

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA  
TRATTA PIADENA - MANTOVA**

**STUDIO VIBRAZIONALE  
Relazione Generale**

SCALA:

-

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

N M 2 5    0 3    D    2 2    R G    I M 0 0 0 4    0 0 2    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F. Rocchi	APR 2020	R. Azzarito A. Corvaja	APR 2020	M. Berlingieri	APR 2020	D. Ludovici APR 2020 ITALFERR dott./ing. Donato Ludovici Ordine Ingegnati di P. 16319

File: NM2503D22RGIM0004002A.doc

n. Elab.:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

## INDICE

<b>1</b>	<b><i>Premessa</i></b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><i>Riferimenti legislativi</i></b>	<b>4</b>
2.1	ISO 2631 “Valutazione sull’esposizione del corpo umano alle vibrazioni”	4
2.2	UNI 9614 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”	5
2.3	UNI 9916 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”	6
<b>3</b>	<b><i>Valutazione degli impatti in fase di esercizio della linea ferroviaria considerando il valore del massimo transito e il valore medio complessivo</i></b>	<b>9</b>
3.1	Modello previsionale	9
3.2	Caratterizzazione della sorgente	10
3.3	La propagazione delle onde vibrazionali	19
<b>4</b>	<b><i>Individuazione delle criticità e previsione dell’impatto in fase di esercizio considerando il valore del massimo transito e il valore medio complessivo</i></b>	<b>28</b>
4.1	Considerazioni generali	28
4.2	Traffico di esercizio Tratta Piadena – Mantova (Sezione di misura 3)	29
4.2.1	Livello di emissione complessivo	29
4.3	Traffico di esercizio Tratta Piadena – Mantova (Sezione di misura 4)	33
4.3.1	Livello di emissione complessivo	33
<b>5</b>	<b><i>Conclusioni</i></b>	<b>37</b>

	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

## 1 PREMESSA

Nel Programma Regionale Mobilità e Trasporti della Regione Lombardia è riportata la pianificazione di “Riqualificazione Milano – Codogno – Cremona - Mantova”. Tale voce, oltre a citare gli interventi di raddoppio conclusi nel 2015 tra la località Cavatigozzi e Cremona, riporta anche l'intervento di raddoppio, proposto in maniera selettiva, sull'intera relazione.

Recentemente sulla linea sono stati firmati impegni e convenzioni attuative che hanno interessato la Regione Lombardia e Rete Ferroviaria Italiana. L'obiettivo commerciale, alla base di questi interventi, è creare le condizioni per l'incremento della regolarità sulla relazione regionale Milano – Mantova ed un suo successivo potenziamento, nonché raggiungere la frequenza di un treno/h per direzione.

Successivi approfondimenti svolti dalle strutture territoriali di RFI congiuntamente alla Regione Lombardia, hanno messo in evidenza la necessità di approfondire la tratta prioritaria di raddoppio, anche alla luce del modello di esercizio che sarà adottato dalla Regione stessa.

La linea ha inoltre un notevole interesse merci legato, non solo alla presenza degli impianti industriali raccordati, ma anche al fatto che tale linea fa parte del corridoio alternativo al Mediterraneo.

In quest'ottica, il presente Progetto Definitivo, compendia gli interventi necessari, nell'ambito della linea Codogno – Cremona – Mantova, all'attivazione prioritaria della tratta Piadena – Mantova, 1<sup>a</sup> fase funzionale del raddoppio della linea in oggetto.

L'opera si sviluppa nella bassa pianura lombarda, ad una quota compresa tra i 60 e i 20 metri s.l.m. andando da ovest verso est; lo sviluppo della tratta è di circa 34km tra le località di Piadena (km 55+286 LS) e Mantova (km 89+557 LS).

La 1<sup>a</sup> fase del progetto prevede i seguenti interventi:

- Raddoppio tratta Piadena – Bozzolo: raddoppio con tratti in variante tramite la realizzazione di un nuovo binario ad interasse di circa 22.50 m dall'attuale, da eseguirsi in presenza di esercizio ferroviario;
- Raddoppio tratta Bozzolo – Mantova: raddoppio in stretto affiancamento da eseguirsi in interruzione prolungata di esercizio ferroviario.

Il progetto prevede, nell'ambito della realizzazione nuova della sede ferroviaria a doppio binario, dei relativi impianti ed apparati tecnologici e di trazione elettrica, inoltre, la riqualificazione delle Stazioni e dei PRG di Piadena, Bozzolo e Marcaria, della Fermata di Castellucchio e del PRG di

	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

Mantova. È prevista, ancora, la soppressione di tutti i PL di linea tramite realizzazione di opportune nuove opere sostitutive.

L'intervento, nel suo complesso, grazie all'incremento delle prestazioni della linea, si caratterizza come un potenziamento dei collegamenti regionali e merci attualmente programmati.

Il presente documento contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale prodotto dall'esercizio della Linea Piadena-Mantova una volta realizzato il progetto di potenziamento della linea a seguito del raddoppio della linea Codogno – Cremona – Mantova.

Il lavoro tiene conto delle indicazioni delle norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, si basa anche sui risultati della campagna di rilievi vibrometrici appositamente eseguita nell'ambito della Progettazione in oggetto e a cui si fa riferimento per i dettagli del caso. 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>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

## 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 9614:1990 "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>RADDOPPIO LINEA COLOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

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 UNI 9614:1990 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 9614:1990 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 2-1 – Valori di soglia di vibrazione relativi al disturbo alle persone (UNI 9614:1990)

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	NM25	03-D-22	RG	IM0004 002	A	6 di 42

elevato. Nell'Appendice della norma UNI 9614:1990, 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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

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:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA <b>NM25</b>	LOTTO <b>03-D-22</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>IM0004 002</b>	REV. <b>A</b>

- 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>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

### 3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA CONSIDERANDO IL VALORE DEL MASSIMO TRANSITO E IL VALORE MEDIO COMPLESSIVO

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 1-2-3 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 sciolti e 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 di vario tipo, 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 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

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 “ $x_0$ ”, diminuito della somma delle attenuazioni che si verificano nel terreno tra  $x_0$  e x:

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

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.

### 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 l’attuale linea in esercizio in due sezioni di misura: Sezione 3 e Sezione 4.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

Nella **Sezione 3** 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 tre 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 nella Sezione 3		
Tipologia treni	Periodo Diurno	Periodo Notturno
Regionali	24	4
Merci	4	5
<b>TOTALE</b>	<b>28</b>	<b>9</b>

Tabella 3-1 – Treni transitanti sulla linea Piadena – Mantova – SEZ.3

Le tre terne accelerometriche sono state così posizionate:

Identificazione Terna	Posizionamento
VIB 03a	In corrispondenza del confine ferroviario, a circa 3 metri dal binario più esterno
VIB 03b	Area verde a margine della linea ferroviaria, a circa 7.5 metri dal binario più esterno
VIB 03c	Nelle vicinanze dell'edificio più prossimo, a circa 10,5 metri dal binario più esterno

Tabella 3-2 – Identificazione delle terne accelerometriche e posizionamento

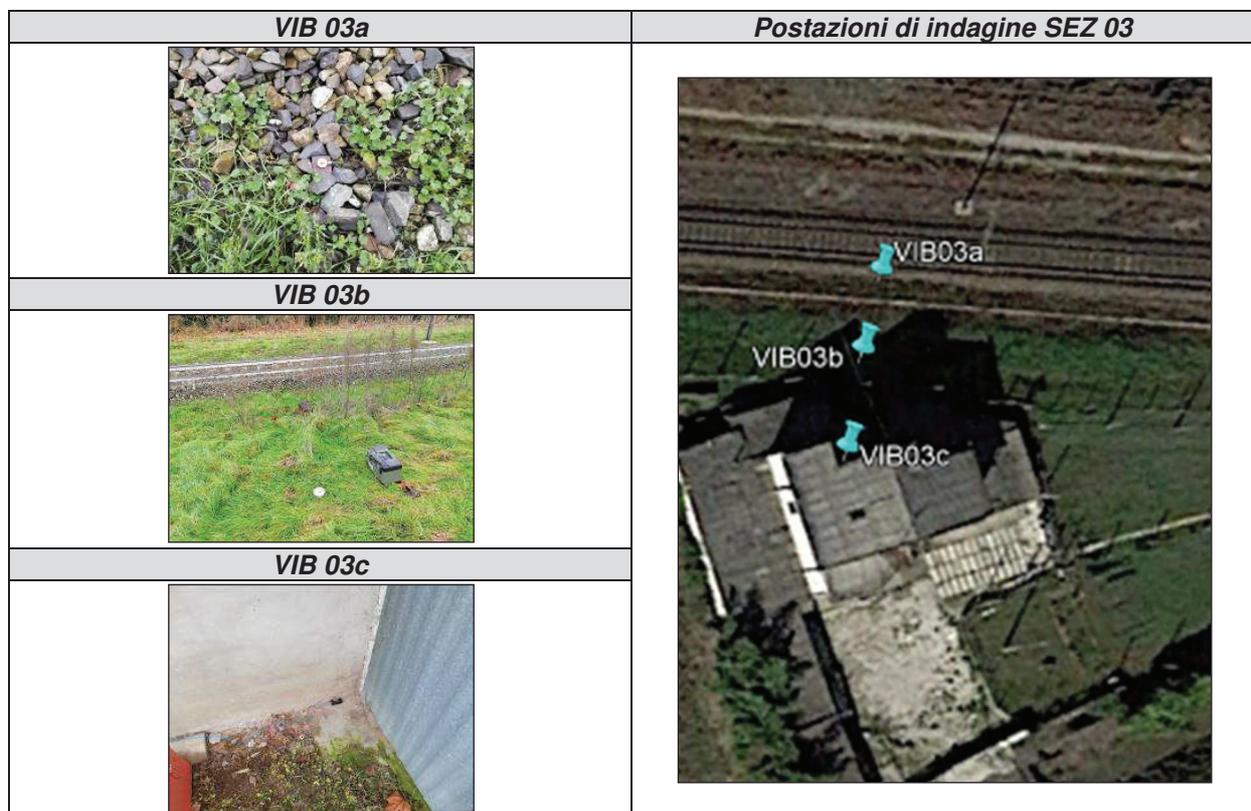


Figura 3-1 - Report fotografico postazioni di misura (Asse x: ortogonale alla linea; Asse Y: parallelo alla linea; Asse Z verticale)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA COLOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report dei rilievi vibrometrici, doc. NM2503D22RHIM0004003A, per un totale di 37 eventi, si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni categoria regionali e treni categoria merci.

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 03 si riportano i seguenti valori medi dei transiti ed il valore del massimo transito. Si osserva che allontanandosi dal binario per i valori tra la terna VIB 03a e VIB 03b i livelli di accelerazione media non diminuiscono significativamente. Questo risultato può essere stato determinato da caratteristiche impronosticabili e non prevedibili del terreno sottostante (condutture in CIs, manufatti, etc.). Presso la terna VIB 03c, a circa 10 metri dal binario si registra una diminuzione dei valori medi ponderati e del valore massimo per tutti e tre gli assi.

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

Tipologie di Treno	Durata transito (s)	VIB 03a (dist. 3m)			VIB 03b (dist. 7.5m)			VIB 03c (dist. 10.5m)		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Regionale	9	96,4	102,2	94,8	97,0	99,4	98,1	76,5	77,9	77,7
Merci	23	89,1	92,1	88,2	96,3	96,0	95,5	74,7	75,3	79,8

Tabella 3-3 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

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

Tipologie di Treno	Durata media transito (s)	VIB 03a			VIB 03b			VIB 03c		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Regionale	9	90,3	94,2	88,7	93,1	95,0	93,7	71,7	71,6	75,1
Merci	29	86,2	89,2	85,7	92,0	93,4	91,2	70,2	70,8	74,2

Tabella 3-4 - Livello equivalente medio (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

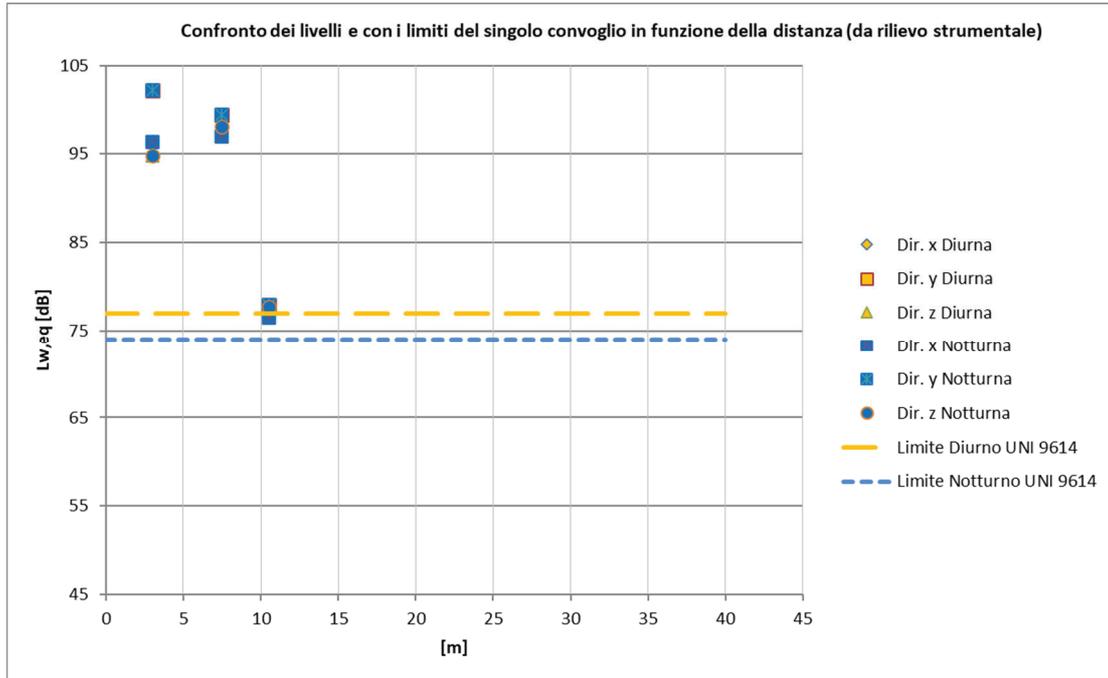


Figura 3-2 – Confronto dei livelli e con i limiti del singolo convoglio che genera l'evento massimo in funzione della distanza – TRENI REGIONALI

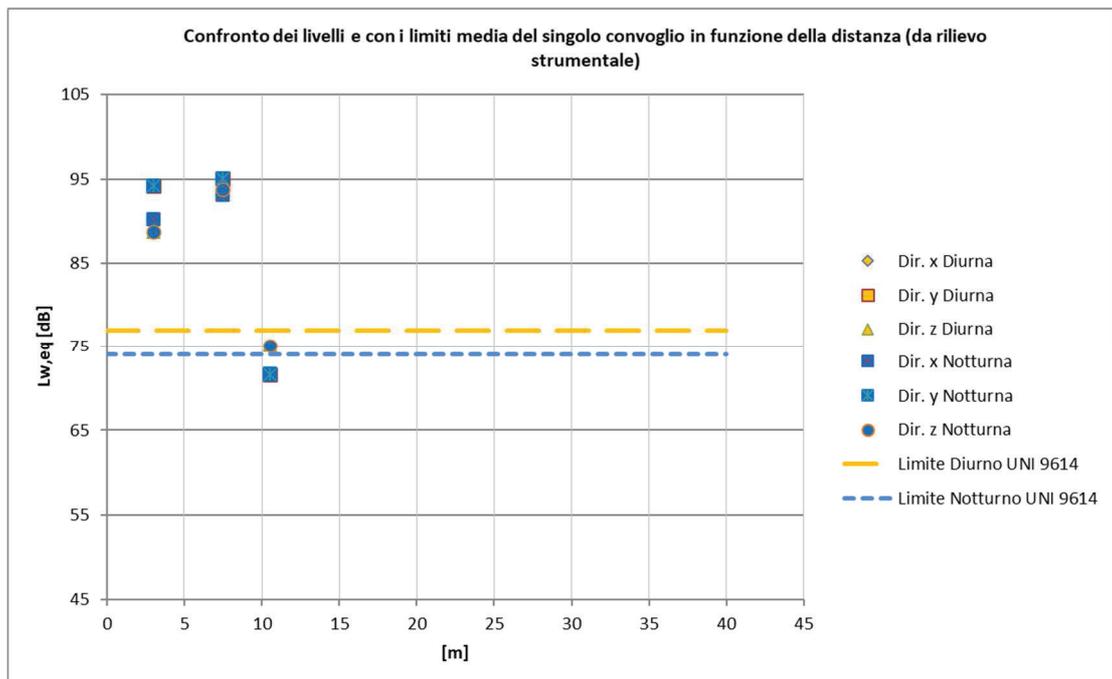


Figura 3-3 – Confronto dei livelli e con i limiti del singolo convoglio che genera l'evento medio in funzione della distanza – TRENI REGIONALI

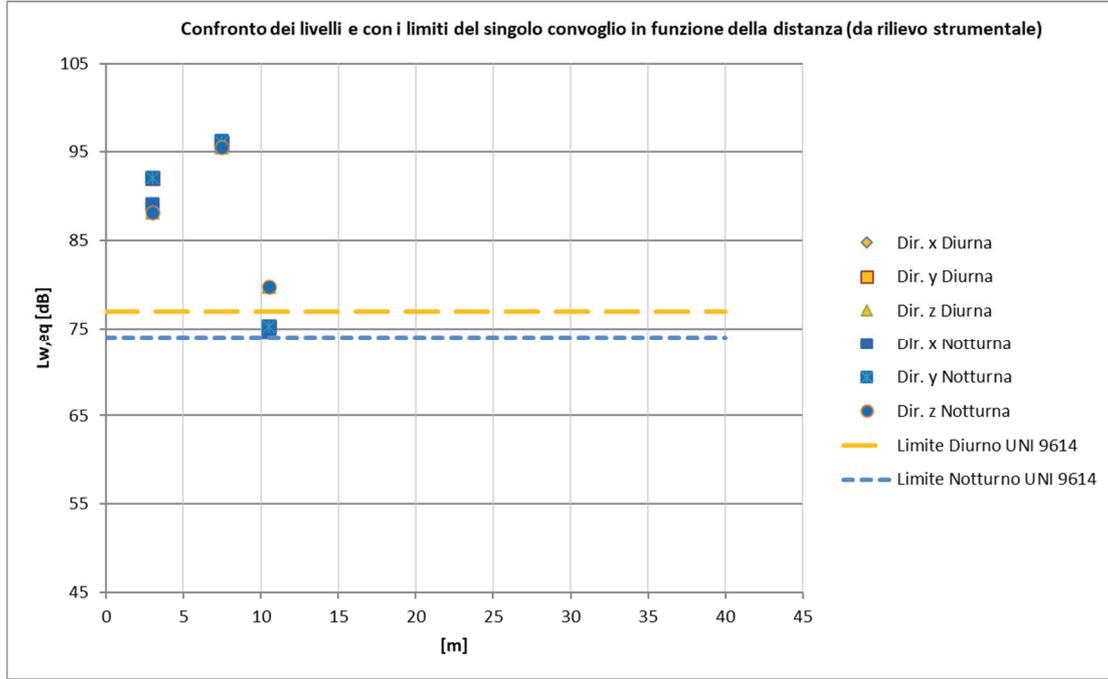


Figura 3-4 – Confronto dei livelli e con i limiti del singolo convoglio che genera l'evento massimo in funzione della distanza – TRENI MERCI

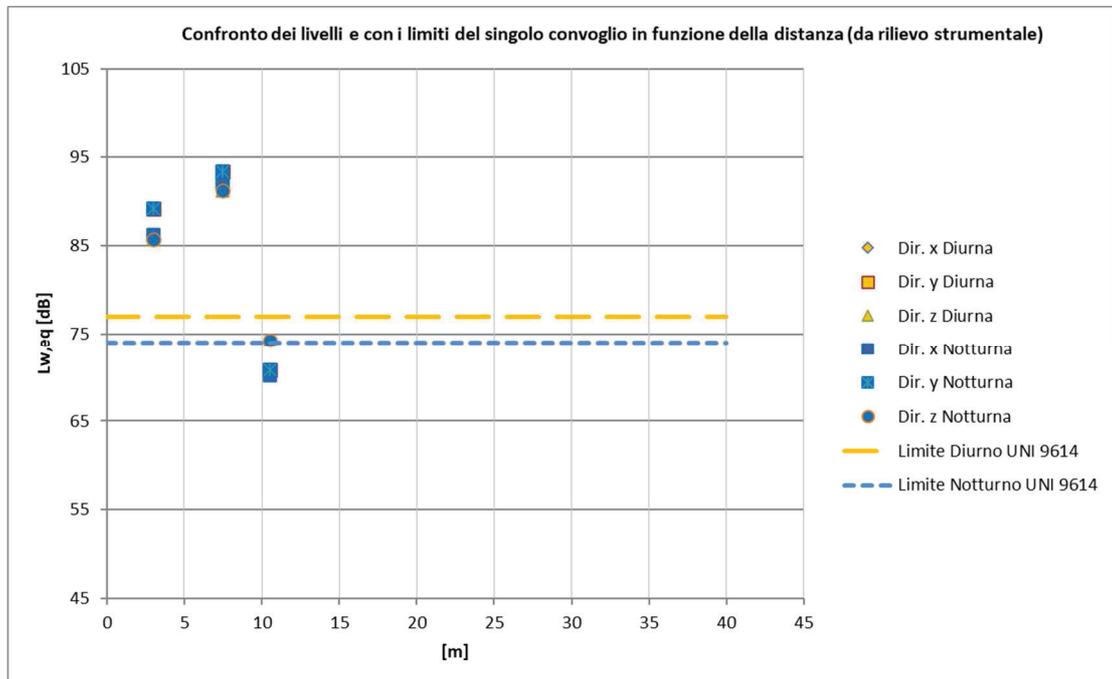


Figura 3-5 – Confronto dei livelli e con i limiti del singolo convoglio che genera l'evento medio in funzione della distanza – TRENI MERCI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

Nella **Sezione 4** 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 tre 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 VIB 04		
Tipologia treni	Periodo Diurno	Periodo Notturno
Regionali	24	4
Merci	7	3
<b>TOTALE</b>	<b>31</b>	<b>7</b>

Tabella 3-5 – Treni transitanti sulla linea Piadena – Mantova – SEZ.4

Le tre terne accelerometriche sono state così posizionate:

Identificazione Terna	Posizionamento
VIB 04a	In corrispondenza del confine ferroviario, a circa 8,6 metri dal binario più esterno
VIB 04b	Area verde a margine della linea ferroviaria, a circa 18 metri dal binario più esterno
VIB 04c	In prossimità dell'abitazione, a circa 29 metri dal binario più esterno

Tabella 3-6 – Identificazione delle terne accelerometriche e posizionamento

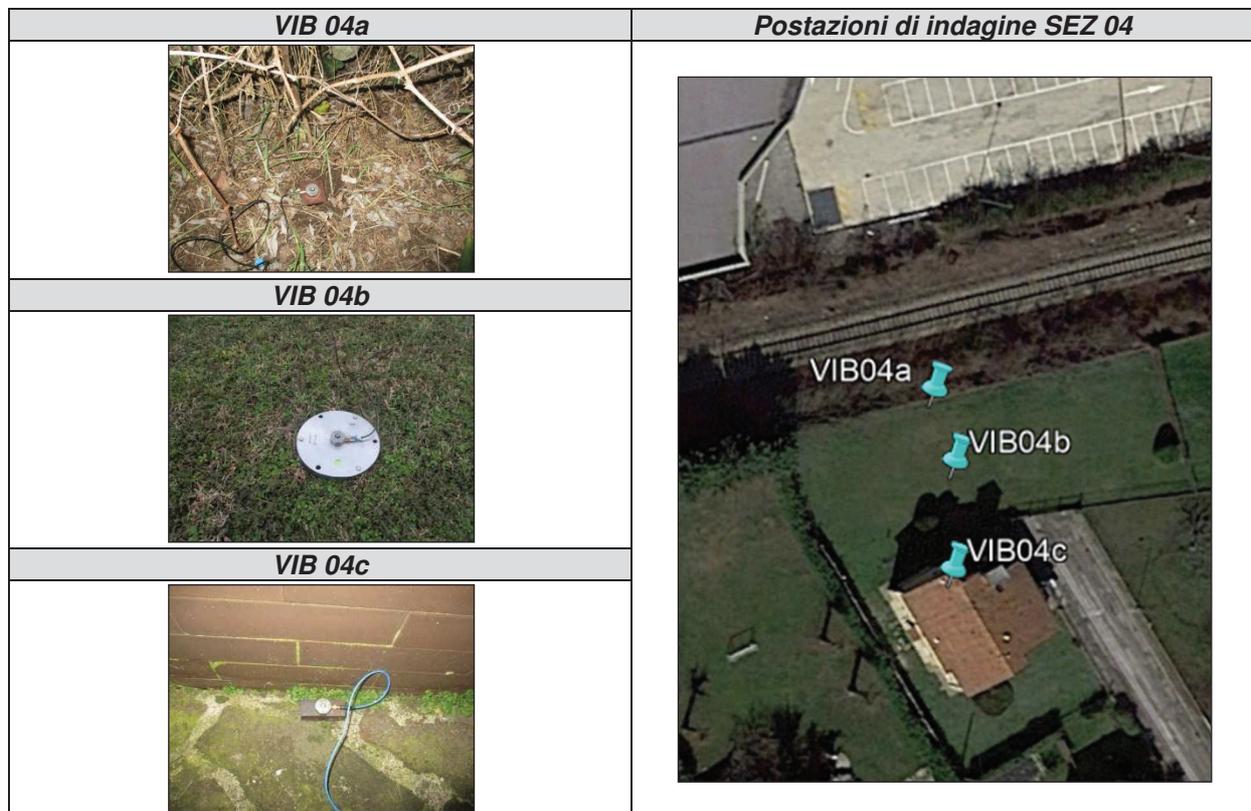


Figura 3-6 - Report fotografico postazioni di misura (Asse x: ortogonale alla linea; Asse Y: parallelo alla linea; Asse Z verticale)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	NM25	03-D-22	RG	IM0004 002	A	16 di 42

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report dei rilievi vibrometrici, doc. NM2503D22RHIM0004003A, per un totale di 38 eventi, si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni categoria regionali e treni categoria merci.

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 04 si riportano i seguenti valori medi dei transiti ed il valore del massimo transito. Si osserva che allontanandosi dal binario per i valori tra la terna VIB 04a e VIB 04b e VIB 04c pei livelli di accelerazione si riscontra una progressiva diminuzione sia dei valori massimi che dei valori medi ponderati per tutti e tre gli assi. Di seguito, si riporta una tabella di sintesi con indicati i valori massimi delle accelerazioni dei livelli equivalenti espressi in decibel relative alle categorie di treni sopracitate nel periodo di osservazione.

Tipologie di Treno	Durata transito (s)	VIB 04a (dist. 8.6m)			VIB 04b (dist. 18m)			VIB 04c (dist. 29m)		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Regionale	10	94,0	97,7	86,7	77,4	80,6	81,5	54,7	56,1	57,0
Merci	13	86,0	90,5	79,1	70,8	73,9	74,4	54,6	57,0	60,3

Tabella 3-7 - Livello equivalente massimo (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

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

Tipologie di Treno	Durata media transito (s)	VIB 04a (dist. 8.6m)			VIB 04b (dist. 18m)			VIB 04c (dist. 29m)		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Regionale	12	88,0	91,6	78,8	70,0	74,0	74,3	51,7	53,0	53,9
Merci	48	83,3	87,1	75,4	67,2	70,4	72,2	52,8	52,9	55,4

Tabella 3-8 - Livello equivalente medio (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

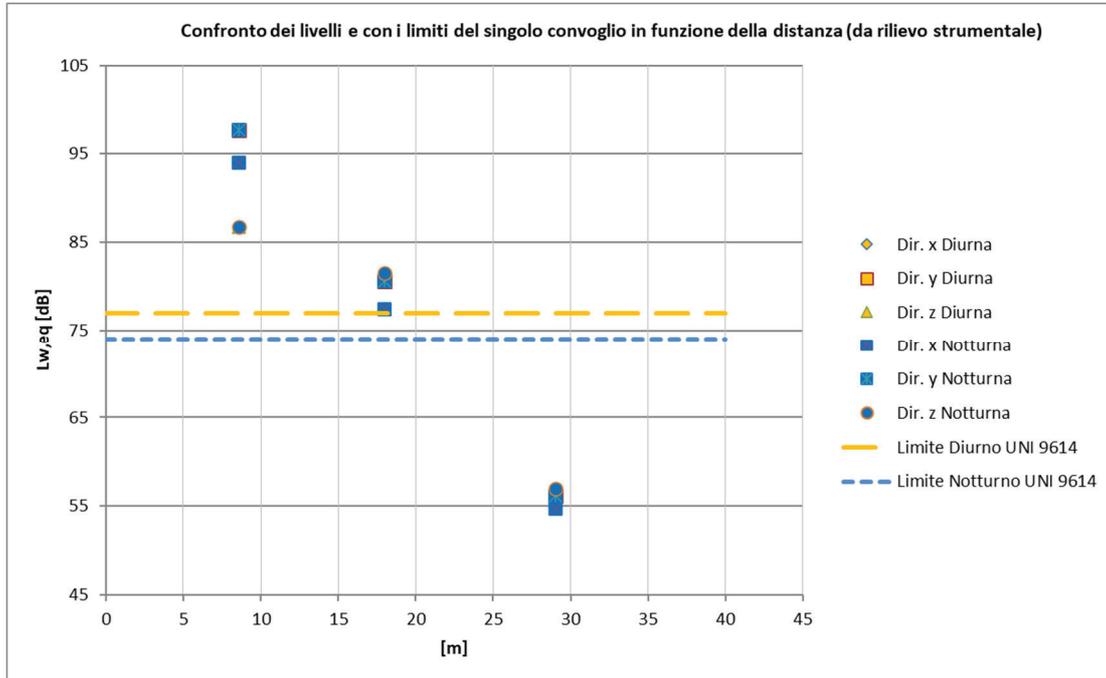


Figura 3-7 – Confronto dei livelli e con i limiti del singolo convoglio che genera l'evento massimo in funzione della distanza – TRENI REGIONALI

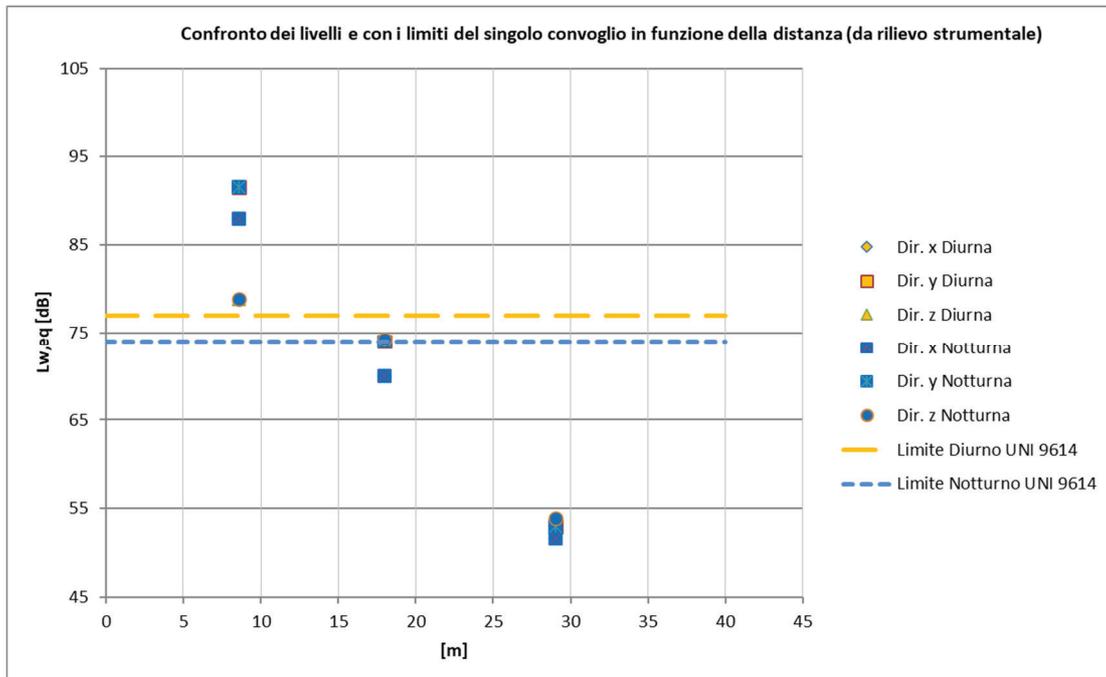


Figura 3-8 – Confronto dei livelli e con i limiti del singolo convoglio che genera l'evento medio in funzione della distanza – TRENI REGIONALI

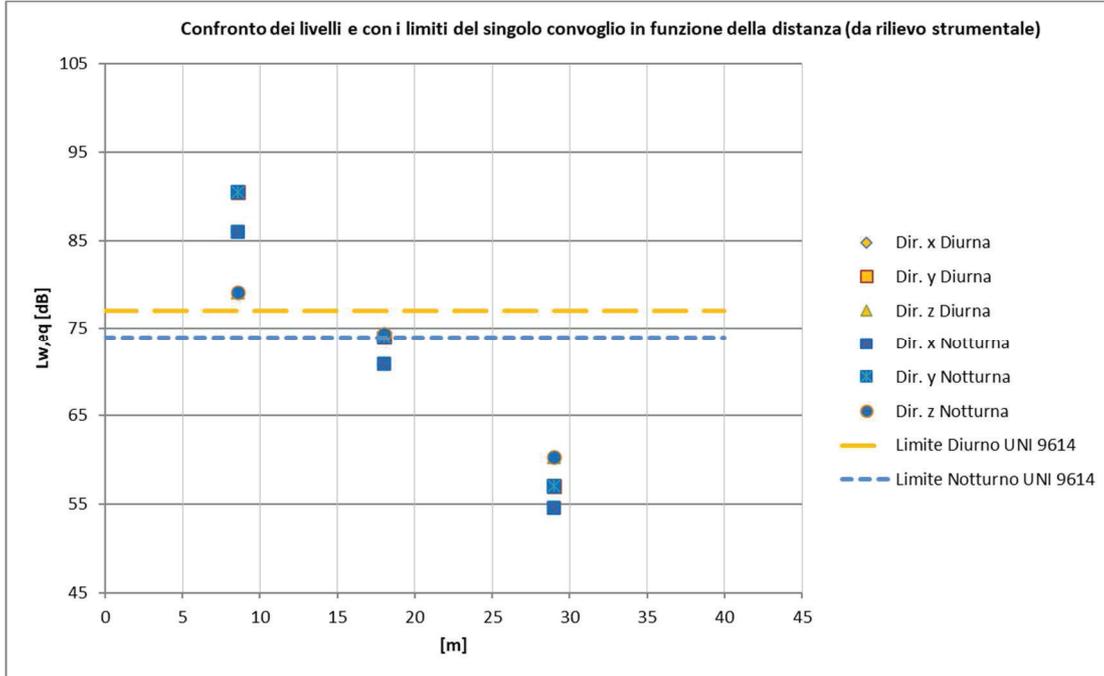


Figura 3-9 – Confronto dei livelli e con i limiti del singolo convoglio che genera l'evento massimo in funzione della distanza – TRENI MERCI

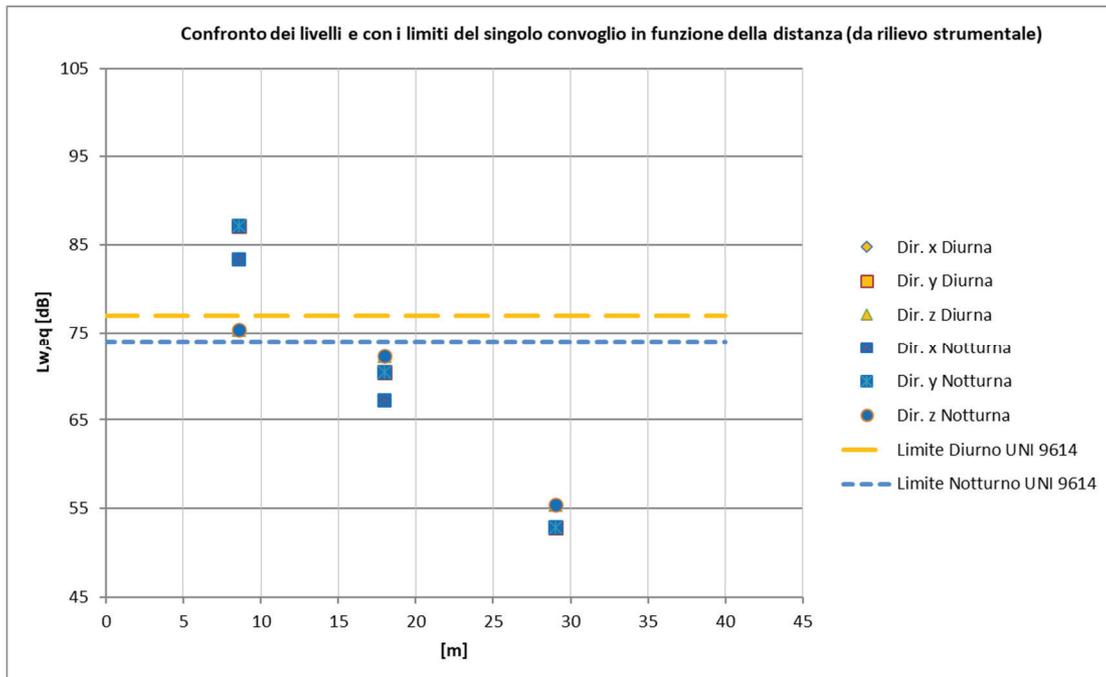


Figura 3-10 – Confronto dei livelli e con i limiti del singolo convoglio che genera l'evento medio in funzione della distanza – TRENI MERCI

	<b>RADDOPPIO LINEA COLOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

### 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.

I ricettori interessati dallo studio sorgono prevalentemente su terreni sciolti di varia natura e granulometria come riscontrabile dalla carta geologica presente negli elaborati di progetto.

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

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 <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 3-9 - 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<sub>c</sub>, d<sub>a</sub> = densità dei suoli "c" e "a"
- c<sub>c</sub>, c<sub>a</sub> = velocità di propagazione nei suoli "c" e "a"

In considerazione dei molteplici fattori che possono condizionare il trasferimento delle vibrazioni nel suolo, per la costruzione del modello sono stati utilizzati i dati sperimentali 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, tramite regressione, le quali descrivono la propagazione nel terreno dell'onda vibrazionale in funzione della distanza. Nei grafici seguenti sono riportati i valori sperimentali sui quali è applicata la regressione logaritmica al fine di definire la funzione di trasferimento.

Per la **Sezione 3** in considerazione dei terreni interessati dal tracciato di progetto, 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 nelle immagini seguenti (livello massimo e medio di accelerazione, ponderato per "postura non nota", in corrispondenza dei punti di misura).

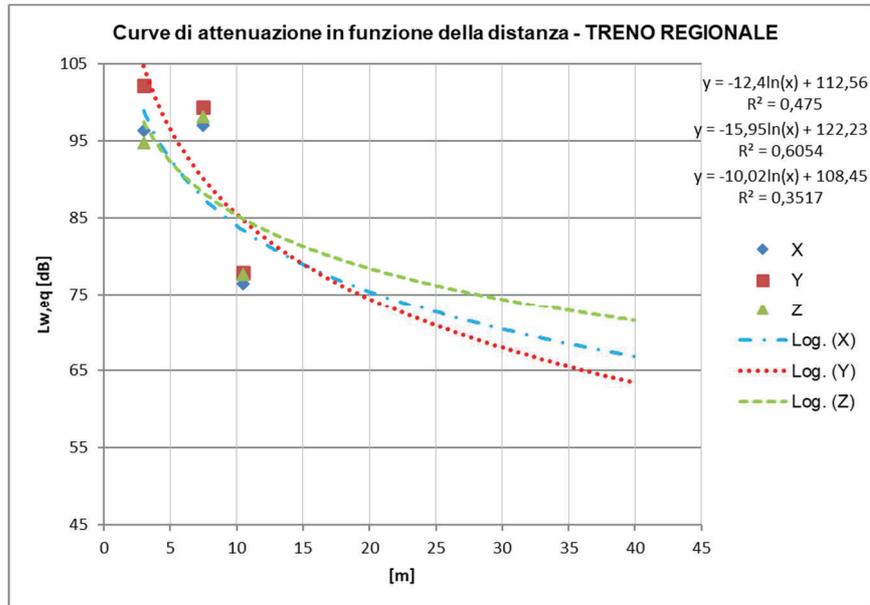


Figura 3-11 - Curve e funzioni di attenuazione del MASSIMO TRANSITO del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 3 – TRENO REGIONALE

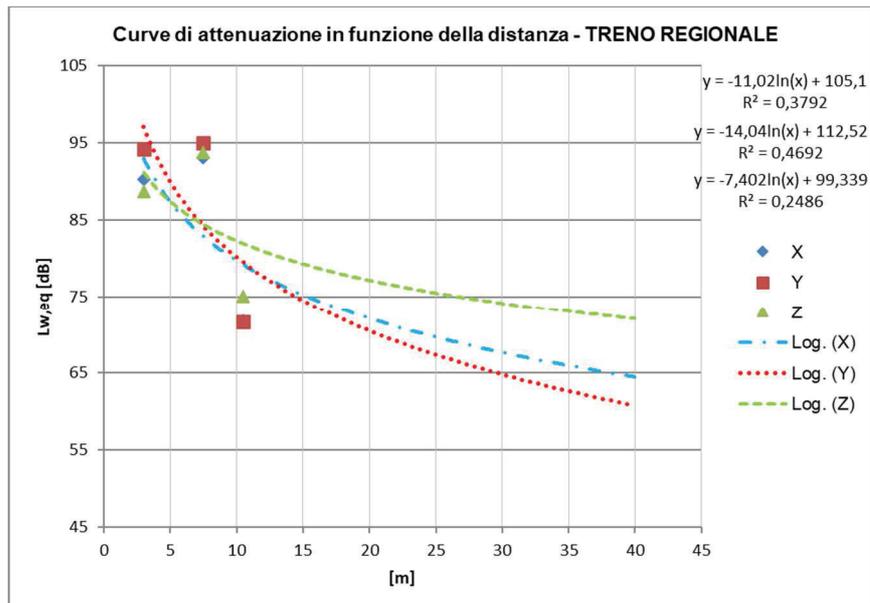


Figura 3-12 - Curve e funzioni di attenuazione del TRANSITO MEDIO del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 3 – TRENO REGIONALE

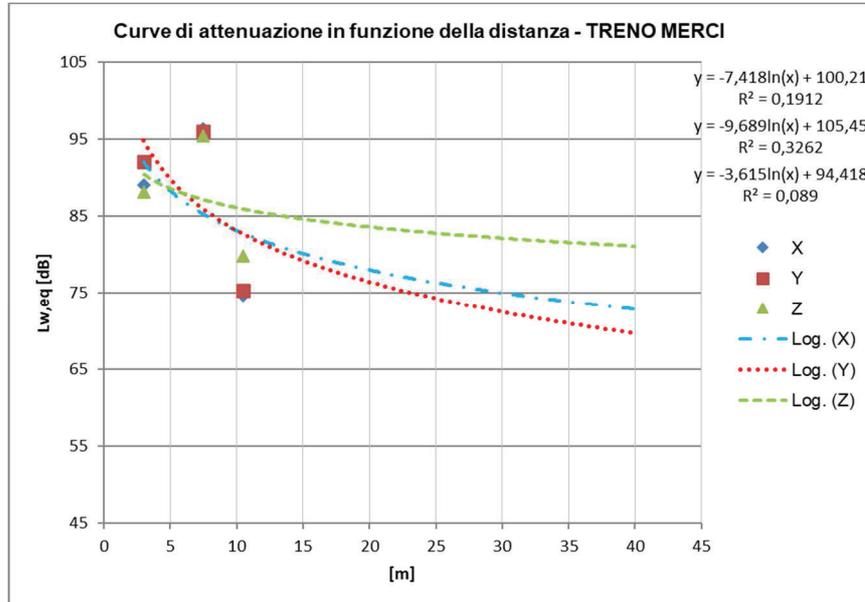


Figura 3-13 - Curve e funzioni di attenuazione del MASSIMO TRANSITO del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 3 – TRENO MERCÌ

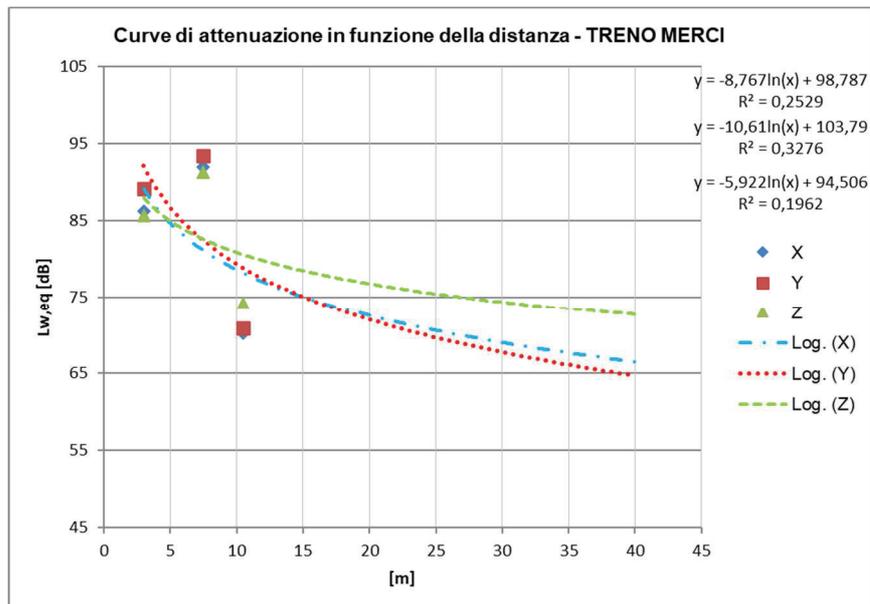


Figura 3-14 - Curve e funzioni di attenuazione del TRANSITO MEDIO del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 3 – TRENO MERCÌ

Per la **Sezione 4** in considerazione dei terreni interessati dal tracciato di progetto, 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 nelle immagini seguenti (livello massimo e medio di accelerazione, ponderato per "postura non nota", in corrispondenza dei punti di misura).

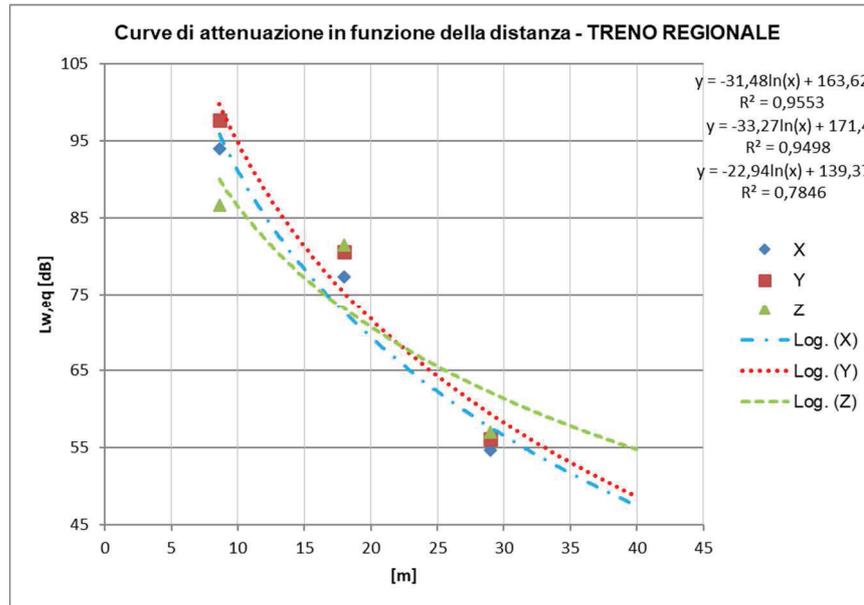


Figura 3-15 - Curve e funzioni di attenuazione del MASSIMO TRANSITO del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 4 – TRENO REGIONALE

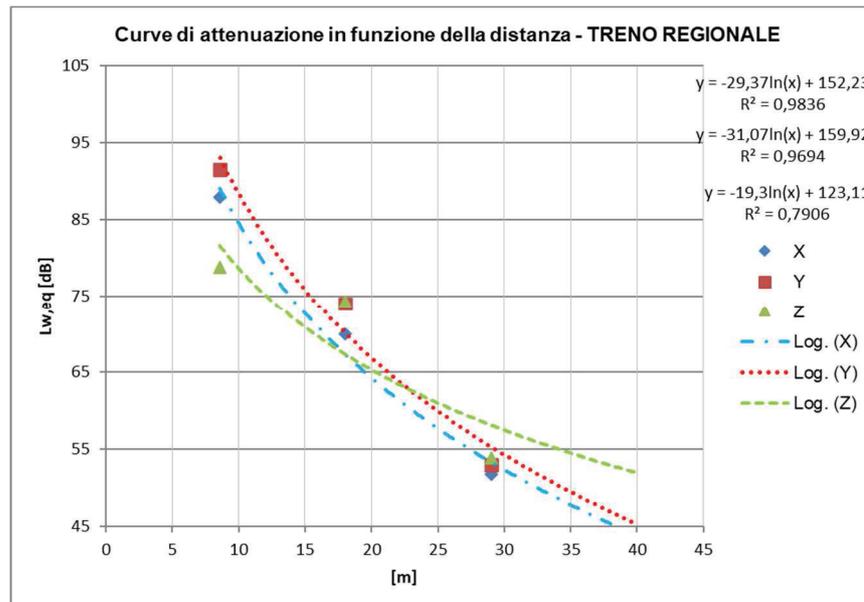


Figura 3-16 - Curve e funzioni di attenuazione del TRANSITO MEDIO del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 4 – TRENO REGIONALE

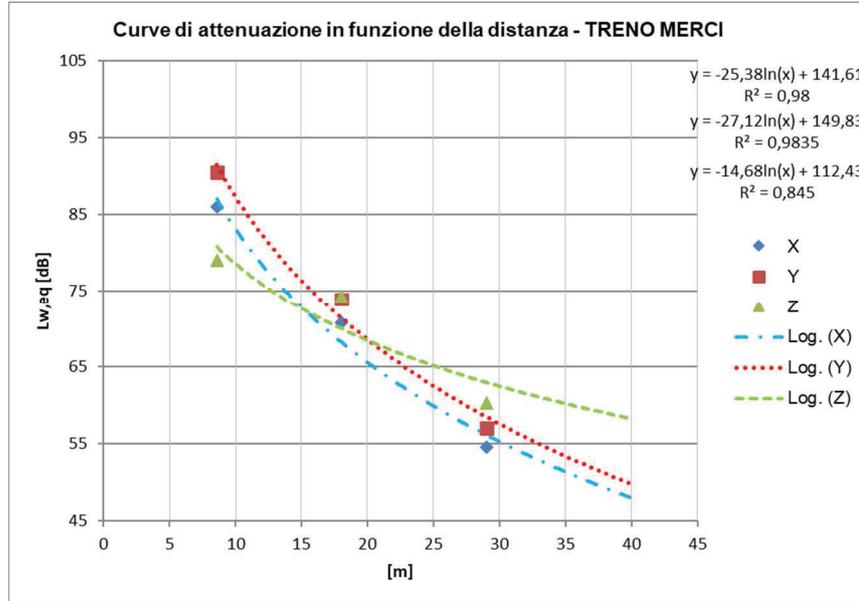


Figura 3-17 - Curve e funzioni di attenuazione del MASSIMO TRANSITO del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 4 – TRENO MERCÌ

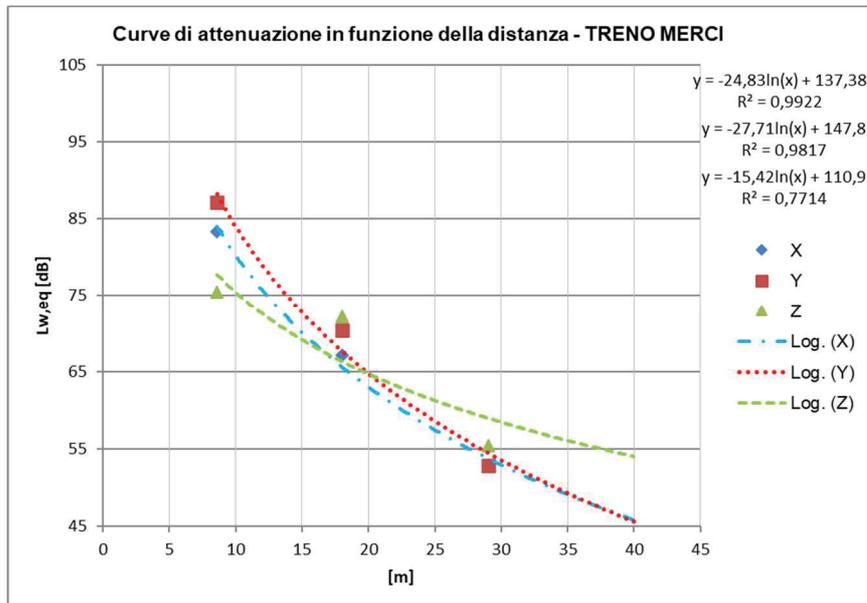


Figura 3-18 - Curve e funzioni di attenuazione del TRANSITO MEDIO del  $L_{w,eq}$  in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 4 – TRENO MERCÌ

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

### 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

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 con altezza media di 1-2-3 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 di +5 dB<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI VIBRAZIONI IN EDIFICI RESIDENZIALI - Normativa, tecniche di misura e di calcolo di Angelo Farina "Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Ingegneria Industriale"

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA COLOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b></p> <p><b>STUDIO VIBRAZIONALE</b></p>					
<p><b>RELAZIONE GENERALE</b></p>	<p>COMMESSA NM25</p>	<p>LOTTO 03-D-22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 27 di 42</p>

L'applicazione del modello di propagazione del rumore solido per i ricettori analizzati nel presente studio non evidenziano 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>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	NM25	03-D-22	RG	IM0004 002	A	28 di 42

## **4 INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ E PREVISIONE DELL'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO CONSIDERANDO IL VALORE DEL MASSIMO TRANSITO E IL VALORE MEDIO COMPLESSIVO**

### **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 acustici.

Per quanto riguarda l'individuazione di criticità, in via cautelativa, si è fatto riferimento ai limiti indicati dalla norma ISO 2631/UNI 9614:1990 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).

Applicando i modelli di calcoli precedentemente descritti, le funzioni di trasferimento sperimentali ed i dati di caratterizzazione dei singoli transiti massimi e medi, si rileva che i valori di riferimento di cui alla norma UNI 9614:1990 sono generalmente rispettati per la maggioranza dei ricettori posti in prossimità del nuovo tracciato ferroviario. 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 9614:1990 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

#### 4.2 Traffico di esercizio Tratta Piadena – Mantova (Sezione di misura 3)

La tratta Piadena – Mantova, in quanto parte dell'itinerario Raddoppio Linea Codogno – Cremona – Mantova, sarà rappresentata nel seguente scenario:

TRATTA Piadena-Mantova	REGIONALI			MERCÌ			TOTALE		
	D	N	tot	D	N	tot	tot D	tot N	TOT
Scenario di riferimento di esercizio di progetto									
Coradia ETR 245 in doppia composizione (2x5 pezzi) / Relazione Milano Centrale – Mantova	32	4	<b>36</b>	-	-	-	32	4	<b>36</b>
Coradia ETR 245 (5 pezzi) / Relazione Cremona – Piadena – Mantova	8	-	<b>8</b>	-	-	-	8	-	<b>8</b>
Mercì tipo Corridoio	-	-	-	6	3	<b>9</b>	6	3	<b>9</b>
Altri Mercì	-	-	-	9	5	<b>14</b>	9	5	<b>14</b>
<b>Totale</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>44</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>23</b>	<b>55</b>	<b>12</b>	<b>67</b>

Tabella 4-1 – Traffico di esercizio tratta Piadena-Mantova

Dal programma di esercizio della ferrovia il flusso di treni in progetto varia complessivamente a 67 treni/giorno (dei quali 55 nel periodo diurno e 12 nel periodo notturno). Di seguito il dettaglio dei transiti riferiti ai binari/direzione:

BINARIO/DIREZIONE	TIPOLOGIA TRENO	N. TRENI DAY	N. TRENI NIGHT	LUNGHEZZA TRENO [m]
<b>PARI/PIADENA</b>	Coradia ETR245Doppio/REG	16	2	165
	Coradia ETR245Singolo/REG	4	0	82,2
	MERCÌ Corridoio	3	2	750
	Altri MERCÌ	5	2	550
<b>DISPARI/MANTOVA</b>	Coradia ETR245Doppio/REG	16	2	165
	Coradia ETR245Singolo/REG	4	0	82,2
	MERCÌ Corridoio	3	1	750
	Altri MERCÌ	4	3	550

Tabella 4-2 – Dettaglio del Traffico di esercizio tratta Piadena-Mantova

##### 4.2.1 Livello di emissione complessivo

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, cioè, 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.

Nelle tabelle seguenti la valutazione è eseguita sia considerando il transito massimo che il transito medio.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA COLOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA <b>NM25</b>	LOTTO <b>03-D-22</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>IM0004 002</b>	REV. <b>A</b>

REGIONALI							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 3a	3	74,6	80,4	73,0	66,3	72,1	64,7
VIB 3b	7,5	75,2	77,6	76,3	66,9	69,3	68,0
VIB 3c	10,5	54,7	56,1	55,9	46,4	47,8	47,6

Tabella 4-3 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il MASSIMO TRANSITO – TRENI REGIONALI

MERCİ							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 3a	3	68,2	71,2	67,3	67,6	70,6	66,7
VIB 3b	7,5	75,4	75,1	74,6	74,8	74,5	74,0
VIB 3c	10,5	53,8	54,4	58,9	53,2	53,8	58,3

Tabella 4-4 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il MASSIMO TRANSITO – TRENI MERCİ

REGIONALI							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 3a	3	68,5	72,4	66,9	60,2	64,1	58,7
VIB 3b	7,5	71,3	73,3	72,0	63,0	65,0	63,7
VIB 3c	10,5	50,0	49,9	53,4	41,7	41,6	45,1

Tabella 4-5 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il TRANSITO MEDIO – TRENI REGIONALI

MERCİ							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 3a	3	65,3	68,2	64,7	64,8	67,7	64,2
VIB 3b	7,5	71,1	72,5	70,3	70,6	72,0	69,8
VIB 3c	10,5	49,3	49,9	53,3	48,8	49,4	52,8

Tabella 4-6 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il TRANSITO MEDIO – TRENI MERCİ

Di seguenti i grafici della valutazione eseguita sia considerando il transito massimo che il transito medio.

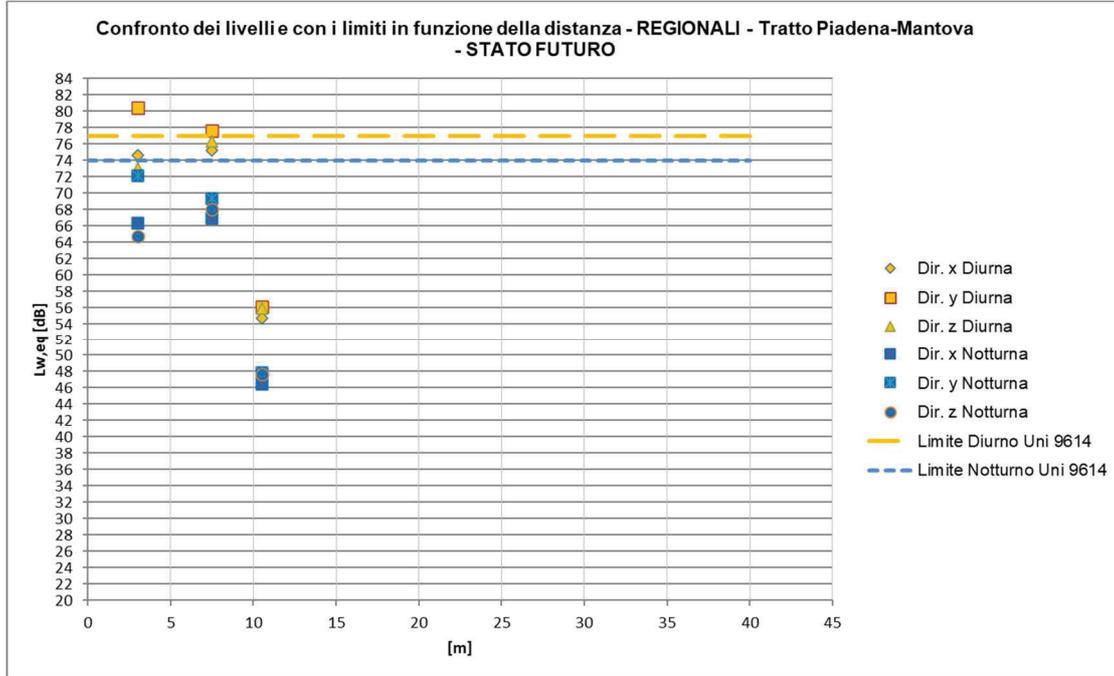


Figura 4-1 – Confronto dei livelli e con i limiti in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto considerando il MASSIMO TRANSITO – SEZ. 3, TRENI REGIONALI

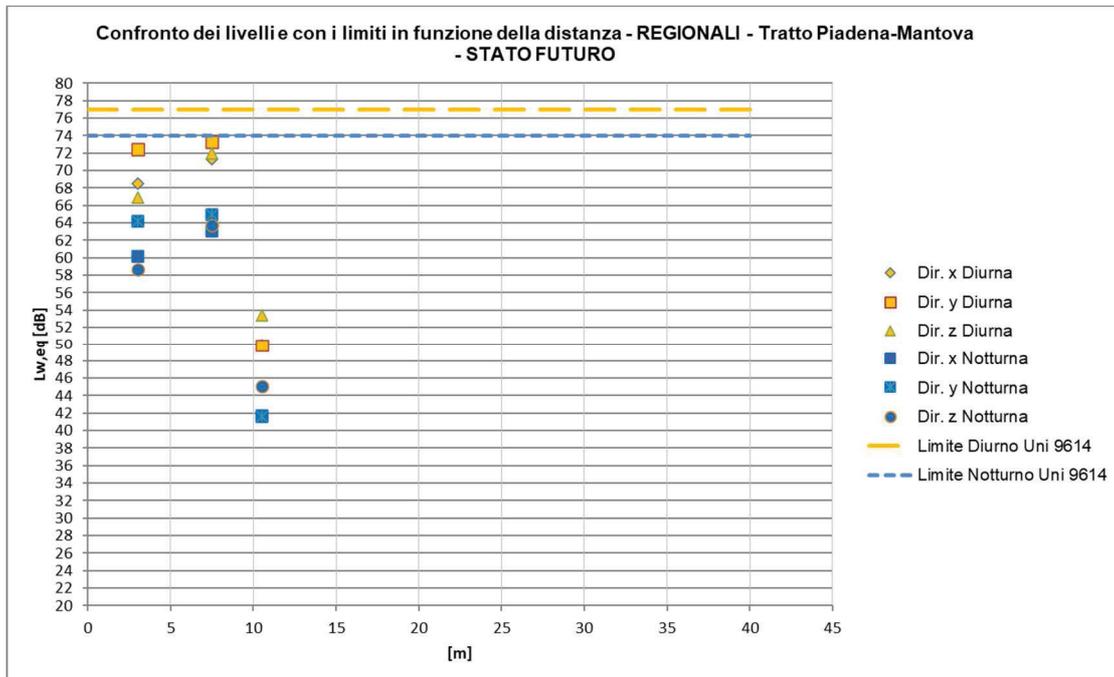


Figura 4-2 – Confronto dei livelli e con i limiti in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto considerando il TRANSITO MEDIO – SEZ. 3, TRENI REGIONALI

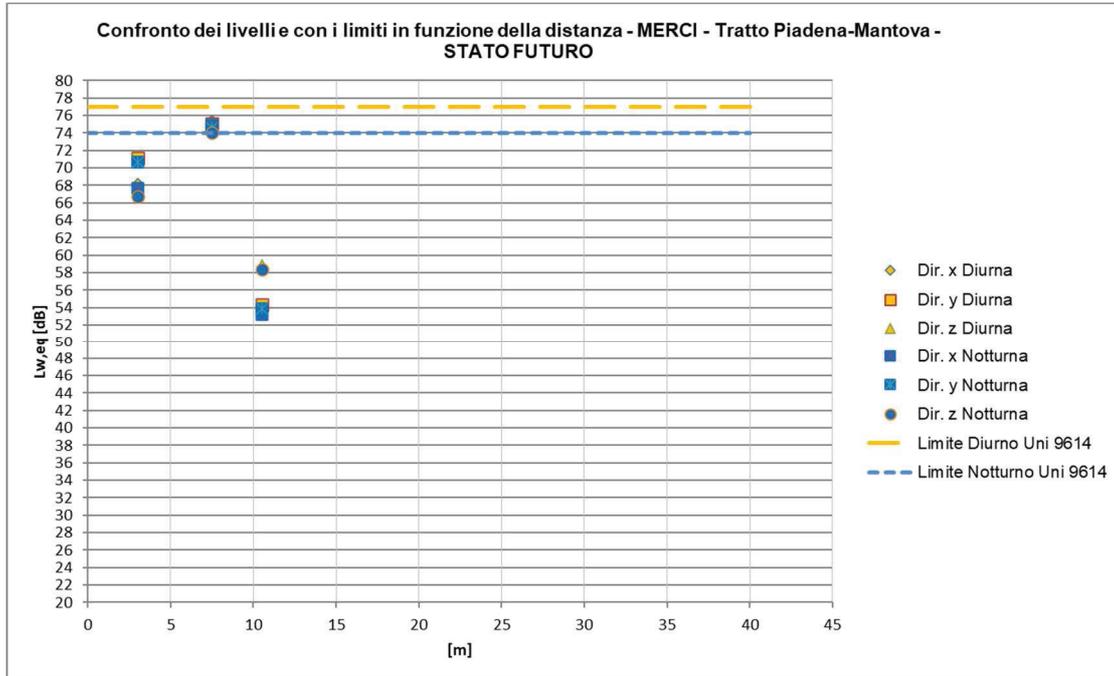


Figura 4-3 – Confronto dei livelli e con i limiti in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto considerando il MASSIMO TRANSITO – SEZ. 3, TRENI MERCI

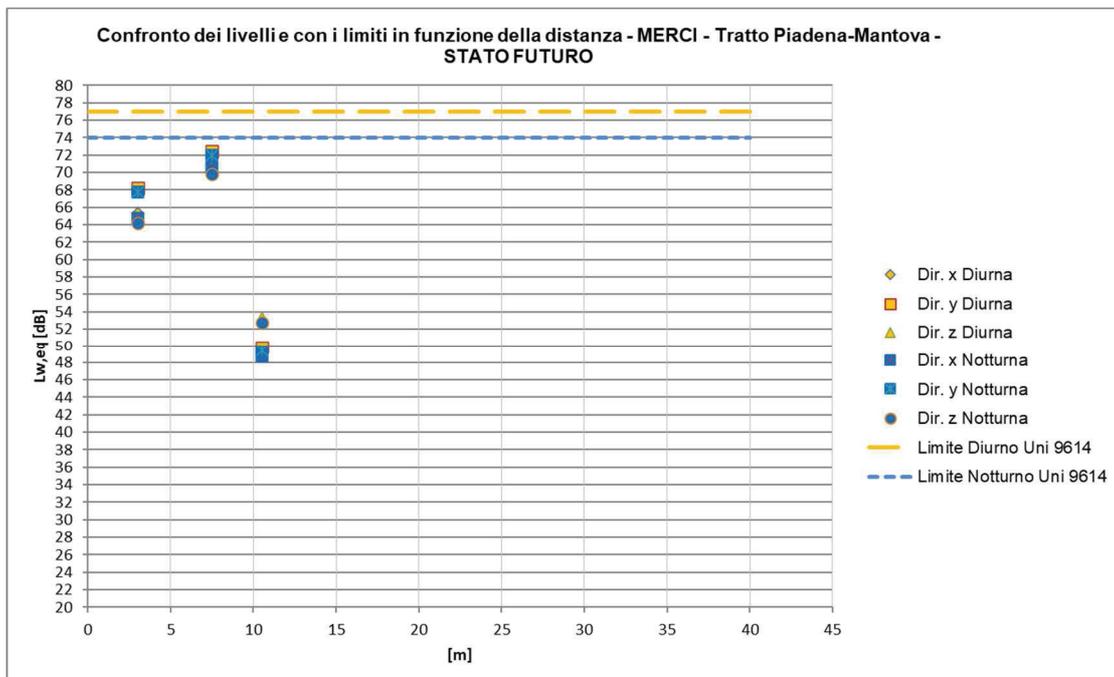


Figura 4-4 – Confronto dei livelli e con i limiti in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto considerando il TRANSITO MEDIO – SEZ. 3, TRENI MERCI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

#### 4.3 Traffico di esercizio Tratta Piadena – Mantova (Sezione di misura 4)

La tratta Piadena – Mantova, in quanto parte dell'itinerario Raddoppio Linea Codogno – Cremona – Mantova, sarà rappresentata nel seguente scenario:

TRATTA Piadena-Mantova	REGIONALI			MERCÌ			TOTALE		
	D	N	tot	D	N	tot	tot D	tot N	TOT
Scenario di riferimento di esercizio di progetto									
Coradia ETR 245 in doppia composizione (2x5 pezzi) / Relazione Milano Centrale – Mantova	32	4	36	-	-	-	32	4	36
Coradia ETR 245 (5 pezzi) / Relazione Cremona – Piadena – Mantova	8	-	8	-	-	-	8	-	8
Mercì tipo Corridoio	-	-	-	6	3	9	6	3	9
Altri Mercì	-	-	-	9	5	14	9	5	14
<b>Totale</b>	40	4	44	15	8	23	55	12	67

Tabella 4-7 – Traffico di esercizio tratta Piadena-Mantova

Dal programma di esercizio della ferrovia il flusso di treni in progetto varia complessivamente a 67 treni/giorno (dei quali 55 nel periodo diurno e 12 nel periodo notturno). Di seguito il dettaglio dei transiti riferiti ai binari/direzione:

BINARIO/DIREZIONE	TIPOLOGIA TRENO	N. TRENI DAY	N. TRENI NIGHT	LUNGHEZZA TRENO [m]
<b>PARI/PIADENA</b>	Coradia ETR245Doppio/REG	16	2	165
	Coradia ETR245Singolo/REG	4	0	82,2
	MERCÌ Corridoio	3	2	750
	Altri MERCÌ	5	2	550
<b>DISPARI/MANTOVA</b>	Coradia ETR245Doppio/REG	16	2	165
	Coradia ETR245Singolo/REG	4	0	82,2
	MERCÌ Corridoio	3	1	750
	Altri MERCÌ	4	3	550

Tabella 4-8 – Dettaglio del Traffico di esercizio tratta Piadena-Mantova

##### 4.3.1 Livello di emissione complessivo

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, cioè, 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.

Nelle tabelle seguenti la valutazione è eseguita sia considerando il transito massimo che il transito medio.

**REGIONALI**

Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 4a	8,6	73,5	77,2	66,2	67,0	70,7	59,7
VIB 4b	18	56,9	60,1	61,0	50,4	53,6	54,5
VIB 4c	29	34,2	35,6	36,5	27,7	29,1	30,0

Tabella 4-9 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il MASSIMO TRANSITO – TRENI REGIONALI

**MERCI**

Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 4a	8,6	67,1	71,6	60,2	67,1	71,6	60,2
VIB 4b	18	51,9	55,0	55,5	51,9	55,0	55,5
VIB 4c	29	35,7	38,1	41,4	35,7	38,1	41,4

Tabella 4-10 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il MASSIMO TRANSITO – TRENI MERCI

**REGIONALI**

Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 4a	8,6	67,5	71,0	58,3	60,9	64,5	51,8
VIB 4b	18	49,5	53,5	53,8	42,9	47,0	47,3
VIB 4c	29	31,2	32,4	33,4	24,7	25,9	26,8

Tabella 4-11 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il TRANSITO MEDIO – TRENI REGIONALI

**MERCI**

Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 4a	8,6	64,4	68,2	56,5	64,4	68,2	56,5
VIB 4b	18	48,2	51,4	53,3	48,2	51,5	53,3
VIB 4c	29	33,9	33,9	36,5	33,9	34,0	36,5

Tabella 4-12 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il TRANSITO MEDIO – TRENI MERCI

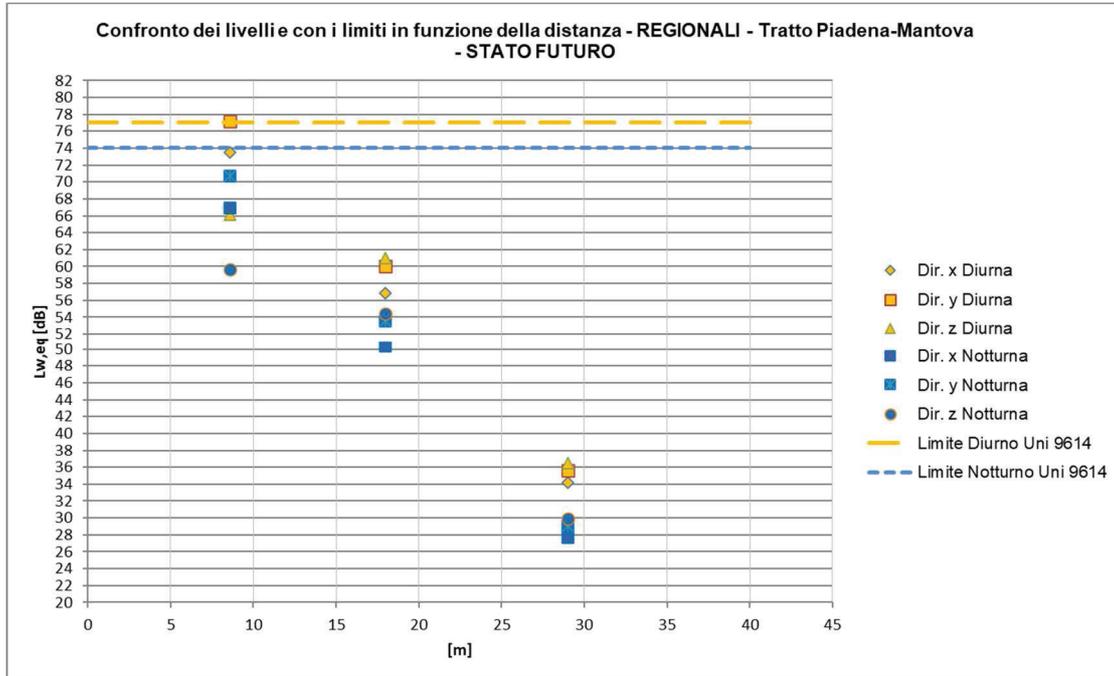


Figura 4-5 – Confronto dei livelli e con i limiti in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto considerando il MASSIMO TRANSITO – SEZ. 4, TRENI REGIONALI

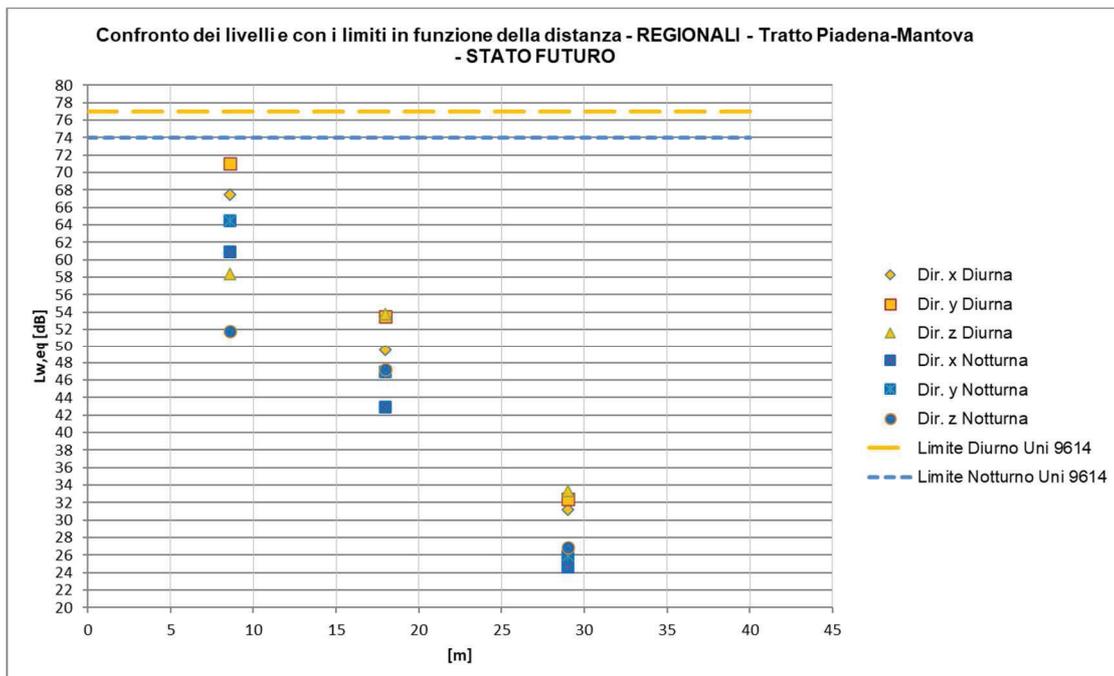


Figura 4-6 – Confronto dei livelli e con i limiti in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto considerando il TRANSITO MEDIO – SEZ. 4, TRENI REGIONALI

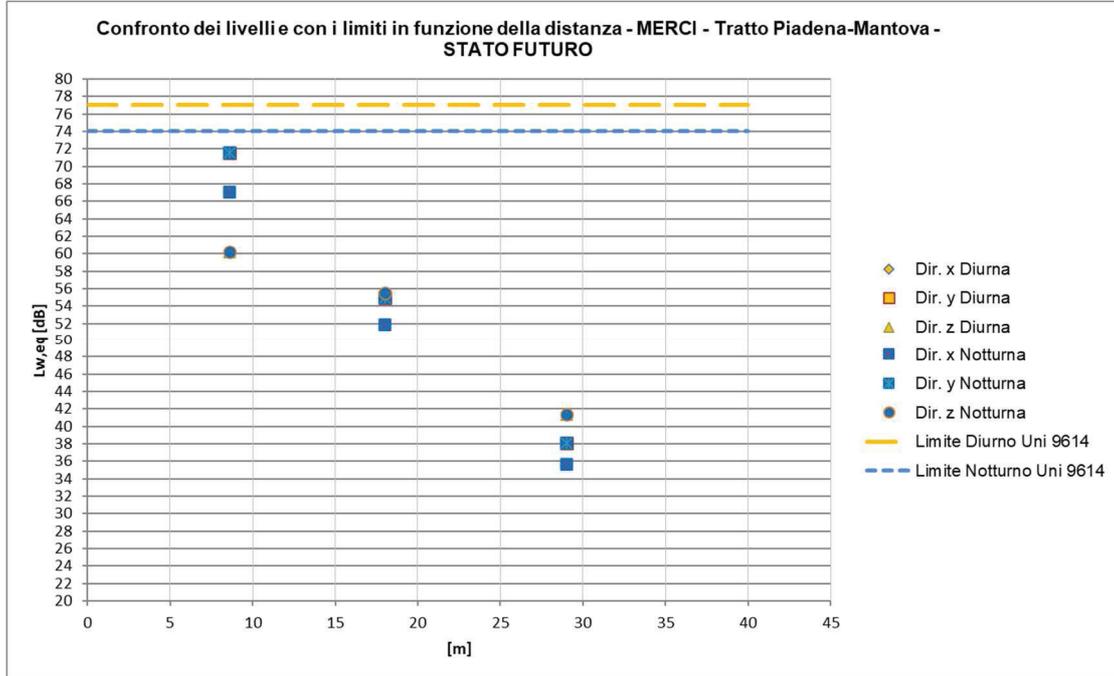


Figura 4-7 – Confronto dei livelli e con i limiti in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto considerando il MASSIMO TRANSITO – SEZ. 4, TRENI MERCI

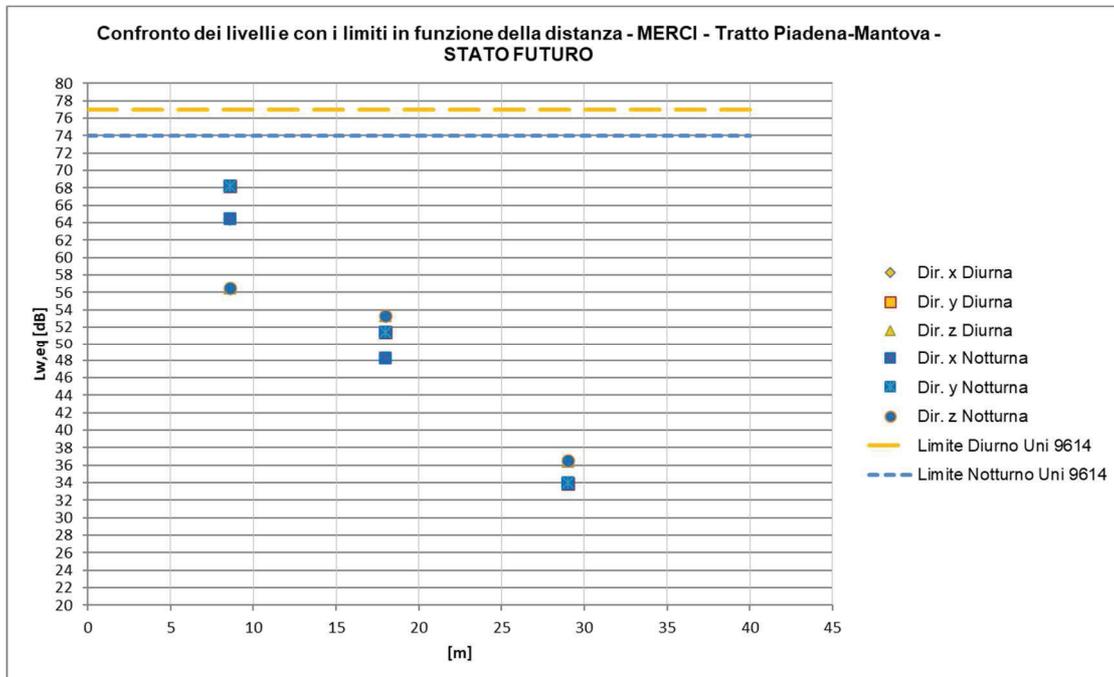


Figura 4-8 – Confronto dei livelli e con i limiti in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto considerando il TRANSITO MEDIO – SEZ. 4, TRENI MERCI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b> <b>TRATTA PIADENA – MANTOVA</b>  <b>STUDIO VIBRAZIONALE</b>					
	<b>RELAZIONE GENERALE</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

## 5 CONCLUSIONI

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, attraverso gli esiti delle misure condotte sulla linea ferroviaria esistente con tre postazioni contemporanee caratterizzate ognuna da una terna di rilievo lungo gli assi x, y e z.

I valori di emissione delle accelerazioni complessive nelle postazioni di indagine lungo la linea ferroviaria esistente risultano conformi ai valori di riferimento della norma nel caso di vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari ed inferiori alle soglie di riferimento citati nella norma UNI 9614:1990 per edifici residenziali.

La valutazione dei valori attesi sulle emissioni delle vibrazioni attese dei transiti ferroviari sono state stimate in base al seguente traffico di esercizio.

TRATTA Piadena-Mantova	REGIONALI			MERCÌ			TOTALE		
	D	N	tot	D	N	tot	tot D	tot N	TOT
Scenario di riferimento di esercizio di progetto									
Coradia ETR 245 in doppia composizione (2x5 pezzi) / Relazione Milano Centrale – Mantova	32	4	36	-	-	-	32	4	36
Coradia ETR 245 (5 pezzi) / Relazione Cremona – Piadena – Mantova	8	-	8	-	-	-	8	-	8
Merci tipo Corridoio	-	-	-	6	3	9	6	3	9
Altri Mercì	-	-	-	9	5	14	9	5	14
<b>Totale</b>	40	4	44	15	8	23	55	12	67

Tabella 5-1 – Traffico di esercizio tratta Piadena-Mantova

Considerando gli eventi registrati nella **Sezione 3**, sia del transito massimo che di quello medio, e riferendosi al traffico di esercizio si evince nelle tabelle seguenti un livello di accelerazione nella postazione a ridosso della ferrovia VIB03a (3 m dal binario esterno), rispettivamente per gli assi x, y e z, in periodo diurno e notturno, di valori conformi al limite delle vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari (89,5 dB per il giorno - 86,7 dB per la notte) considerando quanto atteso nell'ipotesi di transiti paragonabili al singolo massimo evento. Come si può dedurre dai risultati complessivi relativi alla misura VIB 03b della Sezione 3 sono stati registrati dei livelli di accelerazione media relativa agli assi x, y e z che non procedono in modo decrescente rispetto alla distanza dal binario in relazione alle altre terne di misura. Questo risultato può essere stato determinato da caratteristiche imprevedibili e non prevedibili del terreno sottostante (condutture in CIs, manufatti, ecc.). Allontanandosi dal binario i valori si abbassano notevolmente, alla distanza di circa 10 metri si riscontra il pieno rispetto dei limiti della UNI 9614:1990 all'esterno degli edifici sia considerando il transito massimo che la media dei transiti rilevati.

Di seguito la tabella col valore di vibrazione stimato nelle aree esterne, considerando il contributo di tutte le categorie.

**TUTTE LE CATEGORIE: REGIONALI+MERCÌ**

Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 3a	3	70,4	74,3	69,0	68,3	72,1	66,8
VIB 3b	7,5	73,7	75,5	74,1	71,5	73,4	71,9
VIB 3c	10,5	52,3	52,3	55,8	50,1	50,1	53,6

Tabella 5-2 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno esterno all'edificio (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il transito medio – TUTTE LE CATEGORIE (TRENI REGIONALI+MERCÌ)

In riferimento alla valutazione interna degli edifici, in base a quanto esposto in precedenza, si considera un incremento di 5 dB dei risultati ottenuti.

Di seguito la tabella col valore di vibrazione stimato all'interno degli edifici, considerando il contributo di tutte le categorie, impiegate per la determinazione della regressione per la valutazione della funzione di trasferimento delle vibrazioni.

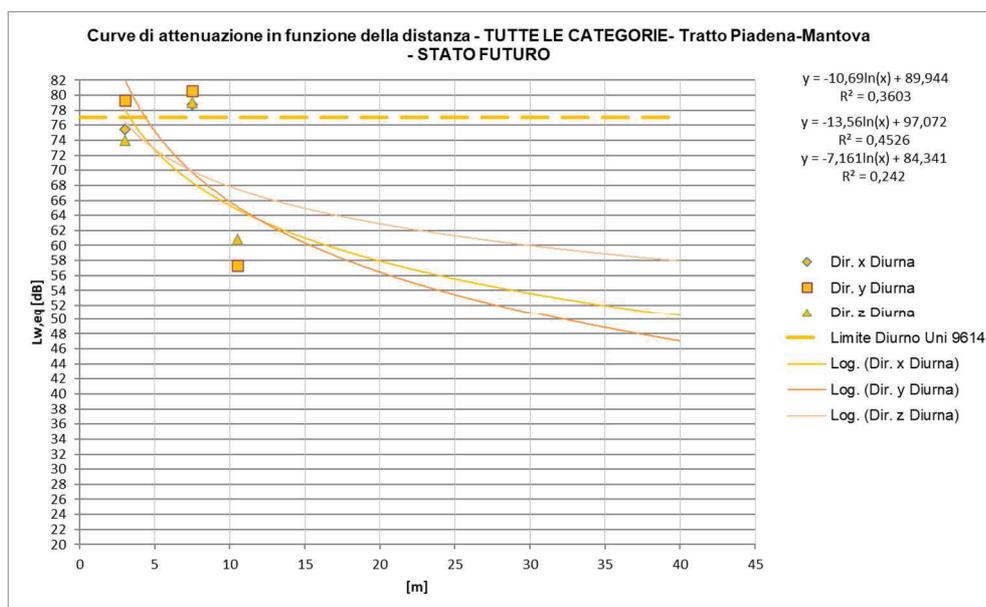
Dalla valutazione della curva di trasferimento si determina il valore pari al limite della UNI 9614:1990 per edifici residenziali a circa 4 metri sia in periodo diurno che in periodo notturno.

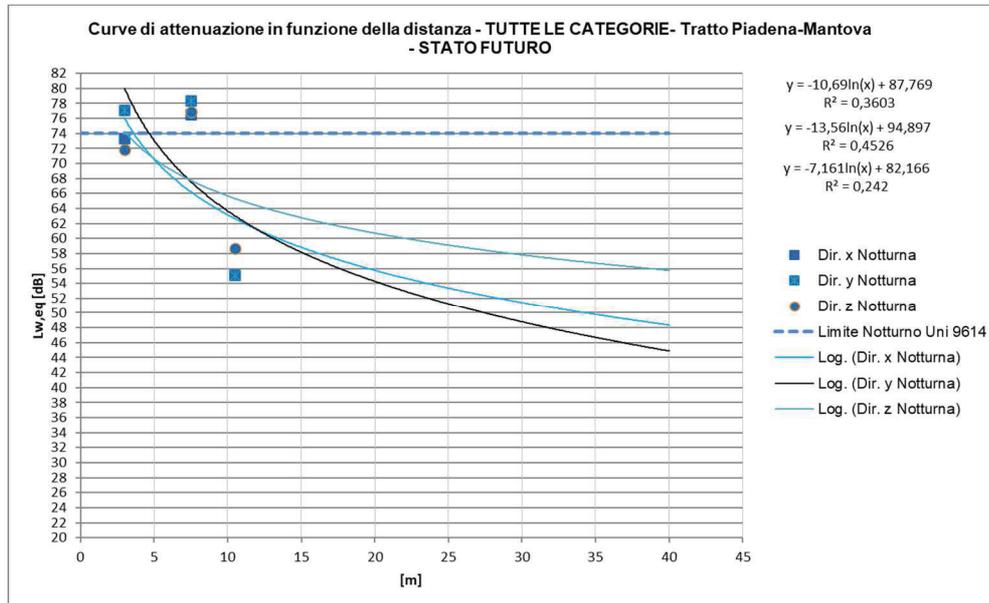
Le valutazioni della Sezione 3 si possono considerare valide per il tratto in linea.

**TUTTE LE CATEGORIE: REGIONALI+MERCÌ**

Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 3a	3	75,4	79,3	74,0	73,3	77,1	71,8
VIB 3b	7,5	78,7	80,5	79,1	76,5	78,4	76,9
VIB 3c	10,5	57,3	57,3	60,8	55,1	55,1	58,6

Tabella 5-3 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno interno all'edificio (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il transito medio – TUTTE LE CATEGORIE (TRENI REGIONALI+MERCÌ)





Considerando gli eventi registrati nella Sezione 4, sia del transito massimo che di quello medio, e riferendosi al traffico di esercizio si evince nelle tabelle seguenti un livello di accelerazione nella postazione a ridosso della ferrovia VIB04a (8.6 m dal binario esterno), rispettivamente per gli assi x, y e z, in periodo diurno e notturno, di valori conformi al limite delle vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari (89,5 dB per il giorno - 86,7 dB per la notte) considerando quanto atteso nell'ipotesi di transiti paragonabili al singolo massimo evento. Valutando le altre terne di misura, allontanandosi progressivamente dal binario, i valori si abbassano notevolmente fino ad ottenere un livello di accelerazione medio, nella postazione più lontana dalla ferrovia (29 m dal binario esterno) molto limitato, riscontrando il rispetto dei limiti della UNI 9614:1990 all'esterno degli edifici, sia considerando il transito massimo che la media di quelli rilevati.

Di seguito la tabella col valore di vibrazione stimato nelle aree esterne, considerando il contributo di tutte le categorie.

TUTTE LE CATEGORIE: REGIONALI+MERCÌ							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		x	y	z	x	y	z
VIB 4a	8,6	70,0	73,6	61,0	67,9	71,5	58,9
VIB 4b	18	52,3	56,2	56,7	50,1	54,0	54,6
VIB 4c	29	34,9	35,8	37,2	32,8	33,7	35,1

Tabella 5-4 – L<sub>w,eq</sub> diurno e notturno esterno all'edificio (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il transito medio – TUTTE LE CATEGORIE (TRENI REGIONALI+MERCÌ)

In riferimento alla valutazione interna degli edifici, in base a quanto esposto in precedenza, si considera un incremento di 5 dB dei risultati ottenuti.

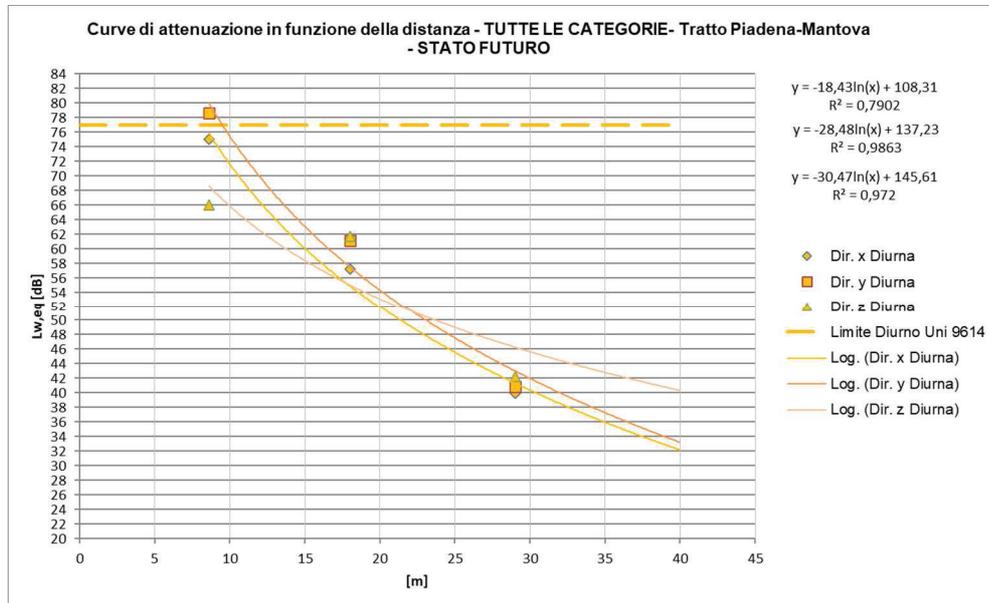
Di seguito la tabella col valore di vibrazione stimato all'interno degli edifici, considerando il contributo di tutte le categorie, impiegate per la determinazione della regressione per la valutazione della funzione di trasferimento delle vibrazioni.

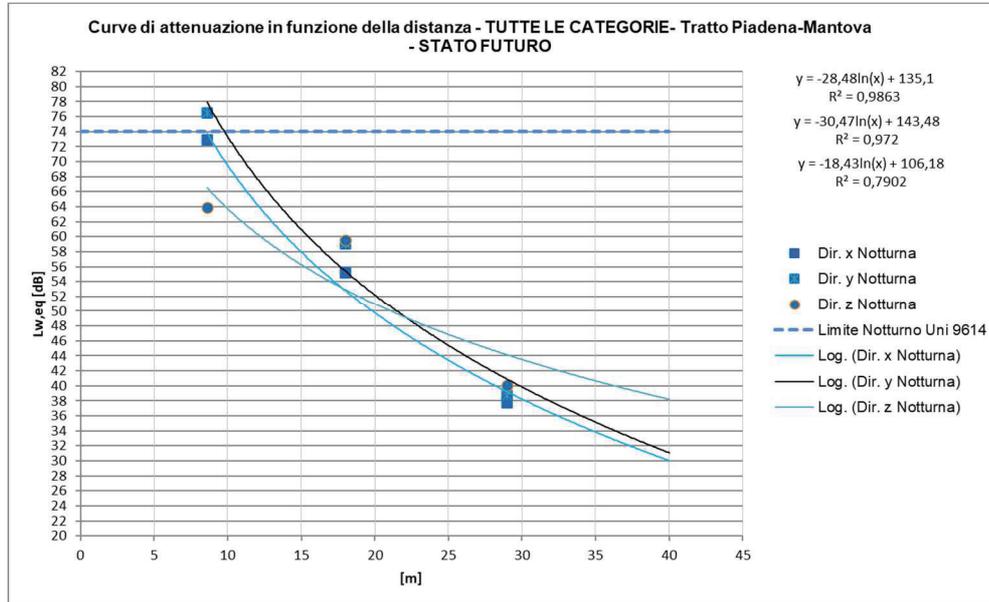
Dalla valutazione della curva di trasferimento si determina il valore pari al limite della UNI 9614:1990 per edifici residenziali a circa 9 metri sia in periodo diurno che in periodo notturno.

Le valutazioni della Sezione 4 si possono considerare valide per tratti analoghi all'ingresso in stazione.

TUTTE LE CATEGORIE: REGIONALI+MERCÌ							
Postazione	Dist [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		x	y	z	x	y	z
VIB 4a	8,6	75,0	78,6	66,0	72,9	76,5	63,9
VIB 4b	18	57,3	61,2	61,7	55,1	59,0	59,6
VIB 4c	29	39,9	40,8	42,2	37,8	38,7	40,1

Tabella 5-5 – Lw,eq diurno e notturno interno all'edificio (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro considerando il transito medio – TUTTE LE CATEGORIE (TRENI REGIONALI+MERCÌ)





Estendendo questi risultati ottenuti, tenendo conto del traffico di esercizio e della tipologia di terreno sostanzialmente analogo a quello presente nell'area dell'indagine strumentale, si evince che i ricettori presenti sono esposti ad un livello di accelerazione inferiore alle soglie di riferimento della norma UNI 9614:1990.

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 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 sulla quale sono stati eseguiti i rilievi.