

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J41C09000000005

**U.O. ARCHITETTURA, AMBIENTE E TERRITORIO S.O. AMBIENTE**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

**ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA**

**ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**

**LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO**

**STUDIO VIBRAZIONALE**

Relazione Generale

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.


I B 0 Q 3 A R 2 2 R G I M 0 0 0 4 0 0 2 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F. Rocchi	Gen 2021	R. Azzarito	Gen 2021	C. Mazzocchi	Gen 2021	C. Ergolani
B	Emissione Esecutiva	R/Azzarito	Sett 2021	A. Corvaja	Sett 2021	C. Mazzocchi	Sett 2021	Settembre 2021

PER EMISSIONE  
ITALFERR S.p.A.  
Dott.ssa Carolina Ercolani  
S.O. Ambiente

File: IB0Q3AR22RGIM0004002B



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</p>												
<p><b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> Relazione</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0Q</td> <td>3A R 22</td> <td>RG</td> <td>IM0004 002</td> <td>B</td> <td>1 di 37</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	1 di 37
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	1 di 37								

**INDICE**

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Riferimenti legislativi</b>	<b>3</b>
2.1	ISO 2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni"	3
2.2	UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"	4
2.3	UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"	5
<b>3</b>	<b>Valutazione degli impatti in fase di esercizio della linea ferroviaria</b>	<b>8</b>
3.1	Modello previsionale	8
3.2	Caratterizzazione della sorgente	9
3.3	La propagazione delle onde vibrazionali	14
<b>4</b>	<b>Individuazione delle criticità e previsione dell'impatto in fase di esercizio</b>	<b>21</b>
4.1	Considerazioni generali	21
4.2	Modello di esercizio di progetto	21
4.2.1	Livello di emissione complessivo Rovereto-Bivio Trento Sud	23
4.2.2	Livello di emissione complessivo Nuova Circonvallazione	27
4.2.3	Livello di emissione complessivo Bivio Trento Nord-Trento R	28
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>32</b>

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b></p>												
<p><b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0Q</td> <td>3A R 22</td> <td>RG</td> <td>IM0004 002</td> <td>B</td> <td>2 di 37</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	2 di 37
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	2 di 37								

## 1 PREMESSA

Il presente documento contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale prodotto dall'esercizio del progetto ferroviario Lotto 3A Circonvallazione di Trento. L'area oggetto dello studio è ubicata nel territorio della Provincia Autonoma di Trento; il nuovo tracciato ferroviario si sviluppa tra la località Acquaviva a sud e Roncafort a Nord, interamente nel Comune di Trento.

Il territorio attraversato si sviluppa sulla sinistra orografica della Val d'Adige tra i confini della Val Lagarina fino al tessuto insediativo della città di Trento. Lo sviluppo della tratta è di circa 14 km, di cui di circa 11 in galleria.

Il lavoro tiene conto delle indicazioni delle norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, e si basa anche sui risultati della campagna di rilievi vibrometrici eseguiti nell'ambito della Progettazione di un progetto ritenuto con analoghe caratteristiche e a cui si fa riferimento per la caratterizzazione della sorgente.

L'analisi dei livelli vibrometrici dalla sorgente ai ricettori prossimi alla linea ferroviaria viene effettuata distinguendo le tipologie di convogli effettivamente transitanti sulla ferrovia, le condizioni geologiche che costituiscono il terreno tra ferrovia e ricettori e la tipologia di ricettore in termini di struttura e numero di piani.

Il valore complessivo di accelerazione che tiene conto anche del modello di esercizio all'orizzonte temporale di progetto, è confrontato con i limiti indicati dalle norme tecniche per il periodo diurno (07-22) e il periodo notturno (22-07), così come previsto dal "*Manuale di Progettazione delle Opere Civili di RFI (cod. RFI RFIDTCSIAMMAIFS001A di dicembre 2017)*".

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> Relazione	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

## 2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale dalla Legge Quadro n. 447/95, non esiste al momento alcuna legge che stabilisca limiti quantitativi per l'esposizione alle vibrazioni. Esistono invece numerose norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, che costituiscono un utile riferimento per la valutazione del disturbo in edifici interessati da fenomeni di vibrazione.

Per quanto riguarda il disturbo alle persone, i principali riferimenti sono costituiti dalla norma ISO 2631 / Parte 2 "Evaluation of human exposure to whole body vibration / "Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz)". La norma assume particolare rilevanza pratica poiché ad essa fanno riferimento le norme tecniche per la redazione degli Studi di Impatto Ambientale relativi alla componente ambientale "Vibrazioni", contenute nel D.P.C.M. 28/12/1988. Ad essa, seppur con alcune non trascurabili differenze, fa riferimento la norma UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".


Si riporta di seguito la principale normativa tecnica esistente in riferimento all'aspetto ambientale vibrazioni.

### 2.1 ISO 2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni"

La ISO 2631-2 si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz e il parametro di valutazione è il valore efficace dell'accelerazione  $a_{rms}$  definito come:

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

dove  $a(t)$  è l'accelerazione in funzione del tempo, T è la durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione. La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X, Y e alla combinazione dei tre assi. L'Annex A della ISO 2631-2 (che non rappresenta peraltro parte integrante della norma) fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni; in pratica sono riportati i fattori di moltiplicazione da applicare alle curve base delle accelerazioni e delle velocità al variare del periodo di riferimento (giorno e notte), del tipo di vibrazione (vibrazioni continue o intermittenti, vibrazioni transitorie) e del tipo di insediamento (ospedali, laboratori di precisione, residenze, uffici, industrie). Le vibrazioni devono essere misurate nel punto di ingresso nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione r.m.s. perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

## 2.2 UNI 9614 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”


La norma è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (*giorno*, dalle 7:00 alle 22:00, e *notte*, dalle 22:00 alle 7:00) e dalle destinazioni d’uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614 si configura come più restrittiva.

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

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

Tabella 1 – Valori di soglia di vibrazione relativi al disturbo alle persone (UNI 9614)

Considerato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell’accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente,  $a_w$  e  $L_w$ . Quest’ultimo, espresso in dB, è definito come  $L_w = 20 \log_{10} (a_w / 10^{-6} \text{ ms}^{-2})$ . Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l’asse z prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 4 e 1 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed una attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi x e y prevede un’attenuazione nulla tra 1 e 2 Hz e una attenuazione di 6 dB per ottava tra 2 e 80 Hz. La banda di frequenza 1-80 Hz deve essere limitata da un filtro passabanda con una pendenza asintotica di 12 dB per ottava. Nel caso la postura del soggetto esposto non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti. In alternativa, i rilievi su ogni asse vanno effettuati utilizzando in successione i filtri sopraindicati; ai fini della valutazione del disturbo verrà considerato il livello dell’accelerazione complessiva ponderata in frequenza più

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b></p>					
<p><b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b></p>	<p>COMMESSA IB0Q</p>	<p>LOTTO 3A R 22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 5 di 37</p>

elevato. Nell'Appendice della norma UNI 9614, che non costituisce parte integrante della norma, si indica che la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante deve essere svolta confrontando i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, o i corrispondenti livelli più elevati riscontrati sui tre assi, con una serie di valori limite riportati nei prospetti II e III. Quando i valori o i livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto. Nel caso di vibrazioni di tipo impulsivo è necessario misurare il livello di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale livello deve essere successivamente diminuito di 3 dB al fine di stimare il corrispondente livello efficace. I limiti possono essere adottati se il numero di eventi impulsivi giornalieri non è superiore a 3. Nel caso si manifestino più di 3 eventi impulsivi giornalieri i limiti fissati per le abitazioni, gli uffici e le fabbriche vanno diminuiti in base al numero di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per un fattore correttivo F. Nessuna riduzione può essere applicata per le aree critiche. Nel caso di impulsi di durata inferiore a 1 s si deve porre  $F = 1.7 \cdot N^{-0.5}$ . Per impulsi di durata maggiore si deve porre  $F = 1.7 \cdot N^{-0.5} \cdot t^{-k}$ , con  $k = 1.22$  per pavimenti in calcestruzzo e  $k = 0.32$  per pavimenti in legno. Qualora i limiti così calcolati risultassero inferiori ai limiti previsti per le vibrazioni di livello stazionario, dovranno essere adottati questi ultimi valori.

### 2.3 UNI 9916 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”

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 e 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 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 per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio, 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 UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Nell'ambito di questa classificazione, un

 <p><b>ITOLFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b>  <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b>  <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b>  <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b></p>					
<p><b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b></p>	<p>COMMESSA IB0Q</p>	<p>LOTTO 3A R 22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 6 di 37</p>

sistema dinamico è costituito dal terreno e dallo strato di base (magrone) sul quale si trovano le fondazioni oltre che la struttura medesima dell'edificio.

Le strutture comprese nella classificazione riguardano:

- tutti gli edifici residenziali e gli edifici utilizzati per le attività professionali (case, uffici, ospedali, case di cura, ecc.);
- gli edifici pubblici (municipi, chiese, ecc.);
- edifici vecchi ed antichi con un valore architettonico, archeologico e storico;
- le strutture industriali più leggere spesso concepite secondo le modalità costruttive in uso per gli edifici abitativi.

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 la reazione di una struttura agli effetti delle 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 e antichi o strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1) e edifici e strutture moderne (Gruppo 2). L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione e al numero di piani.

Le fondazioni sono classificate in tre classi. La Classe A comprende fondazioni su pali legati in calcestruzzo armato e acciaio, platee rigide in calcestruzzo armato, pali di legno legati tra loro e muri di sostegno a gravità; la Classe B comprende pali non legati in calcestruzzo armato, fondazioni continue, pali e platee in legno; la Classe C infine comprende i muri di sostegno leggeri, le fondazioni massicce in pietra e la condizione di assenza di fondazioni, con muri appoggiati direttamente sul terreno.

Il terreno viene classificato in sei classi: rocce non fessurate o rocce molto solide, leggermente fessurate o sabbie cementate (Tipo a); terreni compattati a stratificazione orizzontale (Tipo b); terreni poco compattati a stratificazione orizzontale (Tipo c); piani inclinati, con superficie di scorrimento potenziale (Tipo d); terreni granulari, sabbie, ghiaie (senza coesione) e argille coesive sature (Tipo e) e materiale di riporto (Tipo f).

L'Appendice B della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli delle vibrazioni con riferimento alla DIN 4150 e al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24 gennaio 1986 "Norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica." La parte 3 della DIN 4150 indica le velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie:




 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b></p>												
<p><b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0Q</td> <td>3A R 22</td> <td>RG</td> <td>IM0004 002</td> <td>B</td> <td>7 di 37</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	7 di 37
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	7 di 37								

- sull'edificio (nel suo complesso)
- sui pavimenti:  $v < 20$  mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione e le velocità massime ammissibili per vibrazioni stazionarie:
- sull'edificio (nel suo complesso):  $v < 5$  mm/s in direzione orizzontale sull'ultimo piano
- sui pavimenti:  $v < 10$  mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

Per velocità massima è da intendersi la velocità massima di picco. Essa è ricavabile dalla velocità massima r.m.s. attraverso la moltiplicazione di quest'ultima con il fattore di cresta F. Tale parametro esprime il rapporto tra il valore di picco e il valore efficace. Per onde sinusoidali si assume  $F = 1.41$ ; in altri casi si possono assumere valori maggiori. Nei casi più critici (ed es. esplosioni di mina) F può raggiungere il valore 6. La ISO 4866 fornisce infine una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo tre livelli:

- *Danno di soglia*: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazioni di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata, con frequenze maggiori di 4 Hz e velocità di vibrazione di 4÷50 mm/s, e per vibrazioni continue, con velocità 2÷5 mm/s.
- *Danno minore*: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz nel campo di velocità vibrazionale compreso tra 20÷100 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 3÷10 mm/s.
- *Danno maggiore*: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale compresa tra 20÷200 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> Relazione	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

### 3 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. Tale 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 urbano con presenza elevati di edifici nelle zone di accesso alla galleria in particolare nel bivio di Trento Nord. La zona attraversata dalla galleria l'area è di tipo rurale, caratterizzato da un'alternanza di aree agricole/incolti ed alcune residenze sparse.

I terreni affioranti interessati dal tracciato di progetto presentano un comportamento abbastanza omogeneo in relazione al trasferimento di onde vibratorie.

Per quanto riguarda le sorgenti vibrazionali attualmente presenti si evidenziano una serie di infrastrutture stradali, che in alcuni casi corrono parallelamente alla tratta ferroviaria e in altri casi ne attraversano il tracciato.

#### 3.1 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, sono stati utilizzati i dati desunti dai rilievi vibrazionali eseguiti su tratta ritenuta analoga 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

Il livello di vibrazione in corrispondenza di un ricettore ad una distanza “x” dalla sede ferroviaria è pari al livello alla distanza di riferimento “x<sub>0</sub>”, diminuito della somma delle attenuazioni che si verificano nel terreno tra x<sub>0</sub> e x:

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

Il livello di base L(x<sub>0</sub>) è generalmente ricavato da misure sperimentali svolte in adiacenza alle linee ferroviarie a distanze comprese tra 5 m e 25 m.

### 3.2 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 la linea in esercizio Milano-Genova per il progetto di potenziamento della linea Milano – Genova a seguito del quadruplicamento ferroviario della tratta Milano Rogoredo-Pavia in quanto vista il periodo emergenziale Covid-19 non è stato possibile accedere alle proprietà private limitrofe alla linea oggetto di studio per le attività di rilievo. In particolare, si prenderà come supporto bibliografico per la caratterizzazione dei transiti la Sezione 2, ritenuta quella con la casistica più significativa degli eventi utili alla caratterizzazione delle vibrazioni emesse dai transiti dei convogli ferroviari.

Di seguito si riportano i principali risultati dell’indagine di caratterizzazione della Sezione 2. Tale indagine ha permesso di caratterizzare molte tipologie di convogli che si riportano per

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

completezza. Nella valutazione futura per la Circonvallazione di Trento saranno utilizzati solo quelli di interesse ossia, convogli Regionali, Lunga Percorrenze e Mercì.

Nella Sezione 2, dell'indagine eseguita sulla tratta Milano Rogoredo-Pavia (elab. NM0Z00D22RGIM0006002A-Studio vibrazionale Relazione generale), la strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione di corpo ferroviario a raso, lungo la via di propagazione ed in prossimità di un fabbricato, per complessivi quattro punti di misura in una unica sezione. I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito, secondo il quadro sinottico sotto riportato.

Numero di treni rilevato durante le misure		
Tipologia treni	Periodo Diurno	Periodo Notturno
Regionali	57	14
Metropolitani	55	10
Merci	28	16
IE/EC	23	4
ES	4	0
<b>TOTALE</b>	<b>167</b>	<b>44</b>

Tabella 2 – Treni transitanti sulla linea Milano Rogoredo – Pavia

Le quattro terne accelerometriche sono state così posizionate:

Identificazione Terna	Posizionamento
VIB 01	In corrispondenza del confine ferroviario a circa 5 metri dal binario più esterno
VIB 02	A margine di Via S. Onorata a circa 14 metri dal binario più esterno
VIB 03	A margine di Via S. Onorata a circa 23 metri dal binario più esterno
VIB 04	In prossimità dell'abitazione a circa 36 metri dal binario più esterno

Tabella 3 – Identificazione delle terne accelerometriche e posizionamento



Figura 1 - Ortofoto area di indagine e postazioni di misura

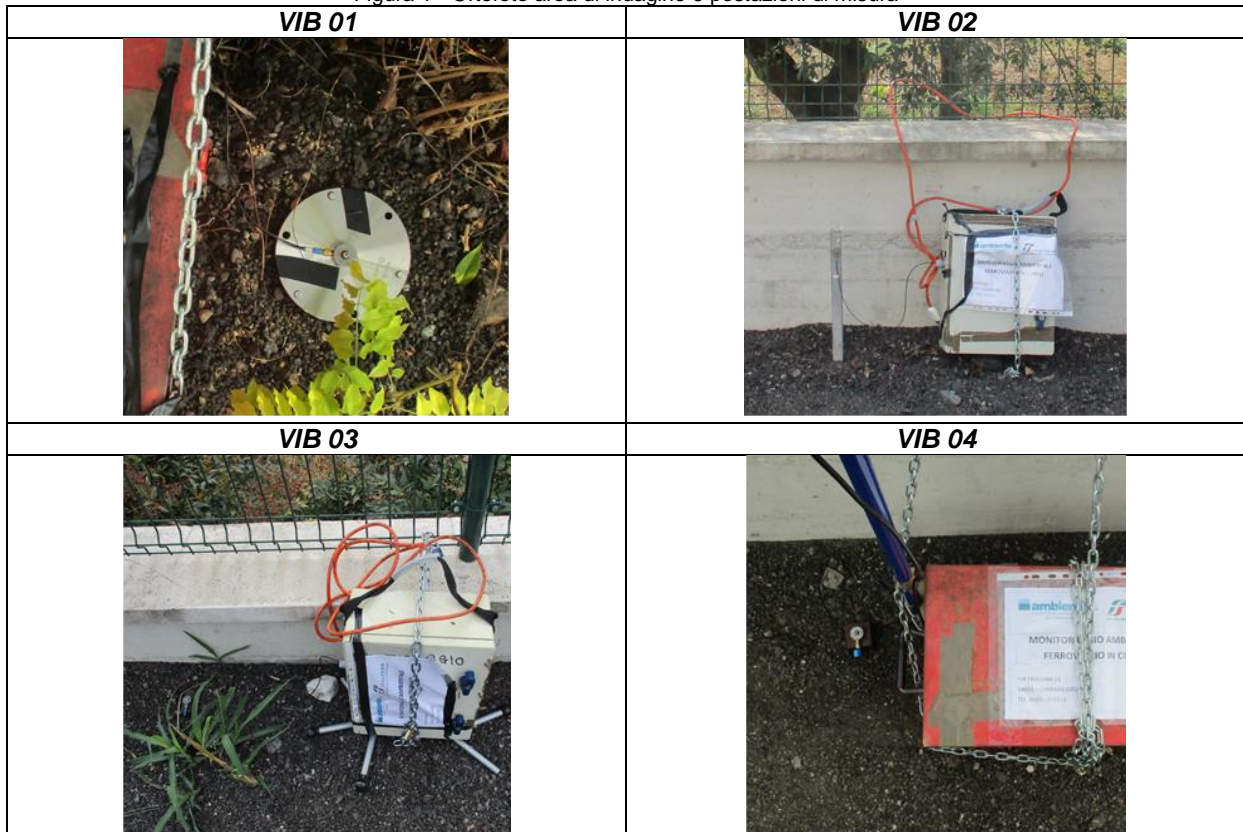



Figura 2 - Report fotografico postazioni di misura (Asse x: ortogonale alla linea; Asse Y: parallelo alla linea; Asse Z verticale)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report dei rilievi vibrometrici, doc. NM0Z00D22RHIM0006001A, per un totale di 211 eventi, si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni categoria regionali, treni categoria metropolitani, treni categoria IC/EC, treni categoria ES.

Facendo riferimento agli assi x, y e z indicati ed orientati nelle normative citate, per tutti i passaggi dei convogli rilevati presso la terna vibrometrica VIB 01, cioè a ridosso del binario a circa 5 metri si osservano valori medi pari a 86,5dB per l'asse x, 90,5 dB per l'asse y e 90,3 per l'asse z. Presso le terne VIB 02 (14 metri), VIB 03 (23 metri) e VIB 04 (36 metri) si registra una progressiva diminuzione dei valori medi ponderati per tutti e tre gli assi.


Di seguito, si riporta una tabella di sintesi con indicati i valori medi delle accelerazioni dei livelli equivalenti espressi in decibel relative alle categorie di treni sopracitate nel periodo di osservazione per singolo transito.

Tipologie di Treno	VIB 01 5m			VIB 02 14m			VIB 03 23m			VIB 04 36m		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Regionale	86,5	90,6	90,4	81,6	83,2	76,3	74,2	68,9	70,5	69,3	64,9	69,0
Metropolitani	86,1	89,9	90,1	80,8	82,6	75,7	73,6	68,9	69,7	68,8	63,9	68,5
Merci	86,8	90,8	90,2	81,3	82,9	75,8	73,6	68,5	70,2	68,5	63,5	67,9
IE/EC	87,2	91,0	90,9	81,8	83,8	77,1	74,9	69,2	70,8	68,9	64,4	69,0
ES	85,9	89,5	89,8	82,1	83,1	75,9	74,7	70,3	71,5	66,5	62,4	66,3
TOTALE	86,5	90,5	90,3	81,4	83,0	76,1	74,0	68,9	70,3	68,9	64,2	68,5

Tabella 4 - Livello equivalente medio (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

Della precedente caratterizzazione, al fine di compiere la valutazione nella tratta della Circonvallazione di Trento, saranno considerate le seguenti emissioni di tipologie di convogli: treni regionali, treni a lunga percorrenza (IC/EC) e treni Merci. Di seguito la caratterizzazione di cui si terrà conto nella valutazione e della quale è ricalcolata l'emissione totale di dei convogli.

Tipologie di Treno	VIB 01 5m			VIB 02 14m			VIB 03 23m			VIB 04 36m		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Regionale	86,5	90,6	90,4	81,6	83,2	76,3	74,2	68,9	70,5	69,3	64,9	69,0
Merci	86,8	90,8	90,2	81,3	82,9	75,8	73,6	68,5	70,2	68,5	63,5	67,9
LP (IE/EC)	87,2	91,0	90,9	81,8	83,8	77,1	74,9	69,2	70,8	68,9	64,4	69,0
TOTALE	86,7	90,7	90,5	81,6	83,2	76,3	74,2	68,9	70,5	68,9	64,4	68,7

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

### 3.3 La propagazione delle onde vibrazionali

#### L'attenuazione geometrica

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

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

dove:

d            distanza dall'asse della linea ferroviaria;

d<sub>0</sub>        distanza di riferimento;

n=0,5      per galleria;

n=1        per tracciato di superficie;

#### La propagazione delle onde nei terreni sciolti


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 costipazione, 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



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

classi geologiche e in presenza di un ammasso omogeneo, sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipo di Terreno	Densità [t/m <sup>3</sup> ]	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 5 - 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
- Ω: frequenza [rad\*s<sup>-1</sup>]
- 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, 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.

Per la sezione di indagine di trasmissione delle vibrazioni, 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 quattro punti di misura).

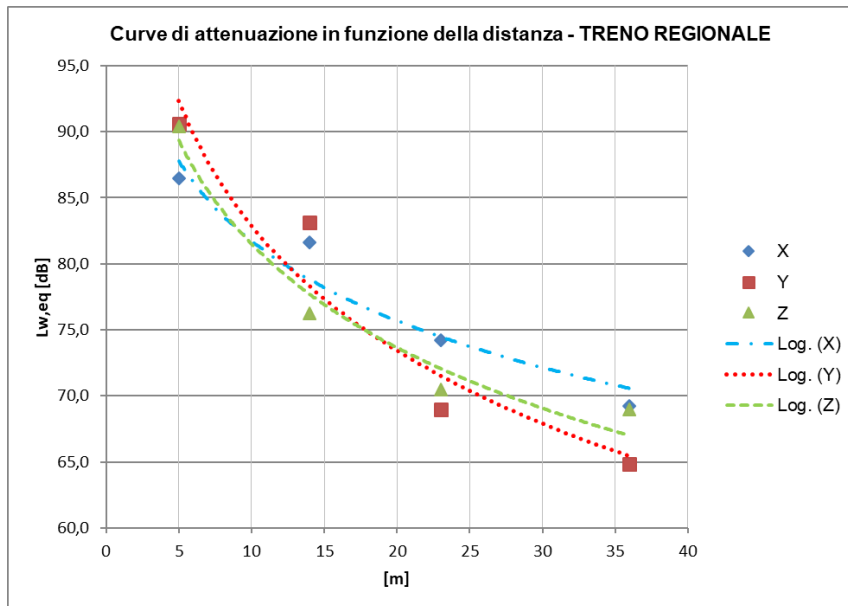


Figura 3 - Curva di attenuazione del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sulla linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle VIB 01,02, 03 e 04 – TIPOLOGIA TRENO REGIONALE

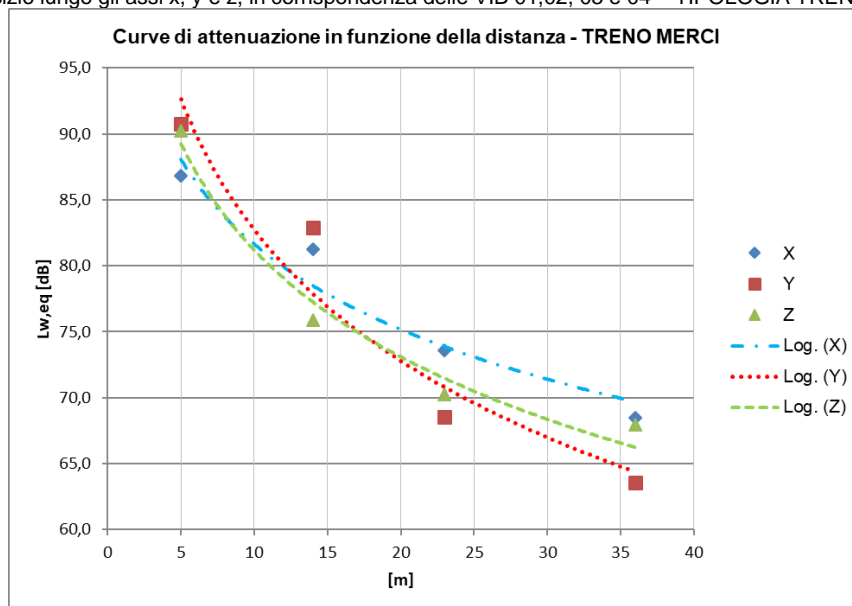


Figura 4 - Curva di attenuazione del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sulla linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle VIB 01,02, 03 e 04 – TIPOLOGIA TRENO MERCI

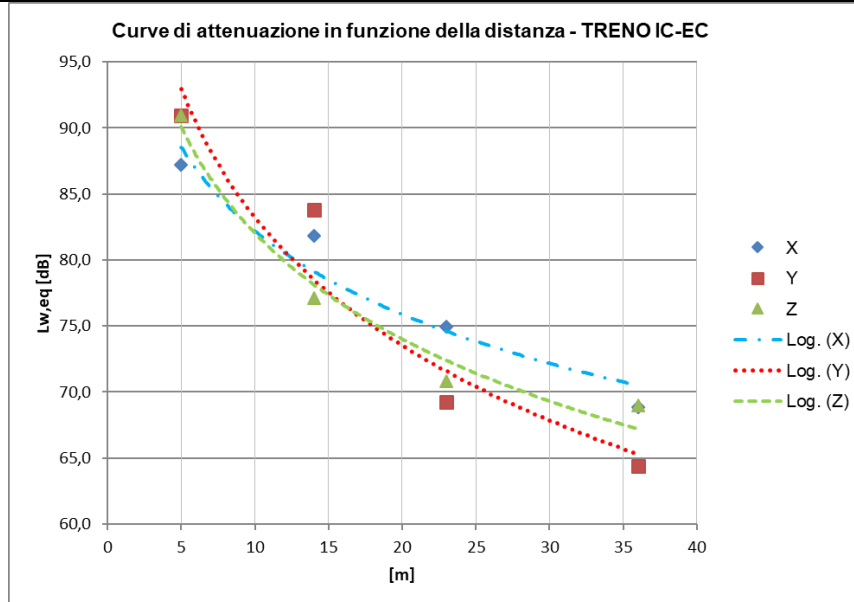


Figura 5 - Curva di attenuazione del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sulla linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle VIB 01,02, 03 e 04 – TIPOLOGIA TRENO IC/EC

Di seguito la curva di attenuazione riferita a Tutte le Categorie delle solo di interesse per la presente valutazione.

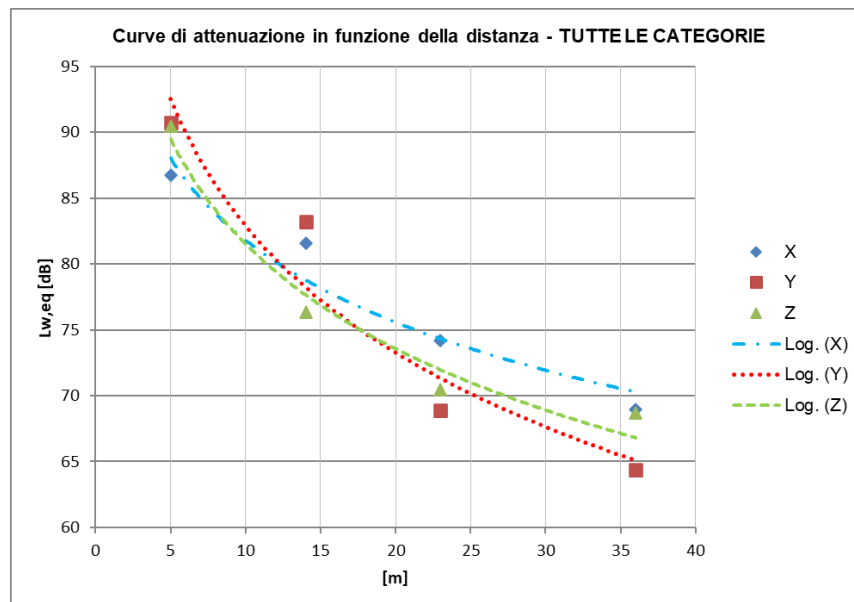


Figura 6 - Curva di attenuazione del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sulla linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle VIB 01,02, 03 e 04 – TOTALE DEI CONVOGLI: REGIONALI+MERCÌ+LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

### La propagazione delle onde nelle strutture edilizie

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.

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  $y$  ( $f = 0÷80$  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.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b></p>												
<p><b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0Q</td> <td>3A R 22</td> <td>RG</td> <td>IM0004 002</td> <td>B</td> <td>19 di 37</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	19 di 37
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	19 di 37								

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 2-3 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 nulla 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 cautelativo con cui viene affrontato il tema è confermato anche da indagini effettuate sulle linee ferroviarie italiane.

### **Rumore trasmesso per via solida dalle strutture**

Il rumore solido all'interno degli edifici è il risultato delle onde acustiche irradiate dalle superfici della stanza, includendo le pareti, i pavimenti, i soffitti e tutti gli altri elementi normalmente presenti quali finestre, porte, ecc. La relazione tra le ampiezze di vibrazione delle superfici della stanza ed i livelli di pressione sonora all'interno della stanza stessa è funzione del valore medio del coefficiente di assorbimento acustico che caratterizza le superfici, dalla dimensione e forma della stanza e della distribuzione del campo di vibrazione sulle superfici vibranti.

Studi basati su considerazioni teoriche hanno consentito di formulare la seguente relazione che lega i livelli di pressione sonora con i livelli di vibrazione in accelerazione rilevabili in corrispondenza dell'orizzontamento della stanza:


$$L_p = L_a - 20 \cdot \log(f) + 16$$

dove:


$L_p$  : livello di pressione sonora in dB (0 dB = 20  $\mu$ Pa)

$L_a$  : livello di vibrazione di accelerazione all'orizzontamento in dB (0 dB = 1  $\mu$ g)

f: frequenza per bande a terzi di ottava in Hz

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b>  <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b>  <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b>  <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b></p>												
<p><b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0Q</td> <td>3A R 22</td> <td>RG</td> <td>IM0004 002</td> <td>B</td> <td>20 di 37</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	20 di 37
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0Q	3A R 22	RG	IM0004 002	B	20 di 37								

L'applicazione del modello di propagazione del rumore solido per i ricettori analizzati nel presente studio non evidenzia situazioni di criticità preventivabili. Lo stato degli infissi di ciascun edificio, classificato "buono" in fase di censimento ricettori, potrebbe ridurre notevolmente l'insorgere di condizioni di attenzione per gli stessi ricettori potenzialmente interessati da livelli di vibrazioni disturbanti, qualora i vetri entrino in risonanza, vibrino ed emettano all'interno del locale un rumore avente le medesime frequenze.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> Relazione	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

## 4 INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ E PREVISIONE DELL'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO

### 4.1 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.

Per quanto riguarda l'individuazione di criticità, in via cautelativa, si è fatto riferimento ai limiti indicati dalla norma 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 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. In assenza però di dati precisi per ciascun edificio analizzato (terreno, fondazioni, strutture) le valutazioni previsionali possono risentire di variazioni anche apprezzabili: a tal fine, nelle valutazioni conclusive si terrà conto in via cautelativa di un margine di tolleranza tale da rappresentare anche la variabilità dei parametri di input.

### 4.2 Modello di esercizio di progetto

Il modello di esercizio di progetto fa riferimento ad uno scenario infrastrutturale che oltre al Lotto 3A prevede il quadruplicamento dell'asse Verona Monaco ed è determinato attraverso il contributo delle seguenti fonti:

- ai fini del trasporto LP internazionale si considerano gli sviluppi, noti alla data del presente report, dello studio in corso in ambito Brenner Corridor Platform (BCP) relativo alla componente di traffico passeggeri transfrontaliera<sup>1</sup>;
- ai fini del trasporto LP nazionale alle previsioni delle IIFF e note al GI;
- ai fini delle previsioni del trasporto regionale si prendono in considerazione le ipotesi previste negli AAQQ siglati dalle Provincie Autonome di Trento e Bolzano con il GI nonché eventuali intese note che aggiornano le previsioni di AQ;

<sup>1</sup> Study and analysis of passenger traffic forecasts based on travel time reductions and long-distance rail services for the years 2030 and 2040 affidato da DB Netz AG al RTI EBP Schweiz AG, TRAFFIX Verkehrsplanung GmbH e TRT Trasporto e Territorio Srl.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

- ai fini del trasporto merci si considerano gli sviluppi, noti alla data del presente report, dello studio in corso in ambito BCP relativo alla componente di traffico merci 2.

Nel merito della componente RoLa del traffico merci, alla luce del fatto che l'impianto di Roncafort è oggetto di riqualificazione<sup>3</sup> e viste le condizioni di funzionamento dell'unico impianto che ad oggi alimenta il traffico lungo l'intero asse del Brennero (Brennersee), sono state fatte due diverse ipotesi:

- l'intera quota di traffico RoLa sull'asse si attesta a Roncafort piuttosto che a Brennersee. Questa ipotesi richiede ovviamente un coinvolgimento dei soggetti politici (principalmente PAT, PAB e Tirolo austriaco) finalizzata a disincentivare il trasporto stradale e/o sovvenzionare quello ferroviario;
- il traffico RoLa si attesta pro-quota su entrambi gli impianti di Roncafort e Brennersee.

Le tipologie di servizi che interesseranno la tratta in studio sono riportate di seguito:

- Treni Lunga Percorrenza, nazionali ed internazionali;
- Treni regionali;
- Treni merci.

La ripartizione del traffico totale giornaliero merci in diurno (D, 6:00÷22:00) e notturno (N, 22:00÷06:00) nelle diverse componenti è pari, rispettivamente, al 70% e 30%, anche in analogia a quella osservata oggi (valori registrati sulla linea a Mezzocorona). In via cautelativa, la stessa ripartizione è stata applicata ai servizi regionali e ai treni LP.

TRATTO DI LINEA	Linea Storica										Circonvallazione AV/AC										TOT
	LP naz.li + intr.li			REG			MRC			Tot	LP int.li			REG			MRC			Tot	
	D	N	Tot	D	N	Tot	D	N	Tot		D	N	Tot	D	N	Tot	D	N	Tot		
Bivio Trento Sud - Trento	40	18	58	53	23	76	0	0	0	134											328
Trento - Bivio Trento Nord	40	18	58	72	32	104	0	0	0	162	0	0	0	0	0	0	136	58	194	194	356

Tabella 6 - • Modello di esercizio di progetto / Scenario a regime (numero di treni/giorno: D-Diurni, N-Notturmi, Tot-Totali) nel tratto Bivio Sud-Bivio Nord e Circonvallazione AV/AC

<sup>2</sup> Studio affidato da RFI al RTI PWC, ALEPH Transport Engineering e TPLAN Consulting nell'ambito di quanto disciplinato dal Contratto Applicativo 2/2019 di cui alla Convenzione 449/2018 Servizi di ingegneria finalizzati allo studio e all'analisi di scenari di trasporto a supporto delle valutazioni di investimenti ferroviari.

<sup>3</sup> Anche secondo quanto stabilito dal Protocollo di Intesa per la "istituzione di un Gruppo di Lavoro per la progettazione e la successiva realizzazione di opere infrastrutturali d'importanza strategica per la rete ferroviaria nella Provincia Autonoma di Trento" siglato tra la PAT e RFI nell'aprile 2020.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

Nella figura seguente sono rappresentati i valori sopra riportati relativi al traffico totale giornaliero per lo Scenario a regime.

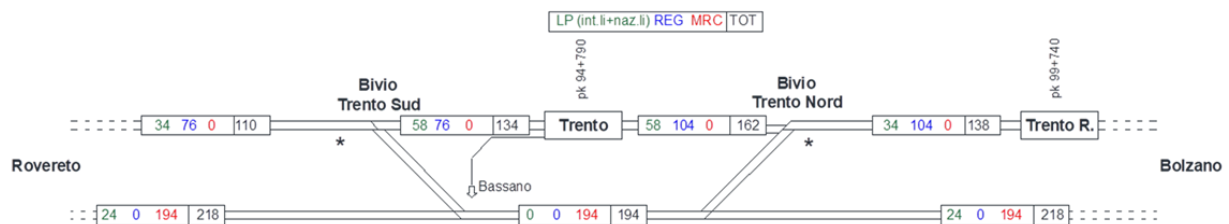


Figura 7 - Modello di esercizio di progetto / Scenario a Regime (numero di treni/ giorno: REG- Regionali; LP-Lunga Percorrenza; MRC-Merci)


Dal programma di esercizio della ferrovia il flusso di treni in progetto varia nella tratta Rovereto-Bivio Trento Sud complessivamente a 328 treni/giorno, nella linea in galleria a 194 merci/giorno e nella linea Bivio Trento Nord-Trento R complessivamente a 356 treni/giorno.

#### 4.2.1 Livello di emissione complessivo Rovereto-Bivio Trento Sud

Le accelerazioni complessivamente prodotte dall'esercizio della linea ferroviaria di progetto è fornito dall'applicazione dell'emissione delle singole tipologie di treno e verso di percorrenza al traffico di esercizio previsto per la tratta Rovereto-Bivio Trento Sud, in riferimento alla caratterizzazione della sorgente e tenendo conto del tempo di esposizione medio per tipologia di treno. Nelle tabelle seguenti si evince, per i tre assi alle quattro terne, il valore complessivo di esposizione nel periodo diurno e nel periodo notturno calcolato sulla base del modello di esercizio atteso.

REGIONALI							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	67,9	72,0	71,8	55,2	59,4	59,2
VIB 02	14	63,0	64,5	57,7	50,4	51,9	45,0
VIB 03	23	55,6	50,3	51,9	43,0	37,7	39,3
VIB 04	36	50,7	46,3	50,3	38,0	33,6	37,7

Tabella 7 – Lw,eq diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI REGIONALI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

MERCİ							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	70,6	74,5	74,0	71,2	75,2	74,6
VIB 02	14	65,0	66,6	59,6	65,7	67,3	60,2
VIB 03	23	57,3	52,3	54,0	58,0	52,9	54,6
VIB 04	36	52,2	47,3	51,7	52,8	47,9	52,3

Tabella 8 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – MERCİ

LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	60,6	64,4	64,3	55,9	59,7	59,6
VIB 02	14	55,2	57,2	50,5	50,5	52,5	45,8
VIB 03	23	48,4	42,7	44,2	43,6	37,9	39,5
VIB 04	36	42,3	37,8	42,4	37,5	33,1	37,7

Tabella 9 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)

TOTALI: REGIONALI+LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)+MERCİ							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	71,8	75,8	75,6	69,5	73,5	73,2
VIB 02	14	66,7	68,3	61,4	64,4	66,0	59,1
VIB 03	23	59,3	54,0	55,6	57,0	51,7	53,3
VIB 04	36	54,1	49,5	53,8	51,7	47,2	51,5

Tabella 10 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TOTALE DEI CONVOGLI

Come è possibile riscontrare il contributo maggiore è fornito dal transito dei convogli merci.

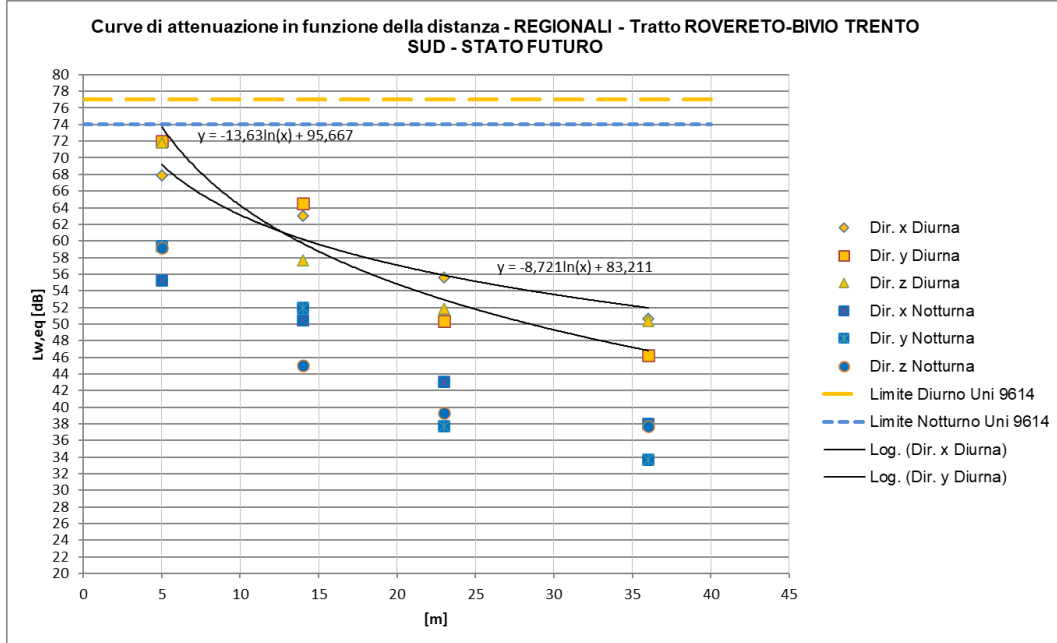


Figura 8 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni Regionale

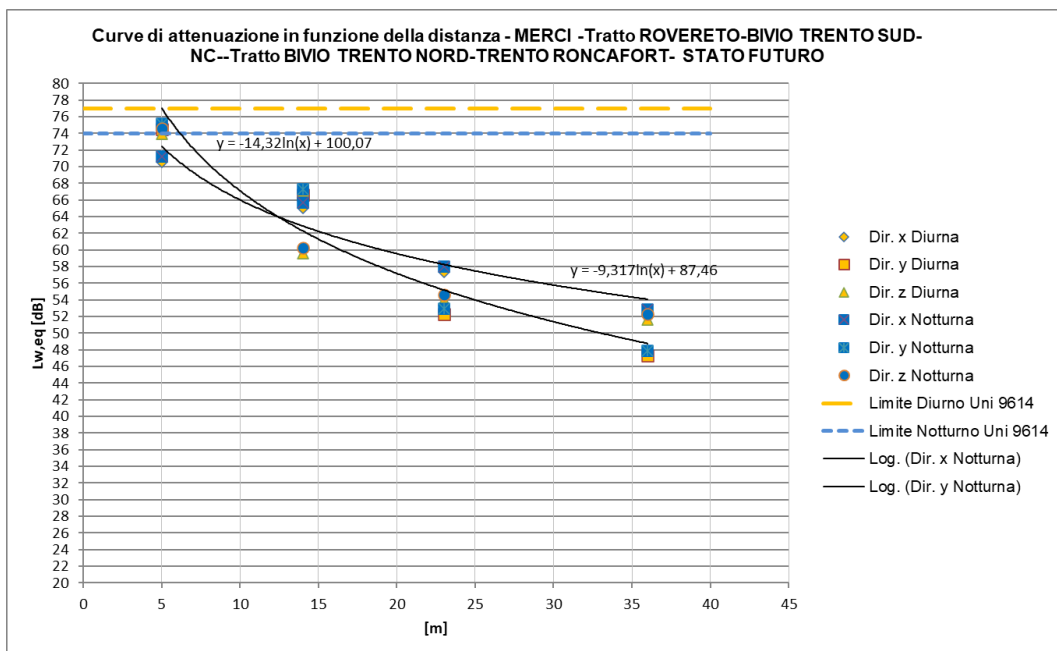


Figura 9 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni Mercè

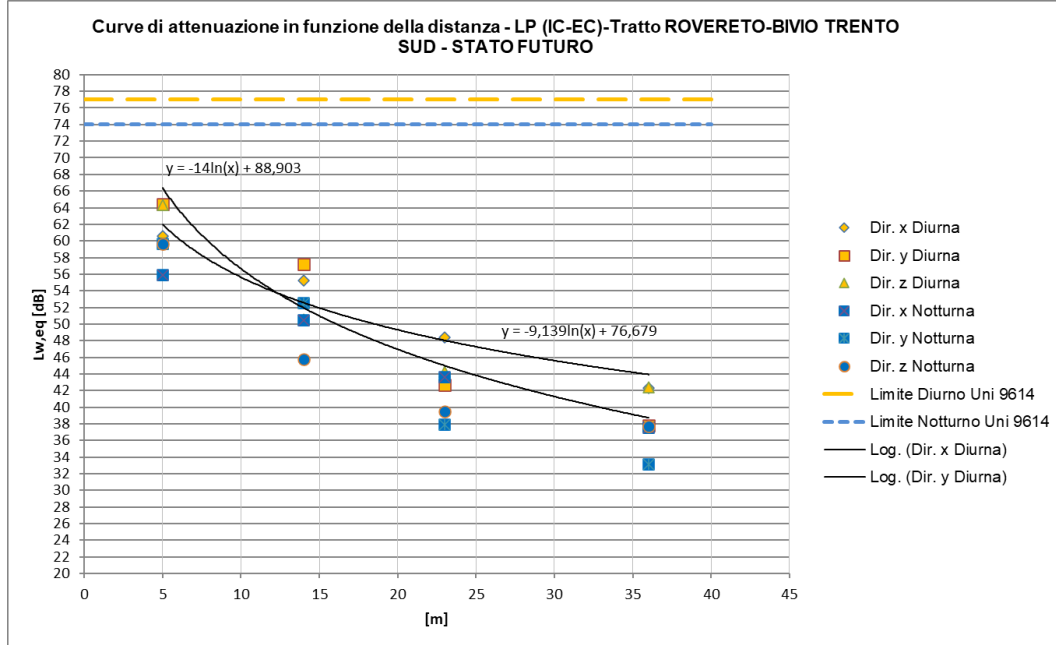


Figura 10 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)

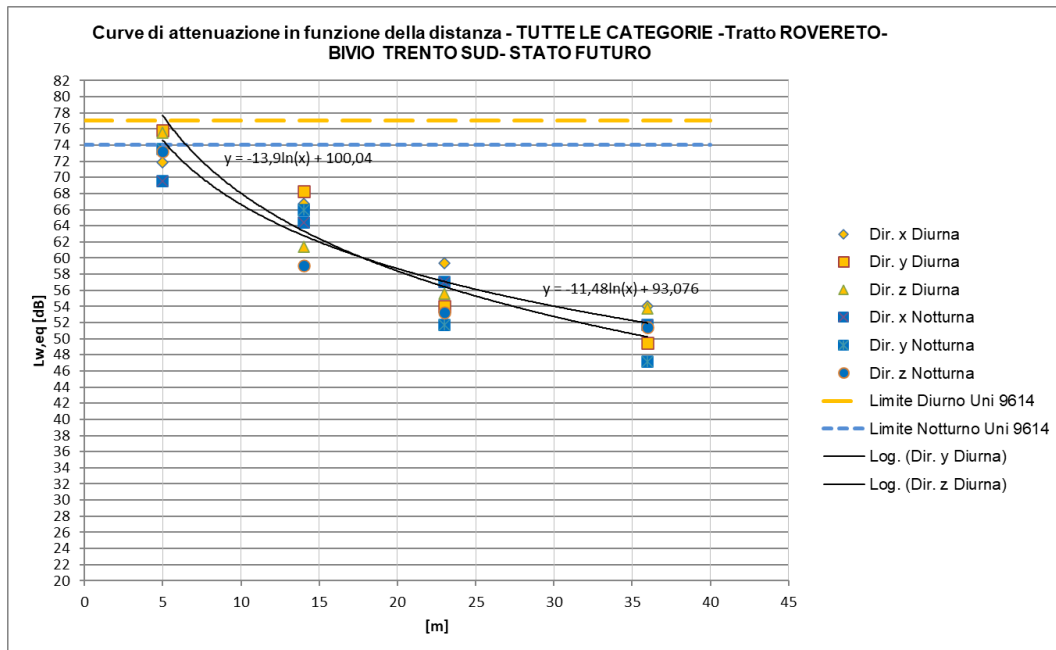



Figura 11 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni TOTALE DEI CONVOGLI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

#### 4.2.2 Livello di emissione complessivo Nuova Circonvallazione

Le accelerazioni complessivamente prodotte dall'esercizio della linea ferroviaria di progetto è fornito dall'applicazione dell'emissione delle singole tipologie di treno, in questo caso solo dei Mercì, e verso di percorrenza al traffico di esercizio previsto per la tratta Bivio Trento Sud- Bivio Trento Nord, in riferimento alla caratterizzazione della sorgente e tenendo conto del tempo di esposizione medio per tipologia di treno. Nella tabella seguente si evince, per i tre assi alle quattro terne, il valore complessivo di esposizione nel periodo diurno e nel periodo notturno calcolato sulla base del modello di esercizio atteso.

MERCÌ							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	70,6	74,5	74,0	71,2	75,2	74,6
VIB 02	14	65,0	66,6	59,6	65,7	67,3	60,2
VIB 03	23	57,3	52,3	54,0	58,0	52,9	54,6
VIB 04	36	52,2	47,3	51,7	52,8	47,9	52,3

Tabella 11 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – MERCÌ

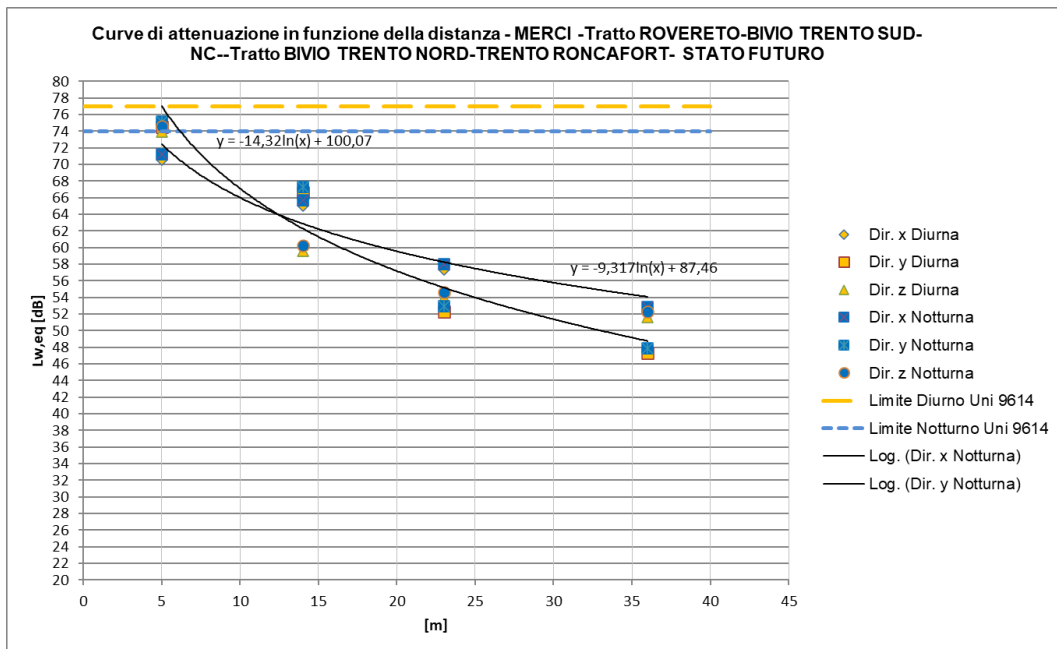



Figura 12 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni Mercì

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

#### 4.2.3 Livello di emissione complessivo Bivio Trento Nord-Trento R

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 per la tratta Bivio Trento Nord - Trento R., in riferimento alla caratterizzazione della sorgente e tenendo conto del tempo di esposizione medio per tipologia di treno. Nelle tabelle seguenti si evince, per i tre assi alle quattro terne, il valore complessivo di esposizione nel periodo diurno e nel periodo notturno calcolato sulla base del modello di esercizio atteso.

REGIONALI							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	65,4	69,5	69,3	55,2	59,4	59,2
VIB 02	14	60,6	62,1	55,2	50,4	51,9	45,0
VIB 03	23	53,2	47,9	49,4	43,0	37,7	39,3
VIB 04	36	48,2	43,8	47,9	38,0	33,6	37,7

Tabella 12 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENII REGIONALI

MERCII							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	70,6	74,5	74,0	71,2	75,2	74,6
VIB 02	14	65,0	66,6	59,6	65,7	67,3	60,2
VIB 03	23	57,3	52,3	54,0	58,0	52,9	54,6
VIB 04	36	52,2	47,3	51,7	52,8	47,9	52,3

Tabella 13 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – MERCI

LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	60,6	64,4	64,3	55,9	59,7	59,6
VIB 02	14	55,2	57,2	50,5	50,5	52,5	45,8
VIB 03	23	48,4	42,7	44,2	43,6	37,9	39,5
VIB 04	36	42,3	37,8	42,4	37,5	33,1	37,7

Tabella 14 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

TOTALI: REGIONALI+LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)+MERCİ							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	70,7	74,7	74,4	69,5	73,5	73,2
VIB 02	14	65,5	67,2	60,3	64,4	66,0	59,1
VIB 03	23	58,2	52,9	54,5	57,0	51,7	53,3
VIB 04	36	52,9	48,4	52,6	51,7	47,2	51,5

Tabella 15 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TOTALE DEI CONVOGLI

Come è possibile riscontrare il contributo maggiore è fornito dal transito dei convogli merci.

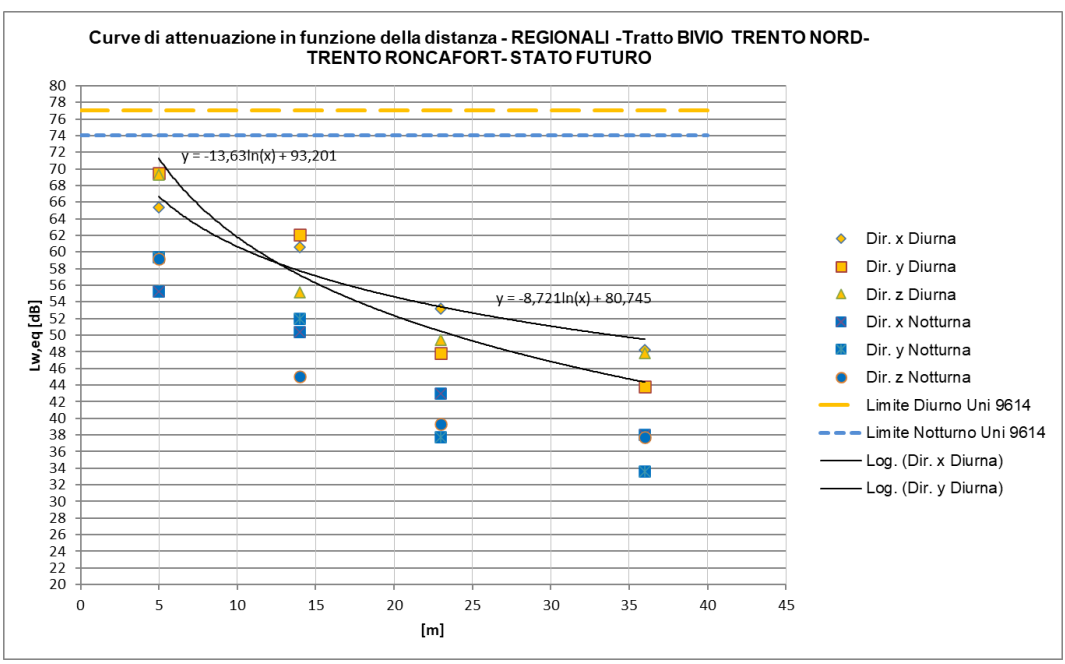


Figura 13 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni Regionale

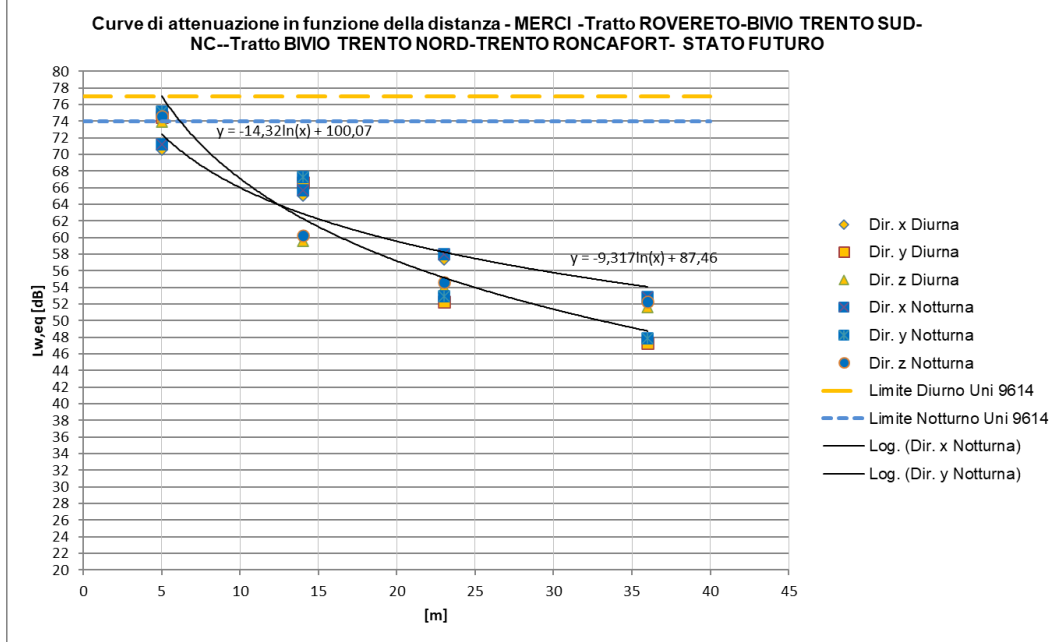


Figura 14 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni Mercati

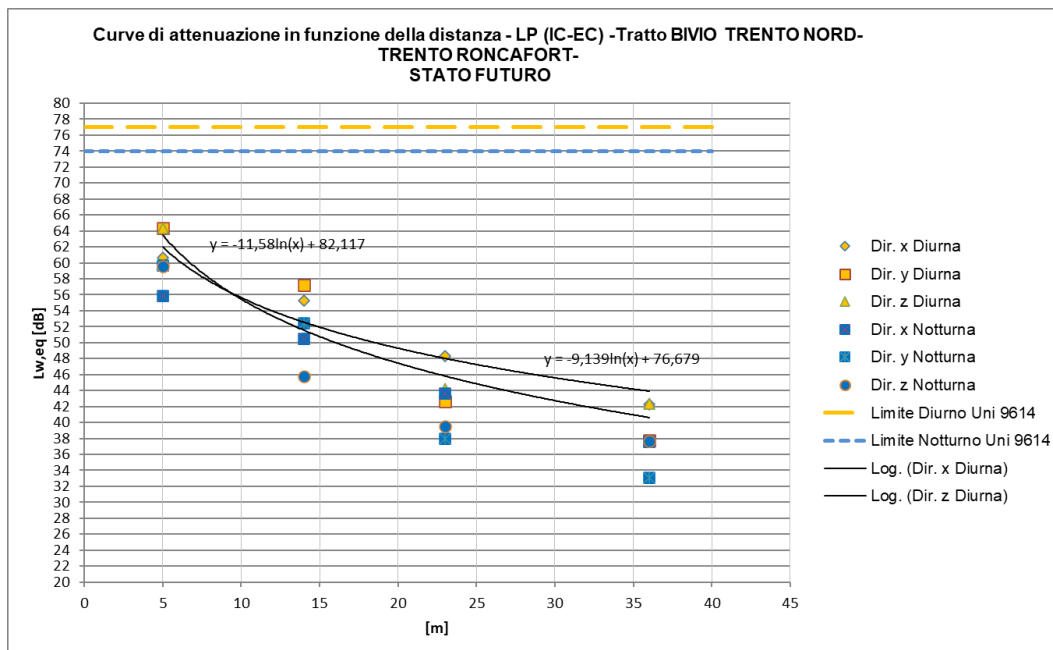


Figura 15 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)



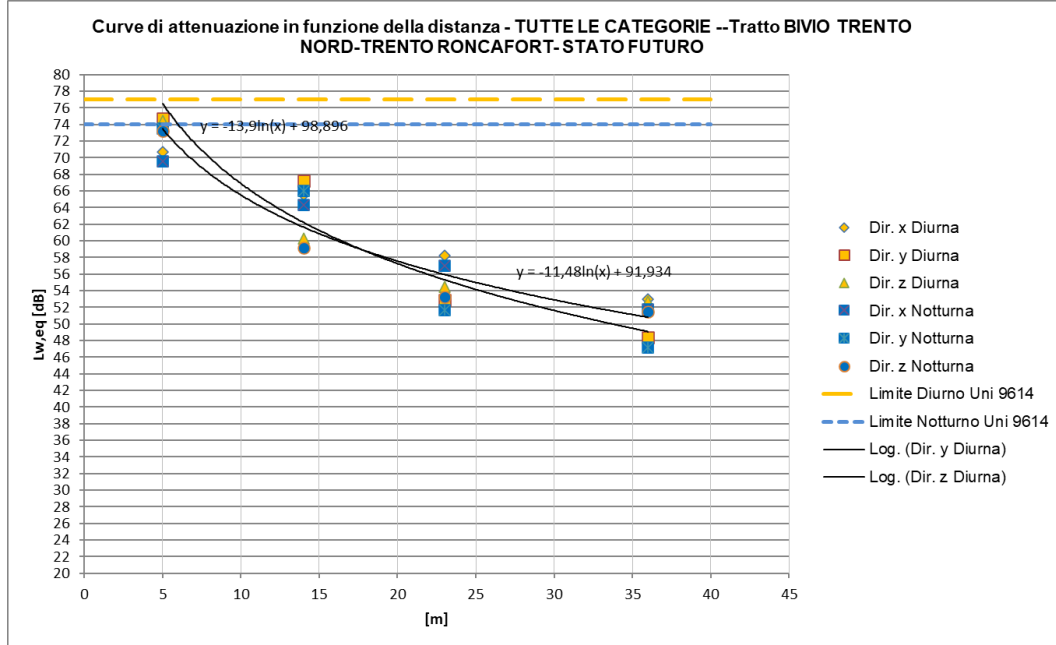


Figura 16 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni TOTALE DEI CONVOGLI

## 5 CONCLUSIONI

Il livello di esposizione alle vibrazioni dei ricettori lungo la tratta oggetto di studio è stato analizzato mediante degli algoritmi di calcolo valutati sul territorio, mediante gli esiti delle misure condotte su una linea ferroviaria analoga, con quattro postazioni contemporanee caratterizzate ognuna da una terna di rilievo lungo gli assi x, y e z.

Considerando la caratterizzazione degli eventi di transito e riferendosi al traffico di progetto per le tratte in valutazione (Rovereto-Bivio Trento Sud; Nuova Circonvallazione e Bivio Trento Nord-Trento R.) è stato determinato il livello di accelerazione medio giornaliero nelle aree esterne considerando il contributo di tutte le categorie di convogli. Nelle tabelle seguenti sono riportate le previsioni per le diverse tratte.

### Tratta Rovereto-Bivio Trento Sud

TOTALE CONVOGLI: REGIONALI+LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)+MERCÌ							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	71,8	75,8	75,6	69,5	73,5	73,2
VIB 02	14	66,7	68,3	61,4	64,4	66,0	59,1
VIB 03	23	59,3	54,0	55,6	57,0	51,7	53,3
VIB 04	36	54,1	49,5	53,8	51,7	47,2	51,5

Tabella 16 – Lw,eq diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TOTALE DEI CONVOGLI

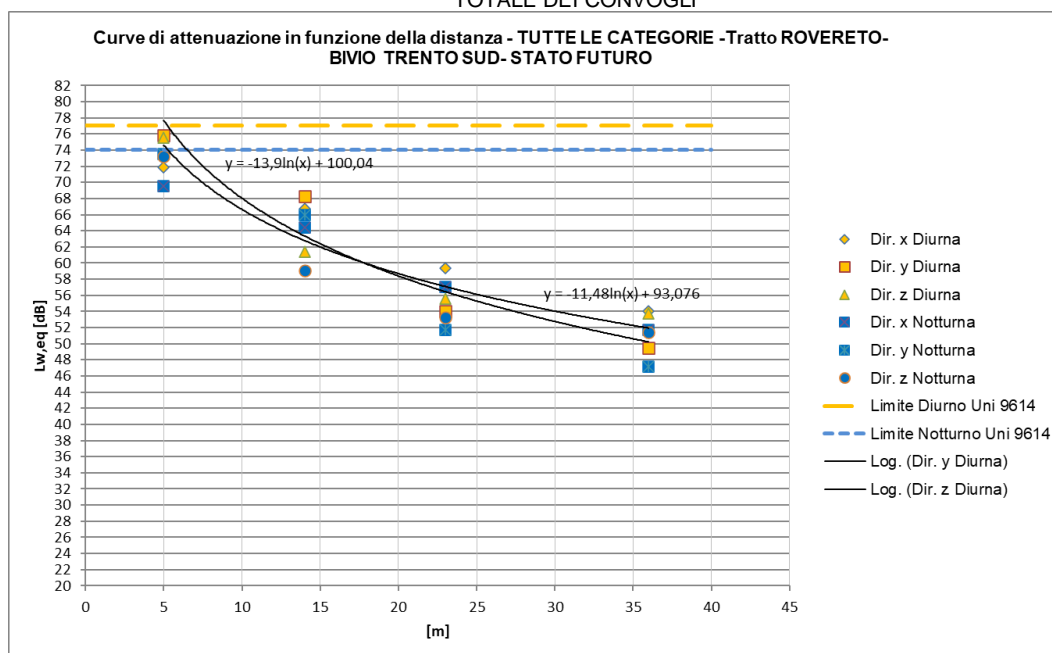



Figura 17 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni TOTALE DEI CONVOGLI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>STUDIO VIBRAZIONALE</b> <b>Relazione</b>	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. B

Tratta Nuova Circonvallazione

TOTALE CONVOGLI: MERCI							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	70,6	74,5	74,0	71,2	75,2	74,6
VIB 02	14	65,0	66,6	59,6	65,7	67,3	60,2
VIB 03	23	57,3	52,3	54,0	58,0	52,9	54,6
VIB 04	36	52,2	47,3	51,7	52,8	47,9	52,3

Tabella 17 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – MERCI (TOTALE DEI CONVOGLI)

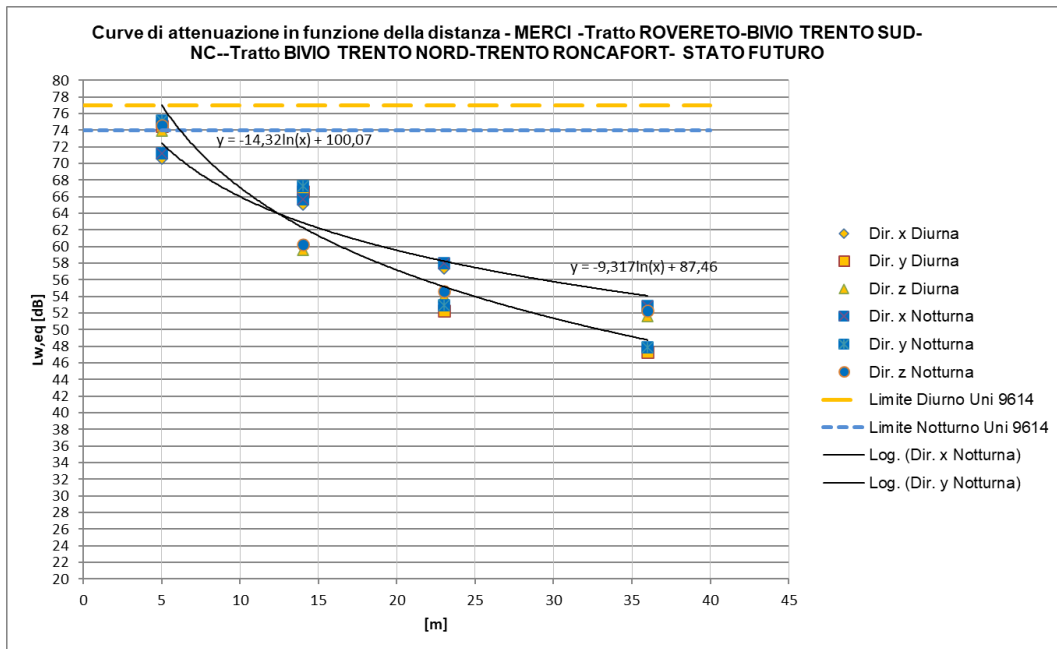


Figura 18 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni Mercè

Tratta Bivio Trento Nord-Trento R.

TOTALE CONVOGLI: REGIONALI+LUNGA PERCORRENZA (IC/EC)+MERCI							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 01	5	70,7	74,7	74,4	69,5	73,5	73,2
VIB 02	14	65,5	67,2	60,3	64,4	66,0	59,1
VIB 03	23	58,2	52,9	54,5	57,0	51,7	53,3
VIB 04	36	52,9	48,4	52,6	51,7	47,2	51,5

Tabella 18 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TOTALE DEI CONVOGLI

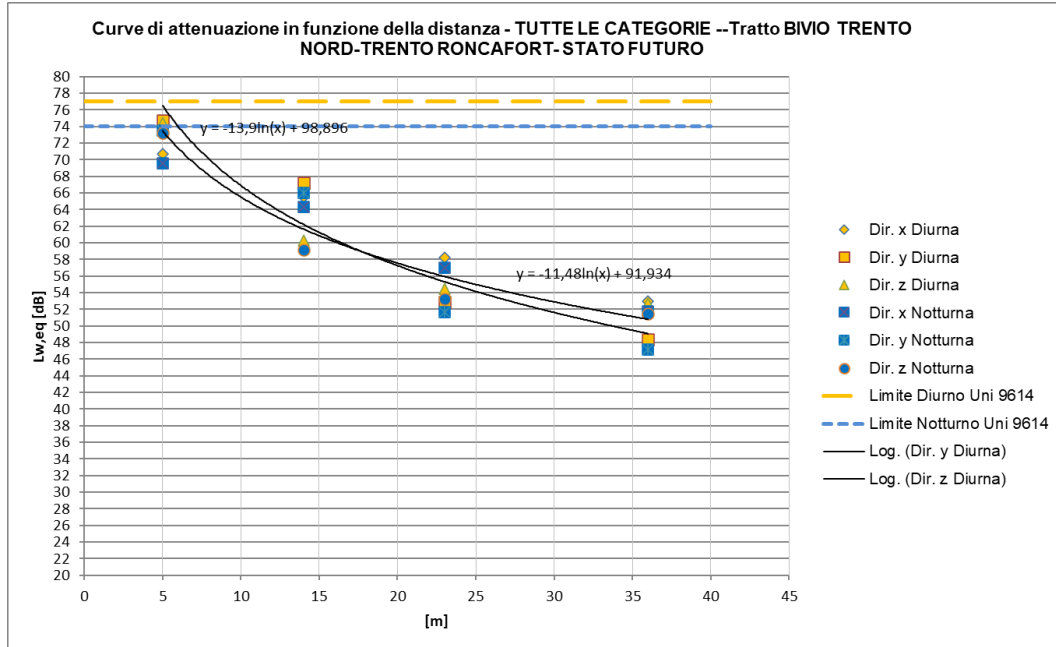


Figura 19 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – Treni TOTALE DEI CONVOGLI

Valutando i risultati ottenuti, come si evince dalle curve riportate in precedenza, tenendo conto del traffico di esercizio, si evidenziano situazioni di superamento del limite notturno a distanza inferiori a circa 10 metri dal binario ferroviario esterno. Per i ricettori oltre tale distanza si valuta che sono esposti ad un livello di accelerazione inferiore alle soglie di riferimento della norma UNI 9614.

Le considerazioni svolte sono avvalorate dal fatto che sono state assunte in condizioni al contorno più severe di quelle che si verificheranno con la realizzazione della nuova 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 usata per la caratterizzazione dei transiti. Al fine della valutazione dei ricettori coinvolti da possibili fenomeni di “annoyance” si riportano di seguito gli stralci della linea in cui sono indicati i ricettori presenti nei due tratti per i quali saranno previsti degli interventi di mitigazione (Slab Track o similari) Tratto I da km 0+745 a 1+020 (*tratto in galleria a doppia canna, 280 m circa*) e Tratto II da km 11+000 a 11+600 (*Galleria Unica + Trincea, 600m circa*). Dall’analisi delle planimetrie si riscontrano nei pressi del Bivio Trento Nord la presenza di undici ricettori (8025; 8018; 8016; 8013; 8010; 8006; 8003; 9006; 9009; 9012; 9015) che sono ubicati entro la distanza di 10 metri per cui si valuta il superamento del limite notturno fissato della UNI 9614 per edifici residenziali. Per gli altri tratti della linea si rilevano ricettori oltre tale distanza, per cui non sono presenti criticità da rilevare. Si rimanda comunque alle fasi progettuali successive uno studio vibrazionale più dettagliato che verrà

supportato da una campagna di rilievi vibrometrici in loco. Di seguito gli stralci cartografici dei tratti oggetto di mitigazione:



Figura 20 - Bivio Trento Nord. In rosso la fascia di 10 metri nella quale sono contenuti i ricettori per cui si valuta il superamento del limite (8025; 8018; 8016; 8013; 8010; 8006; 8003; 9006; 9009; 9012; 9015)

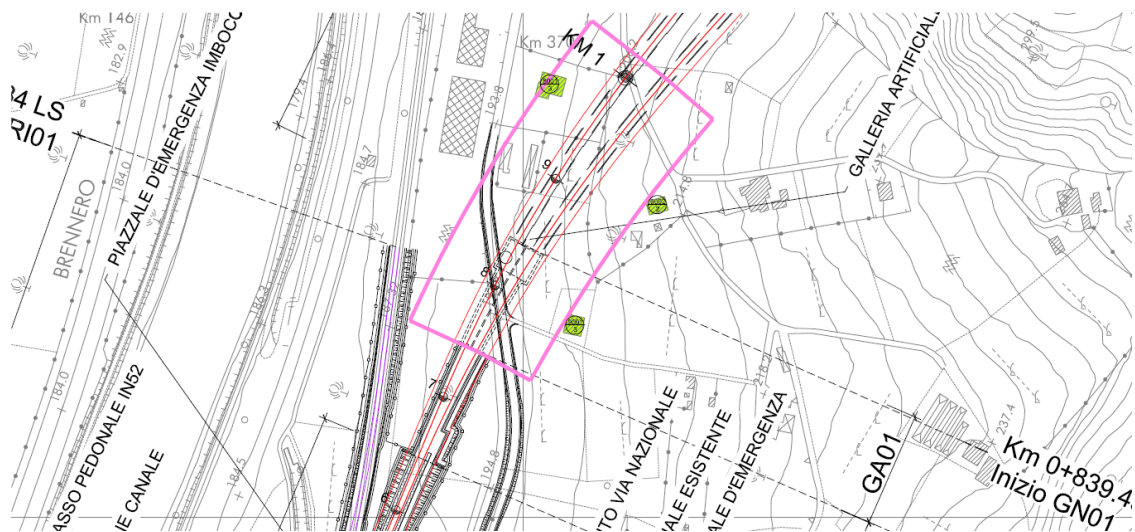


Figura 21 - Bivio Trento Nord. Non si rilevano ricettori entro la distanza di 10 metri dal binario più esterno.