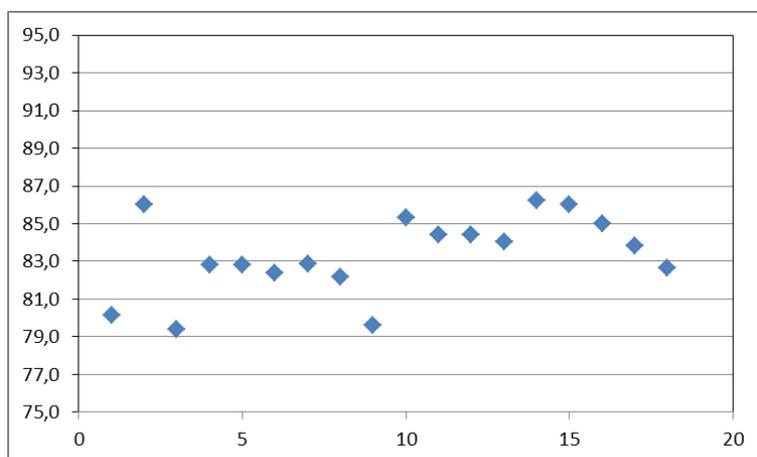
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
10,0	89,4	FRECCIA ROSSA	162,4	88,4	
10,0	100,3	ITALO	154,8	99,5	
10,0	89,9	ITALO	153,2	89,2	
10,0	87,5	ITALO	216,2	85,3	
10,0	91,4	FRECCIA ROSSA	206,5	89,4	
10,0	93,3	FRECCIA ROSSA	177,4	92,0	
10,0	88,5	FRECCIA ROSSA	152,4	87,8	
10,0	88,8	FRECCIA ROSSA	192,7	87,1	
10,0	88,3	ITALO	174,8	87,0	
10,0	88,6	FRECCIA ROSSA	192,7	86,9	
10,0	88,8	FRECCIA ROSSA	196,2	87,0	
10,0	88,7	ITALO	169,4	87,5	
15,0	89,6	FRECCIA ROSSA	165,2	94,0	
15,0	91,2	FRECCIA ROSSA	199,6	94,7	
15,0	92,8	FRECCIA ROSSA	159,4	97,3	
15,0	87,6	ITALO	159,6	92,1	
15,0	93,1	FRECCIA ROSSA	235,4	95,9	90° Percentile
15,0	91,6	FRECCIA ROSSA	186,9	95,4	95,1 dB



Sezione 1 – Tratto da Km 0+800 - 3+500 – Rilevato (lato sud)

V=130 km/h – Distanza di riferimento 20 m

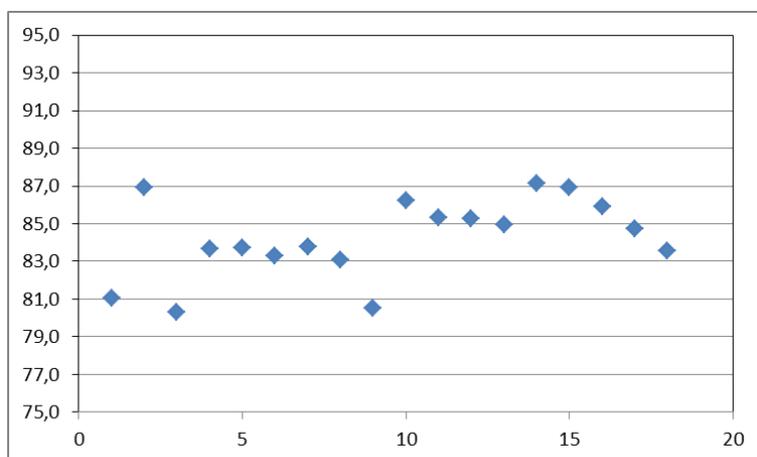
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw omogeneiz.(dB)	
17,7	83,1	ITALO	176,4	80,1	
17,7	88,8	FRECCIA ROSSA	170,4	86,0	
17,7	82,5	FRECCIA ROSSA	182,0	79,4	
17,7	85,9	FRECCIA ROSSA	183,1	82,8	
17,7	86,0	FRECCIA ROSSA	185,4	82,8	
17,7	85,6	FRECCIA ROSSA	186,6	82,4	
17,7	85,8	ITALO	176,4	82,8	
17,7	85,4	FRECCIA ROSSA	187,7	82,2	
17,7	82,9	FRECCIA ROSSA	191,4	79,6	
22,7	84,4	ITALO	155,1	85,3	
22,7	84,2	FRECCIA ROSSA	182,0	84,4	
22,7	83,7	ITALO	163,6	84,4	
22,7	83,7	ITALO	176,4	84,1	
22,7	86,0	FRECCIA ROSSA	182,0	86,2	
22,7	85,8	FRECCIA ROSSA	183,1	86,0	
22,7	84,5	ITALO	171,4	85,0	
22,7	83,8	FRECCIA ROSSA	190,2	83,8	90° Percentile
22,7	82,8	FRECCIA ROSSA	197,8	82,7	86,0 dB



Sezione 1 – Tratto da Km 3+500 - 4+650 – Rilevato

V=160 km/h – Distanza di riferimento 20 m

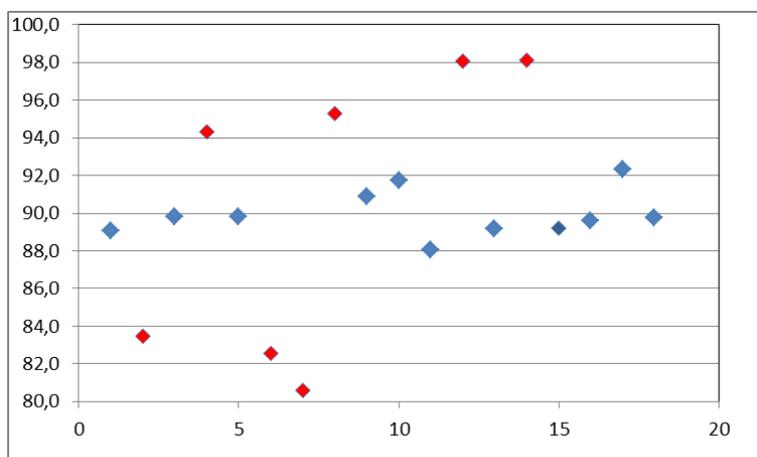
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
17,7	83,1	ITALO	176,4	81,1	
17,7	88,8	FRECCIA ROSSA	170,4	86,9	
17,7	82,5	FRECCIA ROSSA	182,0	80,3	
17,7	85,9	FRECCIA ROSSA	183,1	83,7	
17,7	86,0	FRECCIA ROSSA	185,4	83,7	
17,7	85,6	FRECCIA ROSSA	186,6	83,3	
17,7	85,8	ITALO	176,4	83,8	
17,7	85,4	FRECCIA ROSSA	187,7	83,1	
17,7	82,9	FRECCIA ROSSA	191,4	80,5	
22,7	84,4	ITALO	155,1	86,2	
22,7	84,2	FRECCIA ROSSA	182,0	85,3	
22,7	83,7	ITALO	163,6	85,3	
22,7	83,7	ITALO	176,4	85,0	
22,7	86,0	FRECCIA ROSSA	182,0	87,1	
22,7	85,8	FRECCIA ROSSA	183,1	86,9	
22,7	84,5	ITALO	171,4	85,9	
22,7	83,8	FRECCIA ROSSA	190,2	84,7	90° Percentile
22,7	82,8	FRECCIA ROSSA	197,8	83,6	86,9 dB



Sezione 1 – Tratto da Km 3+500 - 4+650 – Trincea

V=160 km/h – Distanza di riferimento 10 m

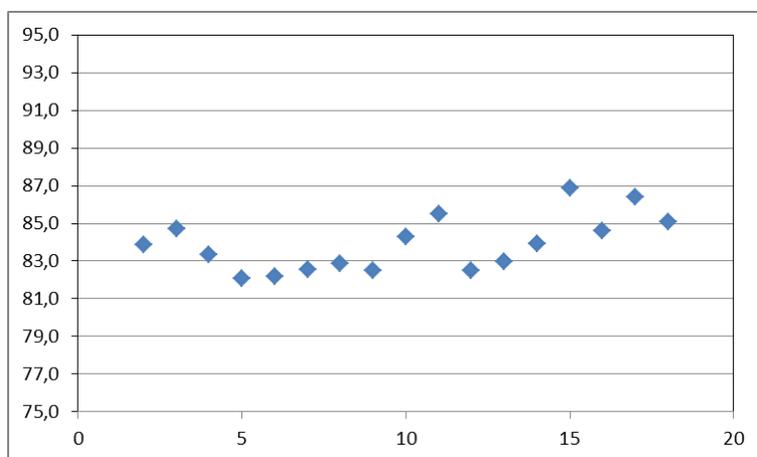
DISTANZA BINARIO	Lw misurato (dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw omogeneiz. (dB)	
6,3	96,0	FRECCIA ROSSA	192,8	89,0	
6,3	89,9	FRECCIA ROSSA	170,5	83,5	
6,3	96,6	FRECCIA ROSSA	185,5	89,8	
6,3	100,3	ITALO	153,9	94,3	
6,3	96,8	FRECCIA ROSSA	192,8	89,8	
6,3	89,3	FRECCIA ROSSA	183,2	82,6	
6,3	87,5	FRECCIA ROSSA	190,3	80,6	
6,3	101,2	ITALO	151,3	95,3	
6,3	97,8	FRECCIA ROSSA	190,3	90,9	
6,3	98,7	FRECCIA ROSSA	192,8	91,7	
11,3	86,9	FRECCIA ROSSA	178,7	88,0	
11,3	97,0	FRECCIA ROSSA	182,0	98,1	
11,3	88,3	FRECCIA ROSSA	191,5	89,1	
11,3	97,3	FRECCIA ROSSA	192,8	98,1	
11,3	87,6	ITALO	160,8	89,2	
11,3	88,8	FRECCIA ROSSA	192,8	89,6	
11,3	90,7	ITALO	160,8	92,3	
11,3	88,9	FRECCIA ROSSA	190,3	89,8	90° Percentile
					91,7 dB



Sezione 1 – Tratto da Km 4+650 - 7+900 – Galleria

V=210 km/h – Distanza di riferimento 10 m

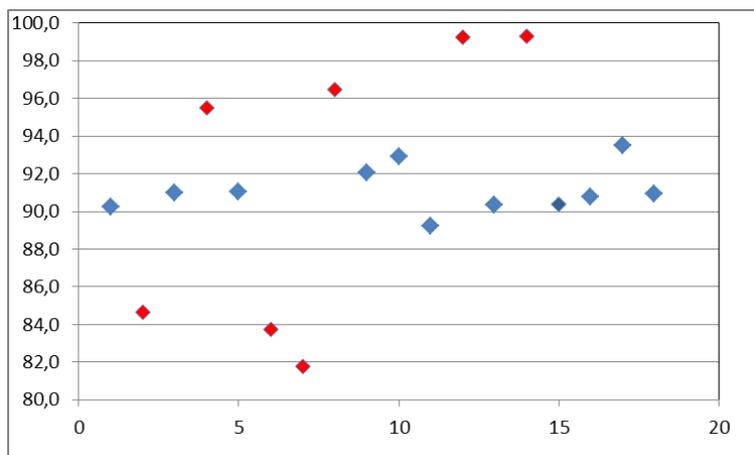
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
11,0	94,4	FRECCIA ROSSA	213,6	95,6	
11,0	83,3	FRECCIA ROSSA	245,7	83,9	
11,0	84,0	FRECCIA ROSSA	239,7	84,7	
11,0	82,2	FRECCIA ROSSA	215,3	83,4	
11,0	80,8	FRECCIA ROSSA	209,1	82,1	
11,0	81,0	FRECCIA ROSSA	213,6	82,2	
11,0	81,7	ITALO	230,7	82,6	
11,0	82,0	ITALO	230,7	82,9	
11,0	81,9	FRECCIA ROSSA	245,7	82,5	
11,0	83,7	FRECCIA ROSSA	245,7	84,3	
11,0	84,9	FRECCIA ROSSA	245,7	85,5	
11,0	81,9	FRECCIA ROSSA	245,7	82,5	
11,0	82,1	ITALO	230,7	83,0	
11,0	83,0	FRECCIA ROSSA	226,1	83,9	
11,0	86,3	FRECCIA ROSSA	245,7	86,9	
11,0	83,8	FRECCIA ROSSA	234,0	84,6	
11,0	85,2	FRECCIA ROSSA	213,6	86,4	90° Percentile
11,0	83,9	FRECCIA ROSSA	213,8	85,1	86,5 dB



Sezione 1 – Tratto da Km 4+650 - 7+900 – Trincea

V=210 km/h – Distanza di riferimento 10 m

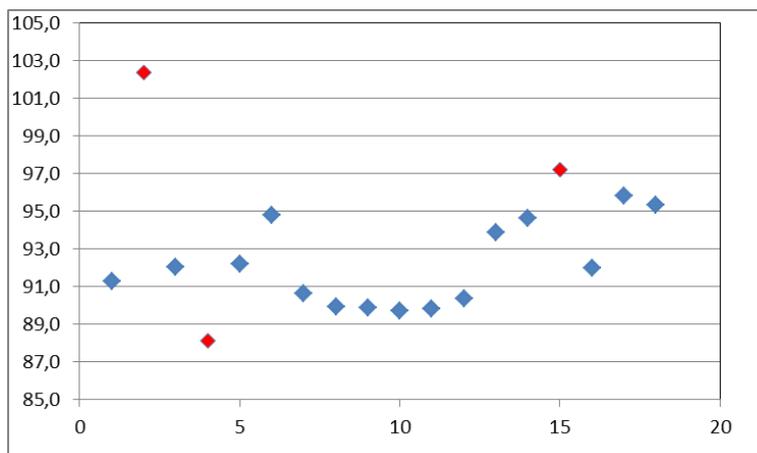
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
6,3	96,0	FRECCIA ROSSA	192,8	90,2	
6,3	89,9	FRECCIA ROSSA	170,5	84,7	
6,3	96,6	FRECCIA ROSSA	185,5	91,0	
6,3	100,3	ITALO	153,9	95,5	
6,3	96,8	FRECCIA ROSSA	192,8	91,0	
6,3	89,3	FRECCIA ROSSA	183,2	83,7	
6,3	87,5	FRECCIA ROSSA	190,3	81,8	
6,3	101,2	ITALO	151,3	96,5	
6,3	97,8	FRECCIA ROSSA	190,3	92,1	
6,3	98,7	FRECCIA ROSSA	192,8	92,9	
11,3	86,9	FRECCIA ROSSA	178,7	89,2	
11,3	97,0	FRECCIA ROSSA	182,0	99,2	
11,3	88,3	FRECCIA ROSSA	191,5	90,3	
11,3	97,3	FRECCIA ROSSA	192,8	99,3	
11,3	87,6	ITALO	160,8	90,4	
11,3	88,8	FRECCIA ROSSA	192,8	90,8	
11,3	90,7	ITALO	160,8	93,5	90° Percentile
11,3	88,9	FRECCIA ROSSA	190,3	91,0	95,0 dB



Sezione 2 – Tratto da Km 7+900 – fine tracciato – Raso

V=250 km/h – Distanza di riferimento 10 m

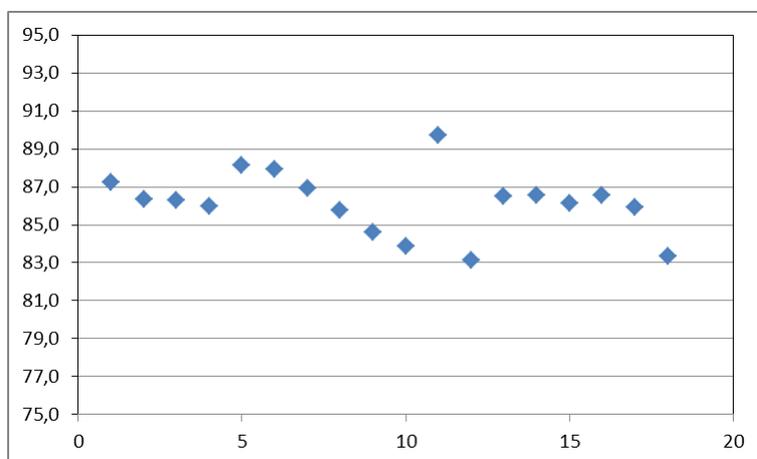
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
10,0	89,4	FRECCIA ROSSA	162,4	91,3	
10,0	100,3	ITALO	154,8	102,4	
10,0	89,9	ITALO	153,2	92,0	
10,0	87,5	ITALO	216,2	88,1	
10,0	91,4	FRECCIA ROSSA	206,5	92,2	
10,0	93,3	FRECCIA ROSSA	177,4	94,8	
10,0	88,5	FRECCIA ROSSA	152,4	90,7	
10,0	88,8	FRECCIA ROSSA	192,7	89,9	
10,0	88,3	ITALO	174,8	89,9	
10,0	88,6	FRECCIA ROSSA	192,7	89,7	
10,0	88,8	FRECCIA ROSSA	196,2	89,9	
10,0	88,7	ITALO	169,4	90,4	
15,0	89,6	FRECCIA ROSSA	165,2	93,9	
15,0	91,2	FRECCIA ROSSA	199,6	94,6	
15,0	92,8	FRECCIA ROSSA	159,4	97,2	
15,0	87,6	ITALO	159,6	92,0	
15,0	93,1	FRECCIA ROSSA	235,4	95,8	90° Percentile
15,0	91,6	FRECCIA ROSSA	186,9	95,3	95,1 dB



Sezione 2 – Tratto da Km 7+900 – fine tracciato – Rilevato

V=250 km/h – Distanza di riferimento 10 m

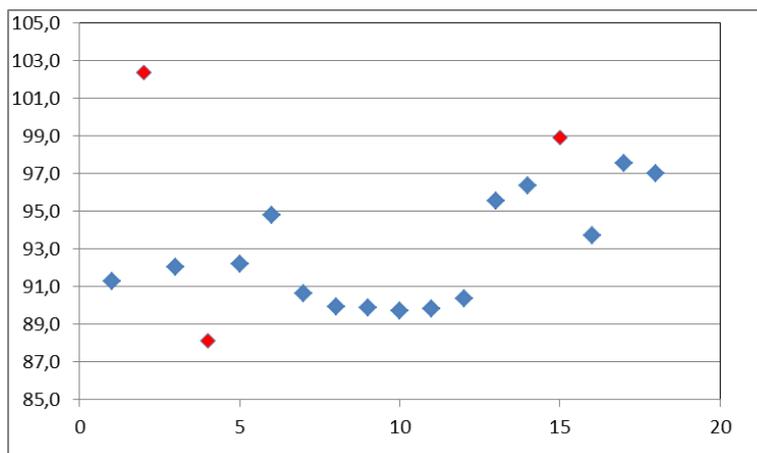
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
17,7	83,1	ITALO	176,4	87,2	
17,7	88,8	FRECCIA ROSSA	170,4	86,3	
17,7	82,5	FRECCIA ROSSA	182,0	86,3	
17,7	85,9	FRECCIA ROSSA	183,1	86,0	
17,7	86,0	FRECCIA ROSSA	185,4	88,1	
17,7	85,6	FRECCIA ROSSA	186,6	87,9	
17,7	85,8	ITALO	176,4	86,9	
17,7	85,4	FRECCIA ROSSA	187,7	85,8	
17,7	82,9	FRECCIA ROSSA	191,4	84,6	
22,7	84,4	ITALO	155,1	83,9	
22,7	84,2	FRECCIA ROSSA	182,0	89,7	
22,7	83,7	ITALO	163,6	83,1	
22,7	83,7	ITALO	176,4	86,5	
22,7	86,0	FRECCIA ROSSA	182,0	86,6	
22,7	85,8	FRECCIA ROSSA	183,1	86,1	
22,7	84,5	ITALO	171,4	86,6	
22,7	83,8	FRECCIA ROSSA	190,2	85,9	90° Percentile
22,7	82,8	FRECCIA ROSSA	197,8	83,3	88,0 dB



Sezione 3 – Tratto da Km 7+900 – fine tracciato – Raso

V=250 km/h – Distanza di riferimento 10 m

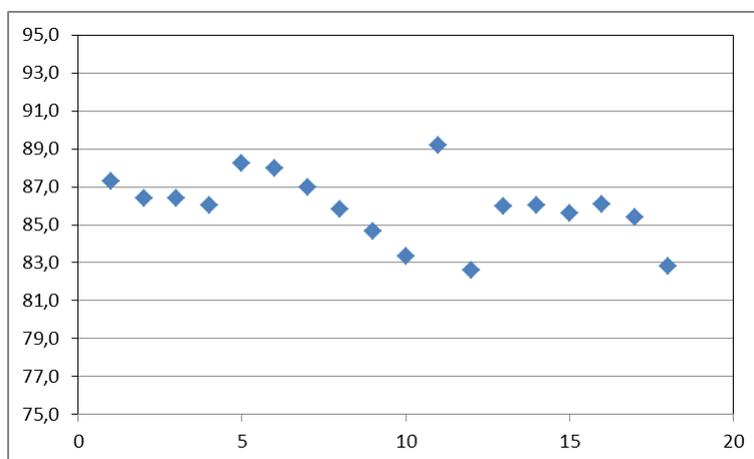
DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
10,0	89,4	FRECCIA ROSSA	162,4	91,3	
10,0	100,3	ITALO	154,8	102,4	
10,0	89,9	ITALO	153,2	92,0	
10,0	87,5	ITALO	216,2	88,1	
10,0	91,4	FRECCIA ROSSA	206,5	92,2	
10,0	93,3	FRECCIA ROSSA	177,4	94,8	
10,0	88,5	FRECCIA ROSSA	152,4	90,7	
10,0	88,8	FRECCIA ROSSA	192,7	89,9	
10,0	88,3	ITALO	174,8	89,9	
10,0	88,6	FRECCIA ROSSA	192,7	89,7	
10,0	88,8	FRECCIA ROSSA	196,2	89,9	
10,0	88,7	ITALO	169,4	90,4	
15,0	89,6	FRECCIA ROSSA	165,2	95,6	
15,0	91,2	FRECCIA ROSSA	199,6	96,4	
15,0	92,8	FRECCIA ROSSA	159,4	98,9	
15,0	87,6	ITALO	159,6	93,7	
15,0	93,1	FRECCIA ROSSA	235,4	97,5	90° Percentile
15,0	91,6	FRECCIA ROSSA	186,9	97,0	96,8 dB



Sezione 3 – Tratto da Km 7+900 – fine tracciato – Rilevato

V=250 km/h – Distanza di riferimento 10 m

DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw omogeneiz.(dB)	
17,7	83,1	ITALO	176,4	87,3	
17,7	88,8	FRECCIA ROSSA	170,4	86,4	
17,7	82,5	FRECCIA ROSSA	182,0	86,4	
17,7	85,9	FRECCIA ROSSA	183,1	86,1	
17,7	86,0	FRECCIA ROSSA	185,4	88,2	
17,7	85,6	FRECCIA ROSSA	186,6	88,0	
17,7	85,8	ITALO	176,4	87,0	
17,7	85,4	FRECCIA ROSSA	187,7	85,8	
17,7	82,9	FRECCIA ROSSA	191,4	84,7	
22,7	84,4	ITALO	155,1	83,4	
22,7	84,2	FRECCIA ROSSA	182,0	89,2	
22,7	83,7	ITALO	163,6	82,6	
22,7	83,7	ITALO	176,4	86,0	
22,7	86,0	FRECCIA ROSSA	182,0	86,0	
22,7	85,8	FRECCIA ROSSA	183,1	85,6	
22,7	84,5	ITALO	171,4	86,1	
22,7	83,8	FRECCIA ROSSA	190,2	85,4	90° Percentile
22,7	82,8	FRECCIA ROSSA	197,8	82,8	88,1 dB



10.2.5.2. Linea Storica

L'emissione dei convogli della Linea Storica è stata stimata in base ai dati misurati del punto P1 delle n. 3 sezioni di misura individuate sulla tratta.

Per quanto concerne le valutazioni sull'impatto vibrazionale bisogna tener conto che i tratti in affiancamento sono localizzati a inizio progetto, in uscita da Verona (Tratto 1), e dalla nuova stazione di Lonigo, fino a fine progetto (Tratto 2)

Il tratto 1 ricade interamente nella curva di attenuazione del terreno della Sezione 1 mentre la tratta 2 nella Sezione 3

Le relative velocità di progetto, così come derivate dallo Studio di Impatto ambientale, sono pertanto riportate nella seguente tabella, suddivise per le diverse tipologie di convoglio

TRATTO	MERCI	LUNGA PERCORRENZA	REGIONALI
<i>Tratto 1 (Km 150+850 - 154+437)</i>	120	125	130
<i>Tratto 2 (Km 177+300 -182+950)</i>	140	150	160

Di seguito si riportano le tabelle contenenti i dati di emissione omogeneizzati per le diverse situazioni e la valutazione dell'emissione caratteristica pari al 90° percentile. In rosso sono stati segnalati i transiti anomali esclusi dalla valutazione.

Sezione 1 – Tratto 1 – Raso - Distanza di riferimento 10 m

DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)
5,0	78,5	FRECCIA BIANCA	114,8	69,8
5,0	76,8	MINUETTO	44,5	72,1
5,0	83,0	FRECCIA BIANCA	147,5	73,2
5,0	75,5	MERCI	117,5	66,4
5,0	76,6	REGIONALE	88,3	68,9
5,0	71,7	MINUETTO	24,3	69,6
5,0	76,5	FRECCIA BIANCA	95,0	68,6
5,0	73,6	REGIONALE	87,0	65,9
5,0	77,1	FRECCIA BIANCA	98,4	69,1
5,0	77,0	MERCI	80,1	69,5
5,0	76,5	MERCI	121,1	67,2
5,0	78,6	MINUETTO	39,9	74,3

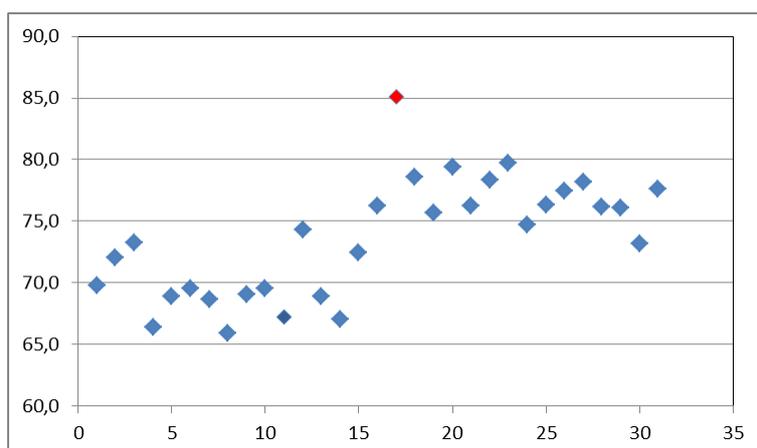
Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
STUDIO VIBRAZIONALE

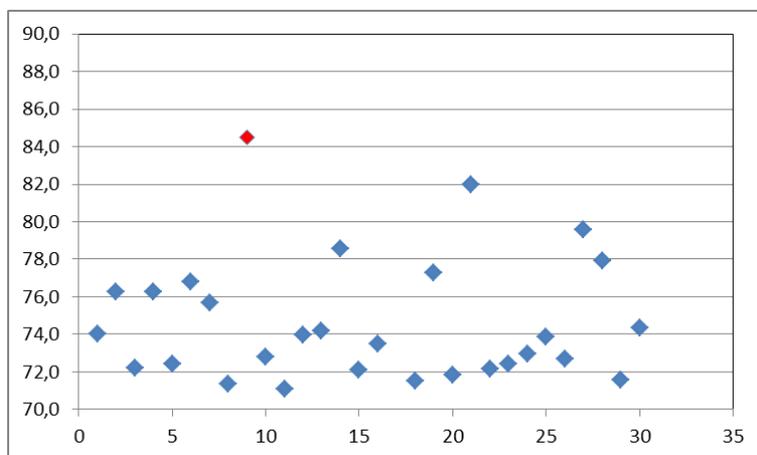
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 78 di 87
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	------------------

DISTANZA BINARIO	Lw misurato dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw _{omogeneiz.} (dB)	
5,0	76,3	MERCI	79,0	68,9	
5,0	76,3	MERCI	121,7	67,0	
5,0	76,0	MINUETTO	33,9	72,4	
9,0	76,0	FRECCIA BIANCA	88,7	76,3	
9,0	74,6	REGIONALE	8,1	85,1	
9,0	78,4	FRECCIA BIANCA	90,8	78,6	
9,0	69,6	MINUETTO	22,2	75,7	
9,0	77,2	MERCI	52,8	79,4	
9,0	73,7	REGIONALE	50,3	76,3	
9,0	77,6	FRECCIA BIANCA	78,7	78,4	
9,0	76,2	MINUETTO	39,9	79,8	
9,0	75,4	MERCI	102,4	74,7	
9,0	75,2	REGIONALE	70,4	76,3	
9,0	76,5	FRECCIA BIANCA	75,1	77,5	
9,0	72,9	MINUETTO	26,8	78,2	
9,0	75,1	FRECCIA BIANCA	73,8	76,2	
9,0	75,3	MERCI	71,9	76,1	
9,0	73,1	MERCI	85,2	73,2	90° Percentile
9,0	76,9	FRECCIA BIANCA	79,4	77,6	78,4 dB



Sezione 3 – Tratto 2 – Rilevato – Distanza di riferimento 20 m

DISTANZA BINARIO	Lw misurato (dB)	TIPO TRENO	Velocità	Lw omogeneiz. (dB)	
15,0	74,0	REGIONALE	75,2	74,0	
15,0	71,1	MINUETTO	23,2	76,2	
15,0	73,6	FRECCIA BIANCA	111,6	72,2	
15,0	70,6	MINUETTO	20,5	76,3	
15,0	69,1	MERCI	32,9	72,4	
15,0	71,6	MINUETTO	22,9	76,8	
15,0	75,4	MERCI	66,3	75,7	
15,0	72,8	FRECCIA BIANCA	113,2	71,3	
15,0	80,3	MINUETTO	28,8	84,5	
15,0	74,1	FRECCIA BIANCA	108,7	72,8	
15,0	78,2	MERCI	366,1	71,1	
15,0	74,1	REGIONALE	77,9	74,0	
15,0	74,5	FRECCIA BIANCA	87,0	74,2	
15,0	73,4	MINUETTO	23,2	78,5	
15,0	73,5	FRECCIA BIANCA	111,6	72,1	
19,0	65,9	MINUETTO	23,2	73,5	
19,0	69,1	FRECCIA BIANCA	153,0	68,8	
19,0	68,0	FRECCIA ROSSA	62,8	71,5	
19,0	75,5	MERCI	82,8	77,3	
19,0	71,0	FRECCIA BIANCA	116,4	71,9	
19,0	79,6	MERCI	71,7	82,0	
19,0	71,8	MERCI	113,7	72,2	
19,0	70,1	REGIONALE	77,9	72,4	
19,0	71,8	FRECCIA BIANCA	108,7	73,0	
19,0	69,9	REGIONALE	53,2	73,9	
19,0	71,7	FRECCIA BIANCA	113,2	72,7	
19,0	72,5	MINUETTO	26,0	79,6	
19,0	70,2	MINUETTO	22,6	77,9	
19,0	70,6	FRECCIA BIANCA	113,2	71,6	
19,0	71,8	MERCI	69,4	74,3	90° Percentile
					78,0 dB



10.3. APPROCCIO METODOLOGICO – TRANSITO CONTEMPORANEO DEI CONVOGLI

Al fine di una maggiore tutela del territorio, l'approccio metodologico seguito, oltre a considerare il dato di emissione più cautelativa costituito dal 90° percentile dei livelli vibrazionali misurati in sito, ha tenuto conto dell'effetto di amplificazione dovuto dal transito contemporaneo di più convogli.

La valutazione è stata quindi effettuata considerando la somma in potenza delle emissioni generate dal transito sui diversi binari di corsa.

A tal proposito si distinguono n. 2 situazioni:

- Tratti in cui la nuova Linea AV/AC corre in affiancamento alla Linea Storica;
- Tratti in cui il tracciato della linea AV/AC è in variante.

Nel primo caso è stato considerato il transito contemporaneo di n. 3 convogli. Sempre al fine di caratterizzare le situazioni di maggiore criticità, è stato ipotizzato che l'incrocio avvenga sempre sui tre binari più prossimi ai ricettori.

Ne deriva che sul lato nord, la situazione simulata è quella di n. 2 treni sulla Linea storica e di n. 1 treno sul binario dispari della Linea Av/AC.

Di contro sul lato sud, l'incrocio simulato è quello tra i n. 2 convogli in transito sulla linea AV/AC e n. 1 convoglio sul binario pari della Linea Storica.

Da evidenziare che le simulazioni, in questo caso, sono state estese anche ai tratti di Linea Storica non interessati dai lavori.

Nei tratti in variante è stato invece considerato il transito sui due binari dell'infrastruttura.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 81 di 87

10.4. AFFIDABILITA' E TARATURA DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

Come descritto nel dettaglio nel capitolo 10.2, 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 quindi, da un lato, di definire gli spettri di emissione delle diverse tipologie di convogli ferroviari, da un altro, 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				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 82 di 87

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

L'individuazione delle criticità che si potranno verificare con la realizzazione della Linea AV/AC 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 aggiornato con verifiche ad hoc per la parte in galleria.

11.1. VALUTAZIONE UNI 9614

I ricettori potenzialmente impattati sono costituiti prevalentemente da fabbricati ad uso residenziale ed uffici, Inoltre 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).

Applicando le relazioni di calcolo messe a punto nei paragrafi precedenti sono 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 stimanti sono riportati nel documento Output dei livelli vibrazionali (doc IN0D01DI2RHIM0006003A) dove sono indicati anche tutti gli edifici ricadenti nella fascia di indagine di 250 m dal binario esterno i livelli stimati al 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 143 e sono localizzati come riportato in tabella.

PROVINCIA	ISTAT	COMUNE	EDIFICI CON IMPATTO
Verona	023091	Verona	74
	023073	San Martino Buon Albergo	3
	023017	Caldiero	3
	023007	Belfiore	14
	023069	San Bonifacio	38
Vicenza	024052	Lonigo	12
	024064	Montebello Vicentino	2

Dai dati sopra riportati emerge che la situazione maggiormente critica è quella 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 eccedenti i limiti relativi alle aree critiche i sue impianti produttivi di Lonigo e di Lonigo che svolgo attività particolarmente sensibili alle vibrazioni.

Dalla localizzazione dei fabbricati impattati sono stati quindi derivati i tratti di linea da considerare critici per l'impatto vibrazionale, dove prevedere l'inserimento di idonei interventi di mitigazione.

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

$a_0=10^{-6} \text{ m/s}^2$. Si è poi pervenuti alla trasformazione in velocità mediante l'applicazione della formula sotto riportata⁸.

dove alla frequenza f è stata inserita la frequenza dominante del fenomeno vibratorio generato dal transito dei convogli.

Per individuare la frequenza dominante si è fatto riferimento ad uno studio sugli effetti dell'applicazione della UNI 9916 appositamente effettuato per l'abitato di Alte Ceccato – Montecchio Maggiore nel Lotto 2. Nelle seguenti tabelle sono riportati in sintesi i valori delle frequenze dominanti e dei relativi valori delle velocità per i n. 10 transiti dei convogli che erano risultati i maggiormente impattanti secondo la UNI 9614 in corrispondenza del piano terreno e dell'ultimo piano del fabbricato caratteristico.

UNI 9916 - VALORE DI RIFERIMENTO PER LA VELOCITA' DI VIBRAZIONE (p.c.p.v in mm/sec)
Situazione interno fabbricato piano terra

Ora	Tipo	Frequenza (Hz)	Asse	Valore Assoluto Ampiezza (mm/s)	Limite (mm/ses)
10:25:13	Freccia Rossa	16,48	Z	0,926	20
10:58:47	Freccia Bianca	49,44	Z	1,019	20
11:27:26	Freccia Rossa	16,17	Z	0,932	20
13:25:50	Freccia Bianca	16,17	Z	0,941	20
14:30:56	Freccia Rossa	15,26	Z	1,036	20
15:55:50	Freccia Bianca	14,04	Z	0,919	20
16:43:19	Merci	10,99	Z	0,551	20
16:54:13	Freccia Bianca	16,17	Z	1,054	20
17:52:08	Freccia Bianca	14,95	Z	0,79	20
18:25:48	Freccia Rossa	16,54	Z	0,954	20

Situazione interno fabbricato piano alto

Ora	Tipo	Frequenza (Hz)	Asse	Valore Assoluto Ampiezza (mm/s)	Limite (mm/s)
10:25:13	Freccia Rossa	16,41	Z	0,631	20
10:58:47	Freccia Bianca	38,68	Z	1,451	20

⁸ Fonte: Dispensa Dipartimento Ingegneria Meccanica Politecnico di Milano

Ora	Tipo	Frequenza (Hz)	Asse	Valore Assoluto Ampiezza (mm/s)	Limite (mm/s)
11:27:26	Freccia Rossa	16,41	Z	0,637	20
13:25:50	Freccia Bianca	16,41	Z	0,659	20
14:30:56	Freccia Rossa	12,50	Z	0,759	20
15:55:50	Freccia Bianca	14,06	Z	0,544	20
16:43:19	Merci	10,55	Z	0,481	20
16:54:13	Freccia Bianca	16,02	Z	0,687	20
17:52:08	Freccia Bianca	14,85	Z	0,546	20
18:25:48	Freccia Rossa	13,28	Z	0,612	20

Dall'esame dei dati sopra riportato è evidente che nella situazione attuale il limite della UNI 9916 è ampiamente rispettato, confermando che il metodo valutativo della UNI 9614 è quello maggiormente restrittivo e che la frequenza dominante è quella tra 14 e 16,5 Hz.

In un'ottica cautelativa è stata quindi applicato il valore della frequenza dominante più basso al valore complessivo del livello vibrazionale stimato.

Dall'analisi dei risultati riportati nella tabella di output dei livelli stimati (doc IN0D 01 D12 RH IM0006 004 A) si può affermare che i limiti della UNI 9916 vengono sempre rispettati anche nella situazione post operam con transito contemporaneo di più convogli sulla linea ferroviaria. Unica eccezione è costituita dagli gli edifici storici vincolati che fanno parte del Complesso delle Sorelle della Misericordia che nella situazione post operam presentano valori della velocità pari a circa 3 mm/s che la normativa individua come soglia per la componente verticale dei solai degli edifici che devono essere tutelati in quanto monumenti. Ciò nondimeno con le opere di mitigazione previste i livelli post mitigazione attesi sono di gran lunga inferiori al suddetto valore di soglia.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA				
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO				
	Titolo: STUDIO VIBRAZIONALE				
PROGETTO IN0D	LOTTO 00	CODIFICA D I2 RG	DOCUMENTO IM0006 005	REV. C	Pag. 86 di 87

12. INTERVENTI DI MITIGAZIONE E LIVELLI POST MITIGAZIONE

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

Come meglio descritto nella Relazione Generale di Armamento (doc. IN0D01DI2RFSF0000001) in corrispondenza di tali tratti sarà pertanto inserito un apposito tappetino subballast antivibrante che consente un abbattimento di 30 dB.

L'inserimento di un tappetino con tali caratteristiche sulla linea AV/AC e sulla linea storica, o in alcuni casi su entrambe, nei tratti indicati nella tabella seguente.

CODICE	KM INIZIO	KM FINE	LUNGHEZZA [m]	UBICAZIONE
VIB 01	0+000	0+108	108	Linea AV/AC
VIB 02	0+347	3+363	3016	Linea AV/AC
VIB 03	0+347	1+875	1540	Linea Storica
VIB 04	1+875	3+363	1470	Linea Storica in variante
VIB 05	5+658	5+758	100	Linea AV/AC
VIB 06	10+452	10+674	221	Linea AV/AC
VIB 07	13+498	15+198	1700	Linea AV/AC
VIB 08	18+611	18+725	114	Linea AV/AC
VIB 09	23+050	24+150	1100	Linea AV/AC
VIB 10	24+610	24+868	258	Linea AV/AC
VIB 11	25+477	25+743	266	Linea AV/AC
VIB 12	26+225	26+940	729	Linea Storica
VIB 13	27+330	27+430	100	Linea AV/AC
VIB 14	27+678	28+008	330	Linea AV/AC
VIB 15	28+570	28+744	174	Linea Storica
VIB 16	29+471	30+523	1054	Linea AV/AC
VIB 17	30+370	30+523	153	Linea Storica
VIB 18	32+371	32+491	120	Linea AV/AC

TOTALE	12.553
---------------	---------------

consente il rispetto dei limiti di norma in ogni situazione come evidenziano le tabelle di output. Nei documenti progettuali (doc IN0D 01 DI2 RH IM0006 003 A per la

valutazione UNI 9614 e IN0D 01 DI2 RH IM0006 004 A per la valutazione UNI 9916) sono evidenziati i livelli vibrazionali post operam (colonna “Livello P.O.) e i livelli vibrazionali post mitigazione (colonna “Livello P.M.) come valore di accelerazione in dB per il rispetto della UNI 9614 e come valore della velocità in mm/s per il rispetto della UNI 9916.

L’ubicazione dei tratti di linea critici per l’impatto vibrazionale dove è previsto l’inserimento del tappetino subballast antivibrante è riportata nelle planimetrie in scala 1:5000 (doc IN0D 01 DI2 P5 IM0006 129 C ÷ IN0D 01 DI2 P6 IM0006 145 C).