

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche
Dot. Paolo Cucino
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE

Studio vibrazionale

-

Relazione Generale

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R G	I M 0 0 0 4	0 0 1	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	T.Baruzzo	28/09/2021	M.Pietrantoni	29/09/2021	D.Buttafoco (Dolomiti)	30/09/2021	IL PROGETTISTA
B	Emissione a seguito di commenti Committenza	T.Baruzzo	17/11/2021	M.Pietrantoni	18/11/2021	D.Buttafoco (Dolomiti)	19/11/2021	P.Cucino
C	Emissione a seguito di commenti Committenza	T.Baruzzo	22/01/2022	M.Pietrantoni	24/01/2022	D.Buttafoco	25/01/2022	ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO Dot. Paolo Cucino ISCRIZIONE ALBO N° 2216

File: IB0U1BEZZRGIM0004001C.docx

n. Elab.: X

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 1 di 128

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	4
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	5
2.1 NORMA UNI 9614.....	6
2.2 NORMA UNI 9916.....	10
2.3 IL CRITERIO U.S.A. PER L'IMPATTO DA VIBRAZIONI E RUMORE DEI TRASPORTI	13
2.4 CRITERI DI VALUTAZIONE PER IL RUMORE RE-IRRADIATO	14
2.5 LIMITI APPLICABILI NELL'AMBITO DEL PRESENTE STUDIO.....	16
3. CARATTERIZZAZIONE TERRITORIALE.....	17
3.1 DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO	17
3.2 RILIEVI DI VIBRAZIONI IN SITU.....	18
3.3 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA.....	19
3.4 ANALISI DEI RILIEVI.....	21
3.4.1 Entità vibrazionale e relativa variabilità dei transiti ferroviari.....	21
3.4.2 Caratteristiche di emissione delle vibrazioni di origine ferroviaria e propagazione.....	21
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	23
4.1 GEOLOGIA E CONFRONTO FRA I SITI DI INDAGINE	24
5. STUDIO DELL'IMPATTO DA VIBRAZIONI.....	28
5.1 CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE DI VIBRAZIONI	31
5.1.1 Interazione ruota-rotaia.....	31
5.1.2 Velocità del treno	32
5.2 LA PROPAGAZIONE DEL FENOMENO VIBRATORIO NEL TERRENO.....	33
5.2.1 Metodo di Kim e Lee	33
5.2.2 Metodo Pezzoli.....	34
5.2.3 Incertezza di calcolo	35
5.3 CARATTERIZZAZIONE DEGLI EDIFICI	35
5.3.1 Risposta degli edifici alle vibrazioni.....	36
5.3.2 La propagazione delle vibrazioni negli edifici	37
5.3.3 Accoppiamento terreno – fondazioni edificio.....	38
5.3.4 Trasmissione attraverso l'edificio	39

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 2 di 128

5.3.5	Risonanze strutturali dei solai	39
5.3.6	Individuazione delle vibrazioni trasmesse a ciascun edificio e stima della risposta	40
5.3.7	La stima del rumore re-irradiato	42
6.	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA	45
6.1	MODELLO PREVISIONALE	45
6.2	CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE	46
6.2.1	Sezione 1 - corpo ferroviario in galleria	46
6.2.2	Sezione 2 - corpo ferroviario in rilevato.....	48
6.3	LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE VIBRAZIONALI.....	50
6.3.1	L'attenuazione geometrica	50
6.3.2	Velocità di transito	50
6.3.3	La propagazione delle onde nei terreni	51
6.3.4	Valutazione della funzione di propagazione delle vibrazioni.....	52
7.	INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ E PREVISIONE DELL'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO	70
7.1	CONSIDERAZIONI GENERALI.....	70
7.2	LIVELLO DI EMISSIONE COMPLESSIVO	70
7.2.1	Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 60 km/h.....	70
7.2.2	Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione A, velocità di 60 km/h.....	73
7.2.3	Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 100 km/h.....	76
7.2.4	Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione A, velocità di 100 km/h.....	78
7.2.5	Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria sul Ponte Isarco): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 225 km/h	81
7.2.6	Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria sul Ponte Isarco): valutazione sul livello evento critico per la sezione A, velocità di 225 km/h.....	83
7.2.7	Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione B, velocità di 80 km/h.....	86
7.2.8	Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione B, velocità di 80 km/h.....	88

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 3 di 128

7.2.9 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 80 km/h.....	91
7.2.10 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione C, velocità di 80 km/h.....	93
7.2.11 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 135 km/h.....	96
7.2.12 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione C, velocità di 135 km/h.....	98
7.2.13 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 60 km/h.....	101
7.2.14 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 100 km/h.....	104
7.2.15 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Viadotto sul Fiume Isarco): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 225 km/h.....	107
7.2.16 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione B, velocità di 80 km/h.....	110
7.2.17 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 80 km/h.....	113
7.2.18 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 135 km/h.....	116
8. VALUTAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO.....	119
9. TECNICHE DI MITIGAZIONE DELLE VIBRAZIONI.....	126
10. CONCLUSIONI.....	127

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	4 di 128

1. PREMESSA

La costruzione e l'esercizio di una linea ferroviaria sono fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante caratterizzate da una modesta fascia di influenza, in genere inferiore ai 50 m e nei tratti in galleria, in tale fascia, sino ad una copertura di 70m. Oltre i 70m di copertura si ritiene trascurabile il fenomeno vibratorio indotto dall'esercizio ferroviario. Nella fascia individuata le vibrazioni possono generare disturbo alla popolazione residente o a determinate attività umane, ma risulta estremamente improbabile che esse possano causare effettivi danni alle strutture.

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

Le vibrazioni possono in alcune situazioni, od in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati/prolungati livelli di sollecitazione dinamica, causare danni agli edifici. Tali situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance. Per la valutazione delle soglie di accettabilità relative a tali effetti sono state elaborate norme tecniche nazionali (UNI) e internazionali (ISO), le quali, pur non avendo validità di legge, forniscono un riferimento per la valutazione dei fenomeni vibratorii.

Il presente rapporto contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale prodotto dal Quadruplicamento della Linea Fortezza – Verona relativo al Lotto 1 Fortezza – Ponte Gardena, nello specifico lo studio si sviluppa sui seguenti tratti di linea:

- dallo sbocco della galleria naturale Sciliar al km 171+490 fino al km 173+500 circa (pk riferite alla linea Storica) e le interconnessioni di nuova realizzazione fino agli imbocchi in galleria;
- viadotti sul fiume Isarco, dal km 15+860 al km 16+150 circa (pk riferite alle interconnessioni).

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

- Analisi della normativa applicabile e individuazione dei valori di riferimento. Analisi delle norme applicabili su base nazionale e internazionale.
- Caratterizzazione ante operam. Individuazione dei potenziali ricettori sensibili. Mediante sopralluoghi mirati ed analisi comparata dei dati riportati dalle cartografie aerofotogrammetriche è stato effettuato un censimento dei ricettori (verifica della posizione, della destinazione d'uso, dell'altezza nonché dello stato di tutti i ricettori potenzialmente impattati).
- Rilevamento delle vibrazioni. Le indagini sperimentali sono state finalizzate, non solo alla valutazione dell'entità del livello vibrazionale allo stato attuale, ma anche alla costruzione di un modello sperimentale in relazione alla propagazione nel terreno e al comportamento degli edifici.
- Individuazione delle aree critiche. In questa parte dello studio sono state individuate le aree dove vi sono da attendersi dei superamenti dei valori di riferimento. I risultati di questa fase sono riportati nelle Planimetrie localizzazione degli interventi di mitigazione acustica e delle aree critiche per le vibrazioni.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 5 di 128

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Benché le vibrazioni trasmesse agli edifici non siano state argomento di legiferazione da parte dello Stato Italiano è tuttavia universalmente riconosciuta la competenza in materia da parte dell'UNI – Milano, ente preposto alla redazione della normativa tecnica in ambito nazionale.

L'UNI ha pubblicato negli anni una completa serie di norme (nazionali e/o recepimenti di norme internazionali) che coprono l'intera problematica delle vibrazioni negli edifici: la valutazione del disturbo alle persone, la valutazione del danno strutturale, l'implementazione della metodologia di misura ecc.

In particolare, le norme di interesse per il presente studio di impatto sono:

- Norma UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- Norma UNI 9916:2004 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici".

Nella UNI 9614:1990 è definito il metodo di misura delle vibrazioni di livello costante immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi. La norma concorda parzialmente con la norma internazionale ISO 2631/2. La UNI 9614:1990 ha subito una revisione nel 2017. La UNI 9614:2017 imposta un approccio profondamente diverso nella modalità di valutazione dei disturbi da vibrazione che ad oggi è possibile applicare nella fase di misurazione diretta del fenomeno vibratorio, lasciando però difficoltà in una piena applicazione nella fase modellistica. Per tale motivo, considerato più accurata e robusta la valutazione con un modello di propagazione maggiormente validato, si farà riferimento alla UNI 9614:1990.

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii per permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Vi sono poi norme internazionali di riferimento, fra cui:

- ISO 8041 Human response to vibration – Measuring instrumentation
- ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997;
- ISO 2631-2, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989;
- 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;
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150-2, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150-3, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.

Non si possono infine trascurare alcune norme e linee guida particolarmente importanti per la valutazione dell'impatto da vibrazioni in ambito ferroviario, fra cui:

- ISO 14837-1 Mechanical vibration--Ground-borne noise and vibration arising from rail Systems - Part1: General guidance

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	6 di 128

- ISO 10811-1 (2000) Mechanical vibration and shock -- Vibration and shock in buildings with sensitive equipment -- Part 1: Measurement and evaluation
- ISO 10811-2 (2000) Mechanical vibration and shock -- Vibration and shock in buildings with sensitive equipment -- Part 2: Classification
- ISO 4866 (1990) Mechanical vibration and shock -- Vibration of fixed structures -- Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures
- Report FTA-VA-90-1003-06 Transit Noise and Vibration Impact Assessment (Office of Planning and Environment Federal Transit Administration – USA)
- SS 460 48 61 (Swedish standard): Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader
- NS 8176 (Norwegian Standard): Vibration and shock Measurement of vibration in buildings from landbased transport and guidance to evaluation of its effects on human beings (Vibrasjoner og støy – Måling i bygninger av vibrasjoner fra landbasert samferdsel og veiledning for bedømmelse av virkning på mennesker)
- Norwegian standard NS 8141 (NSF, 2001)
- Swedish standard SS 460 48 66 (SEK, 1991)

Di seguito si fornisce una breve sintesi dei contenuti essenziali delle norme più rilevanti utilizzate per la valutazione dell’impatto da vibrazioni.

2.1 NORMA UNI 9614

La UNI 9614:1990 “Vibrazioni - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo” considera i diversi tipi di sollecitazione vibratoria: livelli costanti, non costanti, impulsivi.

La norma definisce metodologia di misura e analisi del segnale al fine di quantificare il disturbo da vibrazioni verso le persone. La vibrazione viene espressa attraverso il concetto di accelerazione

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

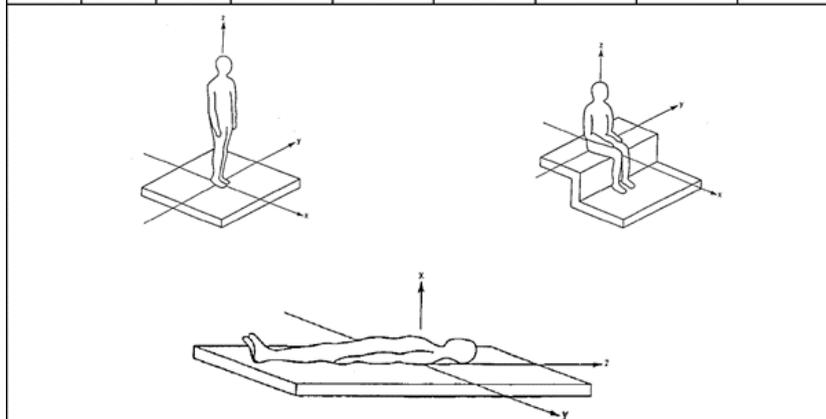
o del suo equivalente livello di accelerazione (espressione in dB dell’accelerazione espressa in m/s²):

$$L = 20 \log\left(\frac{a}{a_0}\right) \quad a_0 = 10^{-6} \frac{m}{s^2}$$

Nella definizione di accelerazione ponderata a_w prevista dalla norma (che prevede una pesatura in frequenza in funzione della direzione della vibrazione) si fa riferimento al seguente schema.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 7 di 128	

Frequenza [Hz]			Ponderazione per le Accelerazioni [dB]			Ponderazione per le Velocità [dB]		
centrale	Estremo inferiore	Estremo superiore	Postura Longitudinale (asse z)	Postura Trasversale (asse x-y)	Postura non nota o Variabile	Postura Longitudinale (asse z)	Postura Trasversale (asse x-y)	Postura non nota o Variabile
1.00	0.89	1.12	-6.0	0.0	0.0	-24.0	-6.0	-15.0
1.25	1.12	1.41	-5.0	0.0	0.0	-21.0	-4.0	-13.0
1.60	1.41	1.78	-4.0	0.0	0.0	-18.0	-2.0	-11.0
2.00	1.78	2.24	-3.0	0.0	0.0	-15.0	0.0	-9.0
2.50	2.24	2.82	-2.0	0.0	-0.5	-12.0	0.0	-7.5
3.15	2.82	3.55	-1.0	-4.0	-1.0	-9.0	0.0	-6.0
4.00	3.55	4.47	0.0	-6.0	-1.5	-6.0	0.0	-4.5
5.00	4.47	5.62	0.0	-8.0	-2.0	-4.0	0.0	-3.0
6.30	5.62	7.08	0.0	-10.0	-2.5	-2.0	0.0	-1.5
8.00	7.08	8.91	0.0	-12.0	-3.0	0.0	0.0	0.0
10.00	8.91	11.22	-2.0	-14.0	-5.0	0.0	0.0	0.0
12.50	11.22	14.13	-4.0	-16.0	-7.0	0.0	0.0	0.0
16.00	14.13	17.78	-6.0	-18.0	-9.0	0.0	0.0	0.0
20.00	17.78	22.39	-8.0	-20.0	-11.0	0.0	0.0	0.0
25.00	22.39	28.18	-10.0	-22.0	-13.0	0.0	0.0	0.0
31.50	28.18	35.48	-12.0	-24.0	-15.0	0.0	0.0	0.0
40.00	35.48	44.67	-14.0	-26.0	-17.0	0.0	0.0	0.0
50.00	44.67	56.23	-16.0	-28.0	-19.0	0.0	0.0	0.0
63.00	56.24	70.79	-18.0	-30.0	-21.0	0.0	0.0	0.0
80.00	70.80	89.12	-20.0	-32.0	-23.0	0.0	0.0	0.0



I valori limite sono differenziati per tipologia insediativa, per tipo di segnale (durata, caratteristiche) e per asse di sollecitazione. Per valori di sollecitazione vibratoria costante e non costante (dove per quest'ultima viene richiesta un'integrazione dei valori misurati), i valori limite sono riportati nella seguente tabella.

Classe	Destinazione d'uso del territorio	Livello L_{eff} [dB] (°)			Accelerazione A_{eff} [mm/s ²]			Velocità V_{eff} [μm/s]		
		L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)	L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)	L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)
I	Aree critiche (1)	74	71	71	5,0	3,6	3,6	100	280	100
II	Abitazioni (notte)	77	74	74	7,0	5,0	5,0	140	400	140
III	Abitazioni (giorno)	80	77	77	10,0	7,2	7,2	200	560	200
IV	Uffici	86	83	83	20,0	14,4	14,4	400	1.100	400
V	Fabbriche	92	89	89	40,0	28,8	28,8	800	2.200	800

L componente longitudinale (riferita alla spina dorsale dell'uomo).....(Asse z)
T componente trasversale (riferita alla spina dorsale dell'uomo)(Assi x-y)
V nel caso di postura variabile o non nota(Assi x-y-z)
(°) 0 dB \equiv 1 μm/s² (10⁻⁶ m/s²)

(1) Per aree critiche si intendono edifici particolarmente sensibili alle vibrazioni, quali ad es. laboratori metrologici, fabbricati industriali contenenti apparecchiature sensibili alle vibrazioni (microscopi elettronici....).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	8 di 128

L'appendice A.4 della norma UNI 9614 recita:

"Nel caso di vibrazioni da veicoli ferroviari e immesse nelle abitazioni, i risultati di alcune sperimentazioni indicano come riferimento i valori 30 mm/s² (asse z) e 21,6 mm/s² (assi x e y)". Nel presente lavoro non si farà riferimento a tale appendice A.4 in quanto ritenuta non sufficientemente cautelativa.

La UNI 9614 definisce tre tipologie di segnali vibratorii:

- Vibrazioni di livello costante;
- Vibrazioni di livello non costante;
- Vibrazioni impulsive.

Il segnale vibratorio prodotto dalle vibrazioni ferroviarie può essere considerato come una vibrazione di livello non costante, e dunque per tale tipologia di segnale la valutazione deve avvenire su un "intervallo di tempo rappresentativo" dell'evento (app. A.2 norma UNI 9614).

Su tale intervallo è possibile effettuare due tipi di valutazioni: nel caso in cui si scelga un approccio maggiormente cautelativo si può operare sul massimo valore raggiunto durante l'evento del transito, mentre in alternativa si può lavorare sul concetto di media energetica sulla durata dell'evento.

Per quanto riguarda la valutazione delle vibrazioni nel presente lavoro si è scelto di eseguire le valutazioni sul valore medio del valore efficace (RMS) della vibrazione su un intervallo equivalente alla durata dell'evento di transito ferroviario.

Per quanto riguarda la direzione del rilievo la norma UNI 9614 prescrive di eseguire i rilievi "lungo i tre assi ortogonali o secondo l'asse lungo il quale le vibrazioni sono più elevate". Nel presente studio si è scelto di considerare la seconda ipotesi, e di applicare la ponderazione asse Z all'asse verticale e la ponderazione X-Y per gli assi orizzontali. I limiti applicabili saranno pertanto:

Direzione	Soglia di percezione La _w (dB)	Limite di accettabilità per abitazioni La _w (dB)	Limite di accettabilità per uffici La _w (dB)
Asse Z	74	77	86
Assi X-Y	71	74	83

La norma UNI 9614:2017, aggiornamento della precedente UNI 9614:1990 che generalmente rispetto la ISO 2631-2 si configura come più restrittiva, prende a riferimento la ISO 2631-2:2003 – "Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)" e la norma norvegese NS 8176E – "Vibration and shock - Measurement of vibration in buildings from landbased transport and guidance to evaluation of effects on human beings".

Alle citate norme sono inoltre considerate la:

- UNI 11568:2017 – "Vibrazioni – Strumentazione e analisi per la misura delle vibrazioni – Strumenti di misura";
- ISO 8041-1:2017 – "Risposta degli esseri umani alle vibrazioni – Strumenti di misurazione – Parte 1: Strumenti per la misura di vibrazioni per uso generale"
- ISO 5348 – "Vibrazioni meccaniche ed urti – Monitoraggio meccanico degli accelerometri".

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 9 di 128

L'insieme delle norme citate definiscono:

- i tipi di locali o edifici;
- i periodi di riferimento;
- i valori che costituiscono il disturbo;
- il metodo di misura delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne.

Le sorgenti di vibrazioni si considerano:

- rispetto alla posizione (interno o esterno agli edifici);
- rispetto alla funzione (per "attività essenziali di servizio pubblico", per "attività non interrompibili", di "altra natura");
- rispetto alla caratteristica di durata delle vibrazioni prodotta (periodo di attività della sorgente: continue o semi-continue; intermittenti presenti per gran parte della giornata; intermittenti presenti per una parte limitata della giornata; temporanee presenti per gran parte della giornata; temporanee presenti per una parte limitata della giornata).

Tale classificazione è proposta come descrittore univoco per l'identificazione dei fenomeni vibrazionali.

La UNI9614:2017 prevede che le vibrazioni siano calcolate simultaneamente lungo i tre assi di propagazione e che il sistema di essi sia riferito o alla struttura dell'edificio o al corpo umano. Le vibrazioni associate alla sorgente ritenuta fonte di disturbo devono, successivamente, essere quantificate mediante l'accelerazione ponderata calcolata come differenza vettoriale tra il "vettore di immissione", ottenuto da un numero rappresentativo di eventi della sorgente in valutazione, ed il "vettore di vibrazione rappresentate il residuo", quindi in assenza della specifica sorgente in indagine.

Per la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni la norma prevede il confronto del parametro descrittore della "vibrazione della sorgente" in esame con determinati valori limiti di disturbo differenziati per tipo di ambiente e per i diversi periodi della giornata. In particolare, per gli edifici destinati ad abitazione sono individuati, al pari della normativa acustica, un periodo diurno, dalle 6:00 alle 22:00, e un periodo notturno dalle 22:00 alle 6:00. Nella seguente tabella si riportano i limiti massimi per la massima accelerazione ponderata della vibrazione della sorgente previsti. Qualora le vibrazioni residue abbiano un valore maggiore del 50% di quelle immesse, il disturbo prodotto dalle vibrazioni della sorgente è da considerarsi trascurabile.

Destinazione d'uso	Accelerazione Vettore Vsorg (m/s ²)
Abitazioni (periodo notturno dalle 22:00 alle 6:00)	3,6 10 ⁻³
Abitazioni (periodo diurno dalle 6:00 alle 22:00)	7,2 10 ⁻³
Abitazioni (periodo diurno festivo dalle 6:00 alle 22:00)	5,4 10 ⁻³
Luoghi di lavoro	14 10 ⁻³
Ospedali, case di cura e affini	2 10 ⁻³
(indipendentemente dal periodo)	3,6 10 ⁻³
Asili e case di riposo (valido anche nel periodo diurno in caso sia previsto il riposo delle persone)	5,4 10 ⁻³

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	10 di 128

Come precedentemente evidenziato nella valutazione ed in particolare nella fase modellistica si farà riferimento alla UNI 9614:1990.

2.2 NORMA UNI 9916

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 ed in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3.

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è quello di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime.

La norma considera come intervallo di frequenze di interesse quello compreso tra 1 e 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (venti, terremoti ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza significativo delle vibrazioni può essere più ampio, ma tuttavia le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio.

L'appendice A della norma UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici, secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Le strutture comprese in tale classificazione riguardano:

- Tutti gli edifici residenziali e gli edifici utilizzati per le attività professionali (case, uffici, ospedali, case di cura ecc.).
- Edifici pubblici (municipi, chiese ecc.).
- Strutture industriali più leggere spesso concepite secondo le modalità costruttive in uso per gli edifici di abitazione.

La classificazione degli edifici (Prospetto III) è basata sulla loro resistenza strutturale alle vibrazioni oltre che sulla tolleranza degli effetti vibratorii sugli edifici in ragione del loro valore architettonico, archeologico e storico. I fattori dai quali dipende il comportamento di una struttura sollecitata da vibrazioni sono:

- La categoria della struttura.
- Le fondazioni.
- La natura del terreno.

La categoria di struttura (Prospetto II) è classificata in una scala da 1 a 8 (a numero crescente di categoria corrisponde una minore resistenza alle vibrazioni) in base ad una ripartizione in due gruppi di edifici:

- Edifici vecchi o antichi e strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1).
- Edifici e strutture moderne (Gruppo 2).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 11 di 128

Categorie di edifici

1° GRUPPO	2° GRUPPO
Costruzioni industriali pesanti da cinque a sette piani di tipo resistenti ai terremoti. Strutture pesanti compresi ponti fortezze bastioni	Costruzioni industriali ad ossatura pesante di due o tre piani costruiti in armato oppure a struttura metallica con rivestimento di fogli o pannelli di tamponamento costruiti di pietre, mattoni o di elementi prefabbricati e di acciaio, solai in acciaio o calcestruzzo armato prefabbricato o gettato in opera Costruzioni industriali pesanti in acciaio o in calcestruzzo armato con struttura composita
Edifici pubblici ad ossatura in legno di tipo resistente ai terremoti	Immobili da 5 a 9 piani e più, uffici, ospedali, costruzioni industriali ad ossatura leggera in calcestruzzo armato od a struttura in acciaio con pannelli di tamponamenti in pietre, mattoni o elementi pref. non concepiti per terremoti
Case di 1 o 2 piani ad ossatura in legno e costruzioni di uso simile con tamponamenti e/o rivestimenti, comprese le capanne di tipo resistente ai terremoti	Costruzioni industriali abbastanza leggere di tipo aperto ad un solo piano, giunti per tramezzi, ossatura in acciaio, alluminio, in legno o in calcestruzzo con rivestimento in legno leggero e tamponamenti in pannelli leggeri di tipo resistente ai terremoti
Costruzioni a più piani abbastanza pesanti utilizzate come magazzini di media importanza o come abitazioni da 5 a 7 piani o più	Abitazioni a 2 piani e costruzioni di utilizzo simile in pietra, mattoni o elementi prefabbricati comportanti un solaio ed un tetto rinforzati o interamente costruito in calcestruzzo armato o materiali simili resistente ai terremoti
Case da 4 a 6 piani ed edifici di utilizzo urbano, costruiti in pietre o mattoni, con muri portanti di costruzione più pesante, comprese le case padronali e le residenze del tipo "piccolo castello"	Edifici e simili da 4 a 10 piani principalmente costruiti in pietre leggere e mattoni, legati in gran parte con muri interni di materiali simili e da solai in calcestruzzo armato prefab. o gettato in opera almeno a ciascun piano
Case a 2 piani ed edifici di utilizzo simile costruiti in pietre in mattoni ed in argilla, con solette e copertura in legno Parti costruite in pietra o mattoni, di tipo resistente ai terremoti	Case di abitazione ed edifici di utilizzo simile a 2 piani, compresi uffici costruiti con muri di pietra, in mattoni, in elementi prefab. e con strutture di soletta e di copertura in legno o prefabbricate
Chiese di grande altezza, saloni e strutture simili in pietra o in mattoni con arcate, comprese le chiese di minor importanza con arcate e costruzioni simili. Chiese basse ad ossatura pesante di tipo "aperto" (non controventate) e rimesse, comprese stalle, garages, costruzioni simili con solette e coperture in legno molto pesanti	Case e costruzioni simili ad uno o 2 piani, costruzioni più leggere e realizzate con materiali leggeri e realizzate con materiali leggeri prefab. o preparati in opera
Rovine ed altre costruzioni in cattivo stato tutte le costruzioni della categoria 7 aventi un valore storico	

L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione ed al numero di piani.

Le categorie riportate in tabella si riferiscono, in tutte e due i casi, a fabbricati con strutture in buono stato di manutenzione, senza difetti di costruzione, e che non hanno subito danni legati a fenomeni sismici, ecc.

In caso diverso, gli edifici devono essere classificati in una categoria inferiore a quella propria.

Le fondazioni sono classificate in tre classi:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 12 di 128

- classe A: pali legati in cemento armato; platea rigida; pali di legno legati tra loro; muri di sostegno a gravità;
- classe B: pali non legati in cemento armato; fondazioni di muri; pali e platee in legno;
- classe C: muri di sostegno leggeri; fondazioni importanti in pietre; assenza di fondazioni; muri direttamente sul terreno.

Il terreno viene classificato in sei classi:

- tipo A: rocce non fessurate; rocce molto solide leggermente fessurate; sabbie cementate;
- tipo B: terreni compattati, compressi in culle orizzontali;
- tipo C: terreni poco compattati, compressi in culle orizzontali;
- tipo D: piani inclinati, con superfici di scorrimento potenziali;
- tipo E: terreni granulari, sabbie, ghiaie senza coesione, argille con coesione sature d'acqua;
- tipo F: materiali di riporto.

Il grado di resistenza dei terreni sopra elencati decresce da A a F.

Il grado di attenuazione delle onde vibratorie è infatti strettamente legato alle caratteristiche del materiale ed in particolare alle sue proprietà elastiche. Maggiore è l'elasticità del mezzo minore sarà l'attenuazione.

L'appendice B della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli di vibrazione con riferimento alla Normativa Tedesca DIN 4150 ed al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24 gennaio 1986 "Norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica", riassunti nella seguente tabella.

Velocità massime ammissibili di picco (UNI9916)

Cat.	Tipi di strutture	Velocità di vibrazione in mm/s			
		Misura alla fondazione			Misura al pavimento dell'ultimo piano
		<10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz	Frequenze diverse
1	Edifici commerciali, edifici industriali e simili	20	20-40	40-50	40
2	Edifici residenziali e simili	5	5-15	15-20	15
3	Strutture particolarmente sensibili alle vibrazioni non rientranti nelle categorie precedenti e di grande valore intrinseco	3	3-8	8-10	8

(*) per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz

La norma citata prevede che le misurazioni siano effettuate secondo tre assi mutuamente ortogonali: un asse ha direzione verticale, le due componenti orizzontali sono preferibilmente parallele/ortogonali ai muri dell'edificio. Le misurazioni possono essere effettuate anche con accelerometri mono o biassiali, purchè in numero di tre, mutualmente ortogonali, e montanti su struttura rigida che garantisca che le misurazioni si riferiscano ad un unico punto.

La norma specifica che i valori di riferimento indicati riguardano solo l'effetto diretto delle vibrazioni.

Non sono contemplati gli effetti indiretti quali, per esempio, cedimenti provocati dalla compattazione del terreno a seguito delle vibrazioni. Tali effetti indiretti devono essere considerati a parte.

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 13 di 128

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 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 cosmetico.

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).

La DIN 4150-3 considera due tipologie di vibrazione:

- vibrazione di breve durata
- vibrazione permanente

La norma 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.

La Parte III della DIN 4150 indica le velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie quali quelle generate da transiti ferroviari:

- Per l'edificio nel suo complesso vedere la tabella precedente.
- Sui pavimenti $v < 20$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

Per vibrazioni stazionarie (o nel caso che il numero di eventi, o transiti, giornaliero sia superiore a 60-70):

- Sull'edificio nel suo complesso $v < 5$ mm/s in direzione orizzontale in corrispondenza dell'ultimo piano.
- Sui pavimenti: $v < 10$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

2.3 IL CRITERIO U.S.A. PER L'IMPATTO DA VIBRAZIONI E RUMORE DEI TRASPORTI

Il criterio utilizzato negli U.S.A. per la valutazione dell'impatto ambientale delle vibrazioni ferroviarie è descritto nel documento predisposto dalla Harris Miller Miller & Hanson Inc. di Burlington – MA, nel 199 "Report FTA- VA-90-1003-06 Transit Noise and Vibration Impact Assessment (Office of Planning and Environment Federal Transit Administration – USA)".

Questo documento indica come criterio per la valutazione dell'impatto da vibrazioni tre diversi approcci con grado di dettaglio diverso in funzione del grado di approfondimento progettuale. In particolare, vengono indicati i seguenti approcci.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 14 di 128

Critero	Finalità	Metodologia
Vibration Screening Procedure	Approccio utilizzato per progettazione preliminare	La vibrazione immessa nell'ambiente circostante da una infrastruttura dei trasporti è valutata in base al tipo di infrastruttura e alla distanza. Si utilizza una tabella che indica le distanze entro cui individuare eventuali ricettori potenzialmente impattati.
General Vibration Assessment	Approccio utilizzato per progettazione definitiva	La vibrazione immessa nell'ambiente circostante da una infrastruttura dei trasporti è valutata in base al tipo di infrastruttura e alla distanza. Si valuta l'immissione a distanza sulla base di un abaco e di fattori correttivi che tengono conto della velocità e tipologia dei veicoli ferroviari.
Detailed Vibration Analysis	Approccio utilizzato per progettazione esecutiva	La vibrazione immessa nell'ambiente circostante da una infrastruttura dei trasporti è valutata sperimentalmente tramite la misura in campo della funzione di trasferimento fra la sede ferroviaria e i potenziali ricettori.

I limiti applicabili sono definiti in base alla velocità di vibrazione (non ponderata) generata dal transito ferroviario. Si tiene conto anche del rumore re-irradiato.

Il criterio del documento U.S.A. è molto interessante in quanto di semplice applicazione, ma è particolarmente difficile poter confrontare i valori con quelli della normativa nazionale UNI a motivo della scelta diversa sul tipo di parametro da utilizzare e sull'approccio completamente diverso.

2.4 CRITERI DI VALUTAZIONE PER IL RUMORE RE-IRRADIATO

I limiti per il rumore (e dunque anche per il rumore re-irradiato dovuto al transito ferroviario) sono definiti in Italia dal d.P.R. 459/1998. Tali limiti sono tuttavia validi ed applicabili al contesto del rumore prodotto per via aerea, e sono comunque di entità tale da essere ben difficilmente riscontrabili nel caso di rumore trasmesso dalle infrastrutture ferroviarie sotto forma di vibrazione e successivamente re-irradiato dalle pareti degli edifici.

Tale particolare tipologia di disturbo, percepibile solo all'interno degli edifici, viene solitamente associato a sensazioni di disagio e insicurezza per la stabilità dell'edificio, e dunque la sensibilità delle persone a questo fenomeno è enormemente diversa da quella che si registra solitamente per il rumore propagantesi per via aerea. Ne consegue che essi non sono generalmente sufficienti a garantire un comfort adeguato nel caso del rumore re-irradiato.

In particolare, occorre sottolineare come il criterio di valutazione proposto dal d.P.R. 459/98 valuti l'immissione di tutti i transiti ferroviari diurni e notturni, e poi ne distribuisce l'impatto sull'intero periodo. È invece dimostrato come la percezione del disturbo dovuto al rumore re-irradiato, come peraltro avviene nel caso della vibrazione, debba essere riferito alla sola durata dell'evento, e dunque assume ben altri valori.

In alcuni casi particolari (sale da concerto, sale di registrazione, studi televisivi, auditorium, cinema, teatri...) il rumore re-irradiato può compromettere seriamente la fruizione degli ambienti, progettati per ottenere un ridotto rumore di fondo: le vibrazioni propagantesi nel terreno e successivamente convertite in rumore possono dunque compromettere i criteri progettuali, che di solito si rivolgono unicamente a garantire un isolamento al rumore propagato per via aerea.

Le seguenti tabelle estratte dal documento della Federal Transit Administration – USA (2006) forniscono utili indicazioni sui livelli massimi ammissibili.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 15 di 128

Tipologia ricettore	Eventi frequenti* dB(A)	Eventi occasionali* dB(A)	Eventi non frequenti* dB(A)
Edifici residenziali con permanenza notturna	35	38	43
Edifici senza permanenza notturna	40	43	48

*Si definiscono

- *eventi frequenti quando vi sono più di 70 transiti/giorno;*
- *eventi occasionali quando vi sono fra 30 e 70 eventi/giorno;*
- *eventi infrequenti quando vi sono meno di 30 eventi/giorno*

Un ulteriore riferimento di validità internazionale è costituito dai limiti proposti dall'APTA (American Association for Public Transport), riportati di seguito.

Categoria ricettore	Limite applicato per la definizione del rumore re- irradiato indotto da vibrazioni immesse in un edificio [UNI 9614:1990] [dBA re 20 x10 ⁻⁵ Pa]		
Categoria 1 – edifici contenenti apparecchiature sensibili alle vibrazioni	n.a.		
Categoria 2 - abitazioni residenziali	Abitazioni singole	Abitazioni multifamiliari	Hotel/Motel
Aree a bassa densità popolazione	30	35	40
Aree media densità popolazione	35	40	45
Aree elevata densità popolazione	35	40	45
Aree commerciali	40	45	50
Aree industriali	40	45	50
Categoria 3 – edifici pubblici e uffici, università, aule giudiziarie	35		
Scuole e biblioteche	40		
Chiese	35		
Categoria 4 – edifici senza particolari esigenze di quiete	n.a.		
Categoria 5 – edifici con particolari esigenze di quiete.	vedi 5-1, 5-2 e 5-3		
5-1: sale da concerto e sale di registrazione	16 - 25		
5-2: auditorium, cinema	30		
5-3: teatri	35		

Caratteristiche urbanistiche dell'area	Abitazioni monofamiliari	Abitazioni multifamiliari	Hotel/Motel
Area a bassa densità di popolazione	30 dBA	35 dBA	40 dBA

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	16 di 128

Caratteristiche urbanistiche dell'area	Abitazioni monofamiliari	Abitazioni multifamiliari	Hotel/Motel
Area con densità media di popolazione	35 dBA	40 dBA	45 dBA
Area ad elevata densità di popolazione	35 dBA	40 dBA	45 dBA
Area commerciale	40 dBA	45 dBA	50 dBA
Area industriale/in prossimità strade di grande comunicazione	40 dBA	45 dBA	50 dBA

Tipo di edificio o stanza	Livello massimo di rumore re- irradiato associato al singolo evento
Sala da concerto	16 dBA
Sala di registrazione radio/TV	25 dBA
Musei, auditoria, sale musicali	30 dBA
Chiese e teatri	35 dBA
Sale operatorie e sale di riposo	35 dBA
Tribunali e edifici istituzionali	35 dBA
Scuole e biblioteche	40 dBA
Edifici universitari	35 dBA
Uffici	35 dBA
Edifici commerciali	45 dBA

2.5 LIMITI APPLICABILI NELL'AMBITO DEL PRESENTE STUDIO

Ai fini del presente studio di impatto le immissioni di vibrazioni presso i potenziali ricettori verranno valutate secondo il seguente criterio.

Tipologia immissione	Criterio di valutazione / norma di riferimento	Parametro di valutazione	Limiti applicabili
Vibrazioni da esercizio linea ferroviaria – disturbo alle persone	UNI 9614:1990	L_{aw} (in dB re 10^{-6} m/s ²)	Abitazioni: $L_{aw} = 74$ dB (soglia di percezione asse verticale) $L_{aw} = 77$ dB (asse verticale) Uffici e simili: $L_{aw} = 83$ dB (asse verticale)
Vibrazioni da esercizio linea ferroviaria – danno agli edifici	UNI 9916:2004	Velocità di picco (Peak Particle Velocity) In mm/s	$V < 5$ mm/s in direzione orizzontale in corrispondenza dell'ultimo piano. Sui pavimenti: $v < 10$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione
Rumore re-irradiato	FTA-VA-90-1003-06 <i>Transit Noise and Vibration Impact Assessment</i>	Soglia di percezione rilevata come <u>valor medio sulla durata del transito ferroviario</u>	Edifici residenziali: 35 dB(A) Edifici non residenziali (uffici, luoghi di culto...): 40 dB(A) Edifici industriali: non si applica limite

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 17 di 128

3. CARATTERIZZAZIONE TERRITORIALE

Allo scopo di individuare i ricettori potenzialmente sensibili è stata eseguita una dettagliata analisi territoriale che ha permesso di individuare quantitativamente e qualitativamente i ricettori potenzialmente influenzati dalle vibrazioni ferroviarie.

3.1 DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Nella seguente figura sono rappresentate le aree geografiche in cui si localizzano le zone oggetto di studio.

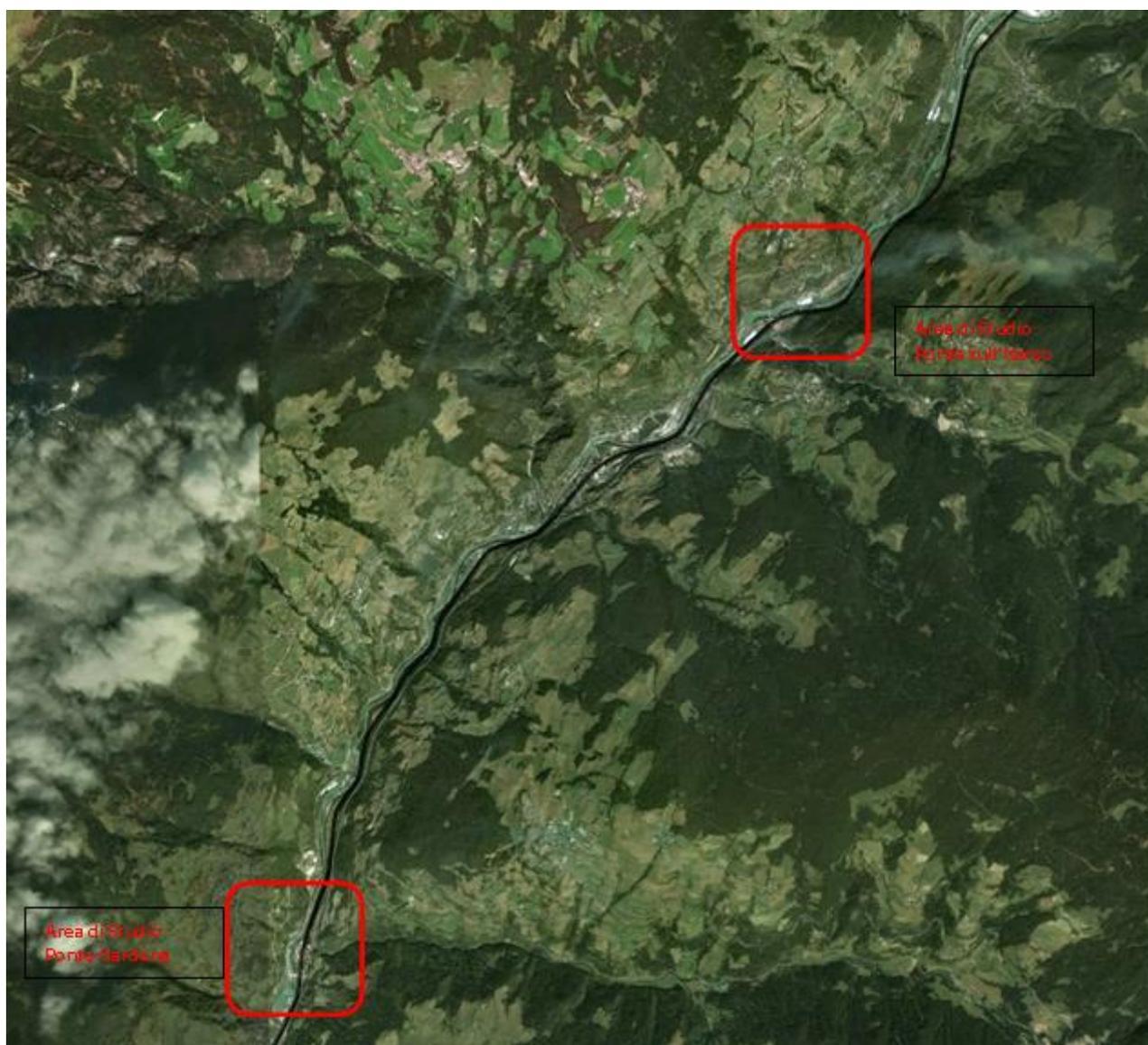


Fig. 1 - Vista aerea dell'inquadramento generale delle zone oggetto di studio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	18 di 128

I ricettori interessati sono prevalentemente residenziali e multipiano, di solito tra i due ed i quattro piani di altezza. Nell'ambito della presente attività è stato effettuato un dettagliato censimento dei ricettori, cui si fa riferimento per le informazioni riguardanti anche gli aspetti vibrazionali. I risultati di detto censimento sono stati riportati, su una base cartografica e su apposite schede complete di informazioni riguardanti la localizzazione, lo stato e la consistenza e la relativa documentazione fotografica. I ricettori potenzialmente influenzati sono stati censiti singolarmente con schede riportate in apposti allegati.

3.2 RILIEVI DI VIBRAZIONI IN SITU

I rilievi sono finalizzati alla caratterizzazione dell'impatto vibrazionale determinato dal transito dei convogli ferroviari nelle immediate vicinanze del tracciato nell'area oggetto di risanamento acustico in corrispondenza delle progressive chilometriche indicativamente comprese tra la pk 171+900 e 172+500.

Le indagini sono state svolte presso un edificio a destinazione d'uso scolastica alla pk 171+880 circa (Sezione 1) e nell'area a parcheggio in prossimità della stazione di Ponte Gardena alla pk 172+340 (Sezione 2). In quest'ultimo caso, non essendo presenti edifici sufficientemente vicini al tracciato ferroviario i rilievi sono stati svolti in corrispondenza delle aiuole presenti nell'ambito del parcheggio oltre che nelle immediate vicinanze del binario. Analizzando le condizioni geologiche nella tratta in progetto ed in particolare esaminando la zona del Ponte Isarco e della Stazione di Ponte Gardena si riscontrano caratteristiche analoghe. In considerazione di tali similitudini si ritiene che le misure eseguite presso l'area della Stazione di Ponte Gardena possano essere estese anche per la zona del Ponte Isarco. Pertanto, la valutazione delle propagazioni delle vibrazioni presso la zona del Ponte Isarco sarà eseguita considerando quanto rilevato nell'area della Stazione di Ponte Gardena.

La sezione di misura S1 comprende l'esecuzione di rilievi in nr. 4 postazioni di misura così come di seguito descritte:

Postazione P1: localizzata presso la linea ferroviaria, ad una distanza di circa 4,50 m dall'asse del binario di corsa. L'accelerometro è stato fissato sulla base di una massa cubica in acciaio poggiata sul terreno, immediatamente al di fuori della paratia della galleria artificiale. I rilievi in tale postazione sono rappresentativi della caratterizzazione degli spettri di emissione dei convogli in prossimità della linea.

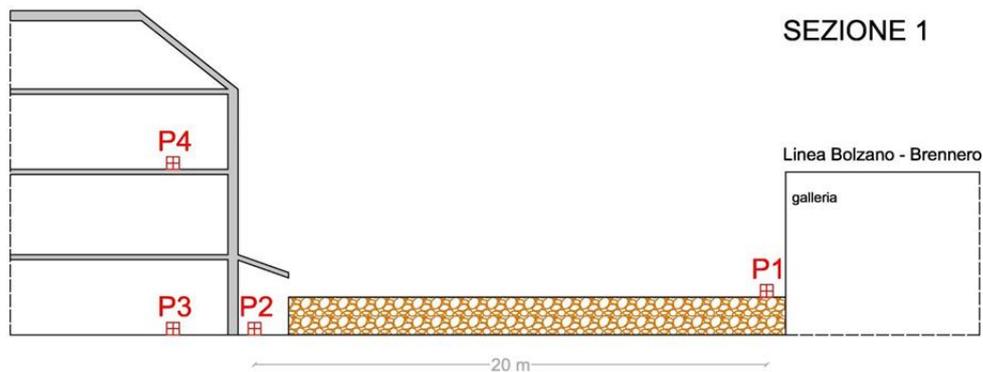
Postazione P2: localizzata all'esterno dell'edificio ad 1 metro dal filo del fabbricato. L'accelerometro è stato fissato su una massa in acciaio poggiata sul terreno. I rilievi servono per caratterizzare la funzione di trasferimento del terreno nonché come riferimento per la determinazione dell'attenuazione all'interfaccia delle fondazioni.

Postazione P3: localizzata presso le fondazioni dell'edificio, al primo solaio (piano terra). L'accelerometro è stato fissato su una massa in acciaio poggiata sul pavimento. I rilievi servono per la determinazione dell'attenuazione all'interfaccia fondazioni/terreno.

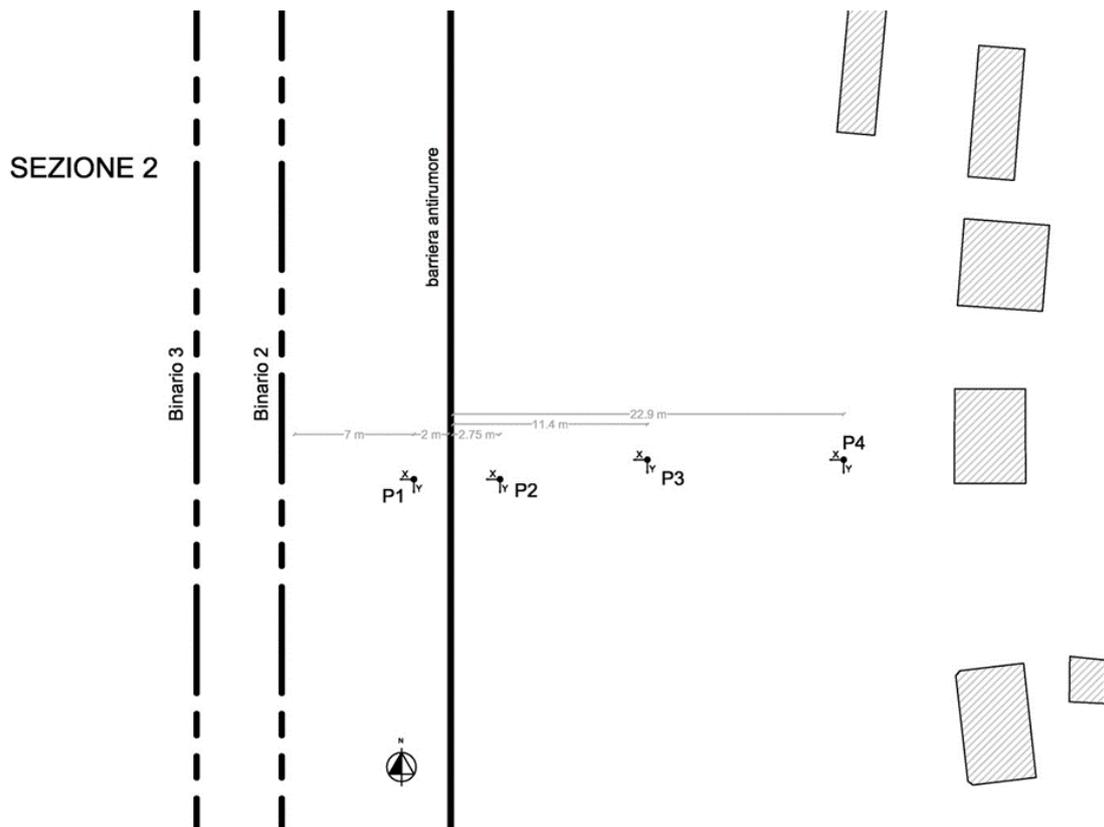
Postazione P4: localizzata all'interno dell'edificio, all'ultimo solaio. L'accelerometro è stato fissato su una massa in acciaio poggiata sul pavimento. I rilievi servono per caratterizzare l'amplificazione delle vibrazioni dovute alla presenza del solaio nonché determinare l'andamento delle stesse al variare dei piani.

La figura di seguito riportata riporta uno schema di localizzazione dei punti di misura:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO					
	SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE			IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	19 di 128
Relazione Generale								



La sezione di misura S2, invece, è stata collocata, non essendo presenti edifici sufficientemente vicini al tracciato, in corrispondenza delle aiuole presenti all'interno del parcheggio della stazione di Ponte Gardena, oltre che nelle immediate vicinanze dell'asse ferroviario.



3.3 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA

Per l'esecuzione dei rilievi sono state utilizzate due tipologie di sistemi acquisizione dati:

- Sistemi Tablet PC con scheda di acquisizione dati in allestimento fisso con allacciamento alla rete elettrica. La strumentazione installata è composta da:
 - Tablet PC Hewlett-Packard Compaq tc4200.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 20 di 128

- Scheda di acquisizione dati National Instruments NI-9233 a 4 canali.
- Terna accelerometrica costituita da 3 accelerometri monoassiali Wilcoxon Research – Low Frequency Accelerometer 799LF - Sensibilità 500 mV/g - Accelerazione di picco 10 g
- Massetto metallico per il fissaggio degli accelerometri.
- Analizzatori multicanale Sinus Soundbook composti da:
 - Sistema di acquisizione e analisi dati a 4 canali con software di gestione Samurai.
 - PC Portatile Panasonic Toughbook CF-19
 - Una terna accelerometrica costituita da 3 accelerometri monoassiali Dytran Instruments modello 3055A4 - Sensibilità 500 mV/g Accelerazione di picco 10 g
 - Una terna accelerometrica costituita da 3 accelerometri monoassiali PCB Piezotronics modello 393A03 - Sensibilità 1000 mV/g.
 - Microfono BSWA, modello MP 201, con preamplificatore modello MA201
 - Massetti metallici per il fissaggio degli accelerometri
 - Sistema di acquisizione e analisi dati a 4 canali con software di gestione Samurai.

La calibrazione delle catene di misura è stata eseguita utilizzando il calibratore di vibrazioni Larson Davis 394M26 operante alla frequenza 159.2 Hz e 1 g di accelerazione RMS.



Fig. 2 - Strumentazione impegnata nelle attività di monitoraggio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 21 di 128

3.4 ANALISI DEI RILIEVI

I rilievi eseguiti hanno permesso di determinare:

- l'entità e la variabilità dei transiti ferroviari in un numero statisticamente significativo alla sorgente;
- le caratteristiche di emissione delle vibrazioni di origine ferroviaria;
- le modalità di propagazione delle vibrazioni con una validazione sperimentale attraverso la funzione di trasferimento.

3.4.1 Entità vibrazionale e relativa variabilità dei transiti ferroviari

I transiti ferroviari sono caratterizzati da una notevole variabilità, dovuta al transito di tipologie differenziate di veicoli ferroviari.

Nel periodo 12.00 del 27 Febbraio 2013 – 12.00 del 28 Febbraio 2013 sono stati censiti i seguenti transiti (si veda allegato al report delle misure):

- nr. 12 treni a lunga percorrenza (LP) EC/EN;
- nr. 71 treni merci (CARGO, MERCI);
- nr. 51 treni passeggeri regionali o simili (REG);

Le velocità dei convogli sono state sempre modeste (velocità media 70 km/h), essendo la postazione di rilievo Sezione 1 a non oltre 200 m dalla stazione di Ponte Gardena.

Le caratteristiche già menzionate concorrono a determinare le caratteristiche spettrali di emissione e l'entità dell'emissione stessa, ma nel caso di interesse si è potuto determinare con buona affidabilità che l'emissione vibrazionale è caratterizzata da energia concentrata fra 30 e 80 Hz.

3.4.2 Caratteristiche di emissione delle vibrazioni di origine ferroviaria e propagazione

Le vibrazioni rilevate nella postazione 1 della Sezione 1 sono di entità rilevante vista la vicinanza del punto di misura alla ferrovia e non si differenziano molto in funzione della tipologia di transito.

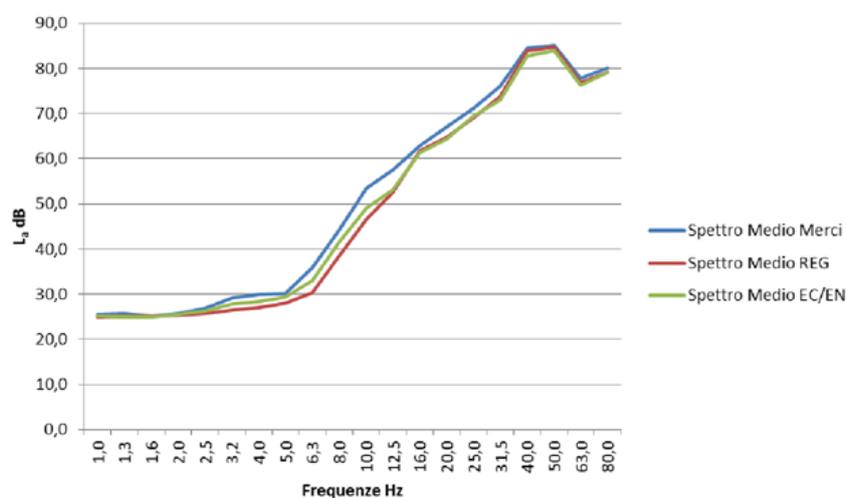


Fig. 3 - Spettro medio dei transiti rilevati presso la postazione 1 della Sezione 1, suddivisi per tipologia di transito ferroviario

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale		IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	22 di 128

Gli spettri sopra riportati, rilevati a circa 0,5 m dalla paratia della galleria artificiale, sono stati utilizzati come riferimento per il calcolo previsionale a partire dalla sorgente. Si è inoltre ipotizzato che la velocità dei transiti ferroviari sia dell'ordine di 60 - 80 km/h (a seconda della distanza dalla stazione più prossima).

Tipologia di transito	Sezione 1 - Postazione 1			Sezione 1 - Postazione 2		
	La	La _w	90° Percentile La _w	La	La _w	90° Percentile La _w
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
CARGO/MERCI	89,2	74,6	76,4	79,9	62,2	64,5
LP (EC/EN)	88,0	73,2	75,7	79,5	61,8	64,1
REG	88,5	73,6	75,3	78,6	61,0	63,4

Con queste ipotesi (livello L_{aw} 90° Percentile) si ritiene di calcolare l'immissione presso i potenziali ricettori con criteri particolarmente cautelativi.

Considerando i valori anche del secondo punto di misura si arriva a considerare una dissipazione dovuta al terreno di circa 0,6 dB/m.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 23 di 128

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I dati necessari alla compilazione del quadro geologico dell'area di interesse sono stati ricavati dai risultati dei sondaggi geognostici eseguiti per la redazione dello studio geologico, cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

L'area interessata dal presente lavoro si colloca in uno dei settori più complessi delle Alpi orientali, in prossimità della linea Insubrica, noto sistema di faglie che separa le unità Europa vergenti da quelle Africa vergenti. L'area rilevata si sviluppa a sud di tale lineamento, nel dominio Sudalpino o delle Alpi Meridionali, caratterizzato da un basamento ercinico e da successioni vulcaniche e sedimentarie di età permio-mesozoica.

Nel settore in studio è presente un basamento metamorfico formato da un complesso prevalentemente filladico appartenente all'Unità di Bressanone, al quale sono associate importanti intercalazioni di porfiroidi, (Ordoviciano sup.); complessivamente questo substrato mostra un metamorfismo di età pre-permiana, mentre durante l'orogenesi alpina non si sviluppano nuove foliazioni metamorfiche. Sono inoltre presenti importanti intrusioni permiane (granito di Bressanone) con relativi corteo filoniano ed aureola di contatto conservati nelle filladi incassanti e una copertura vulcanica-sedimentaria riconducibile al Gruppo Vulcanico Atesino. Tale successione ed i plutoni permiani sono privi di metamorfismo alpino.

Elementi deformativi, prevalentemente di tipo fragile e fragile-duttile, si osservano lungo tutto il settore indagato e le principali faglie.

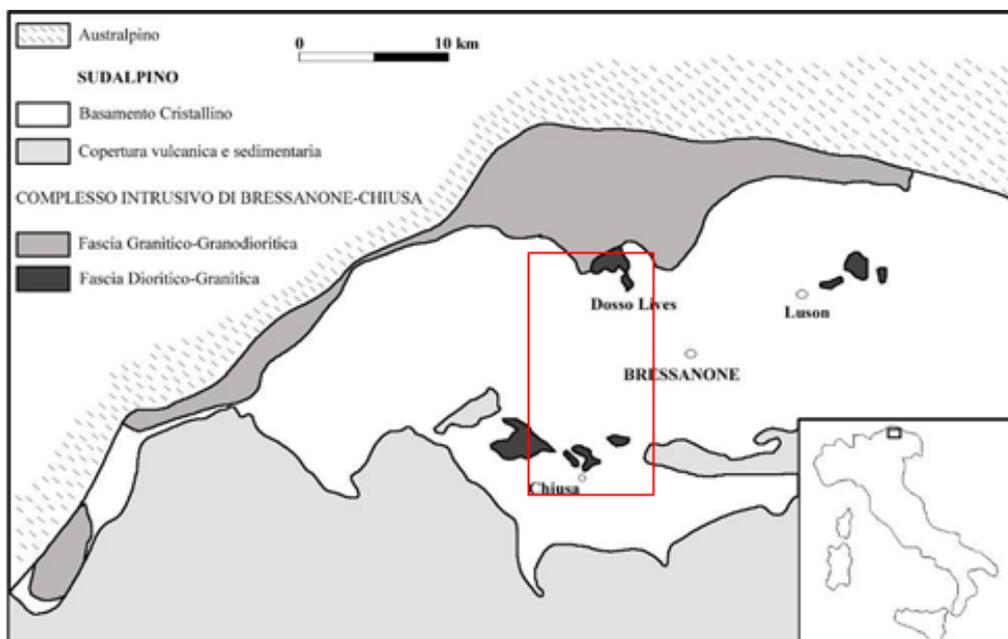


Fig. 4 - Schema geologico semplificato dell'area indagata (da Bargossi et alii, 1998).

Il substrato roccioso è spesso coperto da depositi superficiali attribuibili al Pleistocene superiore - Olocene, con predominanza di quelli di origine glaciale, riferibili all'ultimo evento glaciale culminato nel Last Glacial Maximum (LGM), alle successive fasi di ritiro e a dinamiche recenti (Piccola Età Glaciale).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 24 di 128

Diffusi, ma con maggiore concentrazione sul tratto inferiore dei versanti, risultano i depositi riferibili alla dinamica di versante ed a processi di trasporto in massa. Il fondovalle del fiume Isarco presenta, nella parte settentrionale dell'area indagata (Bacino di Bressanone), i caratteri peculiari di una pianura intravalliva a sedimentazione prevalentemente alluvionale, con alcuni apporti dalle valli affluenti, talora con evidente presenza dei depositi di debris-flow (conoidi di origine mista) e limitati settori a sedimentazione di tipo palustre (Lago di Varna). Si riconoscono inoltre evidenti conoidi alluvionali, nei tratti bassi della Val Scaleres e della Val di Funes.

Ai fini del presente studio ci si è dedicati unicamente a quelle aree per le quali è prevedibile un potenziale impatto da vibrazioni, e dunque ci si è limitati ad analizzare i tratti della linea per i quali sono presenti potenziali ricettori entro una distanza di 50 m dal tracciato ferroviario e nei tratti in galleria sino a dove è presente una copertura di 70m.

La descrizione stratigrafica del suolo ai fini di uno studio di impatto da vibrazioni deve necessariamente ricondursi ad una classificazione delle tipologie di suolo estremamente più sintetica rispetto alle definizioni derivanti dallo studio geognostico utile ai fini della progettazione strutturale delle opere.

In particolare, l'interesse del presente studio è nella rilevazione di tre grandi categorie di suolo, per le quali si rileva un comportamento propagativo differente con parametri individuati dalla letteratura.

In base alla classificazione di Ungar e Bender le stratigrafie del terreno possono essere associate con le seguenti proprietà utili ai fini del presente studio.

Tipologia suolo	Velocità di propagazione delle onde longitudinali [m/s]	Fattore di smorzamento	Densità [kg/m ³]
Roccia	3500	0,01	2650
Sabbia, limo, ghiaia, loess	600	0,1	1600
Argilla, suolo argilloso	1500	0,1 – 0,2	1700

La classificazione ai fini vibrazionali è indicata nella seguente tabella.

Simbologia stratigrafica	Descrizione	Velocità di propagazione delle onde longitudinali [m/s]	Fattore di smorzamento	Densità [kg/m ²]
Aa	Terreno prevalentemente sabbioso, con eventuale presenza di limo, ghiaia, loess	600	0,1	1600
FMA	Roccia	3500	0,01	2650
FR	"	"	"	"

4.1 GEOLOGIA E CONFRONTO FRA I SITI DI INDAGINE

In sede di PD le indagini sono state eseguite nell'area della Stazione di Ponte Gardena. In particolare, è stata eseguita una sezione di misura presso un edificio a destinazione d'uso scolastica alla pk 171+880 circa

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	25 di 128

(Sezione 1) e la seconda nell'area di parcheggio in prossimità della stazione di Ponte Gardena alla pk 172+340 (Sezione 2). In quest'ultimo caso, non essendo presenti edifici sufficientemente vicini al tracciato ferroviario i rilievi sono stati svolti in corrispondenza delle aiuole presenti nell'ambito del parcheggio oltre che nelle immediate vicinanze del binario.

Queste misure hanno permesso di stimare con adeguata approssimazione le modalità di propagazione delle vibrazioni con una validazione sperimentale attraverso la funzione di trasferimento.

In sede di PE è stata valutata la possibilità di eseguire ulteriori misure nella stazione di Ponte Gardena, dopo una verifica dei siti si è giunti alla conclusione che queste eventuali ulteriori misure non si sarebbero potute eseguire in zone sostanzialmente diverse rispetto a quelle già realizzate e in ogni caso non avrebbero fornito elementi aggiuntivi rispetto a quelli già acquisiti nella precedente indagine. Le misure eseguite sono quindi state considerate valide ed esaustive per una adeguata analisi delle problematiche di studio.

Per quanto riguarda l'altra zona in cui il tracciato si sviluppa all'esterno (zona del nuovo ponte sull'Isarco) rimangono valide le considerazioni che hanno portato gli estensori dello studio del PD a non eseguire misure specifiche in questo sito.

Infatti, nella zona di Ponte Gardena le condizioni attuali della linea ferroviaria sono del tutto analoghe a quelle di progetto (a parte i diversi convogli ferroviari che saranno in esercizio), quindi i risultati delle misure eseguite possono essere rappresentativi, con una certa approssimazione, degli effetti vibratorii che potranno verificarsi nelle condizioni future.

Nella zona del nuovo Ponte sull'Isarco il progetto prevede un breve tratto all'esterno che si sviluppa di fatto solo in viadotto; quindi, le misure che potrebbero essere eseguite in adiacenza alla linea ferroviaria esistente potrebbero fornire informazioni solo circa la risposta dei terreni rispetto ad una sorgente che però sarà molto diversa rispetto a quella attuale (la linea ferroviaria si sviluppa su terreno ai margini dell'area di fondovalle). Si tratterebbe quindi di misure che potrebbero fornire informazioni solo sul comportamento del terreno e quindi sulla valutazione della funzione di trasferimento.

Infatti, tra i vari elementi che condizionano la funzione di trasferimento, oltre alla tipologia di sorgente e alle fondazioni e tipologie delle strutture che rappresentano il ricettore, le caratteristiche dei terreni che costituiscono il sottosuolo hanno una importanza significativa per la ricostruzione del fenomeno fisico.

Si è proceduto quindi ad una analisi geologica per verificare se le misure già eseguite nel sito di Ponte Gardena potessero essere rappresentative anche del sito del ponte sull'Isarco.

Le stazioni di misura di Ponte Gardena sono ubicate nell'area di fondovalle del Fiume Isarco.

In questa area sono disponibili i risultati di alcuni sondaggi che possono rappresentare in maniera esaustiva le caratteristiche dei depositi alluvionali che costituiscono il riempimento dell'antica incisione fluviale. In particolare, sono stati esaminati i sondaggi E028 e C26.

Questi sondaggi hanno indicato la presenza, almeno nei primi 10 m, di depositi alluvionali a grana grossa come indicato dalle foto seguenti.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	26 di 128



Foto delle cassette dei sondaggi E028 e C26 nella zona di Ponte Gardena

Per la zona del nuovo ponte sull'Isarco, ubicato anch'esso nel fondovalle dell'Isarco, sono stati esaminati i dati delle indagini eseguite in questo sito e tra queste in particolare i sondaggi E14, C22, C7 ubicati nella zona di fondovalle, quindi in totale analogia con quelli della zona di Ponte Gardena.



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 27 di 128

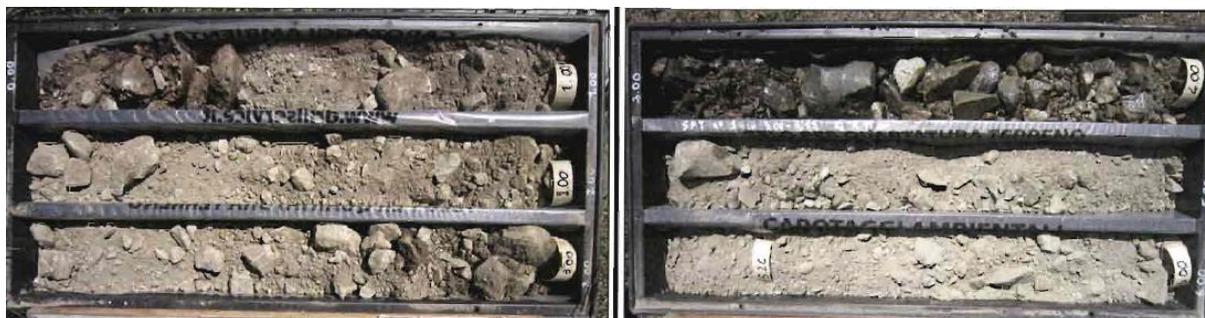


Foto delle cassette dei sondaggi E014, C22, C7 nella zona del Ponte Isarco di progetto

Dal confronto di questi sondaggi si può ricavare una analogia sostanziale in termini di granulometria, assortimento e dimensioni degli elementi lapidei, con una variabilità tipica dei depositi alluvionali.

Questa analisi porta a concludere che i risultati delle misure di vibrazione eseguite nella zona di Ponte Gardena possono essere utilizzate correttamente anche per le analisi da svolgere per la zona del nuovo ponte sull'Isarco.

Inoltre, dall'analisi di questi sondaggi si riscontra una sostanziale omogeneità dei terreni alluvionali di entrambe le zone, almeno nell'ambito dei primi 10 m, che interessano maggiormente le tematiche delle vibrazioni indotte in superficie.

Pur evidenziando una certa variabilità intrinseca dei depositi alluvionali, è evidente dalle foto delle cassette come questi depositi rientrano nel campo dei terreni grossolani, con forte prevalenza di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa. La variabilità è legata alla più o meno abbondanza della frazione sabbiosa che localmente diventa prevalente, ma sempre con una forte componente ghiaiosa. Mancano invece i presupposti per ritenere che, almeno per una fascia di 20-30 m a cavallo della linea ferroviaria, possano incontrarsi forti differenze di litologia (ad esempio passaggio ad ammassi rocciosi o, sul verso opposto, passaggi da ghiaie a depositi alluvionali argillosi).

Su queste basi si può ritenere che il grado di incertezza che accompagna la stima della funzione di trasferimento (in termini di variabilità laterale) sia basso.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 28 di 128

5. STUDIO DELL'IMPATTO DA VIBRAZIONI

I treni che si muovono su un percorso ferrato eccitano i binari e il relativo sottofondo su cui essi poggiano. Le vibrazioni così generate si propagano nel terreno circostante, sia terreno o roccia, sotto forma di vibrazioni per via solida. Le modalità di propagazione dipendono dalla composizione del terreno, che può molto influenzare l'ampiezza e la stessa velocità di propagazione.

Quando le vibrazioni incontrano un edificio possono essere percepite sia sotto forma di vibrazioni (vibrazioni trasmesse al corpo) sia sotto forma di rumore re-irradiato (di bassa frequenza). Le vibrazioni possono anche provocare danni strutturali o causare disturbo a macchine sensibili alle vibrazioni. Si è soliti considerare il problema dell'impatto da vibrazioni attraverso una analisi in tre fasi:

- caratterizzazione della sorgente di vibrazioni;
- caratterizzazione del percorso di propagazione;
- caratterizzazione dei potenziali ricettori.

La vibrazione prodotta dai veicoli ferroviari attraverso la rotaia e la traversina su cui poggia raggiunge la struttura di appoggio sottostante, che può essere costituita da ballast (pietrisco di granulometria definita) o da strutture più o meno complesse in grado di attenuare le vibrazioni (dove si ritiene necessario allo scopo di ridurre l'impatto verso ricettori sensibili).

La vibrazione si propaga dalla struttura di supporto delle rotaie e raggiunge le pareti del tunnel; da qui si propaga attraverso il terreno sotto forma di onde elastiche. Benché intercorra solo una piccola distanza, le onde che raggiungono le pareti del tunnel sono già state attenuate in modo consistente.

Le proprietà del suolo fanno sì che le pareti del tunnel possano vibrare in modo sensibilmente diverso: svariati autori (Ungar and Bender, 1975 and Kurzweil, 1979, NGI, 2004) hanno dimostrato che le vibrazioni di un tunnel scavato nella roccia sono inferiori di circa 5 dB (alle basse frequenze) e 12 dB (alle frequenze dell'udibile) alle vibrazioni di un tunnel scavato nella terra.

Uno studio norvegese ha inoltre dimostrato come le frequenze superiori a 160 Hz sono generalmente dovute al rumore prodotto dal passaggio del treno e non invece dalle vibrazioni della rotaia.

Le vibrazioni che si propagano all'esterno del tunnel nel suolo circostante assumono la forma di onde elastiche, che si propagano come onde di volume e come onde di superficie.

Le onde di volume (body waves, che si propagano in uno spazio) sono costituite da onde longitudinali (onde di tipo P), che si propagano nella direzione parallela alla direzione di propagazione della vibrazione e da onde trasversali (o di taglio) (shear waves, o onde di tipo S), le quali si propagano in direzione perpendicolare alla direzione di propagazione.

Ungar and Bender (1975) dimostrarono come vi sia uno scarso accoppiamento modale (e dunque una elevata perdita di energia vibrazionale) fra il tunnel e il terreno circostante per le onde di tipo trasversale (shear waves), e dunque queste onde possono essere trascurate nella propagazione delle vibrazioni di un tunnel ferroviario.

Le onde di superficie (onde di Rayleigh, che si propagano appunto lungo una superficie) si dividono in onde orizzontali (onde di tipo R, o onde di Rayleigh) e onde verticali (onde di tipo L, o onde di Love). Queste onde

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	29 di 128

hanno una propagazione di tipo ellittico che si sviluppa in un piano verticale attraverso la direzione di propagazione della vibrazione.

Anche la parete del tunnel, la superficie del terreno e le fondazioni degli edifici costituiscono delle discontinuità che complicano il modello di propagazione ideale, che dunque diventa assai complesso.

Durante la propagazione dalla sorgente al ricevitore le onde vibratorie possono essere attenuate o amplificate secondo le modalità illustrate nel seguito.

La modellazione del comportamento del terreno sotto l'azione dinamica di una sorgente di vibrazioni 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/ricevitore 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 dB¹, per distanze da 15 a 30 metri dalla linea ferroviaria con velocità di esercizio sino a 100 km/h.

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.

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 ricevitore).

¹ 0 dB circa pari a 1µm/s²

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	30 di 128

Nel caso in oggetto la propagazione avviene quasi esclusivamente da sorgenti costituite da gallerie sotterranee (tunnel), e dunque le vibrazioni che si propagano nel suolo circostante assumono la forma di onde elastiche, che si propagano come onde di volume e come onde di superficie.

Le onde di volume (body waves, che si propagano in uno spazio) sono costituite da onde longitudinali (onde di tipo P), che si propagano nella direzione parallela alla direzione di propagazione della vibrazione, e da onde trasversali (o di taglio) (shear waves, o onde di tipo S), che si propagano in direzione perpendicolare alla direzione di propagazione.

Ungar and Bender (1975) dimostrarono come vi sia uno scarso accoppiamento modale (e dunque una elevata perdita di energia vibrazionale) fra il tunnel e il terreno circostante per le onde di tipo trasversale (shear waves), e dunque queste onde possono essere trascurate nella propagazione delle vibrazioni di un tunnel ferroviario.

Le onde di superficie (onde di Rayleigh, che si propagano appunto lungo una superficie) si dividono in onde orizzontali (onde di tipo R, o onde di Rayleigh) e onde verticali (onde di tipo L, o onde di Love). Queste onde hanno una propagazione di tipo ellittico che si sviluppa in un piano verticale attraverso la direzione di propagazione della vibrazione.

La propagazione di tutte queste tipologie di onde si può descrivere matematicamente in modo piuttosto agevole in un mezzo elastico omogeneo e continuo, infinitamente esteso. Tuttavia, nella realtà la propagazione delle vibrazioni diventa estremamente complessa in quanto il terreno contiene discontinuità di vario genere e non è mai omogeneo.

Anche la parete del tunnel, la superficie del terreno e le fondazioni degli edifici costituiscono delle discontinuità che complicano il modello di propagazione ideale, che dunque diventa assai complesso e tale da richiedere un approccio matematico estremamente arduo.

In generale gli aspetti che intervengono nel condizionare l'importanza del disturbo vibrazionale negli edifici si possono 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.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	31 di 128

5.1 CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE DI VIBRAZIONI

5.1.1 Interazione ruota-rotaia

La sorgente di vibrazioni ferroviaria consiste nel movimento del treno lungo le rotaie e dalle conseguenti forze che nascono nell'interazione fra ruota, rotaia e struttura di appoggio della rotaia. I treni, in fase di riposo, esercitano una forza statica data dal peso trasmesso dalle ruote alle rotaie e distribuito dalla rotaia stessa, dalle traversine, dal supporto (ballast) e dal terreno: si tratta del carico statico.

Quando il treno si mette in movimento questa forza si sposta insieme al treno stesso, ma a causa delle imperfezioni e irregolarità superficiali di ruota, rotaia nonché delle variazioni nel tipo di supporto della rotaia il carico statico eserciterà una forza dinamica, che si trasforma in vibrazioni generate nel punto di contatto ruota-rotaia e trasmesse nel terreno circostante.

I parametri che influenzano il livello e le caratteristiche delle vibrazioni indotte dal passaggio del treno sono:

Vibrazioni indotte dalla risposta della struttura del binario:

- Carico statico assiale (peso del treno e spaziatura interassiale),
- Geometria e composizione del treno (tipo, lunghezza...),
- Velocità del treno,

Interfaccia ruota-rotaia:

- Imperfezioni della ruota (eccentricità, sbilanciamento, zone piatte, asperità),
- Andatura instabile dei veicoli ferroviari;
- Accelerazione e decelerazione del treno,

Imperfezioni della rotaia:

- Qualità della rotaia (corrugamenti, corrosione, asperità, giunti...),
- Curve e chicanes (forze centrifughe)

Variazioni nella struttura di supporto

- Geometria e rigidità della struttura di supporto (traversine, ballast e terreno),
- Presenza di ghiaccio.

Un aumento del carico assiale aumenta ovviamente il carico dinamico generato dal passaggio del treno. Il raddoppio del carico assiale può aumentare i livelli di vibrazione da 2 a 4 dB (Kurzweil, 1979). La composizione dei treni ha inoltre un impatto notevole sulla generazione di vibrazioni, così come la velocità stessa del treno può portare a notevoli incrementi di vibrazione: secondo Kurzweil (1979) un raddoppio della velocità può comportare un aumento di vibrazione da 4 a 6 dB.

Le imperfezioni superficiali della rotaia e della ruota sono la causa principale delle vibrazioni: le tipiche irregolarità superficiali delle ruote sono zone lisce (piatte) dovute alla frenatura. Le irregolarità della rotaia possono essere costituite da giunti fra spezzoni di rotaia (rotaie non saldate), corrugamenti, asperità o altro ancora. Secondo Kurzweil questi difetti possono aumentare i livelli di vibrazione da 10 a 20 dB. Altre cause di vibrazione sono le curve, accelerazioni/decelerazioni del treno, guida instabile dei veicoli.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 32 di 128

Le variazioni nella struttura di supporto delle rotaie dipendono dalla geometria, rigidità e spaziatura fra le traversine. una traversina può perdere il contatto con il ballast sottostante, oppure si può verificare che una traversina sia supportata dal ballast meglio di quelle circostanti: in questo caso essa genererà una maggiore resistenza al passaggio del treno.

E' piuttosto comune individuare un picco corrispondente alla frequenza della spaziatura delle traversine e in funzione della velocità del treno.

Anche la rigidità e l'eterogeneità del ballast possono influenzare le forze generate dal transito del treno.

Come descritto sopra, il carico generato dai treni è dovuto ad un carico statico, dovuto al peso del treno, e ad un carico dinamico, generato dalle imperfezioni della rotaia, ruote, struttura di appoggio. I carichi dinamici variano il carico (e quindi la forza) complessiva trasmessa nella misura percentuale relativa al carico statico descritta nella seguente tabella.

Tipo di carico	Carico	Contributo
Statico	Peso del treno	100%
Dinamico	Contributo quasi-statico nelle curve	10 – 40%
	Contributo dovuto ad asperità delle rotaie	50 – 300%
	Contributo dovuto ad asperità delle ruote	50 – 300%
	Contributo dovuto ad accelerazioni e frenature	5 – 20 %

Il tipico spettro di frequenza generato dal transito di treni in gallerie è compreso fra 4 Hz e alcune centinaia di Hz. Vi possono essere picchi di frequenza compresi fra 80 e 100 dB.

5.1.2 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:

$$L = L_0 + 10 \div 20 \cdot \log\left(\frac{V}{V_0}\right)$$

dove:

- L e L_0 : sono i livelli di vibrazioni in decibel
- V e V_0 : sono le rispettive velocità di transito dei treni

Dalla relazione sopra riportata si evince che al raddoppiare della velocità di transito si produce un incremento di 6 dB nei livelli di vibrazione e ciò in maniera indipendente dalla frequenza.

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 33 di 128

5.2 LA PROPAGAZIONE DEL FENOMENO VIBRATORIO NEL TERRENO

La realizzazione dei rilievi di vibrazioni ha consentito una conoscenza di tipo puntuale dello stato attuale delle vibrazioni su una tratta analoga a quella in progetto. Avendo tuttavia la necessità di estendere tale conoscenza a molteplici ricettori è necessario ricorrere all'uso di opportuni modelli previsionali di tipo teorico e/o empirico. Esistono in letteratura numerosi modelli che permettono il calcolo della propagazione delle vibrazioni ferroviarie, modelli che vanno da equazioni di tipo empirico a modelli BEM/FEM. Nel caso in oggetto si è ritenuto opportuno rifarsi ad alcuni modelli di validità generale, confrontando i risultati di due diversi approcci e utilizzando il risultato maggiormente cautelativo.

5.2.1 Metodo di Kim e Lee

Kim e Lee hanno proposto di combinare l'attenuazione geometrica e dissipativa con la seguente relazione per materiali omogenei (valido per tutti i tipi di onde P, S ed R):

$$a(d, f) = a_0(d_0, f) \cdot \frac{r_0}{r} \cdot e^{-2\pi f \left(\frac{\eta}{c}\right)(r-r_0)}$$

dove a è l'accelerazione alla distanza r dalla sorgente, a_0 è l'ampiezza alla distanza r_0 dalla sorgente, f la frequenza, η il coefficiente di smorzamento, c la velocità di propagazione delle onde. Il fattore di smorzamento, η può essere desunto da dati di letteratura, mentre il coefficiente n dipende dal tipo di sorgente di vibrazioni e dal tipo di onda.

Localizzazione della sorgente	Tipologia di sorgente	Tipo di onda indotta nel terreno	coefficiente n
Superficie	Puntiforme	Onda di volume	2
		Onda superficiale	0,5
	Lineare	Onda di volume	1
		Onda superficiale	0
Sotterranea	Puntiforme	Onda di volume	1
	Lineare	Onda di volume	0,5

Le sorgenti di vibrazione sono state caratterizzate attraverso i rilievi sperimentali descritti in precedenza. In particolare, sono stati eseguiti rilievi in un sito di interesse che presenta caratteristiche analoghe a quello in progetto (presenza di armamento con ballast, stessa tipologia di terreno), grazie ai quali è stato ricavato lo spettro di riferimento per il calcolo della propagazione vibratoria.

Il coefficiente n , in questo caso, è stato scelto pari a 1 (valido per onde di volume nel caso di sorgente puntiforme). La sorgente viene ipotizzata puntiforme in quanto tale criterio è maggiormente cautelativo.

Per tenere conto della velocità di transito dei veicoli si apporta al livello globale calcolato con la metodologia sopra esposta la correzione $\Delta L = 20 \log(v/v_{rif})$, dove $v_{rif} = 40$ km/h.

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 34 di 128

5.2.2 Metodo Pezzoli

P. Pezzoli ha proposto di combinare l'attenuazione geometrica e dissipativa con la seguente relazione, che combina le onde di corpo, superficie e taglio 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 trazione per una percentuale di circa il 7%.

Per le linee in galleria si distinguono due casi:

- Linee in galleria profonda dove generalmente prevalgono invece le onde di compressione e di taglio.
- 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;
- β_c , β_t , β_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;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	35 di 128

- $\alpha_c, \alpha_t, \alpha_s$ 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].

5.2.3 Incertezza di calcolo

E' noto come la valutazione previsionale delle vibrazioni a cui è soggetto un edificio in prossimità di infrastrutture dei trasporti sia estremamente difficoltosa a causa delle numerose variabili del calcolo. In letteratura si stima che la previsione di un modello di simulazione, pur conoscendo molti parametri, può avvenire con un livello di incertezza che può variare da 2 dB a 10 dB in funzione dell'accuratezza dell'informazione dei parametri disponibili e presi a riferimento.

Allo scopo di contenere l'incertezza sulla stima sono state fatte le seguenti considerazioni, che conducono tutte ad una stima cautelativa dei livelli di vibrazione:

- I livelli di vibrazione sono stati tarati su base sperimentale con una incertezza inferiore a 5 dB.
- I dati di input delle sorgenti vibratorie sono stati considerati con riferimento alla massima emissione vibratoria, ottenendo così il valore massimo anche presso i ricettori.
- Per valutare in modo cautelativo le vibrazioni immesse nell'edificio si è trascurata la perdita per trasmissione all'interno dell'edificio, utilizzando dunque il valore di vibrazione senza perdite.
- La valutazione dei livelli di vibrazione viene fornita in termini di distanza dall'asse ferroviario con approssimazione al metro superiore.

Ne consegue che la valutazione del superamento, pur avendo una incertezza intrinseca che può variare da 2 dB a 10 dB, dovuta alla difficoltà di modellizzazione del complesso fenomeno fisico che si vuole rappresentare, risulta sicuramente cautelativa.

In relazione all'analisi dei dati di indagine disponibili, alla valutazione della struttura del terreno derivante dai sondaggi eseguito per questo modello sarà considerata una incertezza pari a 2 dB.

Per la valutazione della conformità sarà adottato il sistema, secondo la UNI TS/11326-2:2015, di valutazione A) ossia, accettazione ristretta + rifiuto allargato. Si considerano pertanto "entro il limite" solo i livelli che risultano certamente conformi, ovvero quei valori che confrontati con il limite ridotto dell'incertezza, risultano entro i valori limite ossia sarà determinata la distanza entro la quale si individuano possibili fasce di superamento del limite.

5.3 CARATTERIZZAZIONE DEGLI EDIFICI

Quando le vibrazioni nel terreno raggiungono un edificio esse si propagano attraverso le sue fondazioni e successivamente alle altre parti dell'edificio (pareti, pavimenti, soffitti), trasferendo ad esse l'energia vibratoria.

Tali vibrazioni possono essere percepite come vibrazioni trasmesse al corpo delle persone o come rumore re-irradiato di bassa frequenza.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	36 di 128

Le vibrazioni possono a loro volta mettere in movimento alcune parti o oggetti delle abitazioni (mobili, vetri, suppellettili) e questi possono generare rumore o causare danni a strumenti sensibili.

In alcuni casi le vibrazioni particolarmente elevate e ripetute nel tempo possono procurare un danno strutturale agli edifici, ma ben raramente questi effetti si verificano con infrastrutture dei trasporti.

5.3.1 Risposta degli edifici alle vibrazioni

Le vibrazioni trasmesse agli edifici possono provocare danni alle strutture edilizie in diverse forme.

Le vibrazioni dovute a strutture ferroviarie possono causare danni sotto forma di deformazione, vibrazione risonante o cedimenti.

Se l'infrastruttura è particolarmente vicina all'edificio si può verificare una deformazione strutturale dovuta all'onda vibratoria che si propaga sulla superficie del terreno.

Se le vibrazioni indotte hanno una concentrazione a frequenze prossime a quelle di risonanza naturale dell'edificio o di suoi elementi si verifica una risonanza strutturale.

Per alcuni tipi di terreno le vibrazioni possono inoltre provocare o accelerare rilassamenti strutturali o cedimenti dell'edificio.

Leventhall (1987) ha classificato i danni strutturali in tre categorie:

- Piccoli danni (danni architettonici) – crepe di pochi millimetri di larghezza negli intonaci, distacchi di intonaci. Sono sufficienti interventi di tipo "cosmetico".
- Danni importanti – crepe in pareti e travi. Possono arrivare a 10 mm di ampiezza. Distacchi di intonaci dai soffitti ecc. Richiedono seri interventi di riparazione.
- Danni molto rilevanti – crepe fino a 25 mm di ampiezza. Possono compromettere la stabilità dell'edificio. Richiedono interventi molto importanti per mantenere l'agibilità dell'edificio.

Le cause più normali di danni strutturali agli edifici sono dovute ad effetti termici, infiltrazioni di umidità, cedimenti del terreno, gelate del terreno, restringimenti ed espansioni del terreno, effetti chimici, presenza di alberi di alto fusto.

Anche piccole trasformazioni operate in edifici antichi o vetusti possono inoltre comportare danni.

In edifici recenti si possono invece generare danni per effetto di modifiche non progettate o difetti strutturali.

Pertanto, risulta solitamente improbabile che la causa dei danni siano le vibrazioni ferroviarie; molto più probabile è la concomitanza di più cause, come ad esempio l'alterazione del livello della falda: in questo caso le vibrazioni possono accelerare un processo già in corso.

Il danno potenziale agli edifici dipende dall'età dell'edificio, dalle sue dimensioni, dalle risonanze strutturali, dal tipo di costruzione.

Benché la norma UNI 9916 riporti alcuni valori significativi, molte ricerche dimostrano come il limite di sicurezza per gli edifici sia dell'ordine di 50 mm/s, mentre la soglia per il danno architettonico è di 5 mm/s e per gli edifici storici si riduce a 2 mm/s.

Le vibrazioni che possono causare danno strutturale o cosmetico agli edifici sono generalmente molto più elevate di quelle che vengono considerate accettabili per il disturbo alle persone.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	37 di 128

Ciononostante, spesso si verifica che le persone possano attribuire alle vibrazioni delle infrastrutture il motivo di danni "cosmetici" (piccole crepe, distacco di intonaci), mentre invece le cause sono da ricercarsi in altri problemi.

Inoltre, molte persone tendono ad associare il rumore re-irradiato alle vibrazioni e questo induce a preoccupazione e stati di ansia generati dalle vibrazioni.

Infine, spesso ci si concentra sui danni strutturali o cosmetici agli edifici perché questi danni sono molto più riconoscibili rispetto a quelli legati al disturbo.

5.3.2 La propagazione delle vibrazioni negli edifici

Il modello semplificato di propagazione illustrato in precedenza si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, supposto omogeneo ed isotropo (perlomeno all'interno di ogni strato). In presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione di vario genere, accade che i livelli di accelerazione riscontrabili all'interno degli edifici stessi possono presentare sia attenuazioni, sia amplificazioni rispetto ai livelli sul terreno.

In particolare, diversi sistemi di fondazione producono una attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante; tale aspetto è legato al fatto che l'interfaccia terreno-struttura non è perfettamente solidale, e pertanto genera fenomeni dissipativi. Detto fenomeno è condizionato dalla tipologia delle fondazioni (a platea, su plinti isolati, su travi rovesce, su pali, etc.). Nel caso di fondazioni a platea la grande area di contatto con il terreno determina una perdita di accoppiamento praticamente di 0 dB alle basse frequenze, sino alla frequenza di risonanza della fondazione.

Per le altre tipologie di fondazioni possono essere utilizzate curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione della fondazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

Va inoltre preso in esame il fenomeno della risonanza strutturale di elementi dei fabbricati, in particolare dei solai: allorché la frequenza di eccitazione coincide con la frequenza naturale di oscillazione libera della struttura, la stessa manifesta un rilevante aumento dei livelli di vibrazione rispetto a quelli presenti alla base della stessa.

La propagazione delle vibrazioni dalle fondazioni di un edificio all'ambiente ricevente all'interno dell'edificio è un problema estremamente complesso, che richiede peraltro la conoscenza esatta della struttura dell'edificio, e può dunque essere studiato solo in fase di progettazione di un nuovo edificio e richiede solitamente metodi numerici agli elementi finiti.

Nel presente studio ci si deve necessariamente basare su considerazioni molto meno dettagliate, che tuttavia hanno solide basi sperimentali ed esperienziali.

La propagazione delle vibrazioni attraverso un edificio e la radiazione sonora conseguente viene stimata utilizzando formulazioni empiriche o modelli teorici.

Le formulazioni più note si basano sugli studi di Kurzweil e Melke, e sono anche disponibili in testi quali "Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control".

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 38 di 128

L'approccio consiste nel trattare la vibrazione proveniente dal terreno con una serie di fattori correttivi dipendenti dalla particolare configurazione dell'edificio.

Fattore correttivo	Motivazione	Modalità di correzione
Accoppiamento terreno-fondazioni	Fattore correttivo che rappresenta la riduzione di vibrazione nell'interfaccia suolo-fondazioni.	I fattori correttivi da utilizzare consigliati dallo studio della Federal Transit Administration sono riportati nei diagrammi seguenti. La correzione risulta nulla al piano delle fondazioni. Possono essere utilizzati valori misurati in luogo delle correzioni generiche.
Trasmissione attraverso l'edificio	L'ampiezza di vibrazione subisce una attenuazione propagandosi lungo l'edificio.	Il comportamento tipico assume che vi sia una attenuazione da 1 a 2 dB per ciascun piano.
Risonanze strutturali dei solai	L'ampiezza di vibrazione viene amplificata dalle risonanze strutturali di solai/soffitti.	Per strutture con telaio in legno la frequenza fondamentale di risonanza dei solai è solitamente nel range 15-20-Hz. Strutture in cemento armato hanno frequenze di risonanza nella gamma 20-30-Hz. L'amplificazione nel range di risonanza implica una amplificazione di almeno 6 dB.

5.3.3 Accoppiamento terreno – fondazioni edificio

La quantità di vibrazioni che si trasmette agli edifici dipende dall'accoppiamento fra il terreno e le fondazioni. Solitamente vi è un'attenuazione delle vibrazioni in questo passaggio.

Per fondazioni a platea, a contatto con il terreno sottostante e sottoposte dunque alle stesse vibrazioni non vi è solitamente alcuna attenuazione (0 dB) per le frequenze fino alla frequenza di risonanza della struttura della platea. (Remington et al., 1987).

L'accoppiamento per edifici con strutture leggere è anch'esso stimato essere pari a 0 dB da Kurzweil, 1979.

Per altri tipi di fondazioni (pali) l'accoppiamento varia fra 2 e 15 dB in funzione della frequenza e della fondazione (Remington, 1987; Kurzweil, 1979). Per edifici fondati direttamente su strati rocciosi l'accoppiamento è 0 (Kurzweil, 1979).

La riduzione delle vibrazioni fra terreno ed edificio è maggiore per oscillazioni verticali poiché l'edificio risulta strutturalmente più debole in senso orizzontale.

Nel presente lavoro i comportamenti strutturali verranno stimati sulla base dei seguenti diagrammi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 39 di 128

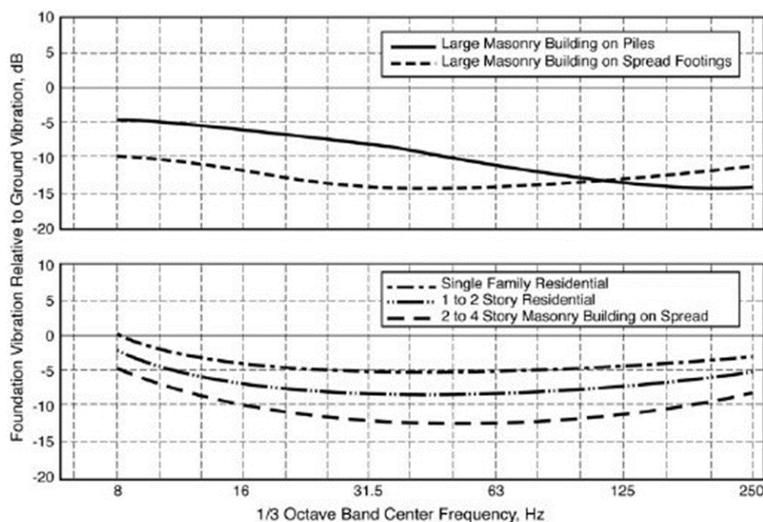


Fig. 5 - Risposta delle fondazioni per diverse tipologie di edifici, FTA (USA)

5.3.4 Trasmissione attraverso l'edificio

Passando da un piano a quello sovrastante si verifica una progressiva riduzione dei livelli di vibrazione trasmessi. La figura seguente mostra il campo di variabilità tipico di tale attenuazione interpiano.

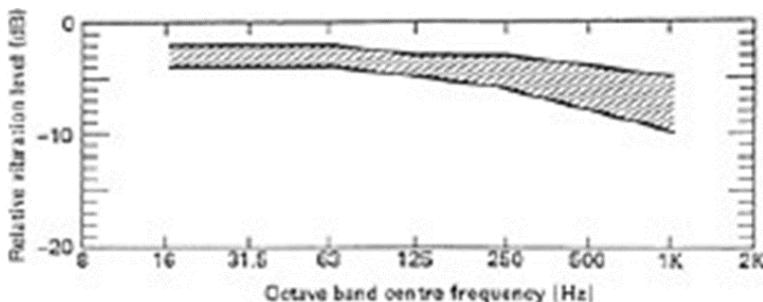


Fig. 6 - Attenuazione da un piano al successivo

Ungar and Bender (1975) proposero di valutare l'attenuazione delle vibrazioni attraverso l'edificio con la seguente relazione:

$$L_p = L_g - 3n \quad [\text{dB}]$$

dove L_g è la vibrazione alle fondazioni e n è il numero di piani dell'edificio (o meglio il numero di piani interposti fra le fondazioni e il piano per il quale interessa calcolare la vibrazione). Dunque viene calcolata una riduzione di 3 dB per ogni piano.

5.3.5 Risonanze strutturali dei solai

Pareti, solai e soffitti di un edificio talvolta amplificano le vibrazioni. Edifici con strutture leggere in genere non amplificano particolarmente, anche se si possono verificare amplificazioni ai piani superiori (Kurzweil, 1979). L'amplificazione può variare tra un fattore 0.5 (riduzione) e 2 (amplificazione) nella gamma di

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 40 di 128

frequenza 25 - 30 Hz, anche se si sono osservate amplificazioni fino a un fattore 5 (Leventhall, 1987). Questo fenomeno è causato dal fatto che parti diverse di un edificio possono avere caratteristiche diverse di rigidità, massa e smorzamento, con conseguenti diverse frequenze naturali di oscillazione. Di seguito vengono indicate alcune frequenze naturali tipiche.

Elemento edilizio	Frequenza naturale [Hz]
Pali	5-50
Pavimenti e solette	10-30
Finestre	10-100
Soffitti intonacati	10-20

Dawn and Stanworth (1979) hanno dimostrato che vi possono essere notevoli differenze nei livelli di vibrazione e nelle frequenze fra due pavimenti di un edificio. In genere, l'amplificazione è nella gamma 5 – 15 dB per le frequenze 16 – 80 Hz (Remington, 1987). È comune che pavimento amplifichi nella gamma 10 – 30 Hz poiché a quelle frequenze le risonanze della struttura coincidono con i picchi di vibrazione prodotti dal transito del treno.

Nella figura successiva viene evidenziato il possibile campo di amplificazione delle vibrazioni dovuto alla risonanza dei solai, che, come si, nota oscilla fra 5 e 12 dB nel campo di frequenze rilevanti dal punto di vista ferroviario.

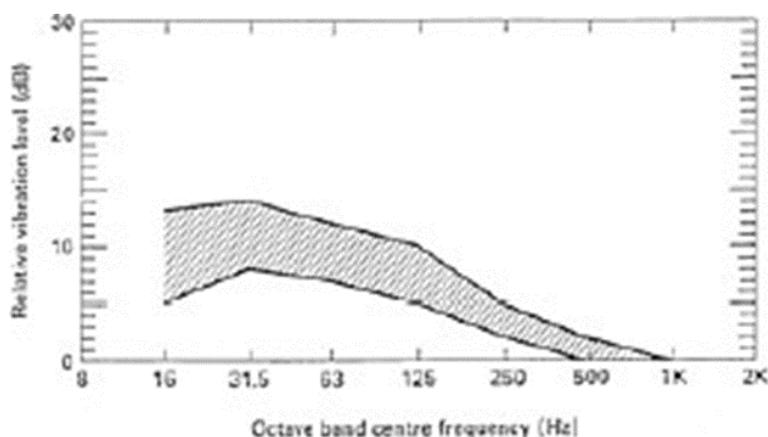


Fig. 7 - Amplificazione prodotta dai solai

E' ovvio quindi come l'effetto complessivo di questi fenomeni possa in generale portare ad una variazione dei livelli di vibrazione, misurati al centro dei solai, da 0 a +12dB rispetto ai livelli sul terreno.

5.3.6 Individuazione delle vibrazioni trasmesse a ciascun edificio e stima della risposta

Una stima dell'effetto locale di riduzione/amplificazione di ciascun edificio è possibile parametrizzando gli effetti combinati sopra descritti secondo il seguente schema.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 41 di 128

In base alle caratteristiche delle fondazioni dell'edificio si definisce un fattore di attenuazione per le fondazioni secondo il seguente schema.

Tipologia fondazioni	Tipologia edificio	Fattore correttivo [dB]
Fondazioni a platea	Villetta monofamiliare	curva 1
	Palazzina 1-2 piani	curva 2
	Palazzina 2-4 piani	curva 3
	Edificio di grandi dimensioni (industriale, commerciale, palazzo multipiano)	curva 4
Fondazioni su pali	Edificio di grandi dimensioni (industriale, commerciale, palazzo multipiano)	curva 5

La correzione in frequenza è desunta dal seguente diagramma.

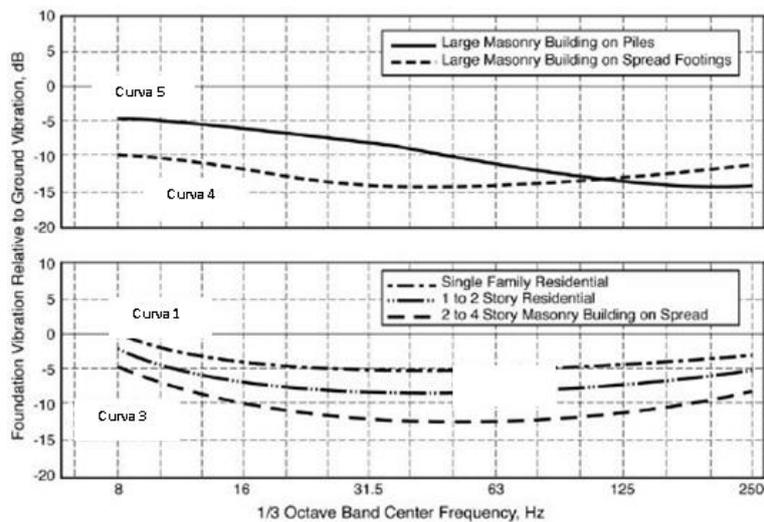


Fig. 8 - Fattori correttivi dovuti alla tipologia di fondazione

Infine, in base alle caratteristiche della struttura si definisce un fattore di amplificazione per i solai. Nella figura successiva viene evidenziato il possibile campo di amplificazione delle vibrazioni dovuto alla risonanza dei solai, che, come si nota oscilla fra 5 e 12 dB nel campo di frequenze rilevanti dal punto di vista ferroviario. Si è considerata la massima amplificazione possibile, dedotta dall'estremo superiore del campo di variabilità proposto dalle curve.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 42 di 128

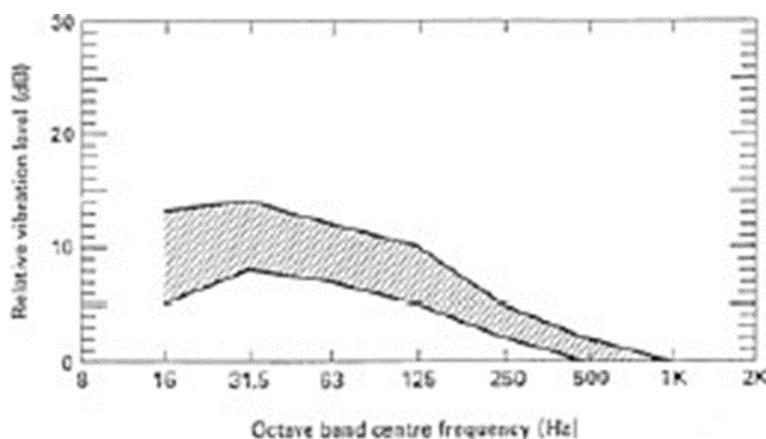


Fig. 9 - Amplificazione prodotta dai solai

5.3.7 La stima del rumore re-irradiato

Per stimare il livello di pressione sonora in un ambiente a partire da livello di vibrazione L_a Kurzweil (1979) propone la seguente relazione:

$$L_{p(\text{room})} = L_{a(\text{room})} - 20 \log(f) + 37$$

dove f è la frequenza centrale della banda di ottava considerate e L_a il livello di accelerazione sulle pareti della stanza.

Il più recente documento della Federal Transit Administration - USA propone la stima del livello di rumore re-irradiato a partire dalla vibrazione delle strutture L_v con la seguente relazione:

$$L_A = L_v + K_{A-wt}$$

dove L_v è il livello di vibrazione delle superfici della stanza (espresso con riferimento a 1×10^{-6} inch/sec, ossia $2,54 \times 10^{-8}$ m/s) e K_{A-wt} la ponderazione A definita dalla IEC 60651.

In questa relazione si trascura tuttavia sia il fattore di radiazione delle superfici, sia l'assorbimento interno degli ambienti.

Un approccio più dettagliato deve tenere conto del valore medio del coefficiente di efficienza di irradiazione acustico (σ) e del coefficiente di assorbimento acustico (α) che caratterizzano le superfici, della dimensione e forma della stanza e della distribuzione ed entità del campo di vibrazione sulle superfici vibranti.

Studi basati su considerazioni teoriche e soprattutto su rilievi in sito, hanno consentito di formulare la seguente relazione che lega i livelli di pressione sonora con i livelli di vibrazione presenti sulle superfici irraggianti:

$$L_p(f) = L_{v,rs}(f) - 10 \log\left[\frac{A}{4 S_{vib}}\right] + 10 \log(\sigma) = L_{v,rs}(f) - K_{rs}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale		IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	43 di 128

essendo:

$L_p = 20 \log(P/P_0)$	livello di pressione sonora in dB (dB _{re} 20 µPa)
$P_0 = 20 \mu\text{Pa}$	pressione acustica di riferimento
$L_{v,rs} = 20 \log(V/V_{0,rs})$ = 50 nm/s)	livello di vibrazione in termini di velocità per il rumore solido in dB (dB _{re} V _{0,rs})
$V_{0,rs} = 50 \times \text{nm/s}$	velocità di riferimento relativamente al rumore solido
f _j	frequenza per la componente j-esima
σ	coefficiente di efficienza di irradiazione
S _{vib}	superficie del locale interessata alle vibrazioni
$A = \sum \alpha_i \times S_i = \alpha_{\text{medio}} \times S$	assorbimento acustico totale delle superfici del locale
$S = \sum S_i$	superficie totale del locale
α _i	coefficiente di assorbimento acustico della parete i-esima
$\alpha_{\text{medio}} = A/S$	coefficiente di assorbimento acustico medio delle pareti

La costante acustica relativa al rumore solido è quindi un valore caratteristico del locale indagato:

$$K_{rs} = - 10 \log[(A)/(4 \times S_{vib})] + 10 \log(\sigma)$$

Attraverso la correlazione tra il livello di pressione sonora (L_p) e il livello di vibrazione in termini di velocità per il rumore solido (L_{v,rs}) è possibile una valutazione sperimentale della costante acustica relativa al rumore solido (K_{rs}).

Valori attesi di K_{rs} per una stanza abitata sono valutabili nel modo seguente:

σ = 0,8 - 1,2	coefficiente di efficienza di irradiazione
α _{medio} = 0,1 - 0,3	coefficiente di assorbimento acustico medio delle pareti
S _{vib} /S = 1/4 - 1/6	rapporto tra le superfici; in genere rapporto tra ½ soffitto più ½ pavimento e la superficie totale (soffitto più pavimento, più pareti).

In tale ipotesi il campo di variabilità di K_{rs} è relativamente ampio:

$$K_{rs} = 2 - 12 \text{ dB}$$

Le relazioni tra i livelli di rumore solido e i livelli vibrazionali sono pertanto date dalle:

$$L_p(f_j) = L_{v,rs}(f_j) + K_{rs}$$

$$L_p(f_j) = L_v(f_j) + K_{rs} - 34 \text{ dB}$$

$$L_p(f_j) = L_a(f_j) + K_{rs} - 20 \times \log(f) + 10 \text{ dB}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	44 di 128

essendo:

$L_v = 20 \log(V/V_o)$ livello di vibrazione in termini di velocità in dB (dBre $V_o = 1 \text{ nm/s}$)

$V_o = 1 \text{ nm/s}$ velocità di riferimento

$L_a = 20 \log(A/A_o)$ livello di vibrazione in termini di accelerazione in dB (dBre $A_o = 1 \mu\text{m/s}^2$)

$A_o = 1 \mu\text{m/s}^2$ accelerazione di riferimento

I coefficienti in decibel sopra esposti (-34 dB e +10 dB) sono determinati da:

$$20 \log[(V_o)/V_{o,rs}] \cong -34 \text{ dB}$$

$$20 \log[(V_o)/V_{o,rs}] + 20 \log[A_o/(2\pi \times V_o)] \cong -34 \text{ dB} + 44 \text{ dB} = 10 \text{ dB}$$

Nel caso del presente studio la relazione utilizzata è stata la seguente:

$$L_p(f) = L_a(f) + 6 - 20 \log(f) + 10\text{dB}$$

Dunque, è stato utilizzato un valore intermedio per il parametro K_{rs} (che può variare da 2 a 12 dB in funzione del tipo di ambiente), pari a 6 dB.

Per la determinazione del livello di accelerazione presente all'interno degli ambienti è stato utilizzato il livello medio previsto sul transito di un convoglio ferroviario. Il livello sonoro è stato calcolato utilizzando la gamma di frequenza 1 Hz – 1000 Hz.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 45 di 128

6. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA

L'esercizio di una linea ferroviaria è fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante. Le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi all'interazione del sistema veicolo/armamento/struttura di sostegno e dipendono da diversi fattori quali la tipologia di convoglio, le velocità di esercizio le caratteristiche dell'armamento, la tipologia di terreni e non ultimo le caratteristiche strutturali dei fabbricati.

Le vibrazioni sono in grado di determinare effetti indesiderati sulla popolazione esposta e sugli edifici. Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. Le vibrazioni possono causare danni agli edifici in alcune situazioni, o in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati e prolungati livelli di sollecitazione dinamica. 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.

Nel caso specifico il territorio interessato dal progetto è di tipo rurale, caratterizzato da un'alternanza di aree agricole/incolti, residenze sparse e strutture del produttivo industriale e artigianale. La tipologia edilizia è costituita per le residenze da fabbricati generalmente di 1, 2 o 3 piani in parte con struttura in muratura e in parte con struttura in c.a. I terreni affioranti interessati dal tracciato di progetto sono principalmente di tipo sciolto e presentano un comportamento abbastanza omogeneo in relazione al trasferimento di onde vibratorie.

Per quanto riguarda le sorgenti vibrazionali attualmente presenti si evidenzia l'attuale linea ferroviaria che si sviluppa parallelamente alla tratta ferroviaria in progetto.

6.1 MODELLO PREVISIONALE

Il quadro previsionale è stato sviluppato mediante l'adozione di un modello di propagazione teorico supportato da dati sperimentali. Nel caso specifico, a seguito di indagini specifiche del territorio in esame, sono stati utilizzati i dati desunti dai rilievi vibrazionali eseguite per valutare la catena di trasmissione delle vibrazioni.

Per valutare le potenziali situazioni di impatto vibrazionale è necessario conoscere i tre elementi di seguito elencati:

- emissione della sorgente;
- propagazione nei terreni;
- risposta dei fabbricati.

I tre elementi suddetti rappresentano pertanto la base indispensabile per lo sviluppo del modello sperimentale.

Il livello di vibrazione in corrispondenza di un ricettore ad una distanza "x" dalla sede ferroviaria è pari al livello alla distanza di riferimento "x0", diminuito della somma delle attenuazioni che si verificano nel terreno tra x0 e x:

$$L(x) = L(x_0) - \sum_i A_i$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	46 di 128

Il livello di base $L(x_0)$ è generalmente ricavato da misure sperimentali svolte in adiacenza alle linee ferroviarie a distanze comprese tra 5 m e 25 m.

6.2 CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE

Per quanto concerne la sorgente costituita dal complesso treno–armamento è indispensabile la conoscenza dei seguenti elementi base:

a) 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.

b) Armamento

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

I dati utilizzati per la caratterizzazione della sorgente si riferiscono ad una campagna di rilevamenti eseguita lungo l'attuale linea in esercizio in due sezioni di misura.

6.2.1 Sezione 1 - corpo ferroviario in galleria

Nella Sezione 1 la strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione del corpo ferroviario in galleria (tratto al coperto), lungo la via di propagazione, per complessivi quattro punti di misura. I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito.

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report Indagini Vibrazionali, doc. IB0U1BEZZRHIM0004001B si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni transitati.

Di seguito si riporta la tabella di sintesi, con indicati i valori medi delle accelerazioni dei livelli equivalenti espressi in decibel, relativa alle categorie di treni rilevati nel periodo di osservazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 47 di 128		

Tipologie di Treno	S1-P1			S1-P2			S1-P3			S1-P4			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	74,0	65,8	61,2	61,4	51,1	45,7	69,2	45,5	46,2	64,5	40,8	40,8	74
EC-EN	74,0	65,2	61,2	62,6	51,9	46,6	69,6	45,7	46,8	65,4	41,5	41,5	69
MERCI	74,9	67,0	62,0	62,7	52,7	47,3	70,1	45,9	46,9	65,6	42,3	42,3	77
TOTALE	79,1	70,8	66,3	67,0	56,7	51,4	74,4	50,5	51,4	70,0	46,3	46,3	/

Tabella 6-1 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

Di seguito si espongono i valori di accelerazione, suddivisi per tipologia di convoglio, rilevati nei tratti al coperto. Al fine della valutazione della propagazione delle vibrazioni nel terreno saranno impiegate le postazioni S1-P1 e S1-P2. Le postazioni interne all'edificio saranno impiegate per la valutazione del trasferimento delle vibrazioni dal suolo all'edificio e per la valutazione della variazione fra piani dell'edificio stesso.

REGIONALI (Vel. media= 74 km/h – 46 transiti)				
Postazione	Dist. [m]	$L_{w,eq}$ [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	74,0	65,8	61,2
S1-P2	25	61,4	51,1	45,7
S1-P3 (interno PT)	30	69,2	45,5	46,2
S1-P4 (interno P2)	30	64,5	40,8	40,8

Tabella 6-2 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – REGIONALI

EC-EN (Vel. media= 69 km/h – 12 transiti)				
Postazione	Dist. [m]	$L_{w,eq}$ [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	74,0	65,2	61,2
S1-P2	25	62,6	51,9	46,6
S1-P3 (interno PT)	30	69,6	45,7	46,8
S1-P4 (interno P2)	30	65,4	41,5	41,5

Tabella 6-3 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – EC-EN

MERCİ (Vel. media= 77 km/h – 71 transiti)				
Postazione	Dist. [m]	$L_{w,eq}$ [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	74,9	67,0	62,0
S1-P2	25	62,7	52,7	47,3
S1-P3 (interno PT)	30	70,1	45,9	46,9
S1-P4 (interno P2)	30	65,6	42,3	42,3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 48 di 128

Tabella 6-4 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – MERCI

TUTTE LE CATEGORIE: TOTALE TRANSITI (129 transiti)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	79,1	70,8	66,3
S1-P2	25	67,0	56,7	51,4
S1-P3 (interno PT)	30	74,4	50,5	51,4
S1-P4 (interno P2)	30	70,0	46,3	46,3

Tabella 6-5 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – TUTTE LE CATEGORIE

6.2.2 Sezione 2 - corpo ferroviario in rilevato

Nella Sezione 2 la strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione del corpo ferroviario in rilevato (tratto allo scoperto), lungo la via di propagazione, per complessivi quattro punti di misura. I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito.

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report Indagini Vibrazionali, doc. IB0U1BEZZRHIM0004001B si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni transitati.

Di seguito si riporta la tabella di sintesi, con indicati i valori medi delle accelerazioni dei livelli equivalenti espressi in decibel, relativa alle categorie di treni rilevati nel periodo di osservazione.

Tipologie di Treno	S2-P1			S2-P2			S2-P3			S2-P4			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	82,1	72,3	67,5	79,0	76,7	70,9	62,9	53,7	56,5	72,1	60,1	54,9	42
EC-EN	84,0	74,9	69,0	84,3	77,2	73,3	64,6	60,4	63,2	76,9	63,3	57,3	74
MERCI	84,4	76,4	71,0	84,3	78,4	74,2	65,0	58,2	60,6	74,3	60,3	55,7	77
TOTALE	88,4	79,6	74,2	87,9	82,3	77,8	69,0	63,0	65,7	79,6	66,3	60,9	/

Tabella 6-6 - Livello equivalente medio (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

Di seguito si espongono i valori di accelerazione, suddivisi per tipologia di convoglio, che transitano nei tratti allo scoperto.

I transiti rilevati per sezioni e per tipologia sono stati variabili per probabili caratteristiche del tratto di indagine. In dettaglio sono stati valutati i seguenti transiti.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 49 di 128

TRANSITI	S2-P1	S2-P2	S2-P3	S2-P4
NUMERO PASSAGGI REGIONALI	47	10	13	7
NUMERO PASSAGGI EC-EN	12	6	6	2
NUMERO PASSAGGI MERCI	62	9	10	6

REGIONALI (Vel. media= 42 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S2-P1	7	82,1	72,3	67,5
S2-P2	11,75	79,0	76,7	70,9
S2-P3	20,4	62,9	53,7	56,5
S2-P4	31,9	72,1	60,1	54,9

Tabella 6-7 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – REGIONALI

EC-EN (Vel. media= 74 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S2-P1	7	84,0	74,9	69,0
S2-P2	11,75	84,3	77,2	73,3
S2-P3	20,4	64,6	60,4	63,2
S2-P4	31,9	76,9	63,3	57,3

Tabella 6-8 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – EC-EN

MERCİ (Vel. media= 77 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S2-P1	7	84,4	76,4	71,0
S2-P2	11,75	84,3	78,4	74,2
S2-P3	20,4	65,0	58,2	60,6
S2-P4	31,9	74,3	60,3	55,7

Tabella 6-9 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – MERCI

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 50 di 128

TUTTE LE CATEGORIE: TOTALE TRANSITI				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S2-P1	7	88,4	79,6	74,2
S2-P2	11,75	87,9	82,3	77,8
S2-P3	20,4	69,0	63,0	65,7
S2-P4	31,9	79,6	66,3	60,9

Tabella 6-10 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – TUTTE LE CATEGORIE

6.3 LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE VIBRAZIONALI

Di seguito si valutano i parametri considerati nello studio che possono influenzare la propagazione delle onde vibrazionali.

6.3.1 L'attenuazione geometrica

L'attenuazione geometrica per una linea di emissione di lunghezza infinita (lunghezza del treno maggiore della distanza sorgente-ricevitore) si esprime come:

$$A_g = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{d+d_0}{d} \right)^n$$

dove:

- d distanza dall'asse della linea ferroviaria;
- d0 distanza di riferimento;
- n=0,5 per galleria;
- n=1 per tracciato di superficie;

6.3.2 Velocità di transito

La velocità del treno ha un effetto significativo sul valore di vibrazioni trasmesso nel terreno, 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:

$$L = L_0 + 10 \div 20 \cdot \log \left(\frac{V}{V_0} \right)$$

dove:

- L e L0: sono i livelli di vibrazioni in decibel
- V e V0: sono le rispettive velocità di transito dei treni

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 51 di 128

Dalla relazione sopra riportata si evince che al raddoppiare della velocità di transito si produce un incremento di 6 dB nei livelli di vibrazione e ciò in maniera indipendente dalla frequenza. A fine di compiere una stima cautelativa si considera il coefficiente proposto maggiore e pari a 20.

6.3.3 La propagazione delle onde nei terreni

La varietà delle conformazioni morfologiche del terreno comporta le maggiori incertezze di valutazione della propagazione delle vibrazioni. I fattori che possono influire nella determinazione dell'attenuazione nel terreno sono molteplici; i più determinanti sono costituiti dalla natura del mezzo, dal suo grado di compattazione, dall'attrito statico fra i granuli e quindi dalla granulometria, dalla fratturazione del mezzo, 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),

In generale 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: in altre parole il comportamento dei materiali sciolti è fortemente non lineare. 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.

L'analisi delle caratteristiche geolitologiche degli strati superficiali del terreno è finalizzata al riconoscimento dei parametri correlabili alla propagazione delle vibrazioni nel terreno. I valori tipici di densità, velocità di propagazione e fattore di perdita, noti esclusivamente per alcune classi geologiche e in presenza di un ammasso omogeneo, sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipo di Terreno	Densità [t/m ³]	Velocità di Propagazione [m/s]	Fattore di Perdita η
Roccia compatta	2,65	3500	0,01
Sabbia, limo, ghiaia, loess	1,6	600	0,1
Argilla, terreni argillosi	1,7	1500	0,2÷0,5

Tabella 6-11 - Valori tipici di densità, velocità di propagazione e fattore di perdita per tipologia di terreno

L'attenuazione dovuta all'assorbimento del terreno è stata calcolata con la formula:

$$A_t = 4,34 \cdot \Omega \cdot \eta \cdot x/c$$

dove:

x: distanza dall'asse della linea ferroviaria

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA					
PROGETTAZIONE:		TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE		IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	52 di 128
Relazione Generale							

Ω : frequenza [rad*s-1]

η : cefi, di assorbimento del terreno (fattore di perdita)

$$c = (E/d)^{1/2}$$

c: velocità di propagazione dell'onda longitudinale nel terreno

E: modulo elastico

d: densità del terreno

L'attenuazione dovuta alle discontinuità del terreno è stata considerata in modo semplificato ammettendo che l'onda di compressione si sposti dal suolo "a" al suolo "c" e che incida perpendicolarmente alla superficie di separazione dei due mezzi:

$$A_i = 20 \cdot \log[(1 + d_c \cdot c_c / d_a \cdot c_a) / 2]$$

dove:

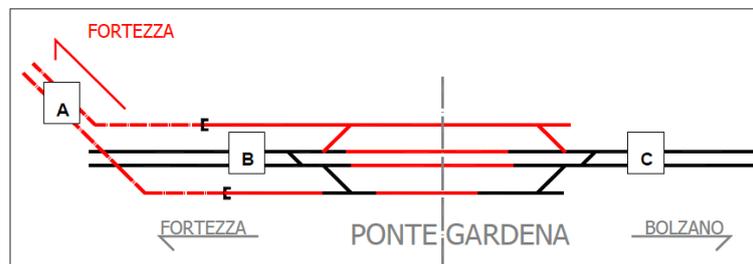
d_c, d_a = densità dei suoli "c" e "a"

c_c, c_a = velocità di propagazione nei suoli "c" e "a"

In considerazione della tipologia dei terreni interessati, per la costruzione del modello sperimentale sono stati utilizzati i dati rilevati dalla campagna di rilievi già citata, si nota che, conoscendo la mutua distanza tra le postazioni, dai dati sperimentali è possibile estrapolare le funzioni di attenuazione che descrivono la propagazione nel terreno dell'onda vibrazionale in funzione della distanza.

6.3.4 Valutazione della funzione di propagazione delle vibrazioni

La valutazione sarà eseguita in funzione della velocità di progetto e della tipologia di treno previsto. Di seguito si riporta la tabella con il dettaglio dei flussi di esercizio relativi alla linea di progetto.



Di seguito gli Mde previsti sulla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 53 di 128		

MdE DI PROGETTO PER LA LINEA FORTEZZA – VERONA									
TRATTO FORTEZZA – PONTE GARDENA / LINEA AC SEZIONE A									
Tipologia treno	SEZIONE A LINEA AC			SEZIONE B LINEA LS			SEZIONE C		
	D	N	TOT	D	N	TOT	D	N	TOT
LP	38	4	42	9	1	10	47	5	52
REG	0	0	0	47	5	52	47	5	52
MERCI	43	65	108	10	16	26	53	81	134
AF	5	7	12	0	0	0	5	7	12
TOTALE	162			88			250		

Tabella 6-12 – Modello di Esercizio di Progetto linea Fortezza – Verona / tratto Fortezza – Ponte Gardena

Di seguito le velocità previste in progetto.

VELOCITÀ DI RANGO					
Tratto di Linea			rango A	rango B	rango C
nuova linea	sezione A	PJ1-PJ2 (innesto su I e IV binario)	100	100	100
		PJ2 (innesto su I e II binario) – PS I e IV binario lato Verona	60	60	60
linea storica	sezione B	Chiusa – Ponte Gardena	75	80	80
	sezione C	Ponte Gardena – cippo 171	75	80	80
		Chiusa – cippo 182	120	125	135

Tabella 6-13 – Modello di Esercizio Futuro Linea Nuova e Storica

Nella valutazione saranno considerate le seguenti velocità di rango, in particolare, per eseguire una stima conservativa si farà riferimento al rango C.

- sezione A: 60km/h e 100 km/h;
- sezione B: 80 km/h;
- sezione C: 80 km/h e 135 km/h.

Per i treni MERCI la velocità massima sarà considerata pari a 100 km/h.

Per i transiti della nuova linea in galleria, quindi sul tratto del Ponte Isarco, sarà preso a riferimento l'MdE per la sezione A e saranno considerate le seguenti velocità massime: MERCI 100 km/h; REGIONALI 135 km/h e EC/IC 225 km/h.

Per la **Sezione 1** in considerazione dei terreni interessati dal tracciato di progetto in galleria, si è proceduto sia a valutazioni teoriche sulla propagazione, sia all'utilizzazione di una curva sperimentale di regressione per la trasmissione delle vibrazioni nel terreno lungo i tre assi, come riportato nell'immagine seguente (livello medio di accelerazione, ponderato per "postura non nota", in corrispondenza dei punti di misura), considerando le velocità previste in progetto al fine della definizione dell'emissione del convoglio ferroviario e dell'effettiva tipologia di servizio.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 54 di 128

In base alle emissioni delle vibrazioni per tipologia di treno rilevati dalle indagini sperimentali rappresentative della galleria, nelle tabelle successive si valutano i valori stimati delle emissioni delle vibrazioni con le velocità di progetto per tratta e per le tipologie di treni previste da progetto.

Tipologie di Treno	S1-P1			S1-P2			S1-P3			S1-P4			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	72,2	64,0	59,4	59,6	49,3	43,9	67,4	43,7	44,4	62,7	39,0	39,0	60
REG	76,6	68,4	63,8	64,0	53,7	48,3	71,8	48,1	48,8	67,1	43,4	43,4	100
REG	79,2	71,0	66,4	66,6	56,3	50,9	74,4	50,7	51,4	69,7	46,0	46,0	135
EC-EN	72,8	64,0	60,0	61,4	50,7	45,4	68,4	44,5	45,6	64,2	40,3	40,3	60
EC-EN	77,2	68,4	64,4	65,8	55,1	49,8	72,8	48,9	50,0	68,6	44,7	44,7	100
EC-EN	84,3	75,5	71,5	72,9	62,2	56,9	79,9	56,0	57,1	75,7	51,8	51,8	225
MERCI	72,7	64,8	59,8	60,5	50,5	45,1	67,9	43,7	44,7	63,4	40,1	40,1	60
MERCI	77,2	69,3	64,3	65,0	55,0	49,6	72,4	48,2	49,2	67,9	44,6	44,6	100

Tabella 6-14 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno nella SEZIONE A (60km/h, 100km/h e 225km/h) per tipologia sezione S1 in galleria

Tipologie di Treno	S2-P1			S2-P2			S2-P3			S2-P4			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	85,2	75,4	70,6	82,1	79,8	74,0	66,0	56,8	59,6	75,2	63,2	58,0	60
REG	89,6	79,8	75,0	86,5	84,2	78,4	70,4	61,2	64,0	79,6	67,6	62,4	100
REG	92,2	82,4	77,6	89,1	86,8	81,0	73,0	63,8	66,6	82,2	70,2	65,0	135
EC-EN	82,2	73,1	67,2	82,5	75,4	71,5	62,8	58,6	61,4	75,1	61,5	55,5	60
EC-EN	86,6	77,5	71,6	86,9	79,8	75,9	67,2	63,0	65,8	79,5	65,9	59,9	100
EC-EN	93,7	84,6	78,7	94,0	86,9	83,0	74,3	70,1	72,9	86,6	73,0	67,0	225
MERCI	82,2	74,2	68,8	82,1	76,2	72,0	62,8	56,0	58,4	72,1	58,1	53,5	60
MERCI	86,7	78,7	73,3	86,6	80,7	76,5	67,3	60,5	62,9	76,6	62,6	58,0	100

Tabella 6-15 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno nella SEZIONE A (60km/h, 100km/h e 225km/h) per tipologia sezione S2 allo scoperto

Tipologie di Treno	S1-P1			S1-P2			S1-P3			S1-P4			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	74,7	66,5	61,9	62,1	51,8	46,4	69,9	46,2	46,9	65,2	41,5	41,5	80
EC-EN	75,3	66,5	62,5	63,9	53,2	47,9	70,9	47,0	48,1	66,7	42,8	42,8	80

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	55 di 128

MERCI	75,2	67,3	62,3	63,0	53,0	47,6	70,4	46,2	47,2	65,9	42,6	42,6	80
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	----

Tabella 6-16 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno nella SEZIONE B (80km/h) per tipologia sezione S1 in galleria

Tipologie di Treno	S2-P1			S2-P2			S2-P3			S2-P4			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	87,7	77,9	73,1	84,6	82,3	76,5	68,5	59,3	62,1	77,7	65,7	60,5	80
EC-EN	82,2	73,1	67,2	82,5	75,4	71,5	62,8	58,6	61,4	75,1	61,5	55,5	80
MERCI	84,7	76,7	71,3	84,6	78,7	74,5	65,3	58,5	60,9	74,6	60,6	56,0	80

Tabella 6-17 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno nella SEZIONE B (80km/h) per tipologia sezione S2 allo scoperto

Tipologie di Treno	S1-P1			S1-P2			S1-P3			S1-P4			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	74,7	66,5	61,9	62,1	51,8	46,4	69,9	46,2	46,9	65,2	41,5	41,5	80
REG	79,2	71,0	66,4	66,6	56,3	50,9	74,4	50,7	51,4	69,7	46,0	46,0	135
EC-EN	75,3	66,5	62,5	63,9	53,2	47,9	70,9	47,0	48,1	66,7	42,8	42,8	80
EC-EN	79,8	71,0	67,0	68,4	57,7	52,4	75,4	51,5	52,6	71,2	47,3	47,3	135
MERCI	75,2	67,3	62,3	63,0	53,0	47,6	70,4	46,2	47,2	65,9	42,6	42,6	80
MERCI	77,2	69,3	64,3	65,0	55,0	49,6	72,4	48,2	49,2	67,9	44,6	44,6	100

Tabella 6-18 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno nella SEZIONE C (80km/h e 135km/h – MERCI 100km/h) per tipologia sezione S1 in galleria

Tipologie di Treno	S2-P1			S2-P2			S2-P3			S2-P4			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	87,7	77,9	73,1	84,6	82,3	76,5	68,5	59,3	62,1	77,7	65,7	60,5	80
REG	92,2	82,4	77,6	89,1	86,8	81,0	73,0	63,8	66,6	82,2	70,2	65,0	135
EC-EN	82,2	73,1	67,2	82,5	75,4	71,5	62,8	58,6	61,4	75,1	61,5	55,5	80
EC-EN	89,2	80,1	74,2	89,5	82,4	78,5	69,8	65,6	68,4	82,1	68,5	62,5	135
MERCI	84,7	76,7	71,3	84,6	78,7	74,5	65,3	58,5	60,9	74,6	60,6	56,0	80
MERCI	86,7	78,7	73,3	86,6	80,7	76,5	67,3	60,5	62,9	76,6	62,6	58,0	100

Tabella 6-19 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno nella SEZIONE C (80km/h e 135km/h – MERCI 100km/h) per tipologia sezione S2 allo scoperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 56 di 128

Di seguito si riportano le curve di propagazione delle vibrazioni in funzione della distanza per categoria di treno in funzione della sezione della linea ferroviaria.

SEZIONE A, tratta al coperto alle velocità di 60 km/h, 100 km/h e 135km/h

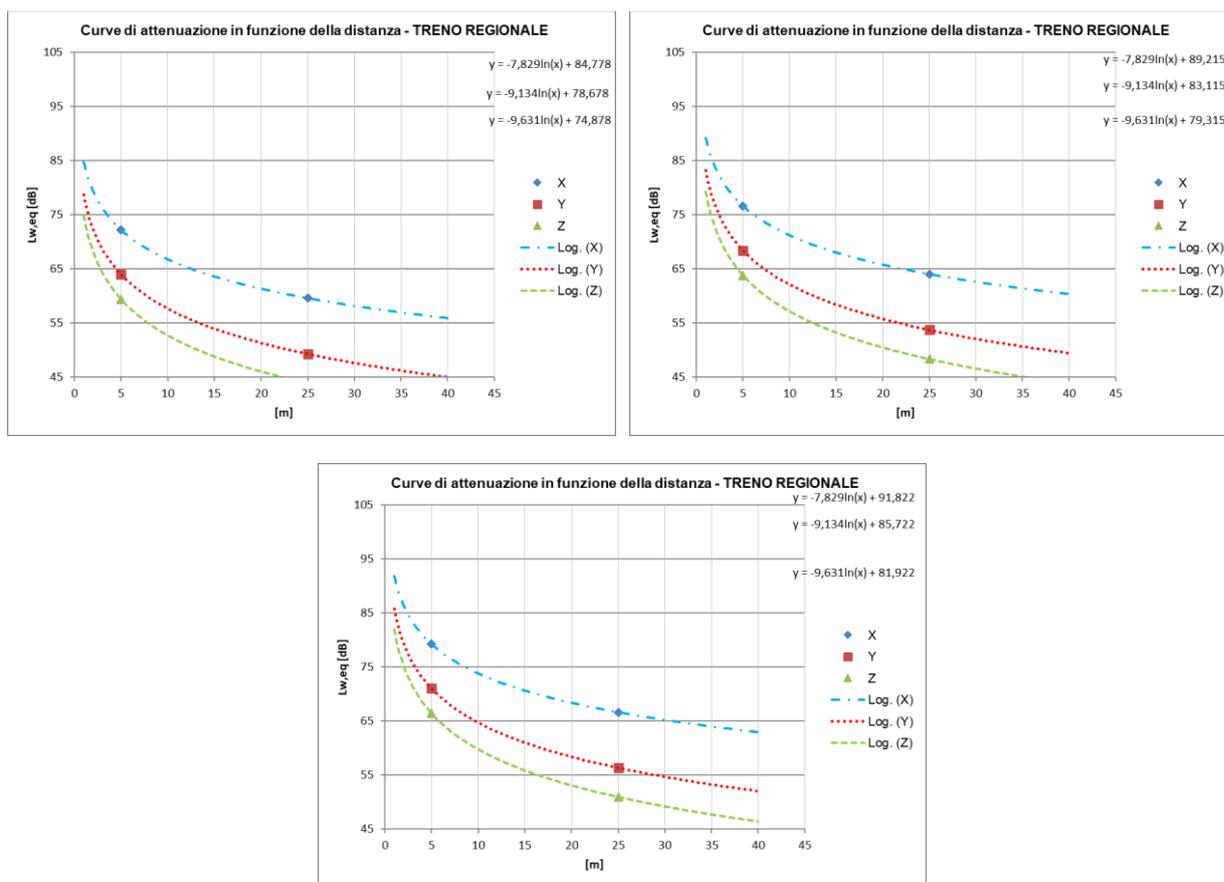


Figura 1 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 60 km/h a destra a 100 km/h, in basso a 135 km/h – TIPOLOGIA TRENO REGIONALE per t. coperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 57 di 128

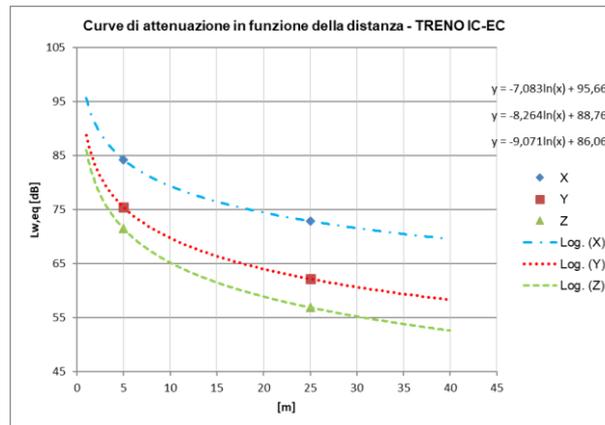
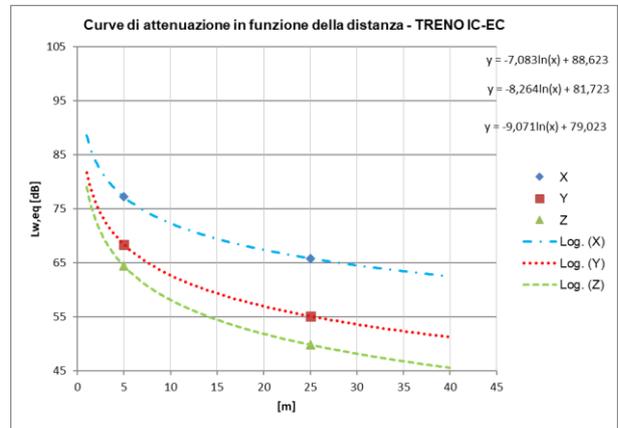
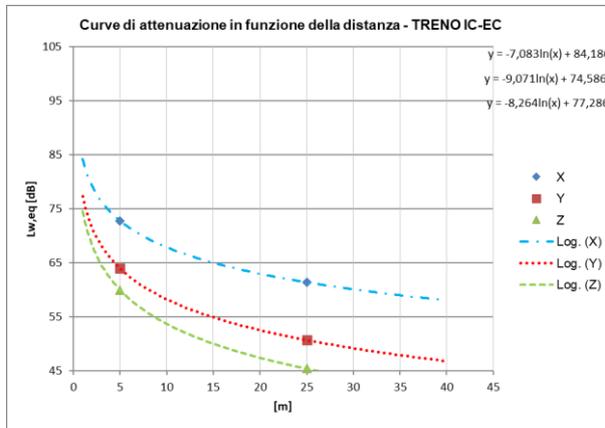


Figura 2 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 60 km/h a destra a 100 km/h, in basso a 225 km/h – TIPOLOGIA TRENO EC-EN per t. coperto

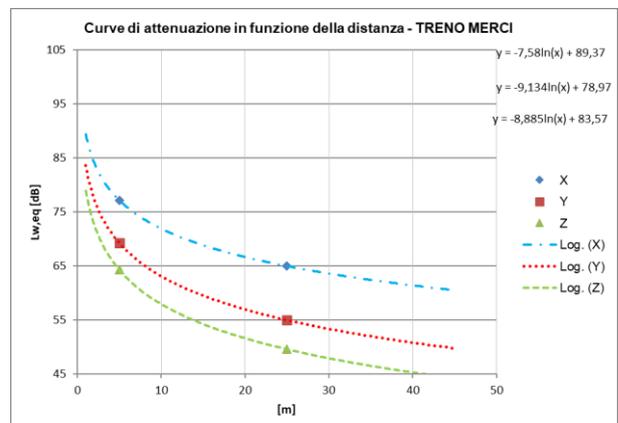
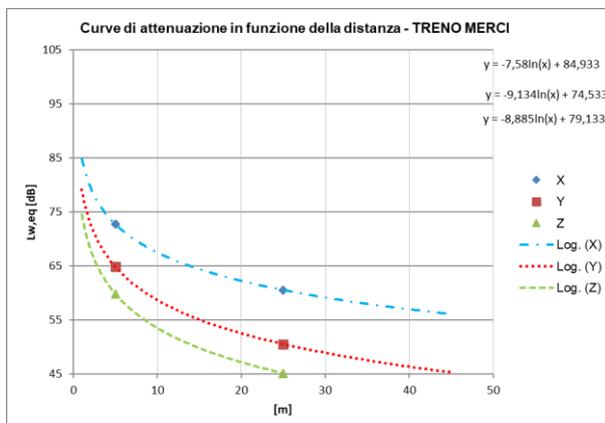


Figura 3 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 58 di 128

considerando le velocità di progetto a sinistra a 60 km/h a destra a 100 km/h – TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. coperto

SEZIONE A, tratta allo scoperto alle velocità di 60 km/h, 100 km/h e 225km/h

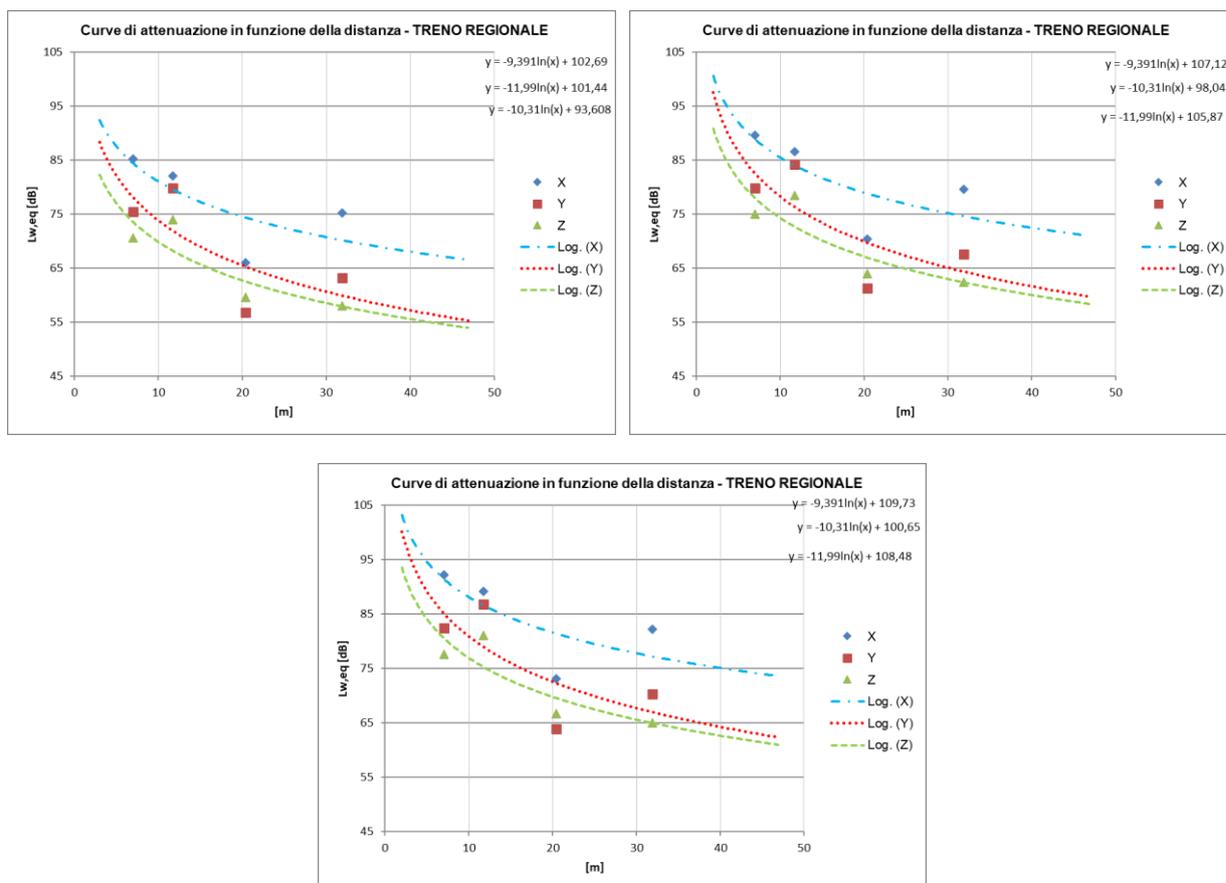


Figura 4 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 60 km/h a destra a 100 km/h, in basso a 135km/h – TIPOLOGIA TRENO REGIONALE per t. scoperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 59 di 128

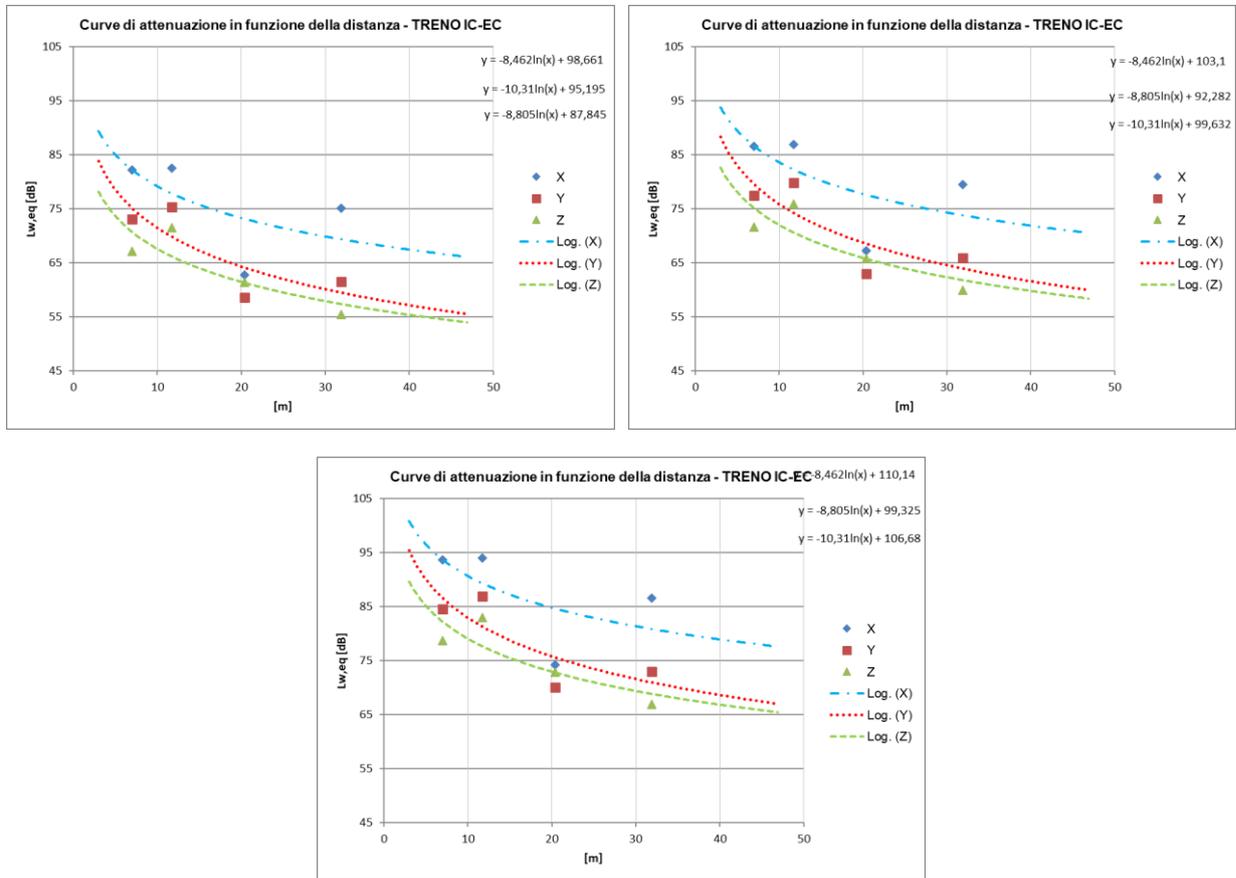


Figura 5 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x , y e z , in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 60 km/h a destra a 100 km/h, in basso a 225km/h – TIPOLOGIA TRENO EC-EN per t. scoperto

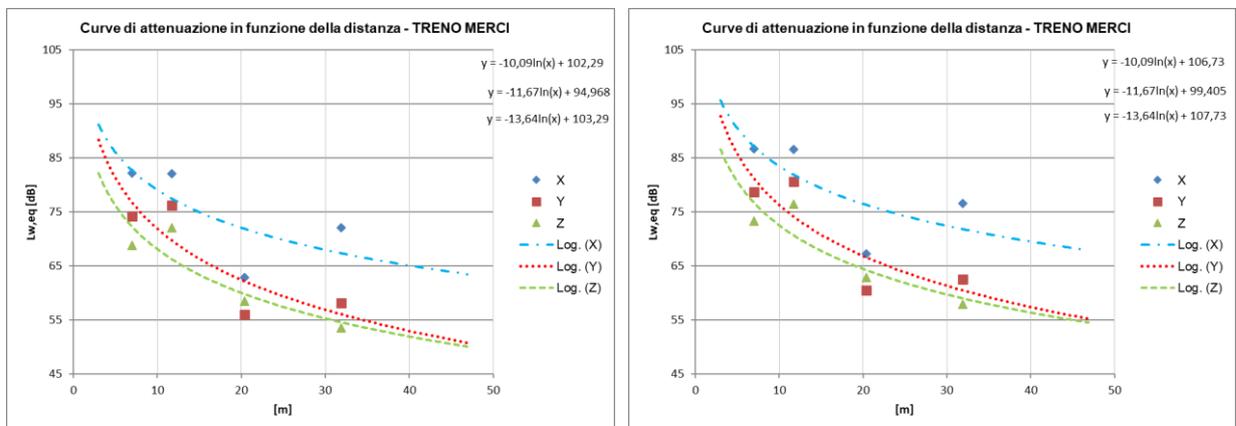


Figura 6 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x , y e z , in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 60 di 128

considerando le velocità di progetto a sinistra a 60 km/h a destra a 100 km/h – TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. scoperto

SEZIONE B, tratta al coperto alle velocità di 80 km/h

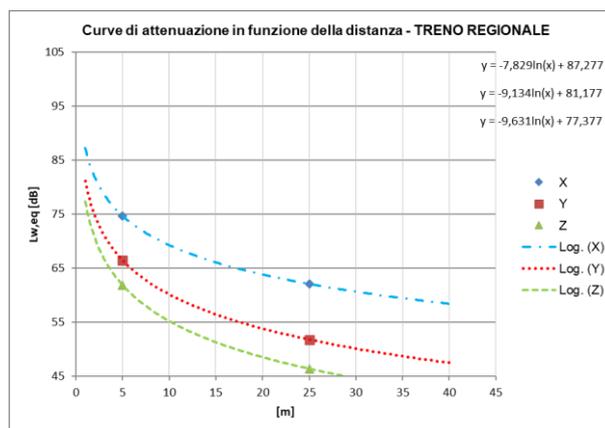


Figura 7 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a 80 km/h – TIPOLOGIA TRENO REGIONALE per t. coperto

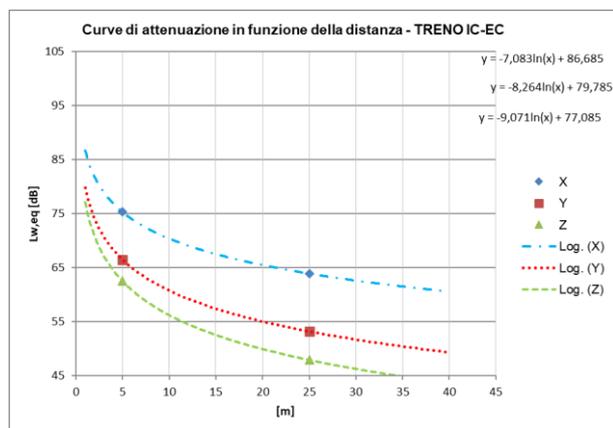


Figura 8 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a 80 km/h – TIPOLOGIA TRENO EC-EN per t. coperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	61 di 128

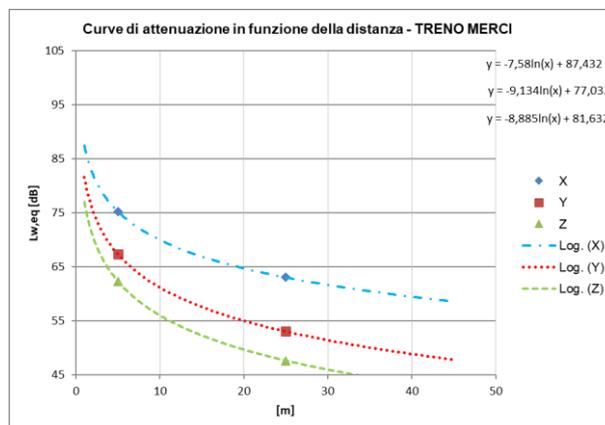


Figura 9 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a 80 km/h – TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. coperto

SEZIONE B, tratta allo scoperto alle velocità di 80 km/h

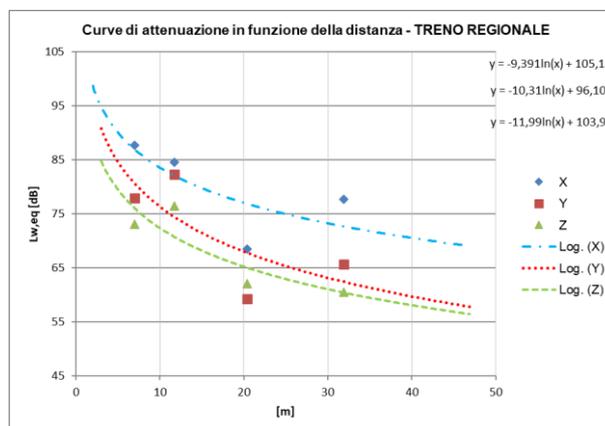


Figura 10 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a 80 km/h– TIPOLOGIA TRENO REGIONALE per t. scoperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 62 di 128

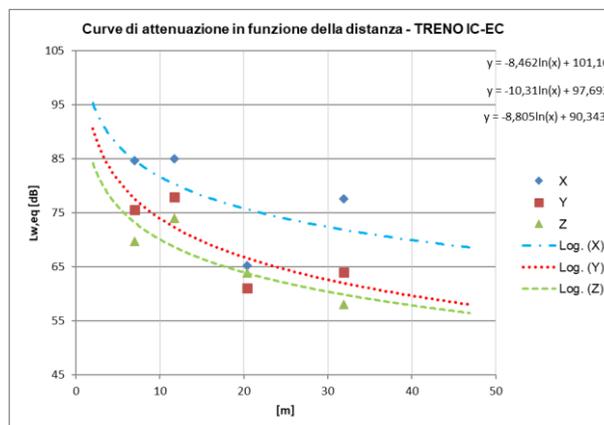


Figura 11 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a 80 km/h – TIPOLOGIA TRENO EC-EN per t. scoperto

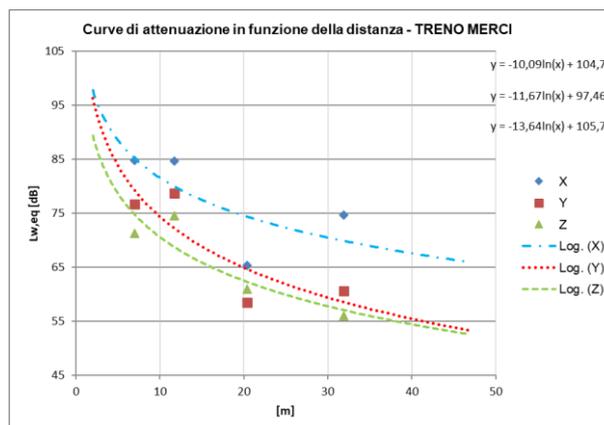


Figura 12 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a 80 km/h– TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. scoperto

APPALTATORE:			PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 63 di 128

SEZIONE C, tratta al coperto alle velocità di 80 km/h e 135 km/h (Merzi 100 km/h)

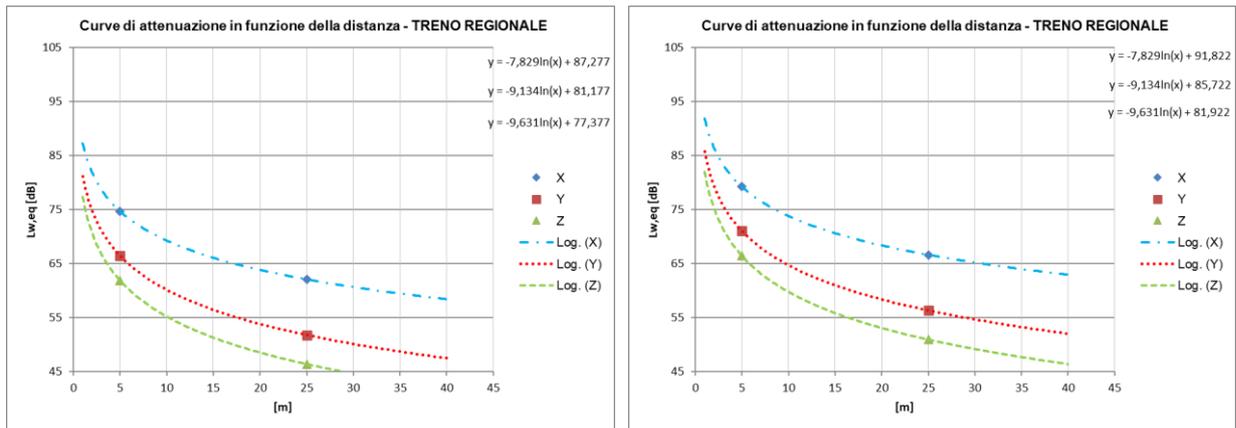


Figura 13 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 80 km/h a destra a 135 km/h – TIPOLOGIA TRENO REGIONALE per t. coperto

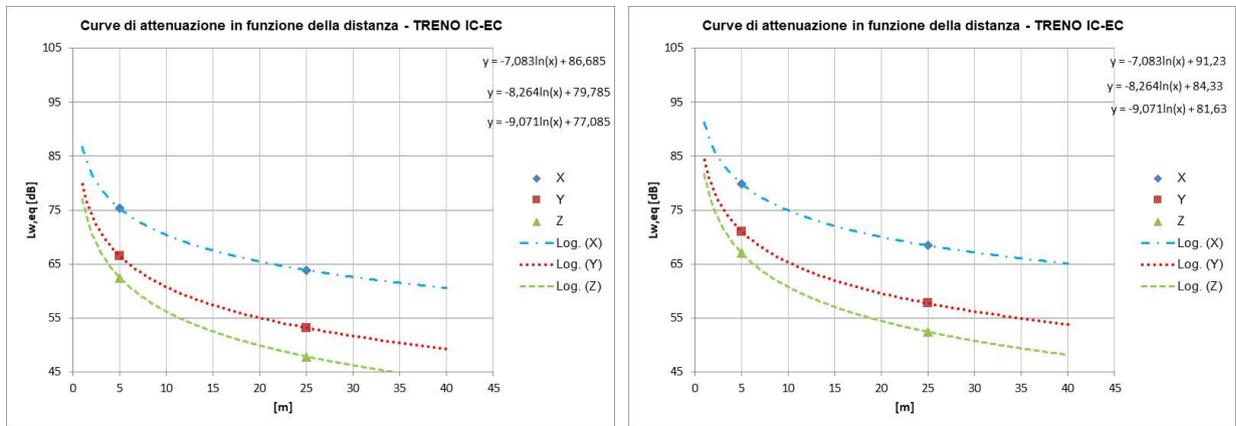


Figura 14 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 80 km/h a destra a 135 km/h – TIPOLOGIA TRENO EC-EN per t. coperto

APPALTATORE:										
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"									
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ	RG	IM0004001	C	64 di 128
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE										
Relazione Generale										

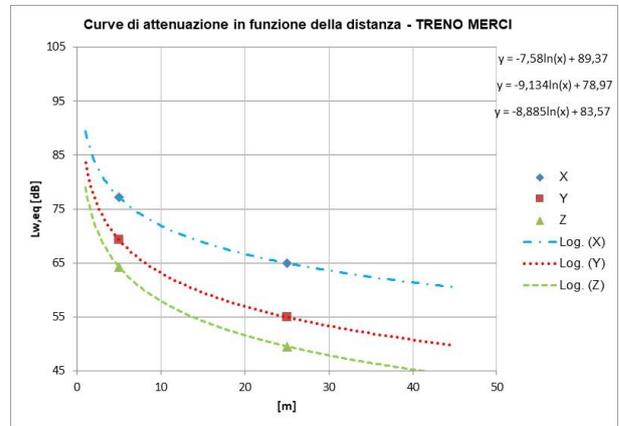
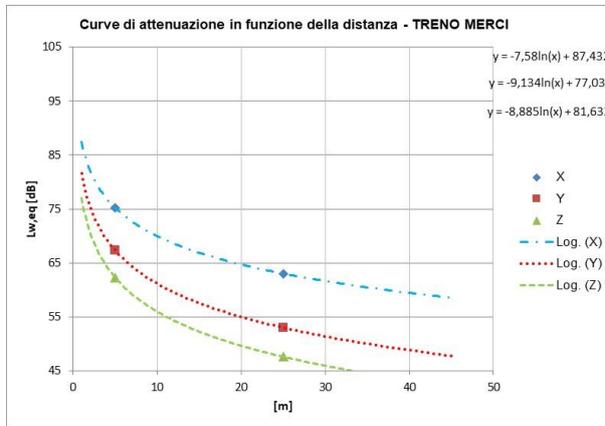


Figura 15 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 80 km/h a destra a 100 km/h – TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. coperto

SEZIONE C, tratta allo scoperto alle velocità di 80 km/h e 135 km/h (Merci 100 km/h)

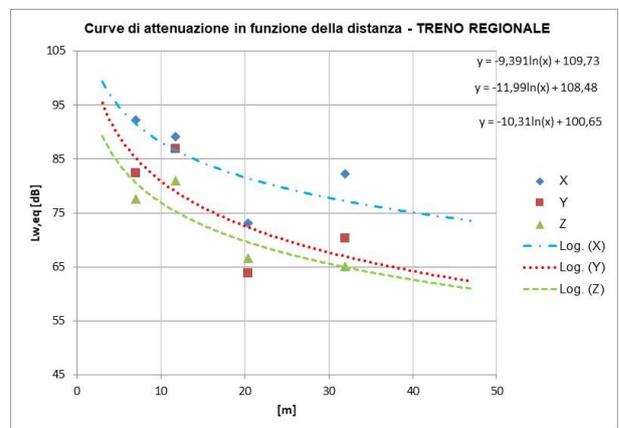
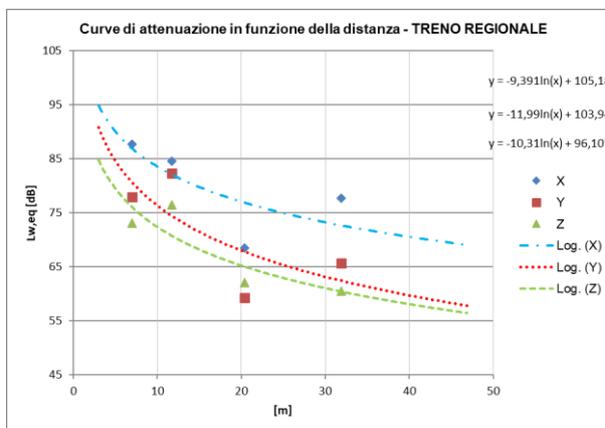


Figura 16 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 80 km/h a destra a 135 km/h – TIPOLOGIA TRENO REGIONALE per t. scoperto

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	65 di 128

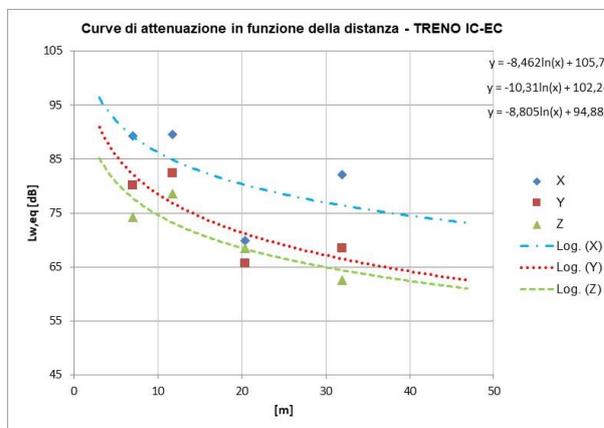
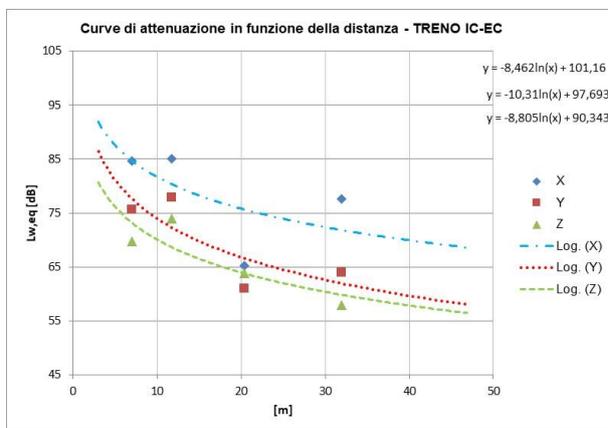


Figura 17 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 80 km/h a destra a 135 km/h – TIPOLOGIA TRENO EC-EN per t. scoperto

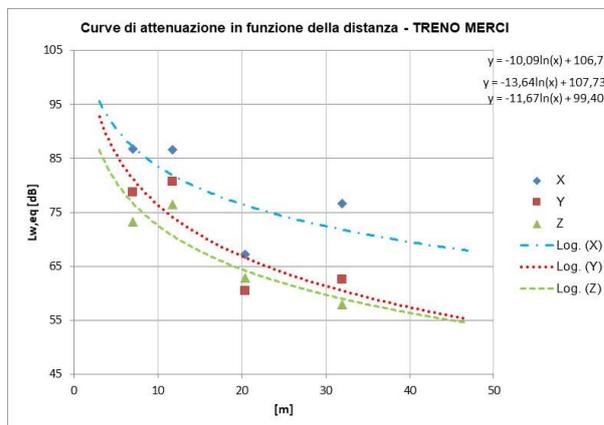
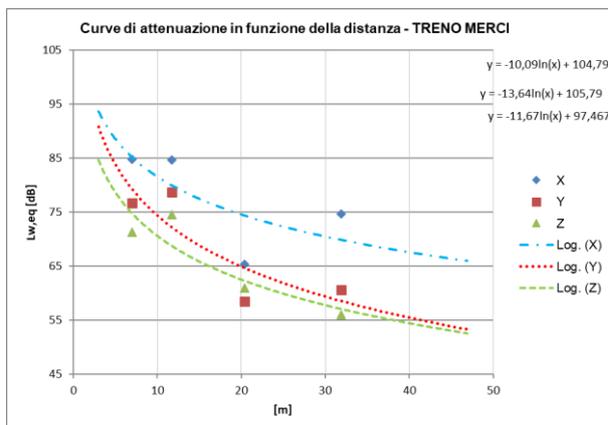


Figura 18 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 80 km/h a destra a 100 km/h – TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. scoperto

La propagazione delle onde nelle strutture edilizie da valutazioni sperimentale

La propagazione delle vibrazioni negli edifici antistanti le linee ferroviarie e la risposta di pareti e solai dipende dalle caratteristiche costruttive dell'edificio. Al fine delle valutazioni è importante separare due aspetti fondamentali del fenomeno:

- l'interazione suolo-fondazioni,
- la propagazione nel corpo dell'edificio.

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 66 di 128

Il primo aspetto è legato al fatto che la mancanza di solidarietà all'interfaccia terreno-struttura dà luogo a fenomeni dissipativi, configurandosi come un fenomeno favorevole. Detto fenomeno è perciò condizionato dalla tipologia delle fondazioni (fondazioni a platea, fondazioni su plinti isolati, pali di fondazioni, ecc.). Nel caso di fondazioni a platea la grande area di contatto con il terreno determina una perdita di accoppiamento praticamente nulla alle basse frequenze fino alla frequenza di risonanza della fondazione. Per le altre tipologie di fondazioni possono essere utilizzate curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione della fondazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

La propagazione nel corpo dell'edificio è determinante sia per il disturbo agli abitanti sia per la resistenza delle strutture in quanto i pavimenti, pareti e soffitti degli edifici sono soggetti a significative amplificazioni delle vibrazioni rispetto a quelle trasmesse dalle fondazioni. In molti casi la risonanza delle strutture orizzontali può causare un'amplificazione delle vibrazioni nel campo di frequenze comprese tra 10 e 30 Hz. I problemi maggiori si verificano quando la frequenza di risonanza dei solai coincide con la frequenza di picco dello spettro di vibrazione del terreno. Negli edifici multipiano un valore di attenuazione delle vibrazioni da piano a piano è approssimativamente pari a 3 dB. I risultati di misure sperimentali (Ishii e Tachibana) in un edificio a 10 piani fuori terra con struttura in calcestruzzo armato e acciaio mostrano un'attenuazione di circa 1 dB alle basse frequenze in corrispondenza dei piani alti e maggiore di 3 dB ai primi piani.

La norma DIN 4150 riferisce che, nel caso di vibrazioni orizzontali le frequenze proprie dei piani di un edificio seguono all'incirca la legge $f = 10/n$, essendo n il numero del piano. Per la componente verticale si hanno circa $f = 10$ Hz per pavimenti poco rigidi e $f = 30$ Hz per pavimenti molto rigidi. Gli incrementi per risonanza possono essere dell'ordine di 3÷8 volte, con rari casi di incrementi fino a 15 volte. Risultati analoghi sono stati ottenuti nel corso di misure eseguite dalle Ferrovie Svizzere: generalmente si ha un'attenuazione nelle componenti orizzontali x e y ($f = 0\div 80$ Hz) tra suolo e piano terra degli edifici, ma si verifica un'amplificazione della componente verticale z tra suolo e piano terra e suolo-primo piano. Mediamente l'amplificazione sul pavimento è di 5 dB per frequenze di risonanza di circa 20 Hz, ma può arrivare anche a 20 dB nel caso del pavimento del piano terra con frequenza di risonanza di circa 40 Hz.

La differenza tra il livello di vibrazione del terreno e quello delle strutture di fondazione è detta attenuazione per perdita di accoppiamento (coupling loss). Sono disponibili valori sperimentali medi della perdita di accoppiamento in funzione della frequenza per fondazioni su pali nel terreno o su plinti di edifici in muratura, con o senza intelaiatura. Per fondazioni a platea generale, dato che la vibrazione della stessa può essere considerata simile a quella che si verificherebbe nel terreno senza la presenza della platea, la perdita di accoppiamento è zero alle basse frequenze fino alla frequenza di risonanza della platea.

Le tipologie edilizie prevalenti in adiacenza al tracciato sono rappresentate da edifici storici in muratura, con fondazioni direttamente immorsate nel terreno e edifici di recente edificazione con ossatura in cemento armato e fondazioni continue. L'edificazione appare omogenea e caratterizzata da abitazioni isolate o palazzine con struttura in c.a. e altezza media di 1, 2 e/o 3 piani.

In queste condizioni, sulla base di quanto sin ora detto, la differenza tra il livello di vibrazione del terreno e quello dell'edificio **si stima cautelativamente amplificata di 5 dB** per l'effetto combinato delle componenti positive, quali la perdita di accoppiamento suolo-fondazioni e l'attenuazione da piano a piano, e delle componenti negative di attenuazione, quali la risonanza alle frequenze proprie dei solai. L'approccio

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 67 di 128

cautelativo con cui viene affrontato il tema è confermato anche da indagini effettuate sulle linee ferroviarie italiane.

Al fine di verificare l'amplificazione si valutano le misure eseguite presso le postazioni di indagine S1-P3 e S1-P4 riportate alle velocità di progetto di 60, 80, 100, 135 e 225 km/h.

Di seguito la valutazione alla velocità di 60 km/h.

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	MERCİ	72,7	64,8	59,8	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		60,5	50,5	45,1	7,4	6,8	-0,4	+4,6
	S1-P3		67,9	43,7	44,7	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		63,4	40,1	40,1	-4,5	-3,6	-4,6	-4,2
NUMERO PASSAGGI			71 / velocità: 60km/h						

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	REG	72,2	64,0	59,4	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		59,6	49,3	43,9	7,8	5,6	0,5	+4,6
	S1-P3		67,4	43,7	44,4	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		62,7	39,0	39,0	-4,7	-4,7	-5,4	-4,9
NUMERO PASSAGGI			46 / velocità: 60km/h						

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	EC - EN	72,8	64,0	60,0	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		61,4	50,7	45,4	7,0	6,2	0,2	+4,5
	S1-P3		68,4	44,5	45,6	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		64,2	40,3	40,3	-4,2	-4,2	-5,3	-4,6
NUMERO PASSAGGI			12 / velocità: 60km/h						

Di seguito la valutazione alla velocità di 80 km/h.

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	MERCİ	75,2	67,3	62,3	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		63,0	53,0	47,6	7,4	6,8	-0,4	+4,6
	S1-P3		70,4	46,2	47,2	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		65,9	42,6	42,6	-4,5	-3,6	-4,6	-4,2
NUMERO PASSAGGI			71 / velocità: 80km/h						

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	68 di 128

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	REG	74,7	66,5	61,9	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		62,1	51,8	46,4	7,8	5,6	0,5	+4,6
	S1-P3		69,9	46,2	46,9	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		65,2	41,5	41,5	-4,7	-4,7	-5,4	-4,9
NUMERO PASSAGGI			46 / velocità: 80km/h						

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	EC - EN	75,3	66,5	62,5	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		63,9	53,2	47,9	7,0	6,2	0,2	+4,5
	S1-P3		70,9	47,0	48,1	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		66,7	42,8	42,8	-4,2	-4,2	-5,3	-4,6
NUMERO PASSAGGI			12 / velocità: 80km/h						

Di seguito la valutazione alla velocità di 100 km/h.

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	MERCİ	77,2	69,3	64,3	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		65,0	55,0	49,6	7,4	6,8	-0,4	+4,6
	S1-P3		72,4	48,2	49,2	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		67,9	44,6	44,6	-4,5	-3,6	-4,6	-4,2
NUMERO PASSAGGI			71 / velocità: 100km/h						

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	REG	76,6	68,4	63,8	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		64,0	53,7	48,3	7,8	5,6	0,5	+4,6
	S1-P3		71,8	48,1	48,8	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		67,1	43,4	43,4	-4,7	-4,7	-5,4	-4,9
NUMERO PASSAGGI			46 / velocità: 100km/h						

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	EC - EN	77,2	68,4	64,4	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		65,8	55,1	49,8	7,0	6,2	0,2	+4,5
	S1-P3		72,8	48,9	50,0	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		68,6	44,7	44,7	-4,2	-4,2	-5,3	-4,6
NUMERO PASSAGGI			12 / velocità: 100km/h						

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	69 di 128

Di seguito la valutazione alla velocità di 135 km/h

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	REG	79,2	71,0	66,4	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		66,6	56,3	50,9	7,8	5,6	0,5	+4,6
	S1-P3		74,4	50,7	51,4	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		69,7	46,0	46,0	-4,7	-4,7	-5,4	-4,9
NUMERO PASSAGGI			46 / velocità: 135km/h						

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	EC - EN	79,8	71,0	67,0	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		68,4	57,7	52,4	7,0	6,2	0,2	+4,5
	S1-P3		75,4	51,5	52,6	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		71,2	47,3	47,3	-4,2	-4,2	-5,3	-4,6
NUMERO PASSAGGI			12 / velocità: 135km/h						

Di seguito la valutazione alla velocità di 225 km/h

SEZIONE	MISURA	TIPOLOGIA TRENO	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	Δ (dB)
1	S1-P1	EC - EN	84,3	75,5	71,5	trasferimento terreno/fondazione			MEDIA
	S1-P2		72,9	62,2	56,9	7,0	6,2	0,2	+4,5
	S1-P3		79,9	56,0	57,1	trasferimento PT a P2			MEDIA
	S1-P4		75,7	51,8	51,8	-4,2	-4,2	-5,3	-4,6
NUMERO PASSAGGI			12 / velocità: 225km/h						

In base alle valutazioni condotte si rileva sperimentalmente che la propagazione delle vibrazioni dal terreno all'edificio comporta una amplificazione media di circa 5 dB. Il trasferimento delle vibrazioni tra piani dell'edificio è pari ad una riduzione di 5 dB dal piano terra, dove si registra il valore maggiore, ed il piano secondo.

A seguito di quanto rilevato sperimentalmente nel modello di propagazione delle vibrazioni si considererà una amplificazione nell'edificio pari a 5 dB senza considerare lo smorzamento ai piani superiori al fine di condurre una valutazione conservativa.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 70 di 128

7. INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ E PREVISIONE DELL'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO

7.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

L'individuazione delle criticità che si potranno verificare con la realizzazione del progetto ha reso indispensabile determinare preventivamente i criteri di valutazione della sensibilità del territorio: a tale scopo è stato utilizzato come riferimento il censimento dei ricettori acustici.

Per quanto riguarda l'individuazione di criticità, in via cautelativa, si è fatto riferimento ai limiti indicati dalla norma ISO 2631/UNI 9614 per le vibrazioni di livello costante, in particolare per la condizione di postura del corpo non nota, per la quale si indicano soglie uguali per tutti i tre assi di riferimento (x, y, z) di 77 dB per il giorno e 74 dB per la notte, per ambiti residenziali. Ciò, pertanto, senza tener conto dei valori di riferimento suggeriti dalla medesima norma nel caso di vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari (89,5 dB per il giorno - 86,7 dB per la notte).

Considerando tipologie edilizie sia in c.a. sia in muratura (con luci di solaio di 4 m) e attraversamenti litologici tipici dell'area in esame, si è giunti al calcolo della distanza dalla sorgente a cui il livello di accelerazione ponderato risulta inferiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa UNI 9614 per i ricettori residenziali nel periodo diurno e notturno lungo tutti gli assi.

7.2 LIVELLO DI EMISSIONE COMPLESSIVO

Le accelerazioni complessivamente prodotte dall'esercizio della linea ferroviaria di progetto sono fornite dall'applicazione dell'emissione delle singole tipologie di treno e verso di percorrenza al traffico di esercizio previsto, in riferimento alle postazioni di indagine effettuate, tenendo conto del tempo di esposizione medio per tipologia di treno. Nelle tabelle seguenti si evince, per i tre assi alle tre terne, il valore complessivo di esposizione nel periodo diurno e nel periodo notturno calcolato sulla base del modello di esercizio atteso considerando il traffico e le velocità in esercizio.

Di seguito si riportano i valori attesi sia per i tratti di linea allo scoperto (viadotto, rilevato/trincea) che per i tratti in galleria (coperto) per il quale la valutazione è compiuta sia sui periodi di riferimento che per l'evento massimo.

7.2.1 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 60 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 60km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	47,6	39,4	34,8	51,3	43,1	38,5
S1-P2	25	35,0	24,7	19,3	38,7	28,4	23,0

Tabella 7-1 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti al coperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	71 di 128

EC-EN (Velocità = 60km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	57,2	48,4	44,4	49,6	40,8	36,8
S1-P2	25	45,8	35,1	29,8	38,2	27,5	22,2

Tabella 7-2 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti al coperto

MERCİ (Velocità = 60km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	59,1	51,2	46,2	63,2	55,3	50,3
S1-P2	25	46,9	36,9	31,5	51,0	41,0	35,6

Tabella 7-3 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti al coperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	61,5	53,2	48,6	63,6	55,7	50,7
S1-P2	25	49,6	39,3	33,9	51,4	41,4	36,0

Tabella 7-4 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	66,5	58,2	53,6	68,6	60,7	55,7
S1-P2	25	54,6	44,3	38,9	56,4	46,4	41,0

Tabella 7-5 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 72 di 128

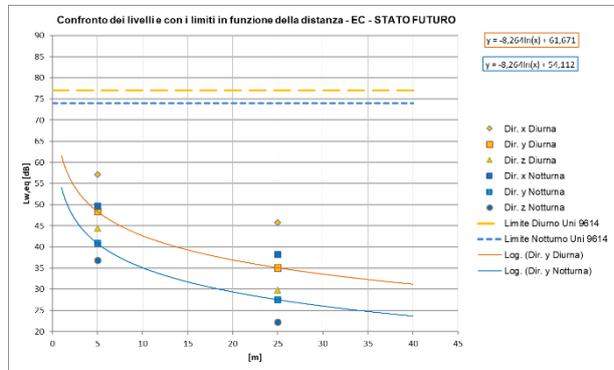
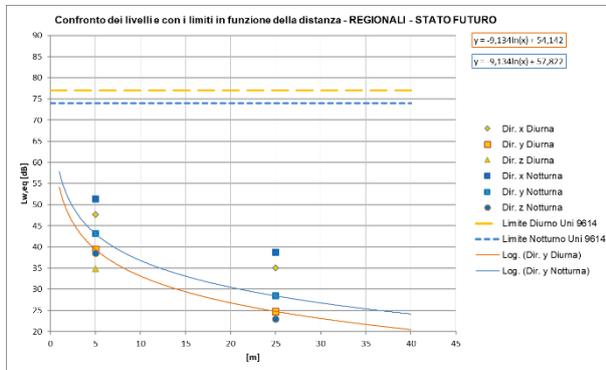


Figura 19 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra** alla velocità di 60km/h

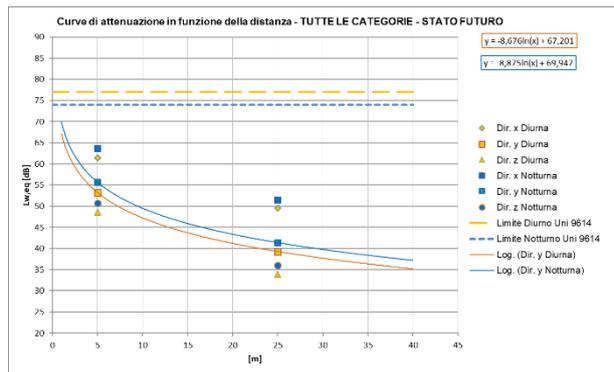
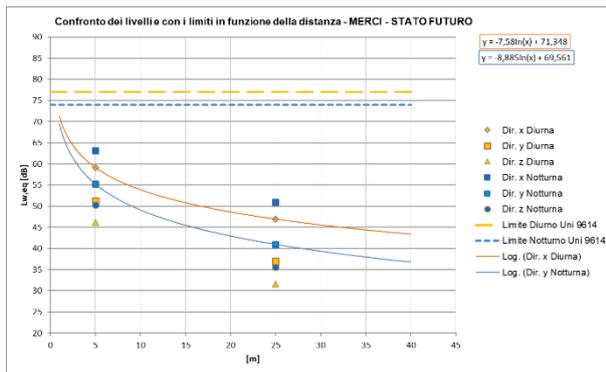


Figura 20 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra** alla velocità di 60km/h

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatari:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO					
	SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE			IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	73 di 128
Relazione Generale								

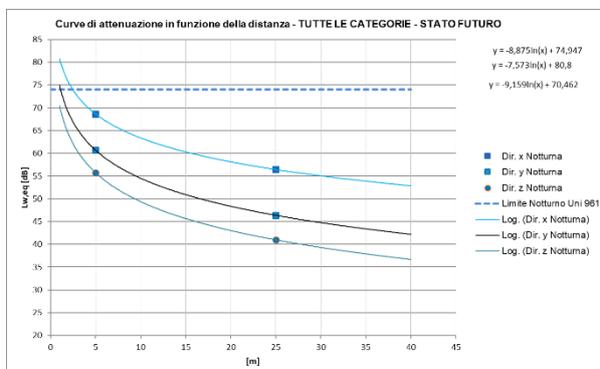
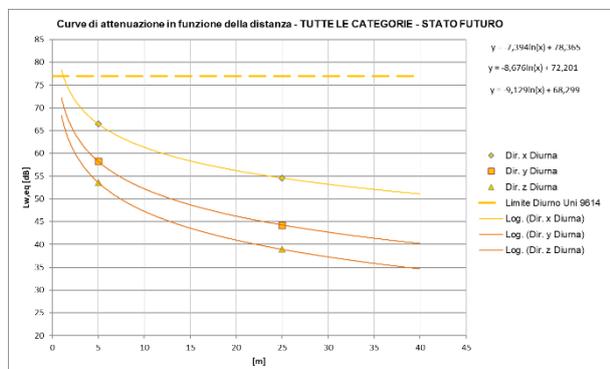


Figura 21 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto **INTERNO AGLI EDIFICI**, **Treni TUTTE LE CATEGORIE**, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione A alla velocità di 60km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 1 m e del periodo notturno alla distanza di circa 3 m dalla linea ferroviaria.

7.2.2 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione A, velocità di 60 km/h

Al fine della valutazione dell'evento massimo di transito si valutano i valori massimi di emissione riscontrati dalle indagini sperimentali e riportati alla velocità di progetto, per le tipologie di convogli riscontrati: REGIONALI, EC-EN e MERCI. La valutazione è eseguita sia nell'ambiente che all'interno dell'edificio considerando una amplificazione di +5 dB.

REGIONALI (Velocità = 60km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	77,0	65,8	64,4
S1-P2	25	63,6	54,3	48,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	82,0	70,8	69,4
S1-P2 (interno +5dB)	25	68,6	59,3	53,0

Tabella 7-6 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno REG stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

EC-EN (Velocità = 60km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	77,1	67,2	65,0

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 74 di 128

EC-EN (Velocità = 60km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P2	25	64,9	55,8	49,5
S1-P1 (interno +5dB)	5	82,1	72,2	70,0
S1-P2 (interno +5dB)	25	69,9	60,8	54,5

Tabella 7-7 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno EC-EN stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

MERCİ (Velocità = 60km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	76,4	65,3	64,1
S1-P2	25	63,7	54,3	48,6
S1-P1 (interno +5dB)	5	81,4	70,3	69,1
S1-P2 (interno +5dB)	25	68,7	59,3	53,6

Tabella 7-8 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno MERCI stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

Di seguito si riporta la valutazione considerando la curva di attenuazione del singolo convoglio critico.

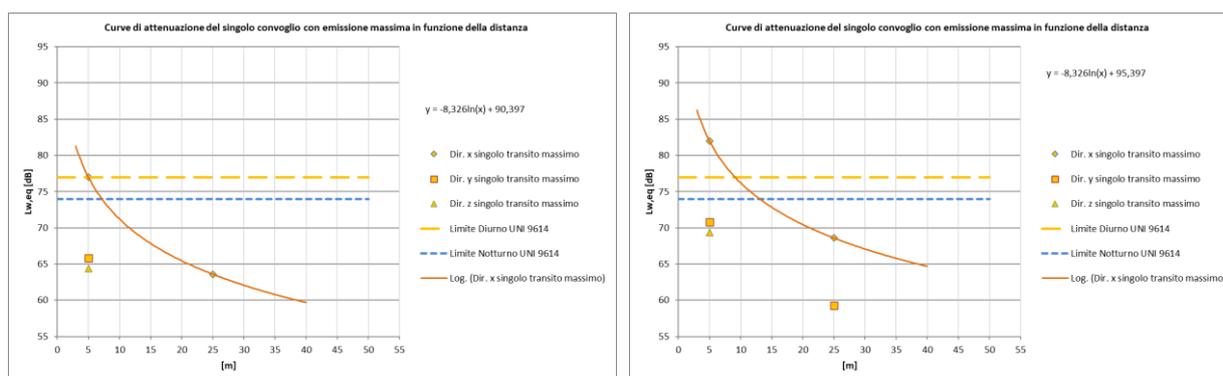


Figura 22 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo REG**, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 60km/h

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 75 di 128

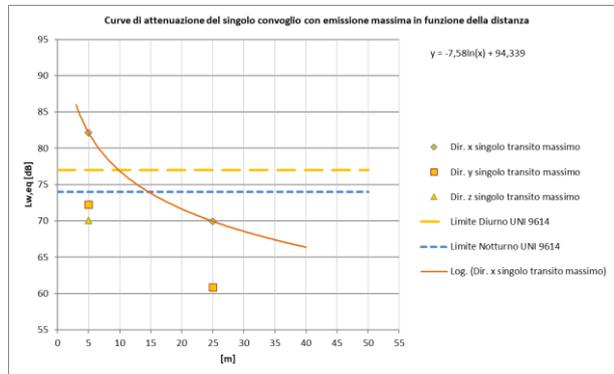
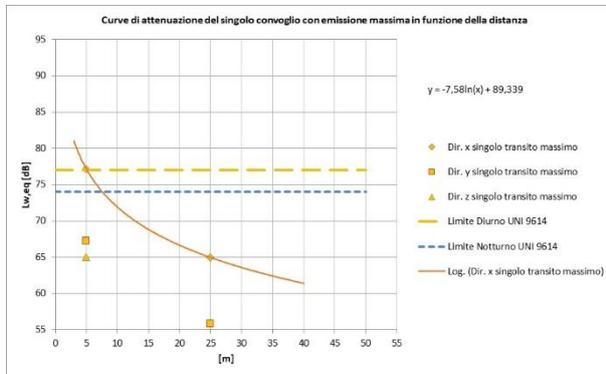


Figura 23 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo EC-EN**, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 60km/h

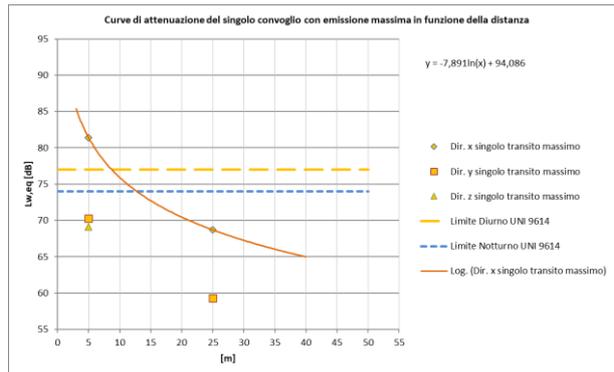
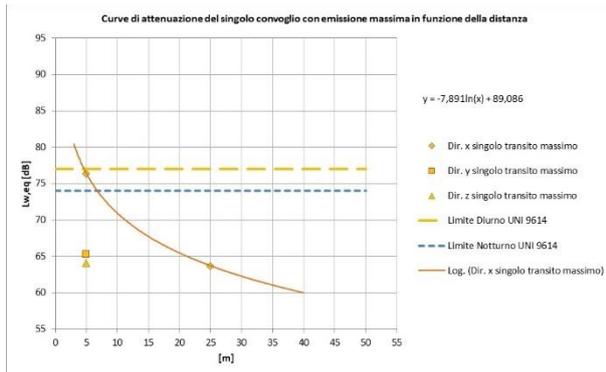


Figura 24 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo MERCI**, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 60km/h

In base alla curva di attenuazione del transito massimo per i tratti al coperto (galleria) per la sezione A alla velocità di 60km/h si riscontra, per il limite del periodo diurno il suo rispetto da circa 5 m e per il limite notturno da circa 8 m dalla linea ferroviaria.

I limiti interni al ricettore abitazione sono rispettati per il periodo diurno a circa 10 m e per il periodo notturno a circa 15 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE						
Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	76 di 128

7.2.3 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 100 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	49,9	41,7	37,1	53,6	45,4	40,8
S1-P2	25	37,3	27,0	21,6	41,0	30,7	25,3

Tabella 7-9 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti al coperto

EC-EN (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	59,3	50,5	46,5	51,8	43,0	39,0
S1-P2	25	47,9	37,2	31,9	40,4	29,7	24,4

Tabella 7-10 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti al coperto

MERCİ (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	61,4	53,5	48,5	65,4	57,5	52,5
S1-P2	25	49,2	39,2	33,8	53,2	43,2	37,8

Tabella 7-11 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti al coperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	63,7	55,4	50,8	65,8	57,9	52,9
S1-P2	25	51,8	41,5	36,1	53,6	43,6	38,2

Tabella 7-12 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 77 di 128

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	68,7	60,4	55,8	70,8	62,9	57,9
S1-P2	25	56,8	46,5	41,1	58,6	48,6	43,2

Tabella 7-13 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

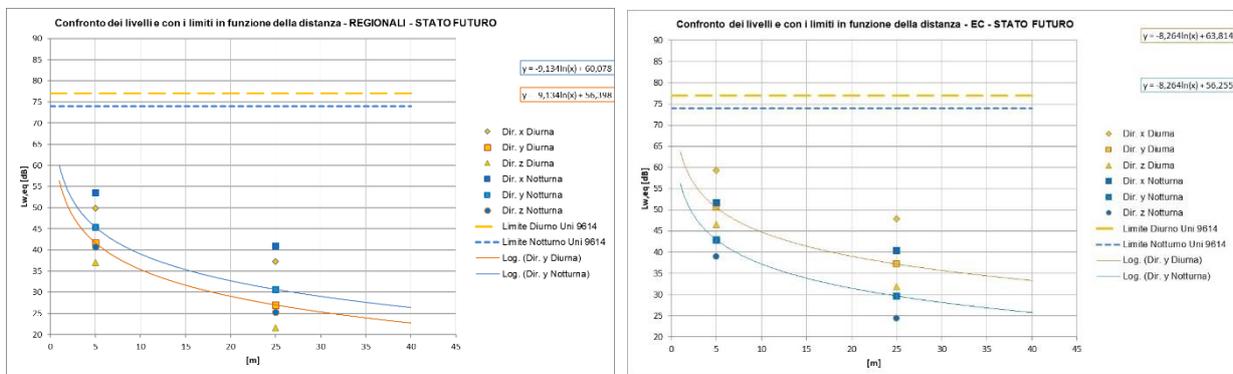


Figura 25 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra alla velocità di 100km/h**

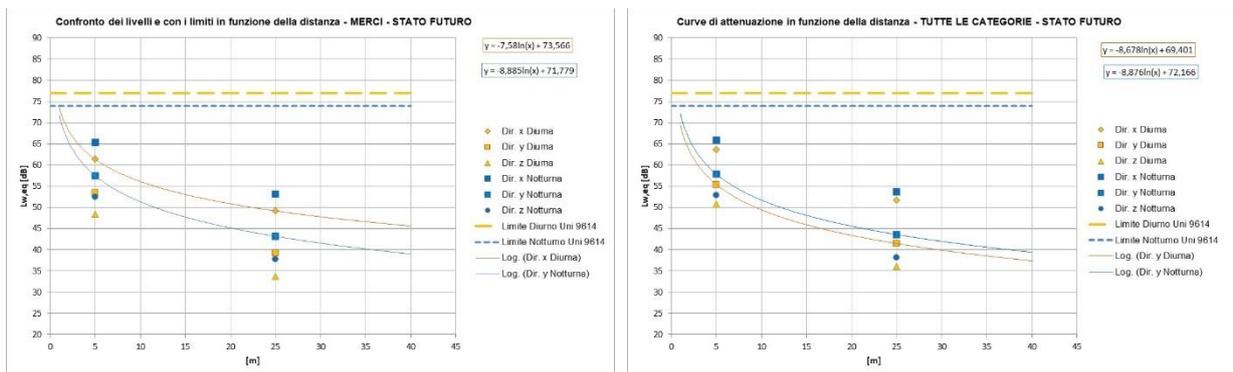


Figura 26 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra alla velocità di 100km/h**

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 78 di 128

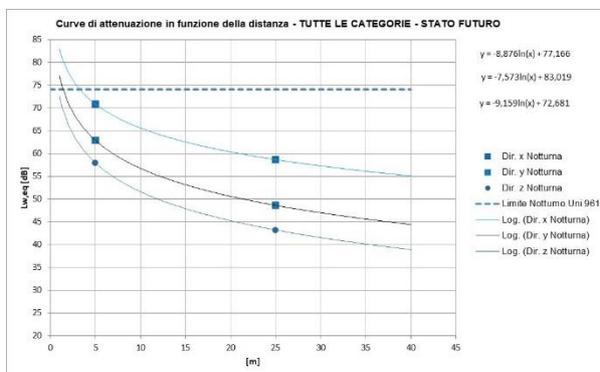
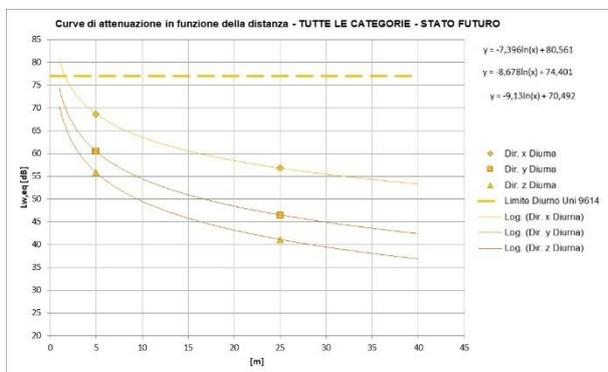


Figura 27 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto **INTERNO AGLI EDIFICI**, Treni **TUTTE LE CATEGORIE**, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione A alla velocità di 100km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 2 m e del periodo notturno alla distanza di circa 4 m dalla linea ferroviaria.

7.2.4 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione A, velocità di 100 km/h

Al fine della valutazione dell'evento massimo di transito si valutano i valori massimi di emissione riscontrati dalle indagini sperimentali e riportati alla velocità di progetto, per le tipologie di convogli riscontrati: REGIONALI, EC-EN e MERCI. La valutazione è eseguita sia nell'ambiente che all'interno dell'edificio considerando una amplificazione di +5 dB.

REGIONALI (Velocità = 100km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	81,4	70,2	68,8
S1-P2	25	68,0	58,7	52,4
S1-P1 (interno +5dB)	5	86,4	75,2	73,8
S1-P2 (interno +5dB)	25	73,0	63,7	57,4

Tabella 7-14 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno REG stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

EC-EN (Velocità = 100km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	81,6	71,7	69,5

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 79 di 128

EC-EN (Velocità = 100km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P2	25	69,4	60,3	54,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	86,6	76,7	74,5
S1-P2 (interno +5dB)	25	74,4	65,3	59,0

Tabella 7-15 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno EC-EN stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

MERCİ (Velocità = 100km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	80,8	69,7	68,5
S1-P2	25	68,1	58,7	53,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	85,8	74,7	73,5
S1-P2 (interno +5dB)	25	73,1	63,7	58,0

Tabella 7-16 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno MERCI stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

Di seguito si riporta la valutazione considerando la curva di attenuazione del singolo convoglio critico.

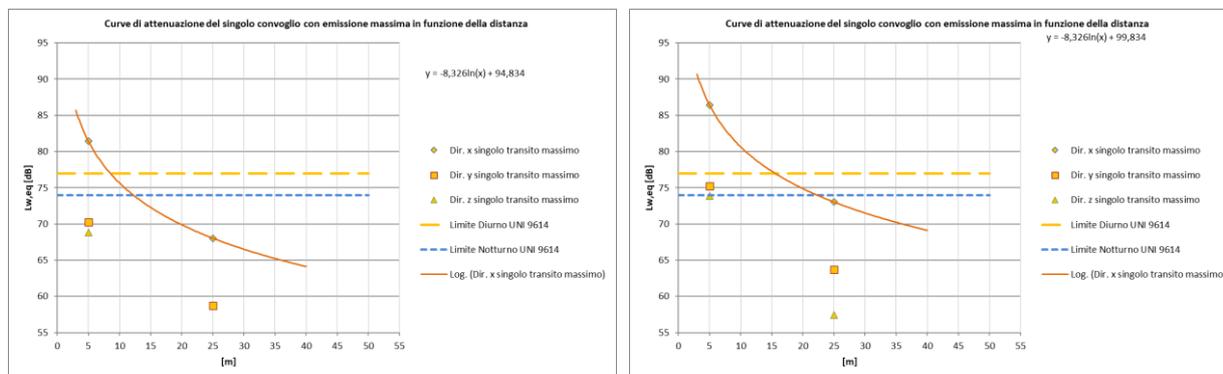


Figura 28 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al transito massimo REG, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 100km/h

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 80 di 128

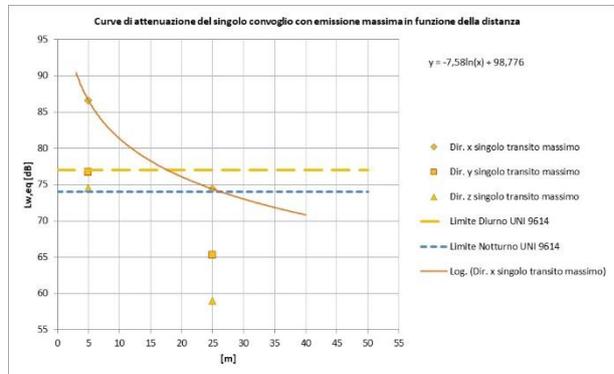
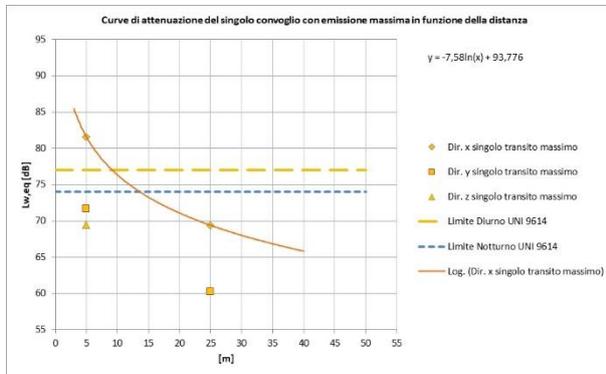


Figura 29 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo EC-EN a sinistra all'esterno, a destra all'interno** – tratti al coperto a 100km/h

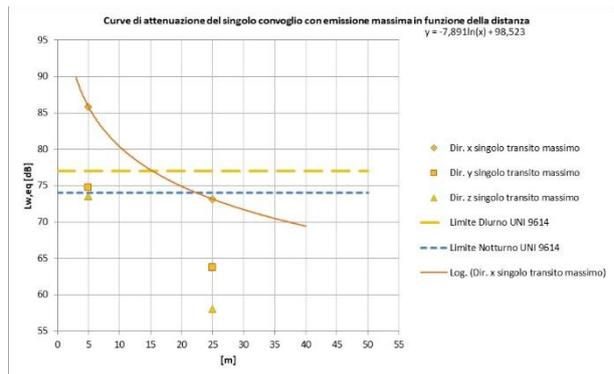
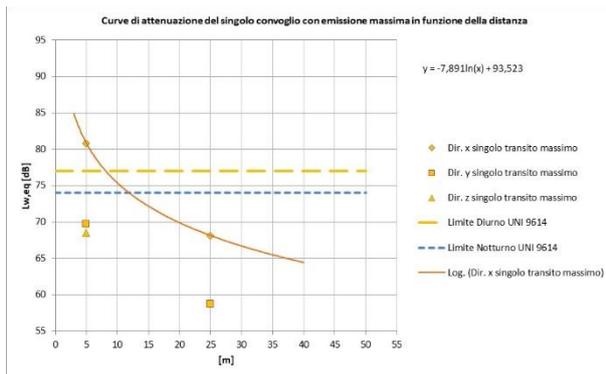


Figura 30 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo MERCI, a sinistra all'esterno, a destra all'interno** – tratti al coperto a 100km/h

In base alla curva di attenuazione del transito massimo per i tratti al coperto (galleria) per la sezione A alla velocità di 100km/h si riscontra, per il limite del periodo diurno il suo rispetto da circa 9 m e per il limite notturno da circa 14 m dalla linea ferroviaria.

I limiti interni al ricettore abitazione sono rispettati per il periodo diurno a circa 17 m e per il periodo notturno a circa 25 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 81 di 128	

7.2.5 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria sul Ponte Isarco): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 225 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 135km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	51,2	43,0	38,4	54,9	46,7	42,1
S1-P2	25	38,6	28,3	22,9	42,3	32,0	26,6

Tabella 7-17 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti al coperto

EC-EN (Velocità = 225km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	62,7	53,9	49,9	55,2	46,4	42,4
S1-P2	25	51,3	40,6	35,3	43,8	33,1	27,8

Tabella 7-18 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti al coperto

MERCİ (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	61,4	53,5	48,5	65,4	57,5	52,5
S1-P2	25	49,2	39,2	33,8	53,2	43,2	37,8

Tabella 7-19 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti al coperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	65,3	56,9	52,4	66,1	58,1	53,2
S1-P2	25	53,5	43,1	37,8	54,0	43,9	38,5

Tabella 7-20 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 82 di 128

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	70,3	61,9	57,4	71,1	63,1	58,2
S1-P2	25	58,5	48,1	42,8	59,0	48,9	43,5

Tabella 7-21 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

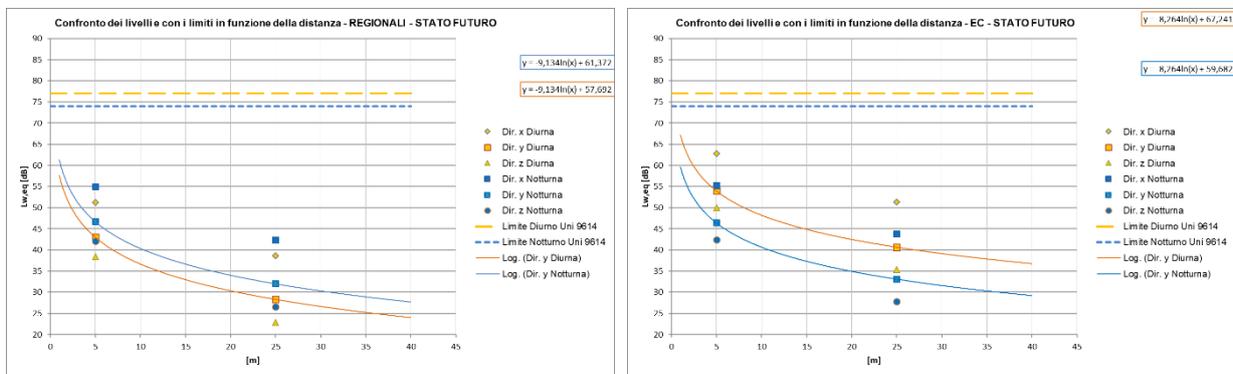


Figura 31 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI REGIONALI a sinistra a 135 km/h** **TRENI EC-EN a destra alla velocità di 225km/h**

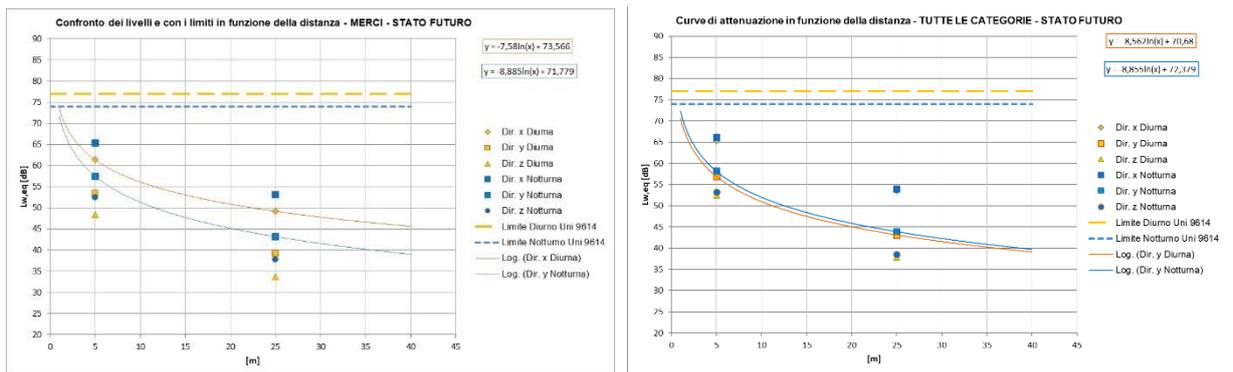


Figura 32 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI MERCI a sinistra a 100km/h** e **TUTTE LE CATEGORIE a destra**

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatari:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO					
	SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE			IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	83 di 128
Relazione Generale								

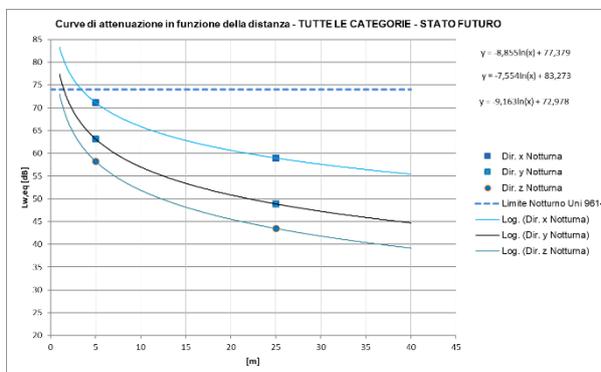
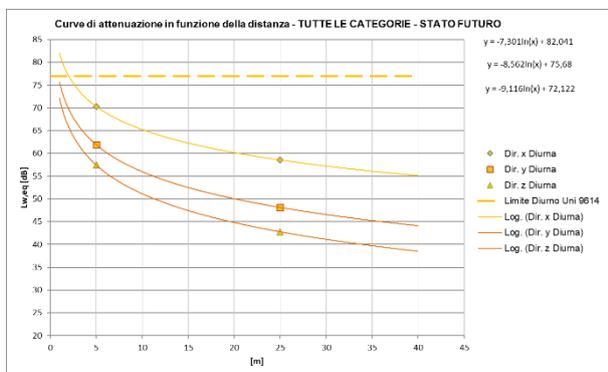


Figura 33 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto **INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE**, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione A alla velocità di 225km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 2 m e del periodo notturno alla distanza di circa 4 m dalla linea ferroviaria.

7.2.6 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria sul Ponte Isarco): valutazione sul livello evento critico per la sezione A, velocità di 225 km/h

Al fine della valutazione dell'evento massimo di transito si valutano i valori massimi di emissione riscontrati dalle indagini sperimentali e riportati alla velocità di progetto, per le tipologie di convogli riscontrati: REGIONALI, EC-EN e MERCI. La valutazione è eseguita sia nell'ambiente che all'interno dell'edificio considerando una amplificazione di +5 dB.

REGIONALI (Velocità = 135km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	84,0	72,8	71,4
S1-P2	25	70,6	61,3	55,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	89,0	77,8	76,4
S1-P2 (interno +5dB)	25	75,6	66,3	60,0

Tabella 7-22 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno REG stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

EC-EN (Velocità = 225km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	88,6	78,7	76,5

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 84 di 128

EC-EN (Velocità = 225km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P2	25	76,4	67,3	61,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	93,6	83,7	81,5
S1-P2 (interno +5dB)	25	81,4	72,3	66,0

Tabella 7-23 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno EC-EN stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

MERCİ (Velocità = 100km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	80,8	69,7	68,5
S1-P2	25	68,1	58,7	53,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	85,8	74,7	73,5
S1-P2 (interno +5dB)	25	73,1	63,7	58,0

Tabella 7-24 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno MERCI stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

Di seguito si riporta la valutazione considerando la curva di attenuazione del singolo convoglio critico.

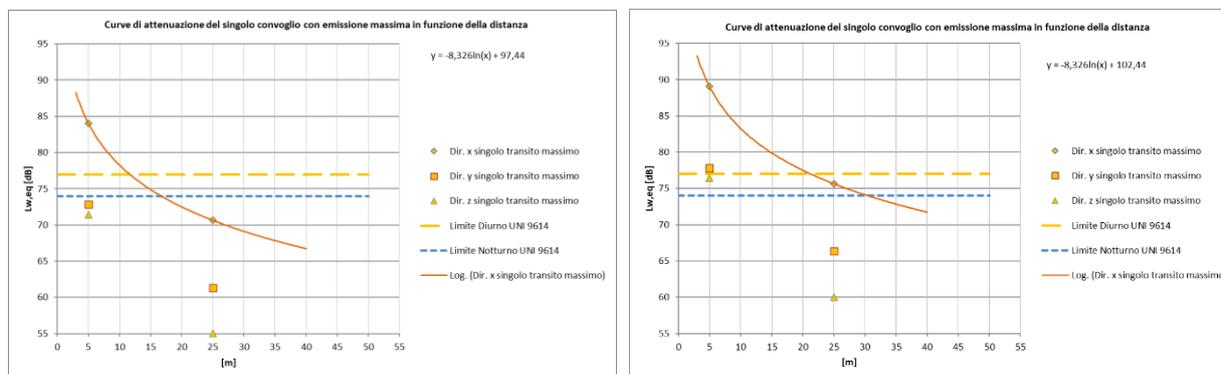


Figura 34 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al transito massimo REG, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 135km/h

APPALTATORE:			PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 85 di 128

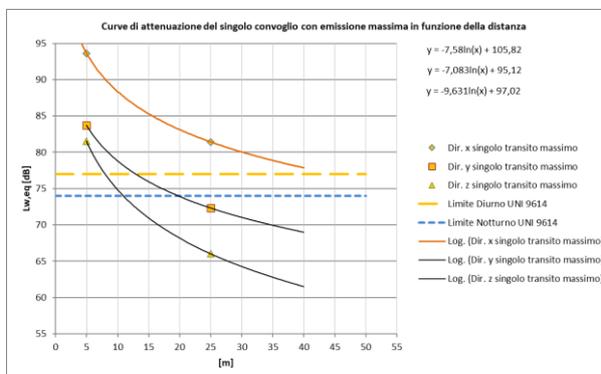
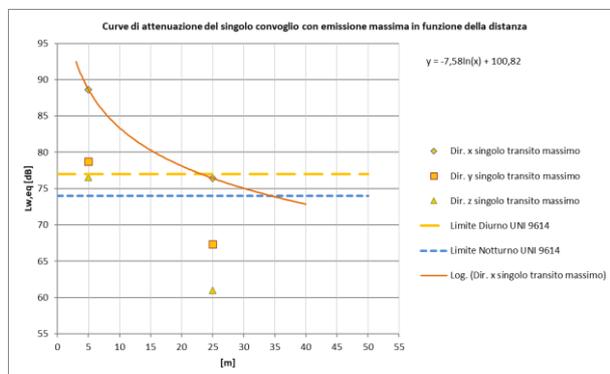


Figura 35 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo EC-EN a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 225km/h**

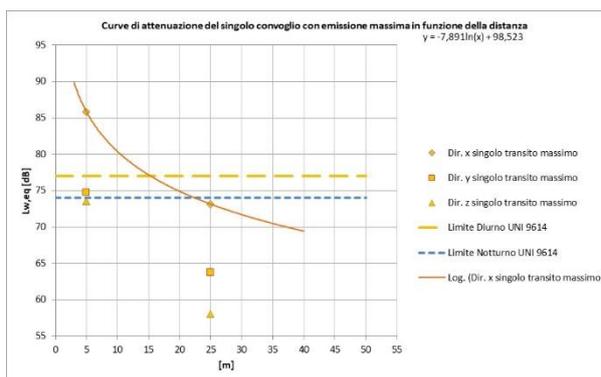
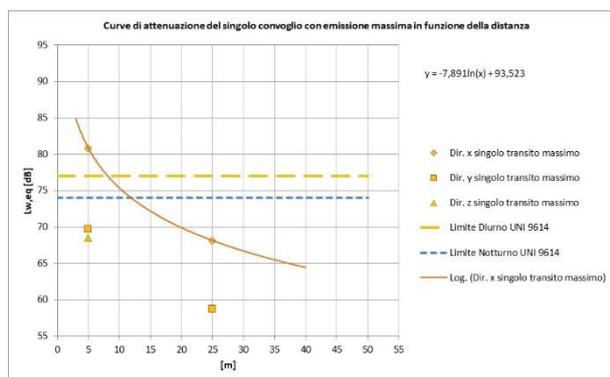


Figura 36 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo MERCI, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 100km/h**

In base alla curva di attenuazione del transito massimo per i tratti al coperto (galleria su Ponte Isarco) per la sezione A alla velocità di 225km/h si riscontra, per il limite del periodo diurno il suo rispetto da circa 25 m e per il limite notturno da circa 35 m dalla linea ferroviaria.

Tali distanze si considerano rappresentative anche per la valutazione all'interno dei ricettori ad uso abitazione. Dall'analisi del modello, infatti, emerge che la propagazione interna all'edificio riscontra per un asse valori di vibrazioni valori che eccederebbero a queste distanze, ma per gli altri due tale distanza sarebbe di molto inferiore. In considerazioni di questo si ritiene maggiormente rappresentativo eseguire la stima sul valore medio ed assumere la distanza limite pari almeno alla propagazione predetta all'esterno del ricettore.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale		IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	86 di 128

7.2.7 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione B, velocità di 80 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	58,7	50,5	45,9	51,2	43,0	38,4
S1-P2	25	46,1	35,8	30,4	38,6	28,3	22,9

Tabella 7-25 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti al coperto

EC-EN (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	52,1	43,3	39,3	44,8	36,0	32,0
S1-P2	25	40,7	30,0	24,7	33,4	22,7	17,4

Tabella 7-26 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti al coperto

MERCİ (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	54,0	46,1	41,1	58,3	50,4	45,4
S1-P2	25	41,8	31,8	26,4	46,1	36,1	30,7

Tabella 7-27 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti al coperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	60,6	52,4	47,8	59,2	51,3	46,3
S1-P2	25	48,3	38,0	32,6	47,0	36,9	31,5

Tabella 7-28 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 87 di 128

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	65,6	57,4	52,8	64,2	56,3	51,3
S1-P2	25	53,3	43,0	37,6	52,0	41,9	36,5

Tabella 7-29 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

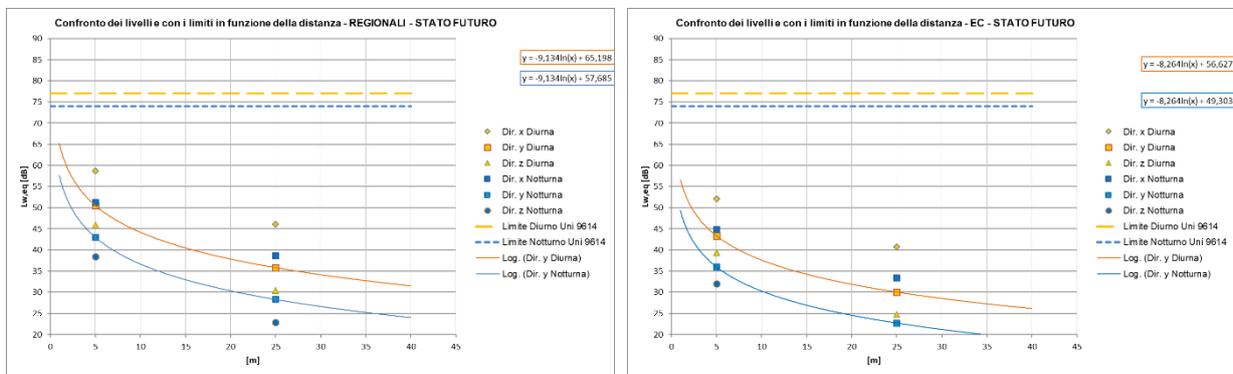


Figura 37 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra alla velocità di 80km/h**

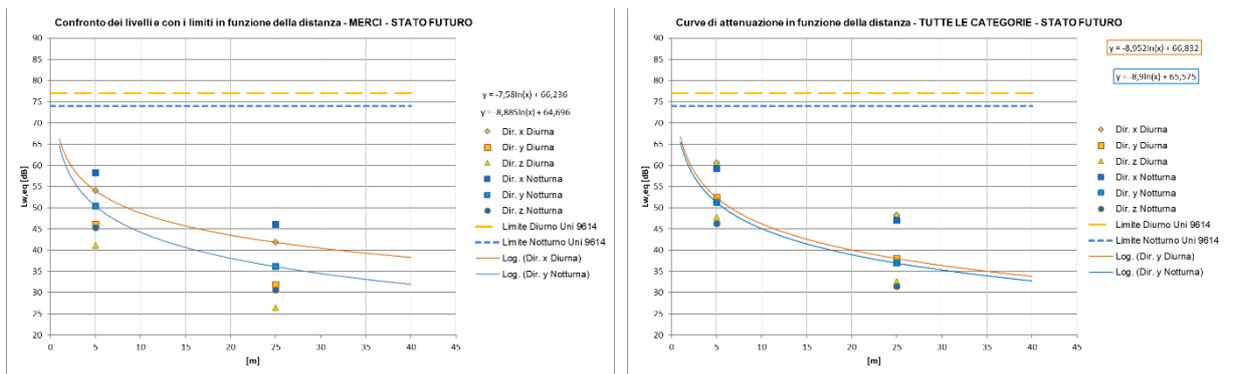


Figura 38 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra alla velocità di 80km/h**

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatari:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO					
	SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE			IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	88 di 128
Relazione Generale								

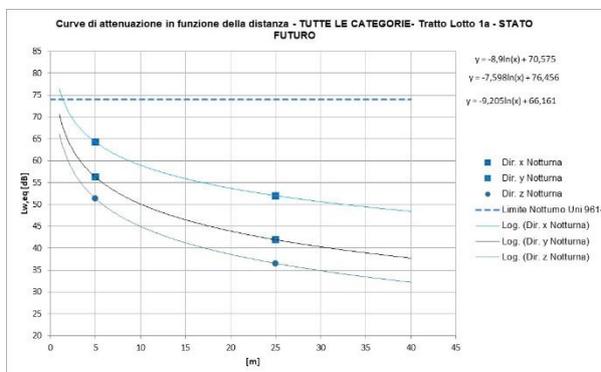
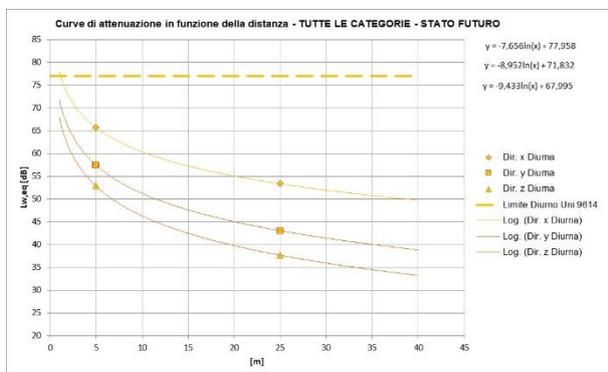


Figura 39 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto **INTERNO AGLI EDIFICI**, Treni **TUTTE LE CATEGORIE**, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione B alla velocità di 80km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 1 m e del periodo notturno alla distanza di circa 1 m dalla linea ferroviaria.

7.2.8 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione B, velocità di 80 km/h

Al fine della valutazione dell'evento massimo di transito si valutano i valori massimi di emissione riscontrati dalle indagini sperimentali e riportati alla velocità di progetto, per le tipologie di convogli riscontrati: REGIONALI, EC-EN e MERCI. La valutazione è eseguita sia nell'ambiente che all'interno dell'edificio considerando una amplificazione di +5 dB.

REGIONALI (Velocità = 80km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	79,5	68,3	66,9
S1-P2	25	66,1	56,8	50,5
S1-P1 (interno +5dB)	5	84,5	73,3	71,9
S1-P2 (interno +5dB)	25	71,1	61,8	55,5

Tabella 7-30 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno REG stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

EC-EN (Velocità = 80km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	79,6	69,7	67,5

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 89 di 128

EC-EN (Velocità = 80km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P2	25	67,4	58,3	52,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	84,6	74,7	72,5
S1-P2 (interno +5dB)	25	72,4	63,3	57,0

Tabella 7-31 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno EC-EN stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

MERCİ (Velocità = 80km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	78,9	67,8	66,6
S1-P2	25	66,2	56,8	51,1
S1-P1 (interno +5dB)	5	83,9	72,8	71,6
S1-P2 (interno +5dB)	25	71,2	61,8	56,1

Tabella 7-32 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno MERCI stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

Di seguito si riporta la valutazione considerando la curva di attenuazione del singolo convoglio critico.

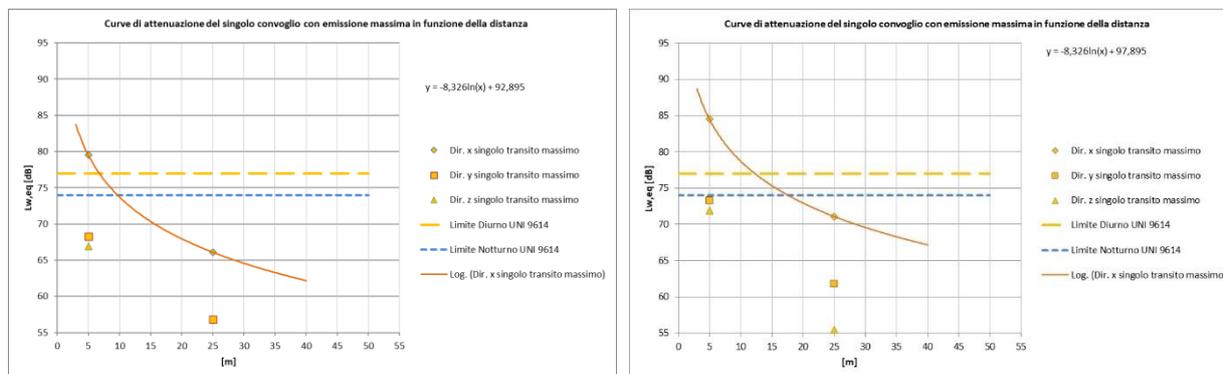


Figura 40 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo REG**, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 80km/h

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 90 di 128

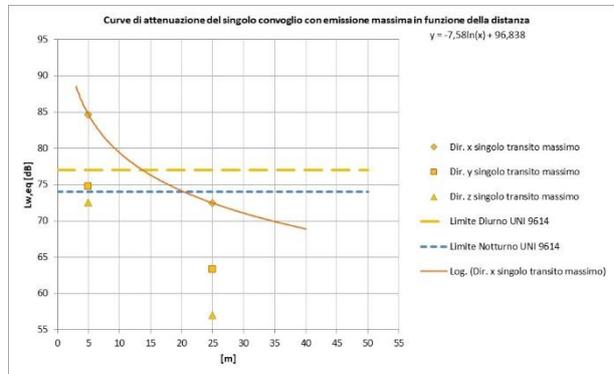
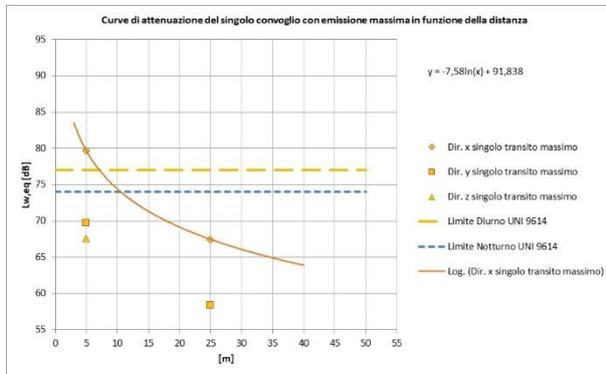


Figura 41 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al transito massimo EC-EN, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 80km/h

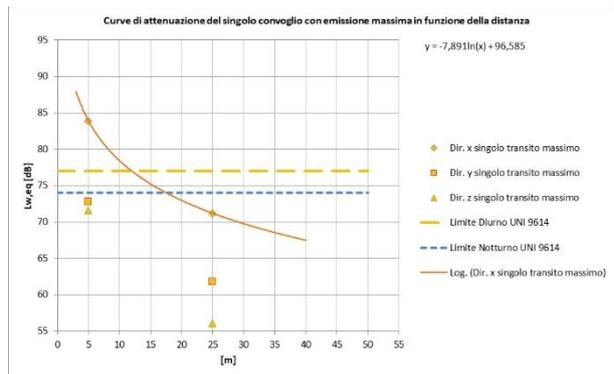
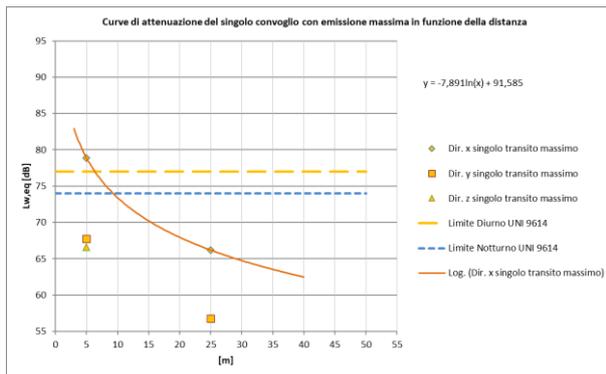


Figura 42 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al transito massimo MERCI, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 80km/h

In base alla curva di attenuazione del transito massimo per i tratti al coperto (galleria) per la sezione B alla velocità di 80km/h si riscontra, per il limite del periodo diurno il suo rispetto da circa 7 m e per il limite notturno da circa 10 m dalla linea ferroviaria.

I limiti interni al ricettore abitazione sono rispettati per il periodo diurno a circa 14m e per il periodo notturno a circa 20 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale		IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	91 di 128

7.2.9 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 80 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	59,1	50,9	46,3	55,0	46,8	42,2
S1-P2	25	46,5	36,2	30,8	42,4	32,1	26,7

Tabella 7-33 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti al coperto

EC-EN (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	59,3	50,5	46,5	51,8	43,0	39,0
S1-P2	25	47,9	37,2	31,9	40,4	29,7	24,4

Tabella 7-34 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti al coperto

MERCİ (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	61,3	53,4	48,4	65,3	57,4	52,4
S1-P2	25	49,1	39,1	33,7	53,1	43,1	37,7

Tabella 7-35 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti al coperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	64,8	56,6	51,9	65,9	57,9	53,0
S1-P2	25	52,7	42,4	37,1	53,7	43,6	38,2

Tabella 7-36 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 92 di 128

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	69,8	61,6	56,9	70,9	62,9	58,0
S1-P2	25	57,7	47,4	42,1	58,7	48,6	43,2

Tabella 7-37 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

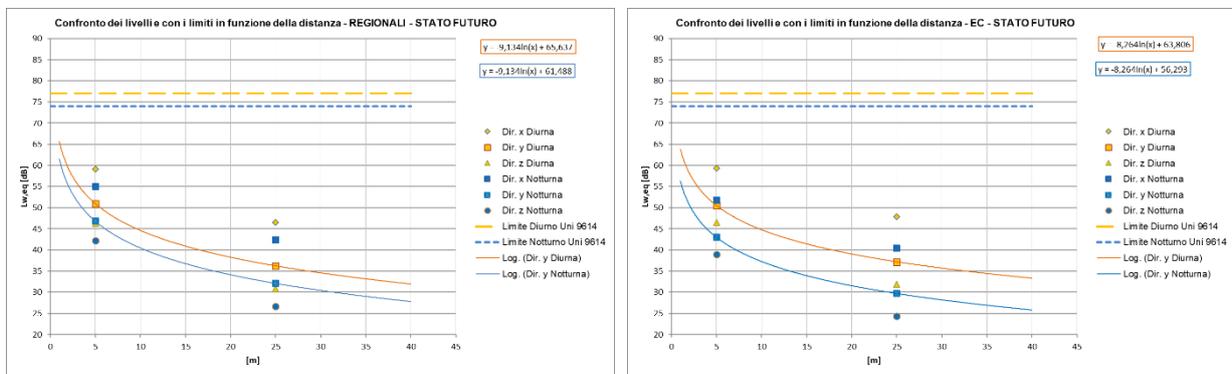


Figura 43 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra alla velocità di 80km/h**

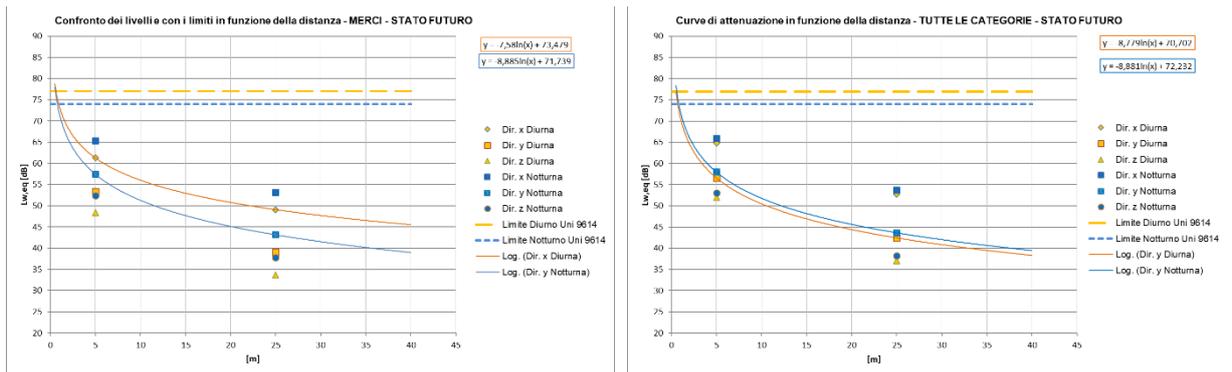


Figura 44 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra alla velocità di 80km/h**

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 93 di 128

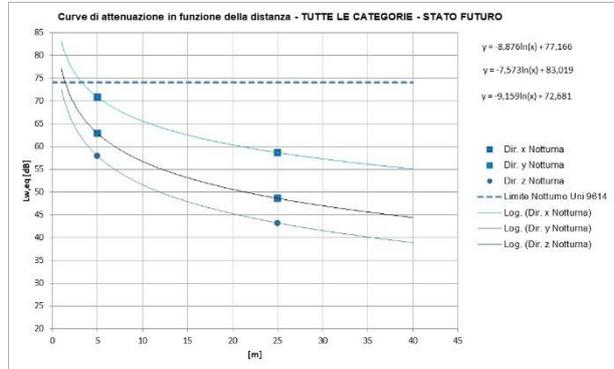
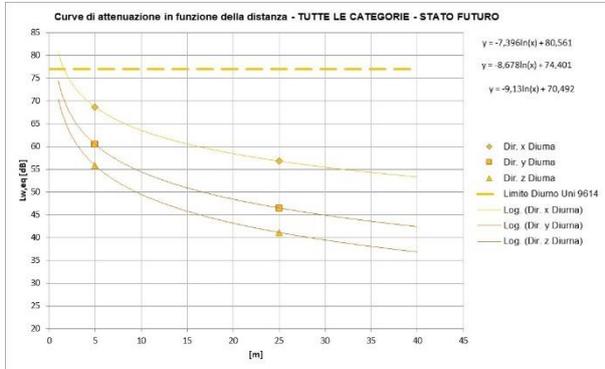


Figura 45 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto **INTERNO AGLI EDIFICI**, Treni **TUTTE LE CATEGORIE**, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione C alla velocità di 80km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 2 m e del periodo notturno alla distanza di circa 3 m dalla linea ferroviaria.

7.2.10 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione C, velocità di 80 km/h

Al fine della valutazione dell'evento massimo di transito si valutano i valori massimi di emissione riscontrati dalle indagini sperimentali e riportati alla velocità di progetto, per le tipologie di convogli riscontrati: REGIONALI, EC-EN e MERCI. La valutazione è eseguita sia nell'ambiente che all'interno dell'edificio considerando una amplificazione di +5 dB.

REGIONALI (Velocità = 80km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	79,5	68,3	66,9
S1-P2	25	66,1	56,8	50,5
S1-P1 (interno +5dB)	5	84,5	73,3	71,9
S1-P2 (interno +5dB)	25	71,1	61,8	55,5

Tabella 7-38 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno REG stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

EC-EN (Velocità = 80km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	79,6	69,7	67,5

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 94 di 128

EC-EN (Velocità = 80km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P2	25	67,4	58,3	52,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	84,6	74,7	72,5
S1-P2 (interno +5dB)	25	72,4	63,3	57,0

Tabella 7-39 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno EC-EN stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

MERCİ (Velocità = 80km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	78,9	67,8	66,6
S1-P2	25	66,2	56,8	51,1
S1-P1 (interno +5dB)	5	83,9	72,8	71,6
S1-P2 (interno +5dB)	25	71,2	61,8	56,1

Tabella 7-40 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno MERCI stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

Di seguito si riporta la valutazione considerando la curva di attenuazione del singolo convoglio critico.

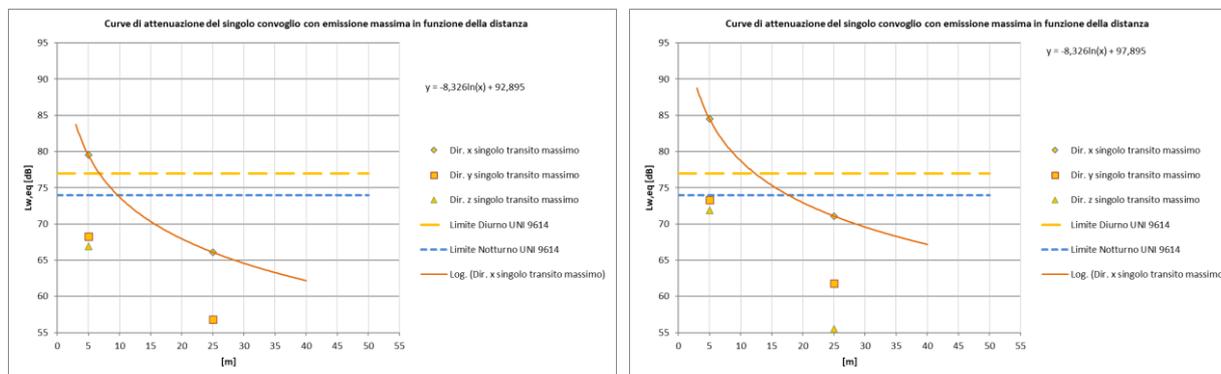


Figura 46 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo REG**, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 80km/h

APPALTATORE:			PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"			
PROGETTAZIONE:	Mandatari: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	95 di 128

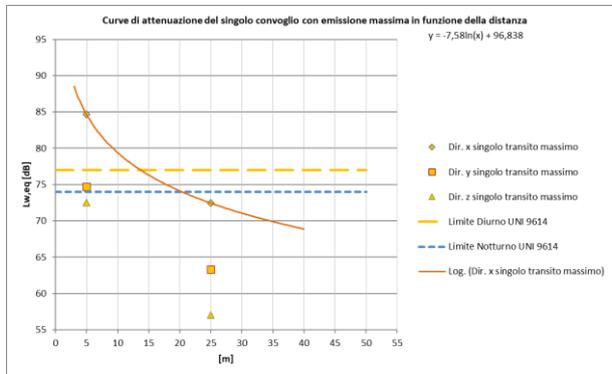
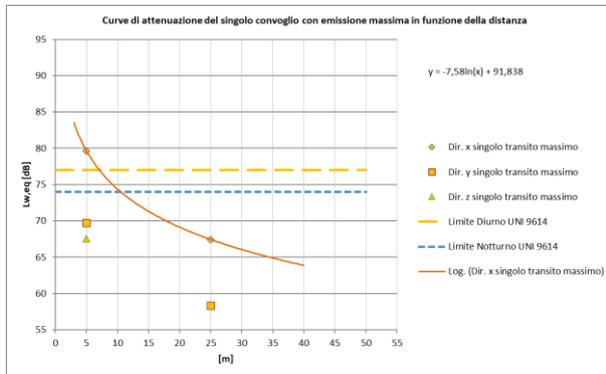


Figura 47 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo EC-EN a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 80km/h**

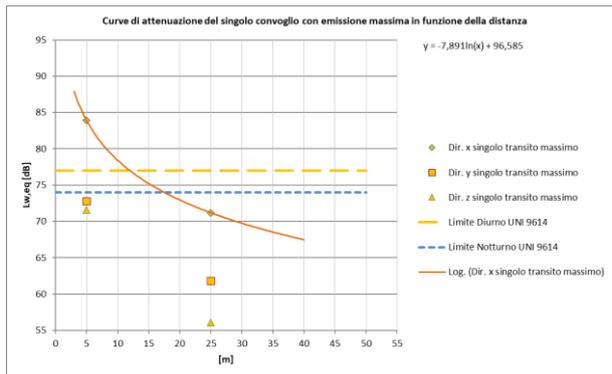
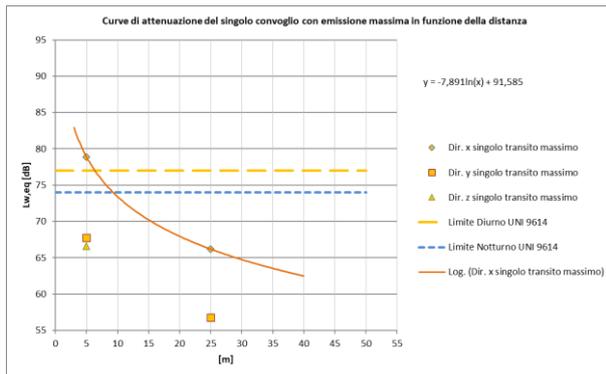


Figura 48 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo MERCI, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 80km/h**

In base alla curva di attenuazione del transito massimo per i tratti al coperto (galleria) per la sezione C alla velocità di 80km/h si riscontra, per il limite del periodo diurno il suo rispetto da circa 7 m e per il limite notturno da circa 10 m dalla linea ferroviaria.

I limiti interni al ricettore abitazione sono rispettati per il periodo diurno a circa 15 m e per il periodo notturno a circa 20 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale		IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	96 di 128

7.2.11 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 135 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 135km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	61,4	53,2	48,6	57,2	49,0	44,4
S1-P2	25	48,8	38,5	33,1	44,6	34,3	28,9

Tabella 7-41 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti al coperto

EC-EN (Velocità = 135km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	61,5	52,7	48,7	54,0	45,2	41,2
S1-P2	25	50,1	39,4	34,1	42,6	31,9	26,6

Tabella 7-42 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti al coperto

MERCİ (Velocità = 135km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	62,3	54,4	49,4	66,3	58,4	53,4
S1-P2	25	50,1	40,1	34,7	54,1	44,1	38,7

Tabella 7-43 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti al coperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	66,5	58,3	53,7	67,1	59,1	54,2
S1-P2	25	54,5	44,1	38,8	54,9	44,8	39,4

Tabella 7-44 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 97 di 128

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S1-P1	5	71,5	63,3	58,7	72,1	64,1	59,2
S1-P2	25	59,5	49,1	43,8	59,9	49,8	44,4

Tabella 7-45 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

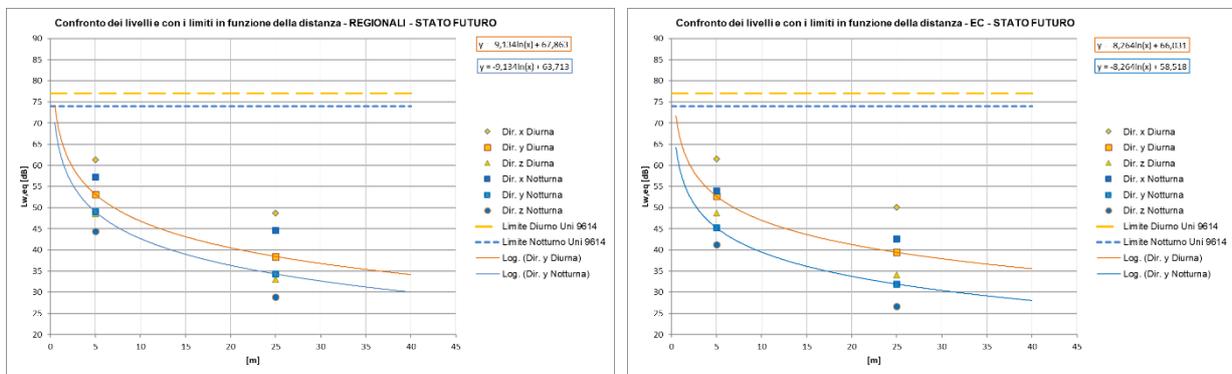


Figura 49 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra alla velocità di 135km/h**

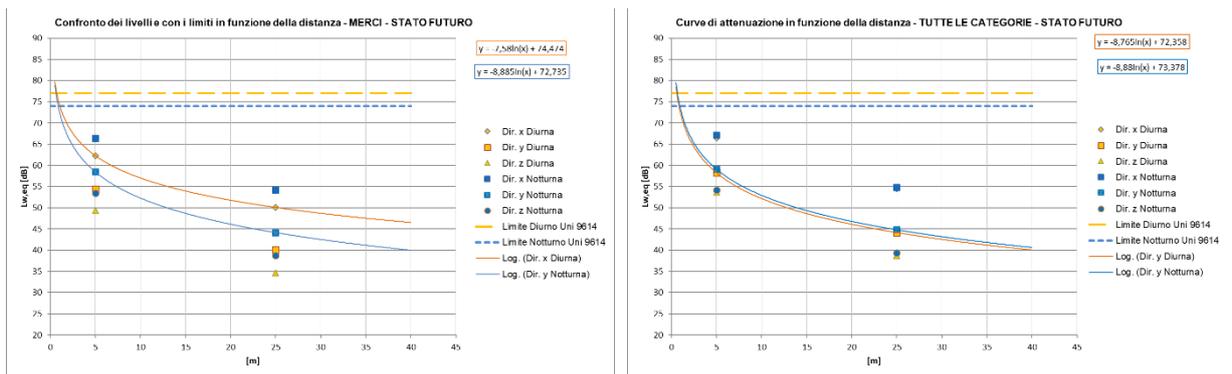


Figura 50 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra alla velocità di 135km/h**

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 98 di 128

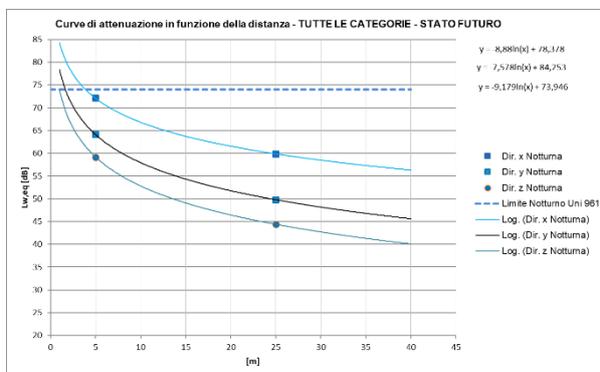
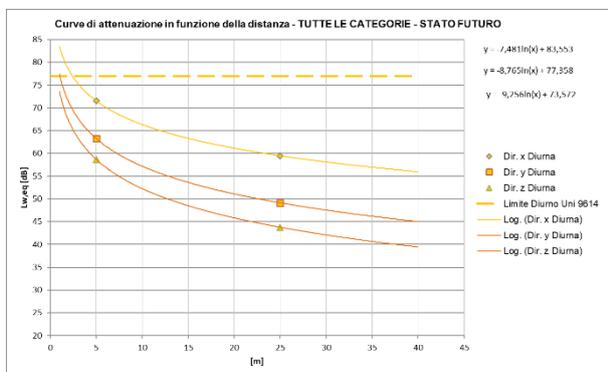


Figura 51 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto **INTERNO AGLI EDIFICI**, **Treni TUTTE LE CATEGORIE**, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione C alla velocità di 135km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 3 m e del periodo notturno alla distanza di circa 4 m dalla linea ferroviaria.

7.2.12 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico per la sezione C, velocità di 135 km/h

Al fine della valutazione dell'evento massimo di transito si valutano i valori massimi di emissione riscontrati dalle indagini sperimentali e riportati alla velocità di progetto, per le tipologie di convogli riscontrati: REGIONALI, EC-EN e MERCI. La valutazione è eseguita sia nell'ambiente che all'interno dell'edificio considerando una amplificazione di +5 dB.

REGIONALI (Velocità = 135km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	84,0	72,8	71,4
S1-P2	25	70,6	61,3	55,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	89,0	77,8	76,4
S1-P2 (interno +5dB)	25	75,6	66,3	60,0

Tabella 7-46 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno REG stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

EC-EN (Velocità = 135km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	84,2	74,3	72,1

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 99 di 128

EC-EN (Velocità = 135km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P2	25	72,0	62,9	56,6
S1-P1 (interno +5dB)	5	89,2	79,3	77,1
S1-P2 (interno +5dB)	25	77,0	67,9	61,6

Tabella 7-47 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno EC-EN stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

MERCİ (Velocità = 135km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
S1-P1	5	80,8	69,7	68,5
S1-P2	25	68,1	58,7	53,0
S1-P1 (interno +5dB)	5	85,8	74,7	73,5
S1-P2 (interno +5dB)	25	73,1	63,7	58,0

Tabella 7-48 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno MERCI stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

Di seguito si riporta la valutazione considerando la curva di attenuazione del singolo convoglio critico.

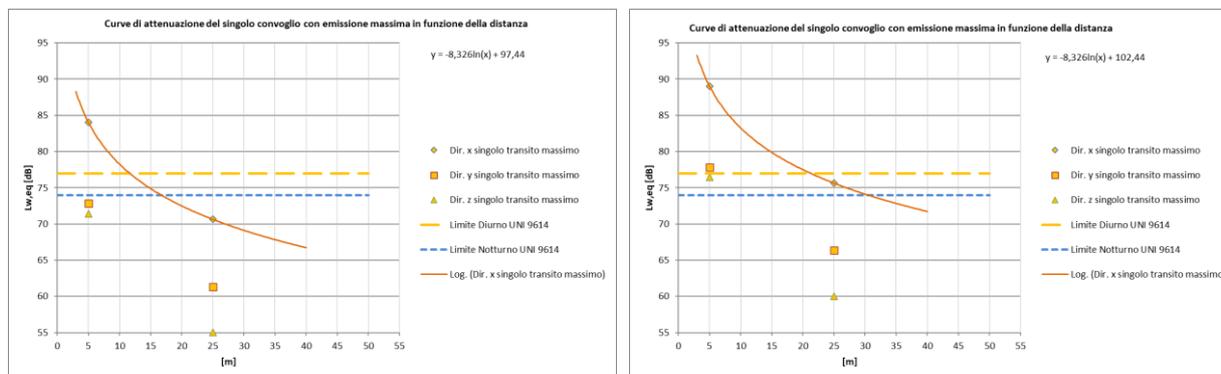


Figura 52 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo REG**, a sinistra all'esterno, a destra all'interno – tratti al coperto a 135km/h

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	100 di 128

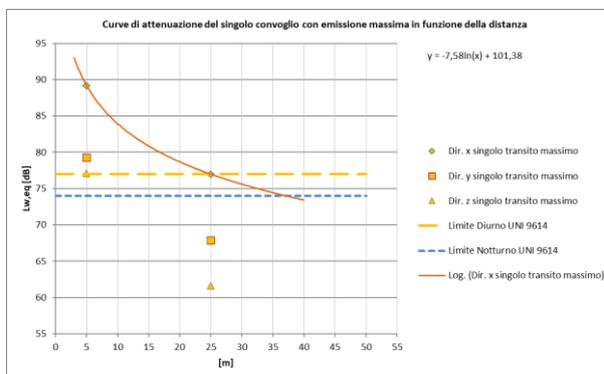
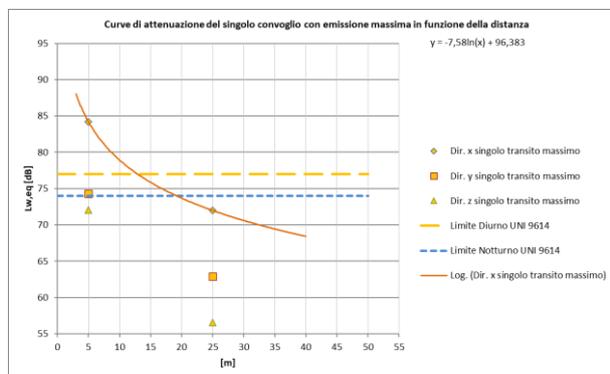


Figura 53 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo EC-EN a sinistra all'esterno, a destra all'interno** – tratti al coperto a 135km/h

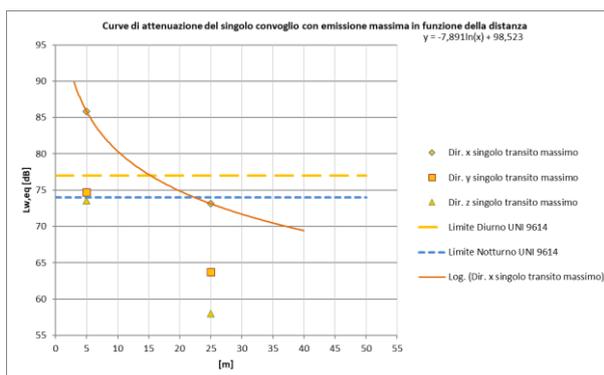
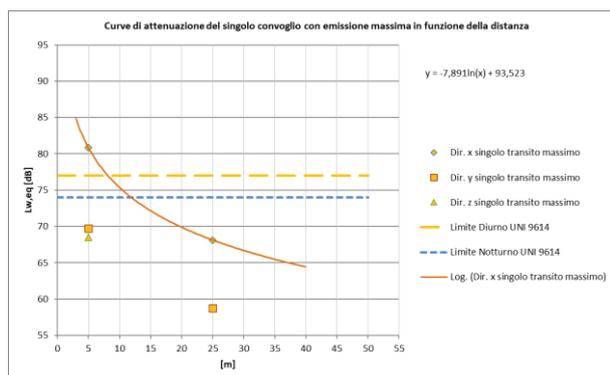


Figura 54 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al **transito massimo MERCI, a sinistra all'esterno, a destra all'interno** – tratti al coperto a 135km/h

In base alla curva di attenuazione del transito massimo per i tratti al coperto (galleria) per la sezione C alla velocità di 135 km/h si riscontra, per il limite del periodo diurno il suo rispetto da circa 13 m e per il limite notturno da circa 20 m dalla linea ferroviaria.

I limiti interni al ricettore abitazione sono rispettati per il periodo diurno a circa 25 m e per il periodo notturno a circa 37 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale		IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	101 di 128

7.2.13 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 60 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 60km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	58,5	48,7	43,9	62,2	52,4	47,6
S2-P2	11,75	55,4	53,1	47,3	59,1	56,8	51,0
S2-P3	20,4	39,3	30,1	32,9	43,0	33,8	36,6
S2-P4	31,9	48,5	36,5	31,3	52,2	40,2	35,0

Tabella 7-49 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti allo scoperto

EC-EN (Velocità = 60km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	66,3	57,2	51,3	58,8	49,7	43,8
S2-P2	11,75	66,6	59,5	55,6	59,1	52,0	48,1
S2-P3	20,4	46,9	42,7	45,5	39,4	35,2	38,0
S2-P4	31,9	59,2	45,6	39,6	51,7	38,1	32,1

Tabella 7-50 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti allo scoperto

MERCİ (Velocità = 60km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	68,9	60,9	55,5	72,9	64,9	59,5
S2-P2	11,75	68,8	62,9	58,7	72,8	66,9	62,7
S2-P3	20,4	49,5	42,7	45,1	53,5	46,7	49,1
S2-P4	31,9	58,8	44,8	40,2	62,8	48,8	44,2

Tabella 7-51 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti allo scoperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 102 di 128

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	71,0	62,6	57,1	73,4	65,2	59,9
S2-P2	11,75	71,0	64,8	60,6	73,1	67,4	63,1
S2-P3	20,4	51,7	45,8	48,4	54,0	47,2	49,6
S2-P4	31,9	62,2	48,5	43,2	63,5	49,7	44,9

Tabella 7-52 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	76,0	67,6	62,1	78,4	70,2	64,9
S2-P2	11,75	76,0	69,8	65,6	78,1	72,4	68,1
S2-P3	20,4	56,7	50,8	53,4	59,0	52,2	54,6
S2-P4	31,9	67,2	53,5	48,2	68,5	54,7	49,9

Tabella 7-53 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

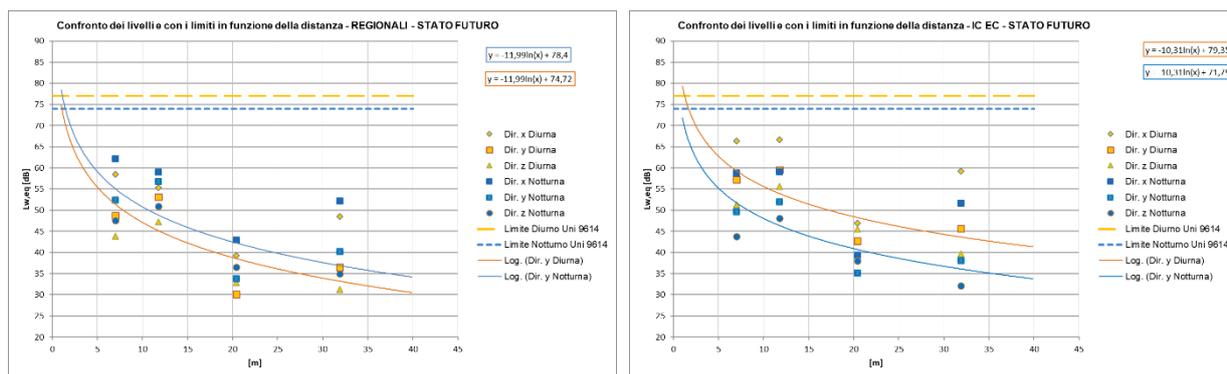


Figura 55 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra alla velocità di 60km/h**

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 103 di 128

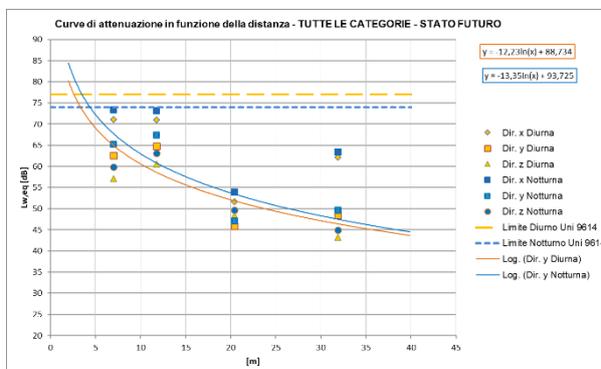
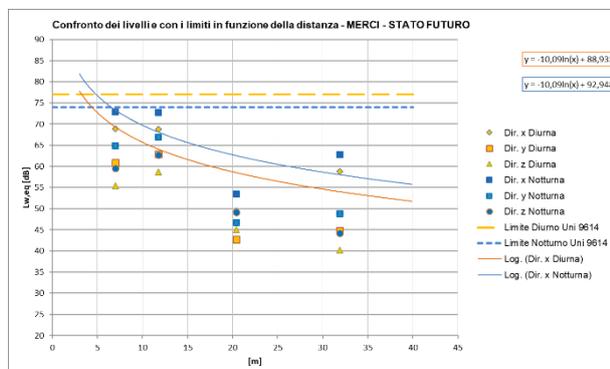


Figura 56 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra** alla velocità di 60km/h

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

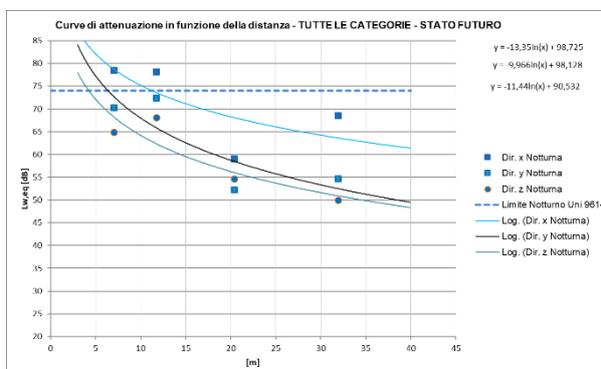
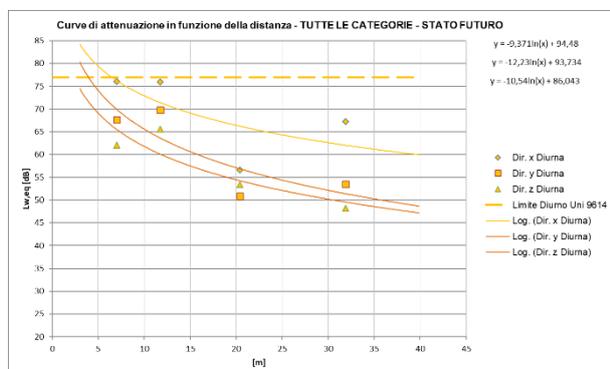


Figura 57 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto **INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra**

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti allo scoperto per la sezione A alla velocità di 60km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 7 m e del periodo notturno alla distanza di circa 12 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE						
Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	104 di 128

7.2.14 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 100 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	60,8	51,0	46,2	64,4	54,6	49,8
S2-P2	11,75	57,7	55,4	49,6	61,3	59,0	53,2
S2-P3	20,4	41,6	32,4	35,2	45,2	36,0	38,8
S2-P4	31,9	50,8	38,8	33,6	54,4	42,4	37,2

Tabella 7-54 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti allo scoperto

EC-EN (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	68,5	59,4	53,5	61,0	51,9	46,0
S2-P2	11,75	68,8	61,7	57,8	61,3	54,2	50,3
S2-P3	20,4	49,1	44,9	47,7	41,6	37,4	40,2
S2-P4	31,9	61,4	47,8	41,8	53,9	40,3	34,3

Tabella 7-55 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti allo scoperto

MERCİ (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	71,1	63,1	57,7	75,1	67,1	61,7
S2-P2	11,75	71,0	65,1	60,9	75,0	69,1	64,9
S2-P3	20,4	51,7	44,9	47,3	55,7	48,9	51,3
S2-P4	31,9	61,0	47,0	42,4	65,0	51,0	46,4

Tabella 7-56 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti allo scoperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 105 di 128

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	73,3	64,8	59,3	75,6	67,5	62,1
S2-P2	11,75	73,2	67,1	62,9	75,4	69,7	65,4
S2-P3	20,4	53,9	48,0	50,7	56,3	49,4	51,9
S2-P4	31,9	64,4	50,7	45,4	65,7	51,9	47,2

Tabella 7-57 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	78,3	69,8	64,3	80,6	72,5	67,1
S2-P2	11,75	78,2	72,1	67,9	80,4	74,7	70,4
S2-P3	20,4	58,9	53,0	55,7	61,3	54,4	56,9
S2-P4	31,9	69,4	55,7	50,4	70,7	56,9	52,2

Tabella 7-58 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

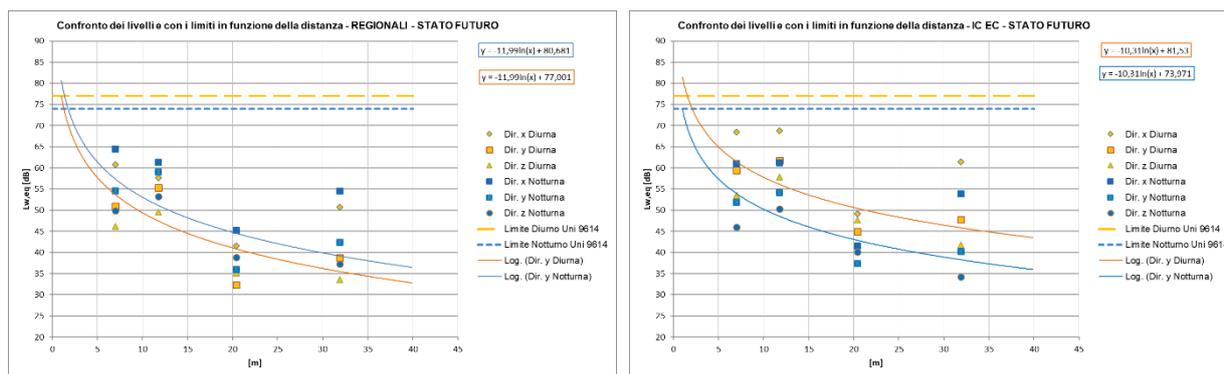


Figura 58 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra** alla velocità di 100km/h

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 106 di 128

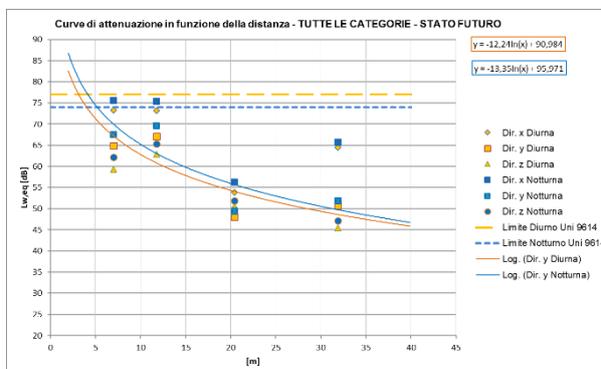
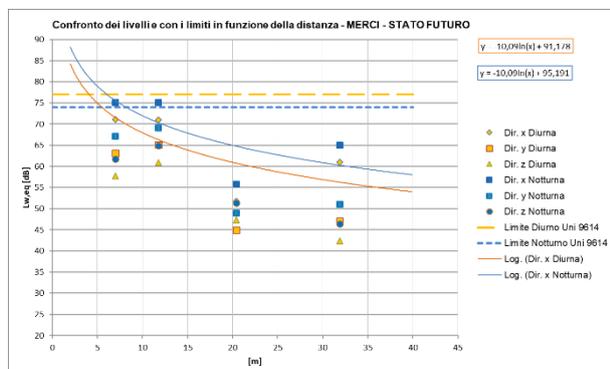


Figura 59 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra** alla velocità di 100km/h

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

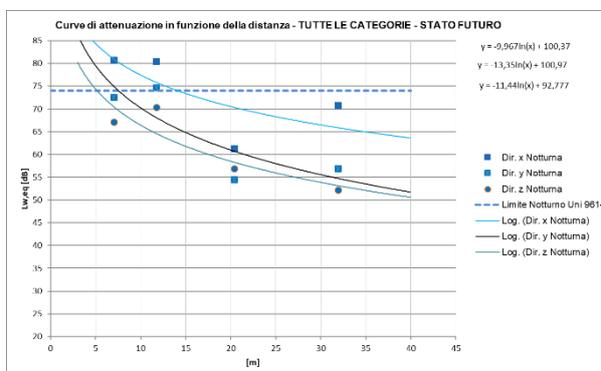
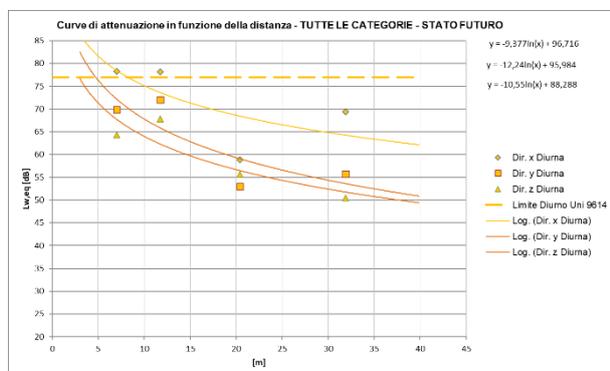


Figura 60 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto **INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra**

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione A alla velocità di 100 km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 8 m e del periodo notturno alla distanza di circa 14 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 107 di 128	

7.2.15 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Viadotto sul Fiume Isarco): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 225 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 135km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	61,9	52,1	47,3	65,6	55,8	51,0
S2-P2	11,75	58,8	56,5	50,7	62,5	60,2	54,4
S2-P3	20,4	42,7	33,5	36,3	46,4	37,2	40,0
S2-P4	31,9	51,9	39,9	34,7	55,6	43,6	38,4

Tabella 7-59 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti allo scoperto

EC-EN (Velocità = 225km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	72,1	63,0	57,1	64,6	55,5	49,6
S2-P2	11,75	72,4	65,3	61,4	64,9	57,8	53,9
S2-P3	20,4	52,7	48,5	51,3	45,2	41,0	43,8
S2-P4	31,9	65,0	51,4	45,4	57,5	43,9	37,9

Tabella 7-60 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti allo scoperto

MERCİ (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	71,1	63,1	57,7	75,1	67,1	61,7
S2-P2	11,75	71,0	65,1	60,9	75,0	69,1	64,9
S2-P3	20,4	51,7	44,9	47,3	55,7	48,9	51,3
S2-P4	31,9	61,0	47,0	42,4	65,0	51,0	46,4

Tabella 7-61 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti allo scoperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 108 di 128

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	74,9	66,3	60,7	75,9	67,7	62,3
S2-P2	11,75	74,9	68,5	64,4	75,6	69,9	65,6
S2-P3	20,4	55,5	50,2	52,9	56,5	49,8	52,3
S2-P4	31,9	66,6	53,0	47,4	66,1	52,4	47,6

Tabella 7-62 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	79,9	71,3	65,7	80,9	72,7	67,3
S2-P2	11,75	79,9	73,5	69,4	80,6	74,9	70,6
S2-P3	20,4	60,5	55,2	57,9	61,5	54,8	57,3
S2-P4	31,9	71,6	58,0	52,4	71,1	57,4	52,6

Tabella 7-63 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

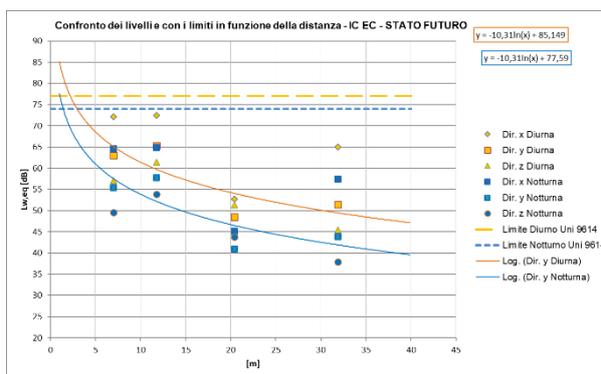
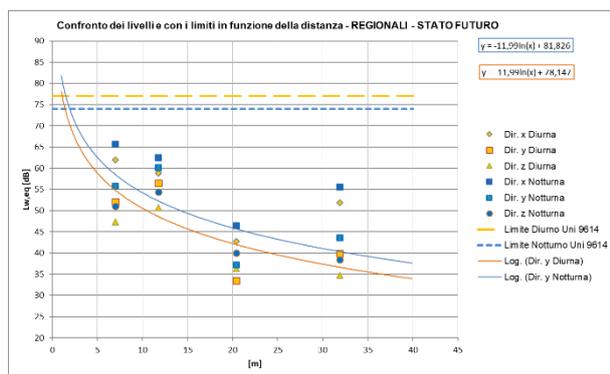


Figura 61 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, TRENI REGIONALI a sinistra a 135km/h e TRENI EC-EN a destra a 225km/h

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 109 di 128

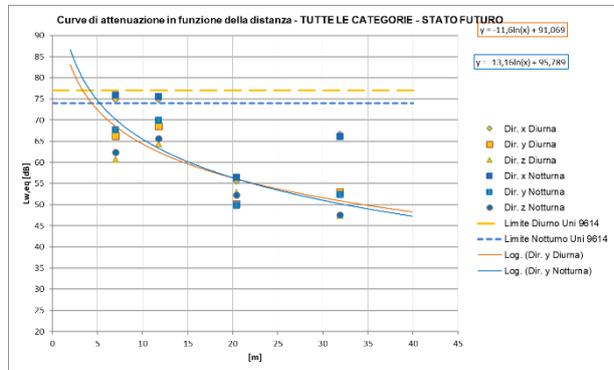
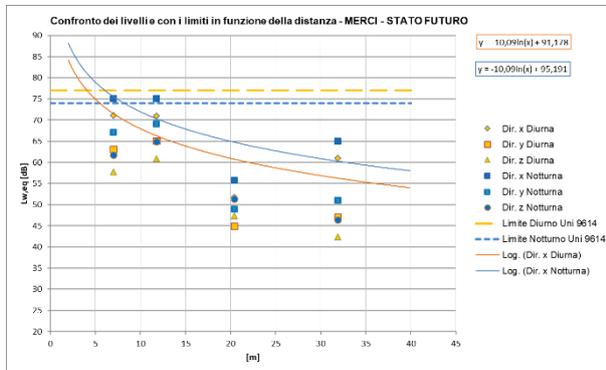


Figura 62 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI MERCI a sinistra a 100km/h e TUTTE LE CATEGORIE a destra**

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

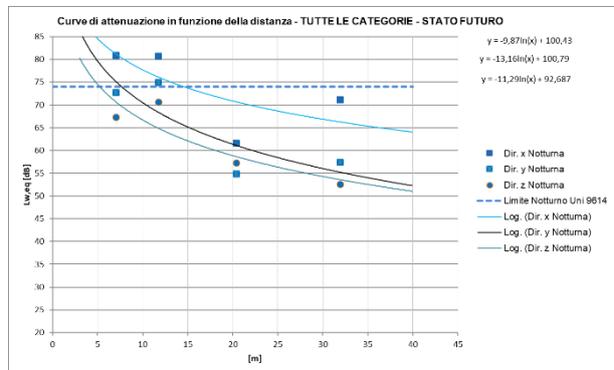
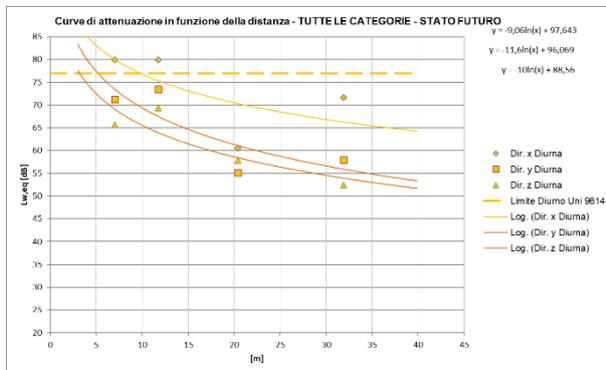


Figura 63 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto **INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra**

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione A alla velocità di 225 km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 10 m e del periodo notturno alla distanza di circa 15 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE						
Relazione Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	110 di 128

7.2.16 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione B, velocità di 80 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	69,4	59,6	54,8	61,9	52,1	47,3
S2-P2	11,75	66,3	64,0	58,2	58,8	56,5	50,7
S2-P3	20,4	50,2	41,0	43,8	42,7	33,5	36,3
S2-P4	31,9	59,4	47,4	42,2	51,9	39,9	34,7

Tabella 7-64 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti allo scoperto

EC-EN (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	61,4	52,3	46,4	54,0	44,9	39,0
S2-P2	11,75	61,7	54,6	50,7	54,3	47,2	43,3
S2-P3	20,4	42,0	37,8	40,6	34,6	30,4	33,2
S2-P4	31,9	54,3	40,7	34,7	46,9	33,3	27,3

Tabella 7-65 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti allo scoperto

MERCİ (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	63,7	55,7	50,3	68,0	60,0	54,6
S2-P2	11,75	63,6	57,7	53,5	67,9	62,0	57,8
S2-P3	20,4	44,3	37,5	39,9	48,6	41,8	44,2
S2-P4	31,9	53,6	39,6	35,0	57,9	43,9	39,3

Tabella 7-66 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti allo scoperto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 111 di 128

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	70,9	61,6	56,6	69,1	60,8	55,4
S2-P2	11,75	69,1	65,3	60,0	68,6	63,2	58,7
S2-P3	20,4	51,7	43,8	46,6	49,7	42,7	45,1
S2-P4	31,9	61,4	48,8	43,6	59,1	45,6	40,8

Tabella 7-67 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	75,9	66,6	61,6	74,1	65,8	60,4
S2-P2	11,75	74,1	70,3	65,0	73,6	68,2	63,7
S2-P3	20,4	56,7	48,8	51,6	54,7	47,7	50,1
S2-P4	31,9	66,4	53,8	48,6	64,1	50,6	45,8

Tabella 7-68 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

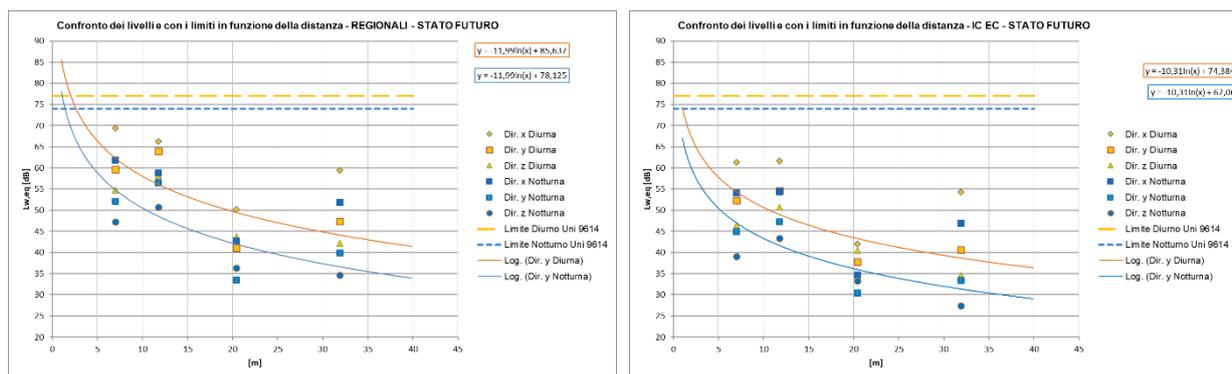


Figura 64 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI REGIONALI** a sinistra e **TRENI EC-EN** a destra alla velocità di 80km/h

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 112 di 128

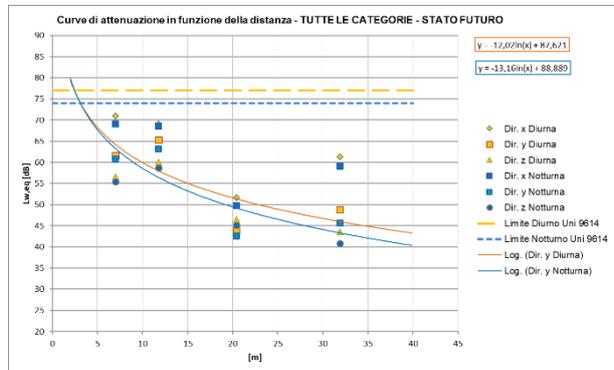
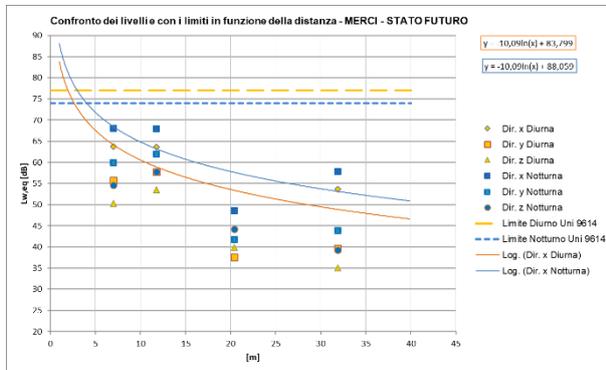


Figura 65 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI MERCY a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra** alla velocità di 80km/h

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

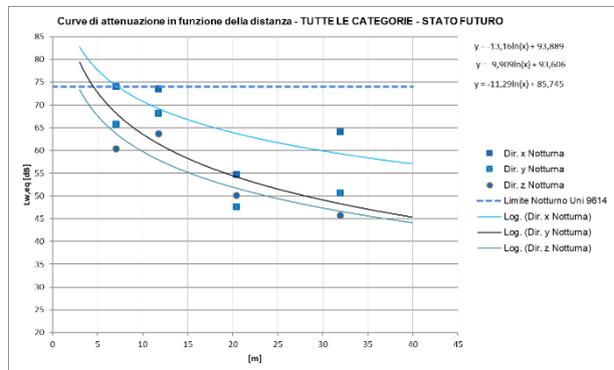
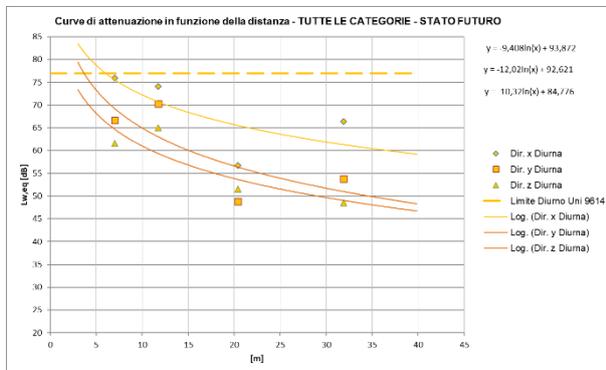


Figura 66 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto **INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra**

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione B alla velocità di 80km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 6 m e del periodo notturno alla distanza di circa 7 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 113 di 128	

7.2.17 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 80 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	69,8	60,0	55,2	65,7	55,9	51,1
S2-P2	11,75	66,7	64,4	58,6	62,6	60,3	54,5
S2-P3	20,4	50,6	41,4	44,2	46,5	37,3	40,1
S2-P4	31,9	59,8	47,8	42,6	55,7	43,7	38,5

Tabella 7-69 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti allo scoperto

EC-EN (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	68,5	59,4	53,5	61,0	51,9	46,0
S2-P2	11,75	68,8	61,7	57,8	61,3	54,2	50,3
S2-P3	20,4	49,1	44,9	47,7	41,6	37,4	40,2
S2-P4	31,9	61,4	47,8	41,8	53,9	40,3	34,3

Tabella 7-70 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti allo scoperto

MERCİ (Velocità = 80km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	71,0	63,0	57,6	75,0	67,0	61,6
S2-P2	11,75	70,9	65,0	60,8	74,9	69,0	64,8
S2-P3	20,4	51,6	44,8	47,2	55,6	48,8	51,2
S2-P4	31,9	60,9	46,9	42,3	64,9	50,9	46,3

Tabella 7-71 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti allo scoperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	74,7	65,9	60,5	75,7	67,5	62,1

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 114 di 128	

S2-P2	11,75	73,9	68,7	64,0	75,4	69,7	65,4
S2-P3	20,4	55,3	48,8	51,4	56,3	49,4	51,9
S2-P4	31,9	65,5	52,3	47,0	65,7	52,0	47,2

Tabella 7-72 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	79,7	70,9	65,5	80,7	72,5	67,1
S2-P2	11,75	78,9	73,7	69,0	80,4	74,7	70,4
S2-P3	20,4	60,3	53,8	56,4	61,3	54,4	56,9
S2-P4	31,9	70,5	57,3	52,0	70,7	57,0	52,2

Tabella 7-73 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

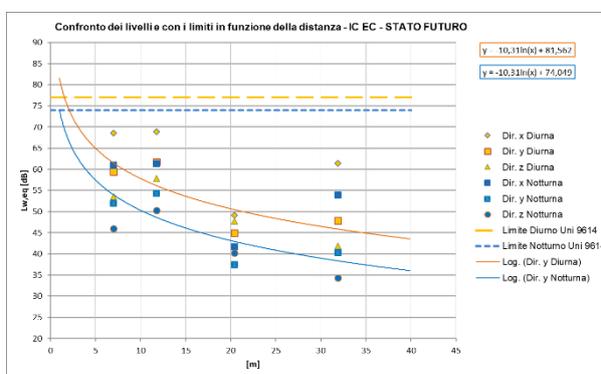
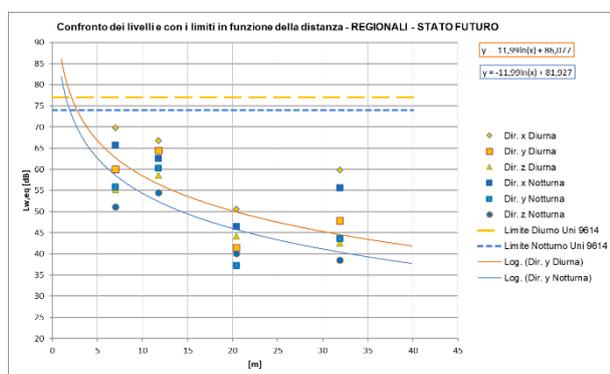


Figura 67 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra alla velocità di 80km/h**

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 115 di 128

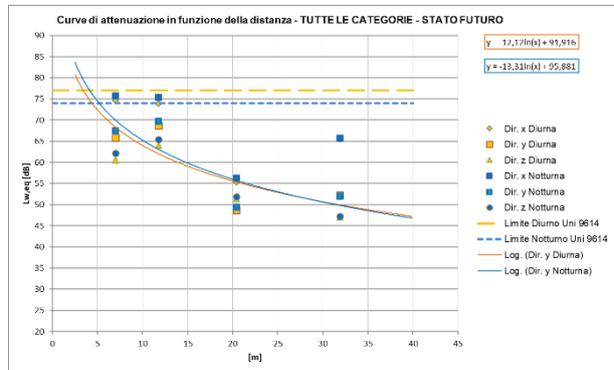
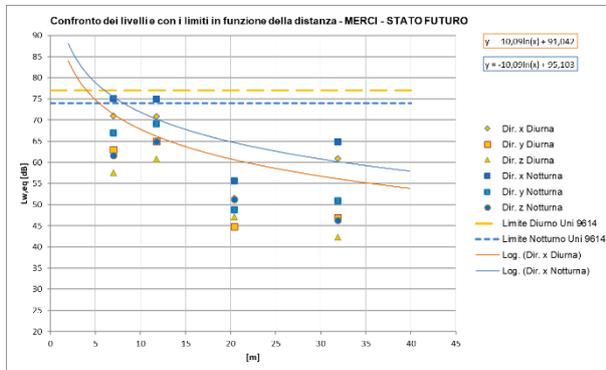


Figura 68 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra** alla velocità di 80km/h

Nei grafici seguenti si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

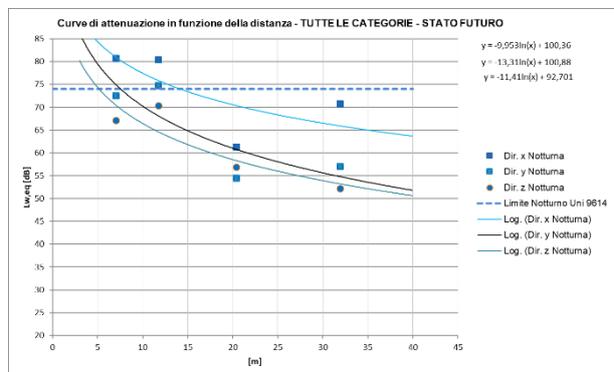
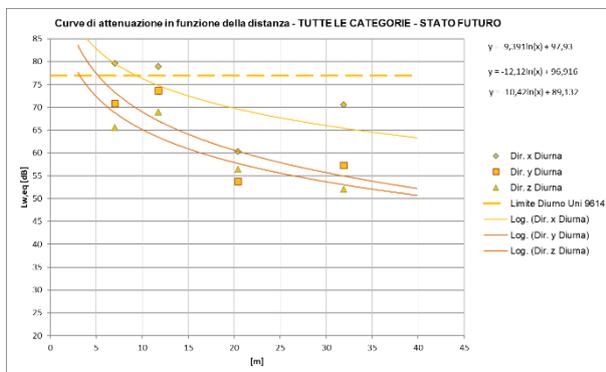


Figura 69 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto **INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, p. diurna a sinistra, p. notturna a destra**

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione C alla velocità di 80km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 10 m e del periodo notturno alla distanza di circa 15 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 116 di 128	

7.2.18 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto): valutazione sul livello dei periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 135 km/h

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

REGIONALI (Velocità = 135km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	72,1	62,3	57,5	67,9	58,1	53,3
S2-P2	11,75	69,0	66,7	60,9	64,8	62,5	56,7
S2-P3	20,4	52,9	43,7	46,5	48,7	39,5	42,3
S2-P4	31,9	62,1	50,1	44,9	57,9	45,9	40,7

Tabella 7-74 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI tratti allo scoperto

EC-EN (Velocità = 135km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	70,7	61,6	55,7	63,1	54,0	48,1
S2-P2	11,75	71,0	63,9	60,0	63,4	56,3	52,4
S2-P3	20,4	51,3	47,1	49,9	43,7	39,5	42,3
S2-P4	31,9	63,6	50,0	44,0	56,0	42,4	36,4

Tabella 7-75 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI EC-EN tratti allo scoperto

MERCİ (Velocità = 135km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	72,0	64,0	58,6	76,1	68,1	62,7
S2-P2	11,75	71,9	66,0	61,8	76,0	70,1	65,9
S2-P3	20,4	52,6	45,8	48,2	56,7	49,9	52,3
S2-P4	31,9	61,9	47,9	43,3	66,0	52,0	47,4

Tabella 7-76 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti allo scoperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	76,4	67,5	62,2	76,9	68,7	63,3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 117 di 128	

S2-P2	11,75	75,6	70,5	65,7	76,5	70,9	66,6
S2-P3	20,4	57,1	50,5	53,2	57,5	50,6	53,1
S2-P4	31,9	67,4	54,2	48,9	67,0	53,3	48,5

Tabella 7-77 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
S2-P1	7	81,4	72,5	67,2	81,9	73,7	68,3
S2-P2	11,75	80,6	75,5	70,7	81,5	75,9	71,6
S2-P3	20,4	62,1	55,5	58,2	62,5	55,6	58,1
S2-P4	31,9	72,4	59,2	53,9	72,0	58,3	53,5

Tabella 7-78 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

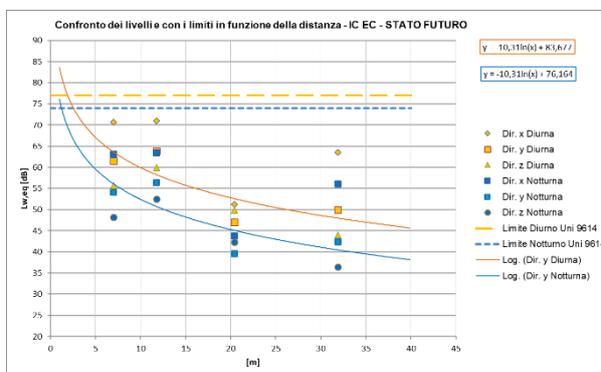
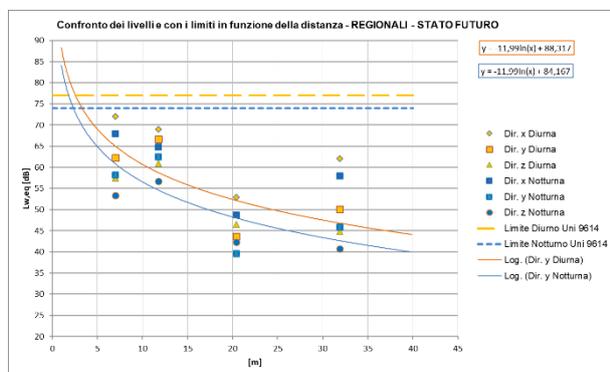


Figura 70 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI REGIONALI a sinistra e TRENI EC-EN a destra** alla velocità di 135km/h

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	118 di 128

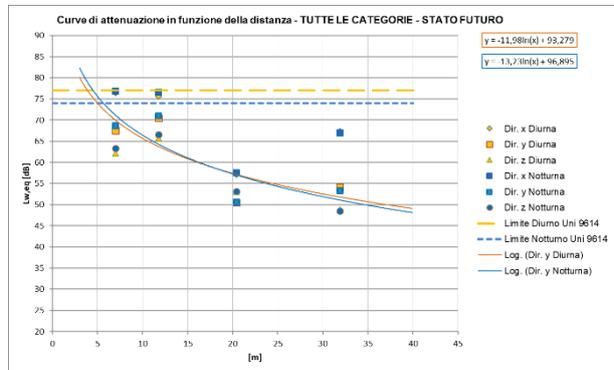
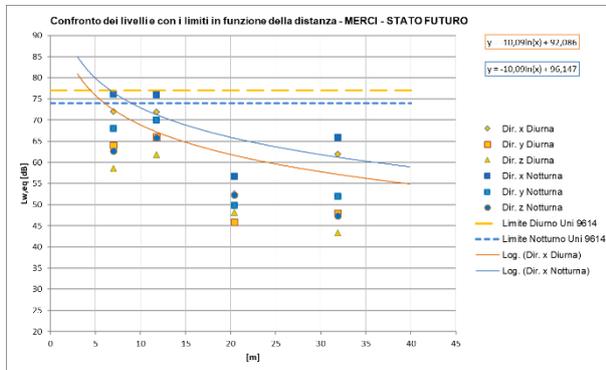


Figura 71 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, **TRENI MERCI a sinistra e TUTTE LE CATEGORIE a destra** alla velocità di 135km/h

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

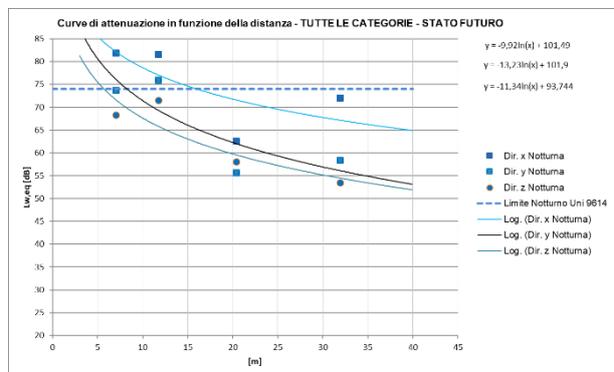
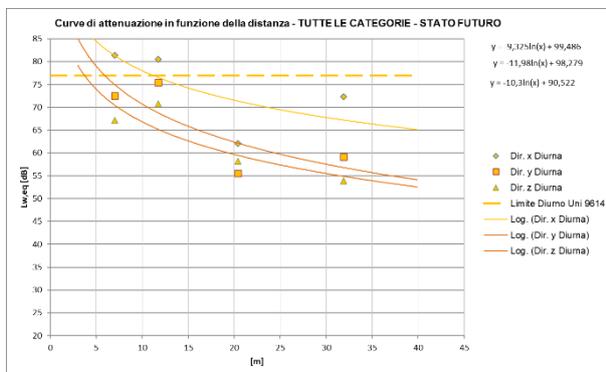


Figura 72 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto **INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE**, p. diurno a sinistra, p. notturno a destra

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto per la sezione C alla velocità di 135km/h, si riscontra il rispetto dei limiti all'interno degli edifici, del periodo diurno alla distanza di circa 11 m e del periodo notturno alla distanza di circa 16 m dalla linea ferroviaria.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 119 di 128

8. VALUTAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO

Il livello di esposizione alle vibrazioni dei ricettori lungo la tratta oggetto di studio è stato analizzato mediante degli algoritmi di calcolo calibrati sul territorio mediante gli esiti delle misure condotte sulla linea ferroviaria esistente, su due sezioni di indagine, ognuna con quattro postazioni contemporanee caratterizzate da una terna di rilievo lungo gli assi X, Y e Z.

Al fine della valutazione del progetto di esercizio, prendendo in considerazione gli eventi registrati nella Sezione 1 di misura, ritenuta caratterizzante della futura linea per la propagazione delle vibrazioni per i tratti al coperto, la Sezione 2 ritenuta caratterizzante i tratti allo scoperto (rilevato e viadotto), riferendosi al traffico e alle velocità di progetto, si evince nella tabella seguente la distanza limite alla quale è atteso il rispetto del limite delle vibrazioni, all'interno degli edifici ad uso abitativo, in periodo diurno e notturno in funzione del modello di esercizio per i diversi tratti (tipologia, numero e velocità dei convogli) e la valutazione sul singolo transito massimo per la galleria. Per il dettaglio del livello di accelerazione medio sui tratti si rimanda alla consultazione delle tabelle contenute nel paragrafo della valutazione delle emissioni delle vibrazioni.

In dettaglio, si identificano le seguenti distanze dalla linea ferroviaria per le quali si stimano valori inferiori ai limiti normativi all'interno degli edifici.

Tratti linea in progetto	Distanza limite dalla linea ferr. per il p. diurno	Distanza limite dalla linea ferr. per il p. notturno
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 60 km/h	1 m	3 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione A, velocità di 60 km/h	10 m	15 m
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 100 km/h	2 m	4 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione A, velocità di 100 km/h	17 m	25 m
tratti al coperto (Galleria Ponte Isarco) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 225 km/h	2 m	4 m
tratti al coperto (Galleria Ponte Isarco) / evento critico per la sezione A, velocità di 225 km/h	25 m	35 m
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione B, velocità di 80 km/h	1 m	1 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione B, velocità di 80 km/h	14 m	20 m
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 80 km/h	2 m	3 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione C, velocità di 80 km/h	15 m	20 m
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 135 km/h	3 m	4 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione C, velocità di 135 km/h	25 m	37 m
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 60 km/h	7 m	12 m

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	120 di 128

Tratti linea in progetto	Distanza limite dalla linea ferr. per il p. diurno	Distanza limite dalla linea ferr. per il p. notturno
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 100 km/h	8 m	14 m
tratti allo scoperto (Viadotto su Fiume Isarco) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 225 km/h	10 m	15 m
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione B, velocità di 80 km/h	6 m	7 m
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 80 km/h	10 m	15 m
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 135 km/h	11 m	16 m

Tabella 8-1 – Distanza entro la quale è rispettato il limite delle vibrazioni per edifici a uso abitazione

Valutando i risultati ottenuti, i quali considerano il traffico e la velocità di esercizio, l'effetto di amplificazione interno agli edifici e la funzione di propagazione delle vibrazioni in base alla tipologia di terreno, sostanzialmente analogo a quello presente nell'area dell'indagine strumentale, si evince che per le tratte in galleria, considerando i periodo di riferimento, le diverse velocità e circolati di esercizio si prevede il rispetto del limite notturno a 4 m dalla linea ferroviaria. In relazione all'evento critico si verifica una maggior variabilità della distanza di rispetto dei limiti notturni: da 15 m, nel caso di velocità di 60 km/h, a 37 m, per velocità di transito di 135 km/h. In merito alle tratte allo scoperto si individuano distanze per le quali si riscontra il rispetto del limite notturno da 7 m a 16 m.

La valutazione ha considerato le seguenti assunzioni:

- per le tratte allo scoperto sono stati ritenute cautelativamente analoghe le emissioni delle vibrazioni dei viadotti a quelle dei tratti in rilevato. L'opera civile che costituisce il viadotto però presenta intrinsecamente dei sistemi, i quali, pur non essendo appositamente progettati per ridurre le vibrazioni (p.es. appoggi del viadotto), ne permettono una riduzione e quindi una minore propagazione.
- parallelamente alla linea ferroviaria verranno realizzate opere civili, quali muretti, barriere antirumore, opere civili che saranno fondate su fondazioni profonde quali micropali. Tale soluzione permette una limitata discontinuità del terreno tra sorgente delle vibrazioni, ossia la linea ferroviaria, e i ricettori andando di fatto a realizzare una discontinuità del suolo con conseguente riduzione dell'effetto vibratorio.
- le valutazioni svolte sono state assunte condizioni al contorno più severe di quelle che si verificheranno con la realizzazione dell'opera ferroviaria, in quanto la nuova linea ferroviaria sarà costituita da un armamento nuovo e pertanto più levigato rispetto a quello della linea ferroviaria esistente e sulla quale sono stati eseguiti i rilievi per la definizione della funzione di trasferimento.

Nell'intento di procedere ad una valutazione cautelativa non si valuteranno queste possibili riduzioni della propagazione delle vibrazioni.

Infine, per permettere la conclusione della valutazione, è necessario considerare l'incertezza da applicare ai risultati del modello riferita alla funzione di trasferimento delle vibrazioni. In letteratura si stima che i livelli previsionali delle stime modellistiche possano avere un livello di incertezza da 2 dB a 10 dB. In questo studio,

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 121 di 128

in considerazione che si ha conoscenza di molti parametri con buona accuratezza (caratterizzazione della sorgente, valutazioni geologiche del terreno che trasferisce la propagazione delle vibrazioni, determinazione della propagazione interna degli edifici e definizione delle opere civili a supporto della nuova infrastruttura) sarà considerando un livello di incertezza pari da 2 dB.

In questa successiva analisi la valutazione di conformità è finalizzata ad accertare il rispetto dei valori limite, essendo certi (con il livello di fiducia prefissato) del rispetto dei valori limite. Il valore di incertezza è stato sottratto ai limiti (diurno e notturno) ed ai limiti interni al fine della valutazione della distanza di propagazione. Si evidenzia, che in base a questa considerazione per le abitazioni il livello limite interno ridotto dell'incertezza per il periodo diurno è considerato pari a 75dB (= 77dB - 2dB) e per il periodo notturno pari a 72dB (= 74dB - 2dB). Per i ricettori sensibili o, aree critiche, il livello limite interno ridotto dell'incertezza per il periodo diurno e notturno è pari a 69dB (= 71dB - 2dB). Si ricorda che per la valutazione del limite all'interno degli edifici il valore di propagazione delle vibrazioni è stato incrementato di 5dB.

Per la valutazione della conformità è stato adottato il sistema, secondo la UNI TS/11326-2:2015, di valutazione A) ossia, accettazione ristretta + rifiuto allargato. Si considerano pertanto "entro il limite" solo i livelli che risultano certamente conformi, ovvero quei valori che confrontati con il limite ridotto dell'incertezza, risultano entro i valori limite.

Nella tabella seguente la valutazione delle distanze oltre le quali si rispettano i valori di vibrazioni della UNI 9614 all'interno del ricettore ad uso abitazione ed in considerazione della riduzione dei limiti al fine di considerare l'incertezza del modello.

Tratti linea in progetto	Distanza limite dalla linea ferr. per il p. diurno	Distanza limite dalla linea ferr. per il p. notturno
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 60 km/h	2 m	3 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione A, velocità di 60 km/h	13 m	19 m
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 100 km/h	2 m	4 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione A, velocità di 100 km/h	23 m	34 m
tratti al coperto (Galleria Ponte Isarco) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 225 km/h	3 m	5 m
tratti al coperto (Galleria Ponte Isarco) / evento critico per la sezione A, velocità di 225 km/h	30 m	45 m
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione B, velocità di 80 km/h	2 m	2 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione B, velocità di 80 km/h	18 m	26 m
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 80 km/h	3 m	4 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione C, velocità di 80 km/h	18 m	26 m
tratti al coperto (Galleria) / periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 135 km/h	3 m	5 m
tratti al coperto (Galleria) / evento critico per la sezione C, velocità di 135 km/h	32 m	48 m

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	122 di 128	

Tratti linea in progetto	Distanza limite dalla linea ferr. per il p. diurno	Distanza limite dalla linea ferr. per il p. notturno
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 60 km/h	8 m	14 m
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 100 km/h	10 m	17 m
tratti allo scoperto (Viadotto su Fiume Isarco) / periodi di riferimento per la sezione A, velocità di 225 km/h	12 m	18 m
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione B, velocità di 80 km/h	7 m	9 m
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 80 km/h	12 m	17 m
tratti allo scoperto (Rilevato e Viadotto) / periodi di riferimento per la sezione C, velocità di 135 km/h	14 m	19 m

Valutando i risultati ottenuti, i quali considerano oltre quanto già descritto in precedenza anche l'incertezza modellistica, si conclude che per le tratte in galleria, considerando il periodo di riferimento, le diverse velocità e circolati di esercizio si prevede il rispetto del limite notturno a 5 m dalla linea ferroviaria. In relazione all'evento critico (singolo transito critico in galleria di un convoglio) si verifica una maggior variabilità della distanza di rispetto dei limiti notturni: da 19 m, nel caso di velocità di 60 km/h, a 48 m, per velocità di transito di 135 km/h. In merito alle tratte allo scoperto si individuano distanze per le quali si riscontra il rispetto del limite notturno da 9 m a 19 m.

In base alle distanze ottenute dalla funzione di trasferimento e dalle considerazioni sulla valutazione della previsione del modello è possibile valutare eventuali ricettori interessati dalla propagazione delle vibrazioni. In considerazione che la massima propagazione è stata stimata pari a 48 m per i tratti in galleria considerando l'evento critico e 19 m per i tratti allo scoperto si considera una ampiezza dell'area di valutazione delle vibrazioni di 50 m dall'asse ferroviario. In base alle valutazioni precedenti per i ricettori oltre i 50 m risulteranno valori conformi alla normativa UNI 9614.

Eseguendo una analisi dei ricettori in una fascia di 50m e riferita allo stato futuro, si identificano i seguenti. Per ogni ricettore è indicata la distanza limite in funzione della velocità della tratta. In particolare, si ricorda che nella LS nella sezione B (Chiusa-Ponte Gardena) e nella sezione C per il tratto Ponte Gardena-Cippo 171 la velocità massima è 80 km/h. Per la nuova linea, nelle interconnessioni la velocità massima è di 60 km/h per l'interconnessione binario pari Ponte Gardena con LS dalla pk 1+881 e per l'interconnessione binario dispari Ponte Gardena con LS dalla pk 3+125 della galleria. Da queste pk al camerone la velocità massima di progetto è 100km/h per poi raggiungere, successivamente, il limite di 225km/h. In particolare, per il tratto percorso sul ponte sull'Isarco le velocità considerate sono state per i merci 100km/h, regionali 135km/h e EC/IC di 225 km/h.

Di seguito la tabella con i ricettori individuati e la corrispondente valutazione rispetto alle UNI 9614.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 123 di 128

ric.	comune	destinazione d'uso	progressiva	distanza da linea [m]	ricopertura [m]	note	distanza limite per rispetto dei limiti della UNI 9614	Valutazione
1001	Ponte Gardena	Altro (utilizzo saltuario)	171+625	20	-	stazione elettrica	tratto a raso, sezione C tratto Ponte Gardena-	non applicabile essendo locale tecnico
1002	Ponte Gardena	Altro (utilizzo saltuario)	171+175	20	-	stazione elettrica	Cippo 171, 80km/h distanza limite notturno 17m	non applicabile essendo locale tecnico
1023	Ponte Gardena	Residenziale	172+050	15	-	non sono previsti interventi sui binari, confermato l'armamento esistente	tratto in GA, sezione C tratto Ponte Gardena-Cippo 171, 80km/h distanza limite notturno 4m / transito critico 26m	tratta non oggetto di intervento. Possibile superamento per transito critico
1026	Ponte Gardena	Terziario (Commerciale/Ricreativo/Ufficio)	172+095	30	-	non sono previsti interventi sui binari, confermato l'armamento esistente	tratto in GA, sezione C tratto Ponte Gardena-Cippo 171, 80km/h distanza limite notturno 4m / transito critico 26m	entro i limiti
1028	Ponte Gardena	Residenziale	172+140	32	-	non sono previsti interventi sui binari, confermato l'armamento esistente		entro i limiti
1041	Laion	Residenziale	172+220	40	-	non sono previsti interventi sui binari, confermato l'armamento esistente	tratto a raso, sezione C tratto Ponte Gardena-	entro i limiti
1042	Laion	Residenziale	172+210	14	-	non sono previsti interventi sui binari, confermato l'armamento esistente	Cippo 171, 80km/h distanza limite notturno 17m	tratta non oggetto di intervento. Possibile superamento solo in periodo notturno
1043	Laion	Residenziale	172+325	43	-			entro i limiti
1044	Laion	Residenziale	172+365	38	-			entro i limiti
1045	Laion	Residenziale	172+400	38	-			entro i limiti
1048	Laion	Altro (utilizzo saltuario)	172+410	5	-	Pertinenza FS		non applicabile
1049	Laion	Altro (utilizzo saltuario)	172+470	6	-	Pertinenza FS		non applicabile

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004001	REV. C	FOGLIO. 124 di 128

ric.	comune	destinazione d'uso	progressiva	distanza da linea [m]	ricopertura [m]	note	distanza limite per rispetto dei limiti della UNI 9614	Valutazione
1061	Laion	Residenziale	173+465	25	-	edificio previsto in demolizione	tratto a raso, sezione B tratto Chiusa-Ponte Gardena, 80km/h distanza limite notturno 17m	non applicabile, prevista demolizione
2012	Ponte Gardena	Terziario (Commerciale/Ricreativo/Ufficio)	172+055	17	-		tratto in GA, sezione C tratto Ponte Gardena-Cippo 171, 80km/h	entro i limiti (*)
2013	Ponte Gardena	Produttivo/industriale	172+065	29	-		distanza limite notturno 4m / transito critico 26m	entro i limiti
2014	Ponte Gardena	Terziario (Commerciale/Ricreativo/Ufficio)	172+055	42	-			entro i limiti
2043	Barbiano	Altro (utilizzo saltuario)	173+315	7		ex casello ferroviario, prevista demolizione	tratto a raso, sezione C tratto Ponte Gardena-Cippo 171, 80km/h distanza limite notturno 17m	non applicabile, prevista demolizione
3004	Villandro	Residenziale	15+741	3	68		tratto al coperto (Galleria Ponte Isarco), 225 km/h,	entro i limiti
3005	Villandro	Altro (utilizzo saltuario)	15+731	13	72		distanza limite notturno 18m / transito critico 45m	entro i limiti
3006	Villandro	Altro (utilizzo saltuario)	15+722	6	73			entro i limiti
3007	Villandro	Residenziale	15+714	2	75			entro i limiti
3008	Villandro	Residenziale	15+679	22	84			entro i limiti
3009	Villandro	Altro (utilizzo saltuario)	15+657	31	90			entro i limiti

(*) Ricettore entro il limite assumendo nella valutazione il limite per destinazione d'uso terziario (Commerciale/Ricreativo/Ufficio). Per questa tipologia di ricettore il limite risulta essere 83 dB, ossia 6 dB superiore al limite per uso abitazione utilizzato nella valutazione riportata in tabella. Considerando il limite di 83 dB e mantenendo tutti i fattori considerati, le distanze limite risultano essere rispettivamente in funzione dell'MdE di 1m e 2m nel periodo diurno e notturno e per il transito critico la distanza di 8m nel periodo diurno e 12 m nel notturno.

Tabella 8-2 – Distanza dei ricettori entro una distanza di 50 m dalla linea ferroviaria

L'analisi dell'interazione tra ricettori e propagazione delle vibrazioni ha permesso di individuare per l'area dell'abitato di Ponte Gardena due ricettori per i quali potrebbero essere presenti dei superamenti: ricettore residenziale 1023 a 15m e 1042 a 14m dalla linea LS esistente.

I ricettori sono ubicati sull'attuale LS. Il ricettore 1023 è sito in corrispondenza della galleria artificiale esistente e il superamento è attribuibile al singolo transito del treno critico, mentre il ricettore 1042 è sito in corrispondenza del raso ferroviario della LS esistente e si registra il superamento nel solo periodo notturno.

Valutando il progetto, presso questi ricettori, non sono previsti interventi di modifica/sostituzione e potenziamento dell'armamento esistente della linea storica.

In considerazione di quanto valutato si propone l'inserimento di questi ricettori all'interno del Piano di Monitoraggio Ambientale al fine di attestare l'attuale stato vibrazionale e di verificarne l'eventuale variazione nello stato di esercizio futuro.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	125 di 128

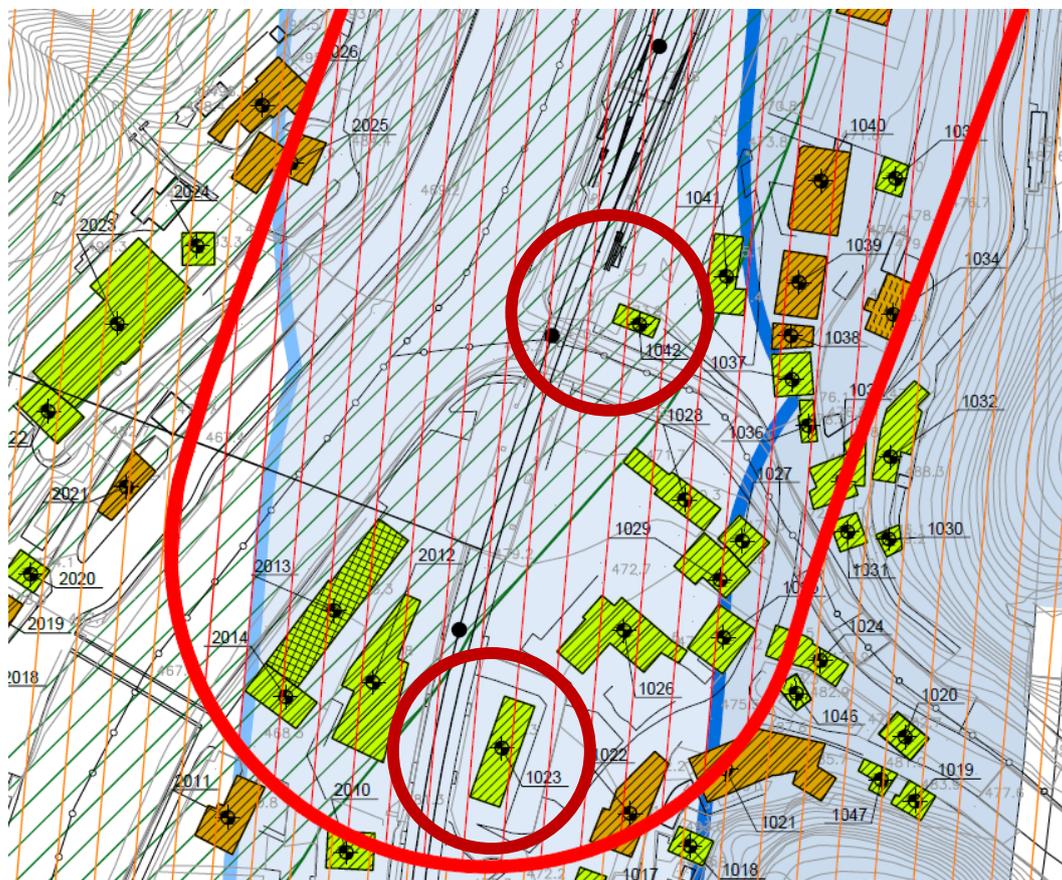


Figura 73 – Ricettori presso l’area Ponte Gardena: individuati, cerchiati, il ricettore residenziale 1023 e 1042

Per i restanti ricettori, in cui sono previsti gli interventi di potenziamento e lungo la nuova linea ferroviaria interconnessione e linea AC, si stimano livelli di accelerazione conformi alla soglia di riferimento della norma UNI 9614.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IB0U	1BEZZ	RG	IM0004001	C	126 di 128

9. TECNICHE DI MITIGAZIONE DELLE VIBRAZIONI

Per la riduzione delle vibrazioni è necessario premettere che uno dei sistemi di mitigazione più efficienti è la manutenzione delle ruote dei veicoli ferroviari e dei binari. Le vibrazioni possono infatti avere origine da corrugazioni delle ruote o delle rotaie, le quali possono indurre incrementi notevoli sulla vibrazione emessa.

Gli interventi di mitigazione delle vibrazioni possono essere suddivisi in due tipologie:

- Interventi di tipo passivo,
- Interventi di tipo attivo.

Gli interventi di tipo passivo consistono nella riduzione della propagazione delle vibrazioni introducendo degli ostacoli nel mezzo di propagazione delle stesse nel percorso tra la sorgente ed il ricettore. Interventi di tipo passivo possono essere trincee profonde o diaframmi realizzati nel terreno parallelamente alla linea ferroviaria, i quali interrompono la propagazione delle onde. I diaframmi possono essere realizzati verticalmente con spostamento del suolo (p.es. infissione setto prefabbricato), con mescolamento di suolo in situ (p.es. jet-grouting) o con asportazione del terreno (p.es. trincee profonde).

Gli interventi di tipo attivo hanno lo scopo di ridurre l'emissione della vibrazione sulla sorgente e possono prevedere interventi o sull'armamento oppure sul corpo ferroviario. Gli interventi di tipo attivo possono essere relativi a platee di tipo flottante, con materassino elastomerico, oppure utilizzando manufatti flottanti in calcestruzzo armato, con sospensioni in gomma come piastre elastomeriche.

Le platee di tipo flottanti si realizza inserendo tra il piano di posa del ballast ed il ballast un materassino antivibrante elastomerico (impiego sotto-ballast) oppure usando manufatti flottanti con sospensioni in materassini di gomma (impiego sotto-piastra). La soluzione prevede quindi che sia individuato il tipo di materassino antivibrante che si intende impiegare nell'opera e la sua integrazione nell'armamento. Da letteratura i materassini (elastomerici) hanno una densità da 100 a 600 kg/m³, spessori da 20 a 50 mm e prestazioni di riduzione delle vibrazioni di almeno 10 dB. Per la scelta del materiale va tenuto in considerazione che lo spettro della vibrazione per i transiti ferroviari è compreso fra 30 e 80 Hz. In applicazione in tratti allo scoperto la scelta dovrà prevedere materiali adatti per applicazione all'esterno.

Quanto riassunto in precedenza sono le metodologie di mitigazione delle vibrazioni applicabili a oggi e che attestano una effettiva mitigazione della propagazione al ricettore, non facendo risultare quindi nuove soluzioni tecniche disponibili per la mitigazione delle vibrazioni.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
04 - STUDIO ACUSTICO E STUDIO VIBRAZIONALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione Generale	IBOU	1BEZZ	RG	IM0004001	C	127 di 128

10. CONCLUSIONI

La presente relazione ha avuto come scopo l'approfondimento dello studio delle vibrazioni eseguito nella fase di progettazione precedente relativamente all'individuazione della propagazione delle vibrazioni previste dal potenziamento ed esercizio del Quadruplicamento della Linea Fortezza – Verona relativo al Lotto 1 Fortezza – Ponte Gardena.

A seguito dell'analisi del precedente studio, delle indagini di vibrazione condotte in precedenza, dell'attuale stato di progettualità delle opere civili e di conoscenza della geologia dei suoli interessati dalla propagazione, nonché dalla possibile risposta degli edifici, è stata possibile sviluppare un modello di propagazione delle vibrazioni che potesse tenere in considerazione tutti gli ambiti pregressi ed innovativi e definire il potenziale effetto sui ricettori.

Le indagini vibrazionali precedenti sono state ritenute ancora attuali in quanto si è riscontrata una analoga situazione dei luoghi e dell'impiego della linea ferroviaria storica, nonché, a seguito di una analisi geologica di dettaglio, la quale ha permesso di stabilire l'applicabilità della funzione di trasferimento del fenomeno vibratorio nell'ambito di studio, di ritenere simili fra loro il sito di Ponte Gardena ed il sito del futuro ponte sul Fiume Isarco tale da poter estendere il risultato del modello anche in quest'area.

Il calcolo previsionale condotto, tenendo in considerazione della funzione di trasferimento ottenuta a mezzo della valutazione della sorgente ferroviaria, del percorso di propagazione (tipologia dei suoli, presenza di opere civili), della variazione dovuta all'interazione terreno/edificio e dell'incertezza associata al modello, ha permesso di stabilire le distanze entro le quali sono immessi valori di accelerazione delle vibrazioni conformi ai limiti della UNI 9614.

Le analisi dell'interazione tra ricettori, propagazione delle vibrazioni e interventi previsti in progetto hanno evidenziato due possibili ricettori per i quali potrebbero essere determinati dei superamenti, presso l'area di Ponte Gardena. Per tali ricettori si propone un'indagine di misura delle vibrazioni da inserire nel Piano di Monitoraggio Ambientale dello stato attuale e dello stato di esercizio per verificarne l'eventuale variazione.

Per i restanti ricettori della linea storica, della nuova linea ferroviaria di interconnessione e della linea AC, si stimano livelli di accelerazione conformi alla soglia di riferimento della norma UNI 9614.