

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NODO DI CATANIA**

U.O. ARCHITETTURA AMBIENTE E TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

**INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA
DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL
TRATTO DI LINEA INTERESSATO.**

RELAZIONE GENERALE - STUDIO VIBRAZIONALE

SCALA:

-:-

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

RS3H 00 D 22 RG IM0004 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. ROCCHI	Gennaio 2020	A. CORVAJA <i>A. Corvaia</i>	Gennaio 2020	S. VANFIORI <i>S. Vanfiori</i>	Gennaio 2020	D. LUDOVICI Gennaio 2020 ITAFERR S.p.A. Dott. Ing. Donato Ludovici Ordine degli Ingegneri di Roma n. 416319 <i>Donato Ludovici</i>

File: RS3H_00_D_22_RG_IM0004_002_A

n. Elab.:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE</p>												
<p>RELAZIONE GENERALE</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">RS3H</td> <td style="text-align: center;">00-D-22</td> <td style="text-align: center;">RG</td> <td style="text-align: center;">IM0004 002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">1 di 30</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3H	00-D-22	RG	IM0004 002	A	1 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3H	00-D-22	RG	IM0004 002	A	1 di 30								

INDICE

1	<i>Premessa</i> _____	2
1.1	DESCRIZIONE INTERVENTO _____	3
2	<i>Riferimenti legislativi</i> _____	5
2.1	ISO 2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni" _____	5
2.2	UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" _____	6
2.3	UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici" _____	7
3	<i>Valutazione degli impatti in fase di esercizio della linea ferroviaria</i> _____	10
3.1	Modello previsionale _____	10
3.2	Caratterizzazione della sorgente _____	11
3.3	La propagazione delle onde vibrazionali _____	15
4	<i>Individuazione delle criticità e previsione dell'impatto in fase di esercizio</i> _____	23
4.1	Considerazioni generali _____	23
4.2	Livello di emissione complessivo _____	23
5	<i>Conclusioni</i> _____	27

	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A	FOGLIO 2 di 30

1 PREMESSA

Nel progetto "sistemazione Nodo di Catania" (Progetto 0270) rientrano i seguenti interventi:

1. Interramento della stazione di Catania C.le e realizzazione del raddoppio su nuovo tracciato tra le stazioni di Catania Centrale e Catania Acquicella.
2. Interramento linea dal km 231+631, tra le stazioni di Catania Acquicella e Bicocca, al km 237+139, tra le stazioni di Bicocca e Lentini Diramazione, per il prolungamento della pista dell'aeroporto Vincenzo Bellini di Catania-Fontanarossa.

Il presente progetto riguarderà solamente il precedente p.to 2, ovvero la progettazione definitiva dell'*"Interramento linea dal km 231+631, tra le stazioni di Catania Acquicella e Bicocca, al km 237+139, tra le stazioni di Bicocca e Lentini Diramazione, per il prolungamento della pista dell'aeroporto Vincenzo Bellini di Catania-Fontanarossa"*.

Tale intervento è necessario per la realizzazione della nuova pista di volo dell'aeroporto Fontanarossa, la cui lunghezza totale sarà pari a 3.200m e potrà accogliere aeromobili di codice "E" ICAO capaci di servire destinazioni di lungo raggio, la quale consentirà di intercettare e soddisfare la domanda di traffico descritta dalla pianificazione strategica nazionale.

Il presente documento contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale prodotto dall'esercizio della linea in progetto, una volta realizzati gli interventi necessari alla realizzazione della nuova pista di volo dell'Aeroporto Fontanarossa.

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 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 dei transiti effettivamente rilevati è confrontato con i limiti indicati dalle norme tecniche per il periodo diurno (06:00-22:00) e il periodo notturno (22:00-06:00).

In accordo con il RUP di RFI il presente studio vibrazionale è stato sviluppato secondo la norma UNI 9614:2017.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center">INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.</p> <p align="center">STUDIO VIBRAZIONALE</p>					
<p>RELAZIONE GENERALE</p>	<p>COMMESSA RS3H</p>	<p>LOTTO 00-D-22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 3 di 30</p>

1.1 DESCRIZIONE INTERVENTO

L'intervento oggetto della presente progettazione definitiva si colloca ai margini dell'area suburbana di Catania, limitrofa all'Aeroporto Fontanarossa.

Il progetto prevede le modifiche alla infrastruttura ferroviaria necessarie a poter realizzare l'allungamento, da parte di SAC, della pista aeroportuale, in particolare:

- interramento del tratto ferroviario a doppio binario, tramite la realizzazione di una galleria artificiale, facente parte della direttrice Palermo-Catania, interferente con l'allungamento della pista dell'aeroporto;
- ripristino del collegamento Catania-Siracusa attraverso un ramo di nuova realizzazione a singolo binario;
- realizzazione del ramo di collegamento Siracusa-Palermo a singolo binario;
- realizzazione del nuovo fascio arrivi-partenze;
- realizzazione di un nuovo terminal merci nell'attuale impianto ferroviario di Bicocca e relativo collegamento alla linea ferroviari verso Siracusa;
- stazione Fontanarossa (con due binari di corsa e due precedenze) e relativo parcheggio kiss-ride.

Gli interventi secondari di progetto riguardano la ricucitura del tessuto viario interferito, la continuità del reticolo irriguo, le opere di raccolta e smaltimento delle acque piovane, le opere di permeabilità delle aree interessate dai rilevati ferroviari, fabbricati tecnologici etc.

In tale intervento è prevista anche la stazione di Fontanarossa, con due binari di corsa e due precedenze.

Il progetto è stato sviluppato secondo le seguenti Macrofasì e Lotti:

- **MACROFASE FUNZIONALE 1**
 - Lotto 1.1: stazione di Fontanarossa (con III binario -lato binario dispari ed allungamento marciapiede a 350m; marciapiede lato binario pari 200m, come da progetto fermata RFI)
 - Lotto 2: Tratto linea interferente con la pista (parte est) fascio A/P 1° fase (2 binari di corsa + 3 binari fascio)
Collegamento dal fascio A/P al Terminal Merci
Terminal Merci (1° fase)
Bretella Catania-Siracusa
- **MACROFASE FUNZIONALE 2**
 - Lotto 3:
Bretella Palermo-Siracusa

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center">INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.</p> <p align="center">STUDIO VIBRAZIONALE</p>					
<p>RELAZIONE GENERALE</p>	<p>COMMESSA RS3H</p>	<p>LOTTO 00-D-22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 4 di 30</p>

- Fascio A/P 2° fase (ampliamento binario 4° e 5°)
- Termina merci (completo) 2°fase

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3H	00-D-22	RG	IM0004 002	A	5 di 30

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 9614:2017 "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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A	FOGLIO 6 di 30

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 9614:2017 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”

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

Alle citate norme sono inoltre considerate la:

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

L’insieme delle norme citate definiscono:

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

Le sorgenti di vibrazioni si considerano:

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

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

La UNI9614:2017 prevede che le vibrazioni siano calcolate simultaneamente lungo i tre assi di propagazione e che il sistema di essi sia riferito o alla struttura dell’edificio o al corpo umano. Le

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

vibrazioni associate alla sorgente ritenuta fonte di disturbo devono, successivamente, essere quantificate mediante l'accelerazione ponderata calcolata come differenza vettoriale tra il vettore di immissione, ottenuto da un numero rappresentativo di eventi della sorgente in valutazione, ed il vettore di vibrazione rappresentate il residuo, quindi in assenza della specifica sorgente in indagine.

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

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

Tabella 1 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per la UNI 9614:2017

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center">INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.</p> <p align="center">STUDIO VIBRAZIONALE</p>					
<p>RELAZIONE GENERALE</p>	<p>COMMESSA RS3H</p>	<p>LOTTO 00-D-22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 8 di 30</p>

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 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 vibratori 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

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:

- 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.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center">INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.</p> <p align="center">STUDIO VIBRAZIONALE</p>					
<p>RELAZIONE GENERALE</p>	<p>COMMESSA RS3H</p>	<p>LOTTO 00-D-22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 10 di 30</p>

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. 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.

Le tipologie edilizie prevalenti in adiacenza al tracciato sono rappresentate da edifici storici in muratura, con fondazioni direttamente immerse 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 piani.

I terreni affioranti interessati dal tracciato di progetto sono principalmente limosi-argillosi 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, sia a singola, sia a doppia carreggiata, che in alcuni casi corrono parallelamente alla tratta ferroviaria esistente 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:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p style="text-align: center;">INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.</p> <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>					
<p>RELAZIONE GENERALE</p>	<p>COMMESSA RS3H</p>	<p>LOTTO 00-D-22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 11 di 30</p>

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

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

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

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

Il livello di base L(x₀) 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 un'unica sezione di misura (Sez.1).

Nella sezione di misura la strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione di corpo ferroviario in rilevato, lungo la via di propagazione, per complessivi tre punti di misura.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

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	26	0
IC	8	2
TOTALE	34	2

Tabella 2 – Treni transitanti sulla linea

Le tre terne accelerometriche sono state così posizionate:

Identificazione Terna	Posizionamento
VIB 01	In corrispondenza del confine ferroviario, circa 3 metri dal binario più esterno
VIB 02	Area agricola privata, a circa 7,5 metri dal binario più esterno
VIB 03	Area agricola privata, a circa 15 metri dal binario più esterno

Tabella 3 – Identificazione delle terne accelerometriche e posizionamento

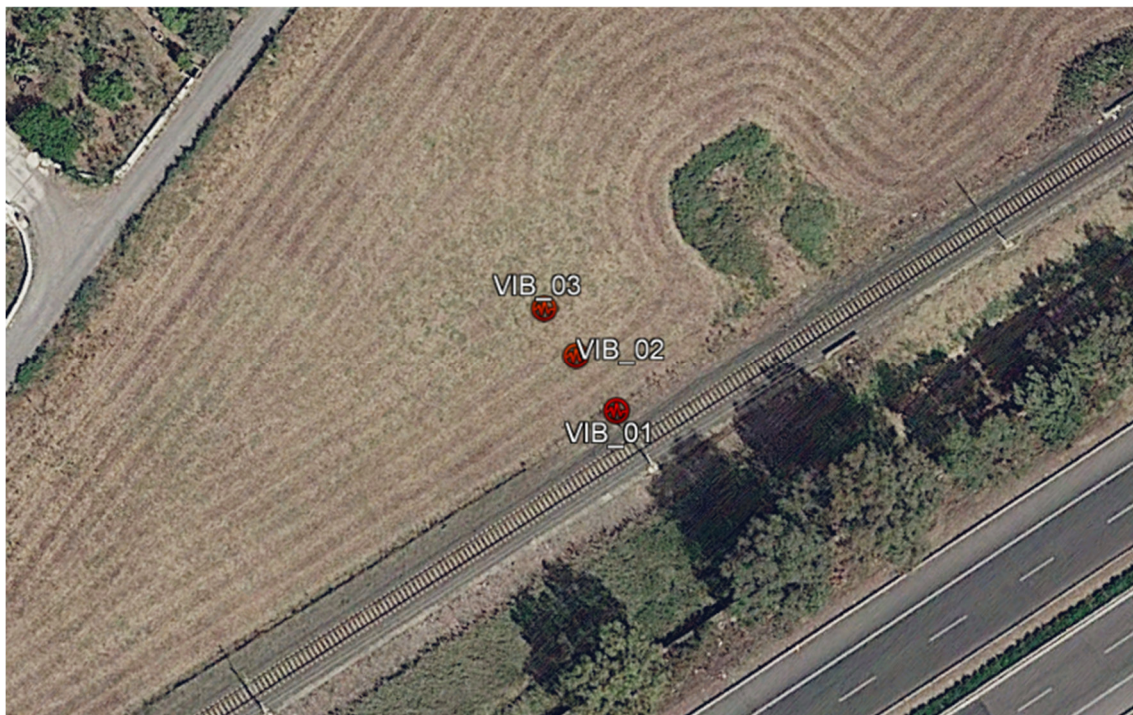


Figura 1 - Ortofoto area di indagine e postazioni di misura



Figura 2 – Inquadramento postazioni di misura

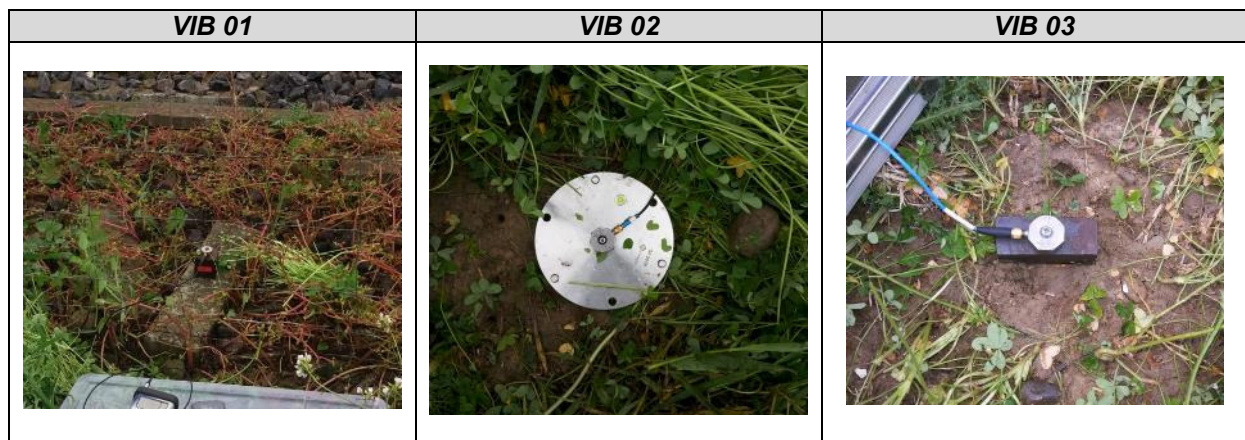


Figura 3 - Report fotografico postazioni di misura (Asse x: ortogonale alla linea; Asse Y: parallelo alla linea; Asse Z verticale)

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report misure vibrazioni, doc. RS3H_00_D_22_RH_IM0004_002_A, per un totale di 36 eventi, si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni categoria regionali e treni categoria IC.

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 3 metri, si osserva un valore di V_{sorg_diurno} pari a 88.54 mm/s^2 e di $V_{sorg_notturno}$ pari a 68.42 mm/s^2 . Allontanandosi da esso, presso la terna VIB 02, a circa 7,5 metri i livelli di V_{sorg_diurno} sono pari a 17.14 mm/s^2 e di $V_{sorg_notturno}$ pari a 8.11 mm/s^2 presentando una significativa diminuzione

del vettore di vibrazione. Presso la terna VIB 03, installata a 15 metri, si registra una progressiva diminuzione del vettore valutando i seguenti valori V_{sorg_diurno} pari a 2.90 mm/s^2 e di $V_{sorg_notturno}$ pari a 7.25 mm/s^2 .

Di seguito, si riportano le tabelle di sintesi con indicati i valori dei vettori: vettore immissione (V_{imm}) vettore residuo (V_{res}) e vettore sorgente (V_{sorg}) per le tre postazioni di misura. In ogni tabella sono riportati i valori sia considerando l'effetto di tutte le categorie sia identificandole; i vettori sono espressi in mm/s^2 .

SEZ1 - VIB_1 - 3 m asse ferroviario									
Tip. Treno	Vimm			Vres			Vsorg		
	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)
TUTTE LE CAT.	88,8	68,4	87,9	6,2	0,8	5,2	88,5	68,4	87,7
IC	95,1	68,4	91,0	6,2	0,8	5,2	94,9	68,4	90,8
REG	83,0	/	83,0	6,2	0,8	5,2	82,8	/	82,9

SEZ1 - VIB_2 - 7,5 m asse ferroviario									
Tip. Treno	Vimm			Vres			Vsorg		
	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)
TUTTE LE CAT.	17,6	8,8	17,2	4,1	3,5	4,1	17,1	8,1	16,7
IC	14,2	11,7	20,7	4,1	3,5	4,1	13,6	11,1	20,3
REG	14,3	/	14,3	4,1	3,5	4,1	13,7	/	13,7

SEZ1 - VIB_3 - 15 m asse ferroviario									
Tip. Treno	Vimm			Vres			Vsorg		
	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)	Diurno (mm/s ²)	Notturno (mm/s ²)	Totale (mm/s ²)
TUTTE LE CAT.	3,2	7,3	4,5	1,2	1,1	1,2	2,9	7,2	4,4
IC	4,3	7,3	7,5	1,2	1,1	1,2	4,1	7,2	7,4
REG	2,8	/	2,8	1,2	1,1	1,2	2,5	/	2,5

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-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;
- d₀ 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 ed 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 limosi-argillosi di varia natura e granulometria come riscontrabile dalla carta geologica presente negli elaborati di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

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

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

Tabella 4 - 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⁻¹]
- η: cefi, di assorbimento del terreno (fattore di perdita)

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

- c: velocità di propagazione dell'onda longitudinale nel terreno
- E: modulo elastico
- d: densità del terreno

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

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

dove:

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

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

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

Per la Sezione 1 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. Di seguito si riportano i risultati sia della regressione logaritmica considerando l'effetto di tutte le categorie sia sull'intero giorno (24 ore) che distinguendo per periodo diurno (6:00-22:00) e periodo notturno (22:00-6:00). Sull'intera giornata (24 ore) in base alle elaborazioni dei rilievi individuati nella UNI 9614:2017 si calcola quanto segue:

Rilevatore	Dist [m]	Vettori di vibrazione (mm/s ²) - TOTALE		
		V _{sorg}	V _{imm}	V _{res}
postazione VIB 1	3	87,72	87,87	5,16
postazione VIB 2	7,5	16,69	17,19	4,09
postazione VIB 3	15	4,37	4,53	1,21

In base alle considerazioni sulla legge di propagazione delle onde nei terreni sciolti si provvede ad eseguire la regressione di dati sperimentali con una curva logaritmica. Di seguito il risultato della regressione.

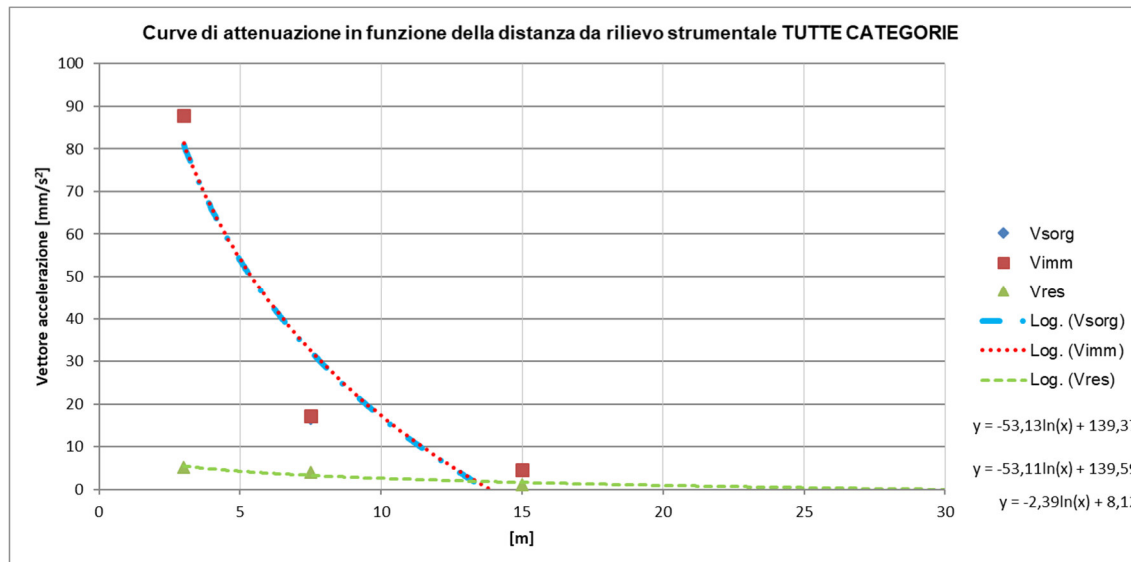


Figura 4 - Curva di attenuazione dei vettori individuati dalla UNI 9614:2017 in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sulla linea in esercizio in corrispondenza di VIB01,02 e 03 – TUTTE LE TIPOLOGIA DI TRENO

Funzioni di regressione delle curve di propagazione	
Funzione della curva di attenuazione per V _{sorg} =	$y = -53,13 \cdot \ln(x) + 139,37$
Funzione della curva di attenuazione per V _{imm} =	$y = -53,11 \cdot \ln(x) + 139,59$
Funzione della curva di attenuazione per V _{res} =	$y = -2,39 \cdot \ln(x) + 8,12$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-D-22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

Di seguito si riporta la valutazione dei vettori caratteristici della valutazione secondo la UNI 9614:2017 per il periodo diurno e per il periodo notturno.

Per il periodo diurno:

Rilevatore	Dist [m]	Vettori di vibrazione (mm/s ²) - TCT/DIURNO		
		V _{sorg}	V _{imm}	V _{res}
postazione VIB 1	3	88,54	88,76	6,15
postazione VIB 2	7,5	17,64	17,14	4,14
postazione VIB 3	15	2,90	3,15	1,24

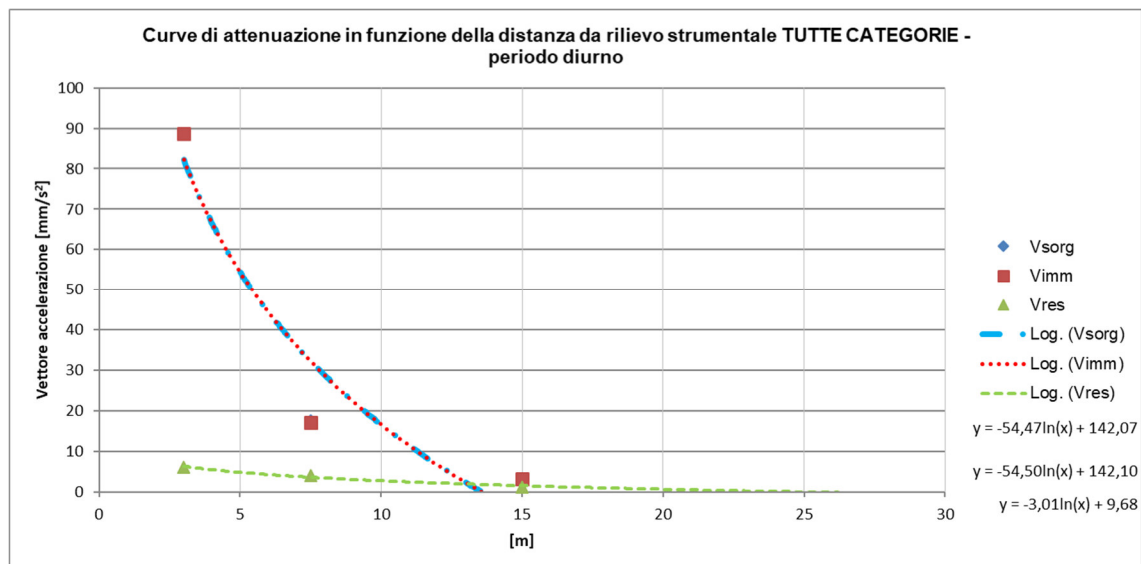


Figura 5- Curva di attenuazione dei vettori individuati dalla UNI 9614:2017 in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sulla linea in esercizio in corrispondenza di VIB01,02 e 03 – TUTTE LE TIPOLOGIA DI TRENO – PERIODO DIURNO

Funzioni di regressione delle curve di propagazione	
Funzione della curva di attenuazione per V _{sorg} =	$y = -54,47 \cdot \ln(x) + 142,07$
Funzione della curva di attenuazione per V _{imm} =	$y = -54,5 \cdot \ln(x) + 142,1$
Funzione della curva di attenuazione per V _{res} =	$y = -3,014 \cdot \ln(x) + 9,68$

Per il periodo notturno:

Rilevatore	Dist [m]	Vettori di vibrazione (mm/s ²) - TCT/NOTTURNO		
		V _{sorg}	V _{imm}	V _{res}
postazione VIB 1	3	68,42	68,42	0,82
postazione VIB 2	7,5	8,11	8,83	3,48
postazione VIB 3	15	7,25	7,34	1,14

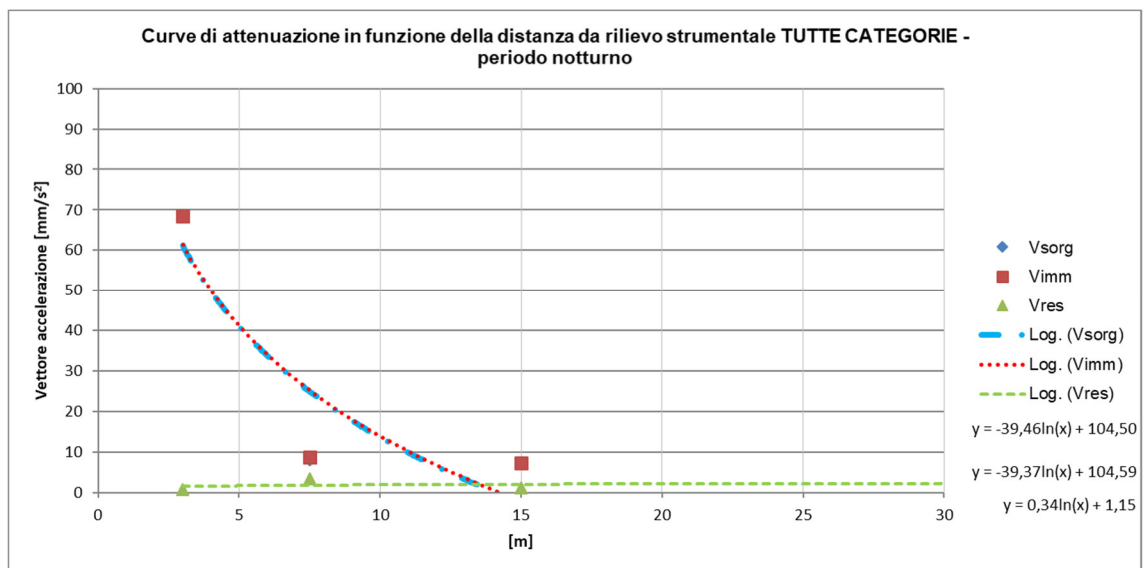


Figura 6 Curva di attenuazione dei vettori individuati dalla UNI 9614:2017 in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sulla linea in esercizio in corrispondenza di VIB01,02 e 03 – TUTTE LE TIPOLOGIA DI TRENO – PERIODO NOTTURNO

Funzioni di regressione delle curve di propagazione	
Funzione della curva di attenuazione per V _{sorg} =	$y = -39,46 \cdot \ln(x) + 104,5$
Funzione della curva di attenuazione per V _{imm} =	$y = -39,37 \cdot \ln(x) + 104,59$
Funzione della curva di attenuazione per V _{res} =	$y = 0,34 \cdot \ln(x) + 1,15$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p style="text-align: center;">INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.</p> <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>					
<p>RELAZIONE GENERALE</p>	<p>COMMESSA RS3H</p>	<p>LOTTO 00-D-22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 20 di 30</p>

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.

	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3H	00-D-22	RG	IM0004 002	A	21 di 30

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 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 μ Pa)

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

f: frequenza per bande a terzi di ottava in Hz

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.</p> <p>STUDIO VIBRAZIONALE</p>												
<p>RELAZIONE GENERALE</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>RS3H</td> <td>00-D-22</td> <td>RG</td> <td>IM0004 002</td> <td>A</td> <td>22 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3H	00-D-22	RG	IM0004 002	A	22 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3H	00-D-22	RG	IM0004 002	A	22 di 30								

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, 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.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center">INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.</p> <p align="center">STUDIO VIBRAZIONALE</p>					
<p>RELAZIONE GENERALE</p>	<p>COMMESSA RS3H</p>	<p>LOTTO 00-D-22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 23 di 30</p>

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 acustici.

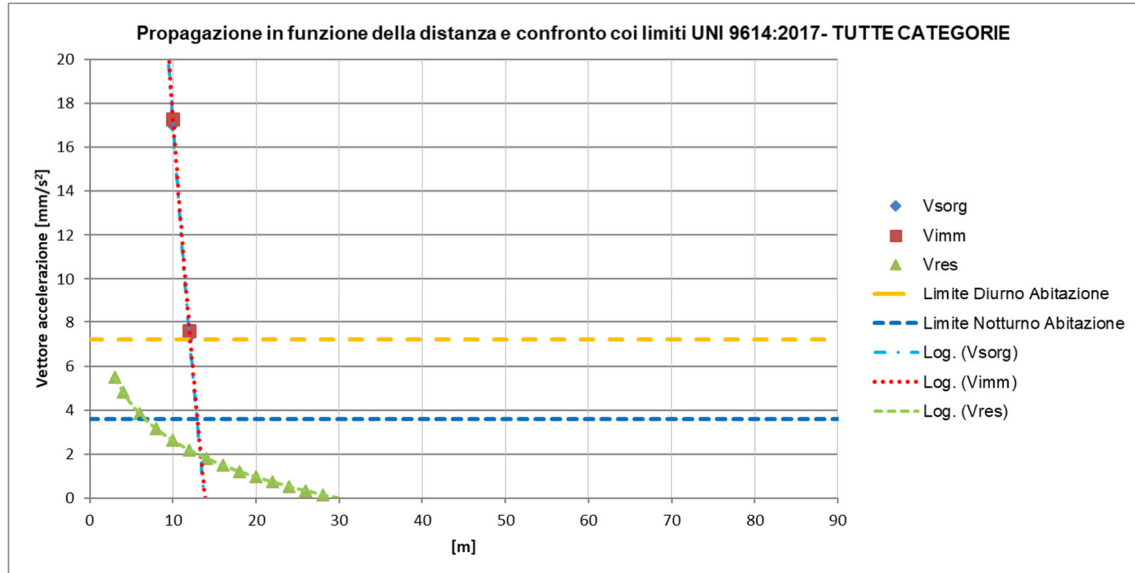
Per quanto riguarda l'individuazione di criticità, in via cautelativa, si è fatto riferimento ai limiti indicati dalla norma UNI 9614:2017 considerando ogni tipo di utilizzo delle strutture.

Applicando i modelli di calcoli precedentemente descritti e le funzioni di trasferimento sperimentali, si rileva che i valori di riferimento di cui alla norma UNI 9614 sono generalmente rispettati per tutti i 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 9614:2017 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 Livello di emissione complessivo

La determinazione della curva di propagazione dei vettori di accelerazione (vettore immissione (V_{imm}) vettore residuo (V_{res}) e vettore sorgente (V_{sorg}) prodotti dall'esercizio della linea ferroviaria di progetto) permette di definire nelle tabelle seguenti la distanza oltre la quale sono rispettati i limiti previsti dalla UNI 9614:2017. Nelle tabelle, in analogia a quanto fatto per la determinazione delle curve di regressione, si riporta la valutazione sia sull'intero periodo giornaliero che per il periodo diurno e notturno.

Sull'intera giornata (24 ore) si attende quanto segue.



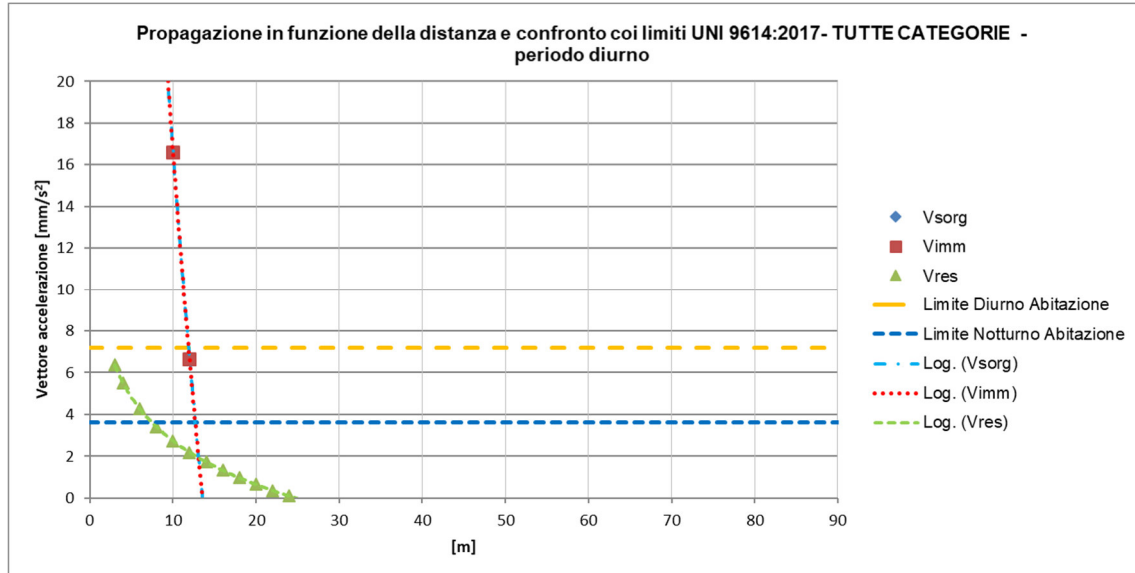
Di seguito la valutazione della distanza dall'asse del binario in base destinazione d'uso del ricettore.

Postazione	Distanza minima [m]	Propagazione vettori di vibrazione (mm/s ²)			V _{sorg} Limite (mm/s ²)
		V _{sorg}	V _{imm}	V _{res}	
Limite Diurno Abitazione	12	7,3	7,6	2,2	7,2
Limite Notturno Abitazione	12,9	3,5	3,8	2,0	3,6
Limite Diurno Festivo Abitazione	12,5	5,2	5,4	2,1	5,4
Limite Luoghi di Lavoro	10,6	13,9	14,2	2,5	14
Limite Ospedali, case di cura e affini	13,3	1,9	2,2	1,9	2
Asili e case di riposo	12,9	3,5	3,8	2,0	3,6
Scuole	12,5	5,2	5,4	2,1	5,4

La massima distanza, oltre la quale, si stima il rispetto dei limiti è di circa 13,3 m.

Di seguito si riporta quanto atteso per il periodo diurno e per il periodo notturno.

Periodo diurno:

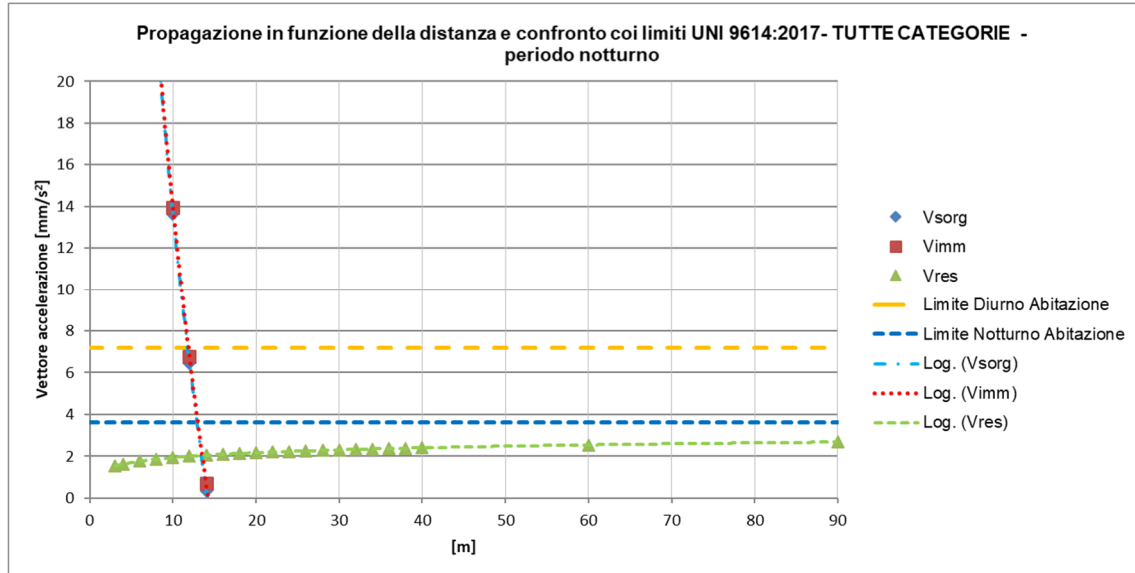


Di seguito la valutazione della distanza dall'asse del binario in base destinazione d'uso del ricettore.

Postazione	Distanza minima [m]	Propagazione vettori di vibrazione (mm/s ²)			V _{sorg} Limite (mm/s ²)
		V _{sorg}	V _{imm}	V _{res}	
Limite Diurno Abitazione	11,9	7,2	7,1	2,2	7,2
Limite Diurno Festivo Abitazione	12,3	5,4	5,3	2,1	5,4
Limite Luoghi di Lavoro	10,5	14,0	14,0	2,6	14
Limite Ospedali, case di cura e affini	13,1	1,9	1,9	1,9	2
Asili e case di riposo	12,7	3,6	3,6	2,0	3,6
Scuole	12,3	5,4	5,3	2,1	5,4

La massima distanza, oltre la quale, si stima il rispetto dei limiti è di circa 13,1 m.

Periodo notturno:



Di seguito la valutazione della distanza dall'asse del binario in base destinazione d'uso del ricettore.

Postazione	Distanza minima [m]	Propagazione vettori di vibrazione (mm/s ²)			V _{sorg} Limite (mm/s ²)
		V _{sorg}	V _{imm}	V _{res}	
Limite Notturno Abitazione	12,9	3,6	3,9	2,0	3,6
Limite Diurno Festivo Abitazione	12,4	5,2	5,5	2,0	5,4
Limite Luoghi di Lavoro	9,9	14,0	14,3	1,9	14
Limite Ospedali, case di cura e affini	13,5	1,8	2,1	2,0	2
Asili e case di riposo	12,9	3,6	3,9	2,0	3,6
Scuole	12,4	5,2	5,5	2,0	5,4

La massima distanza, oltre la quale, si stima il rispetto dei limiti è di circa 13,5 m.

	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. STUDIO VIBRAZIONALE					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA RS3H	LOTTO 00-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 mediante 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, z. I valori di accelerazione complessivi misurati nelle postazioni di indagine lungo la linea ferroviaria esistente hanno permesso, in applicazione della norma UNI 9614:2017, a determinare i valori dei vettori di accelerazione: vettore immissione (V_{imm}) vettore residuo (V_{res}) e vettore sorgente (V_{sorg}), ed a eseguire la valutazione per la determinazione della distanza di influenza dell'esercizio ferroviario.

Considerando i valori rappresentativi della sezione di misura si evince un livello di accelerazione che potrebbe rappresentare fattore di criticità per quanto concerne il fenomeno dell'annoyance, sino a 14 metri circa dal binario più esterno. Si rimanda ai paragrafi precedenti per l'associazione della distanza minima per ogni destinazione di fruizione dei ricettori.

Tenendo in considerazione che l'ambito di studio ricade in un territorio tipo rurale, caratterizzato da un'alternanza di aree agricole/incolti, residenze sparse, strutture del produttivo industriale e artigianale, per quanto detto, si stima che tutti i ricettori presenti nell'ambito di studio sono esposti ad un livello di accelerazione inferiore alle soglie di riferimento della norma UNI 9614:2017.

Si fa presente, comunque, che le considerazioni sin qui svolte (sulla base dei rilievi per convogli transitanti sulla Linea Esistente), non tengono conto di un fattore che ha permesso di operare in condizioni cautelative: 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.

Si demandano, infine, alle successive fasi di progettazione ulteriori approfondimenti sia per quanto riguarda lo studio della propagazione delle vibrazioni, sia per l'individuazione specifica degli interventi di mitigazione.

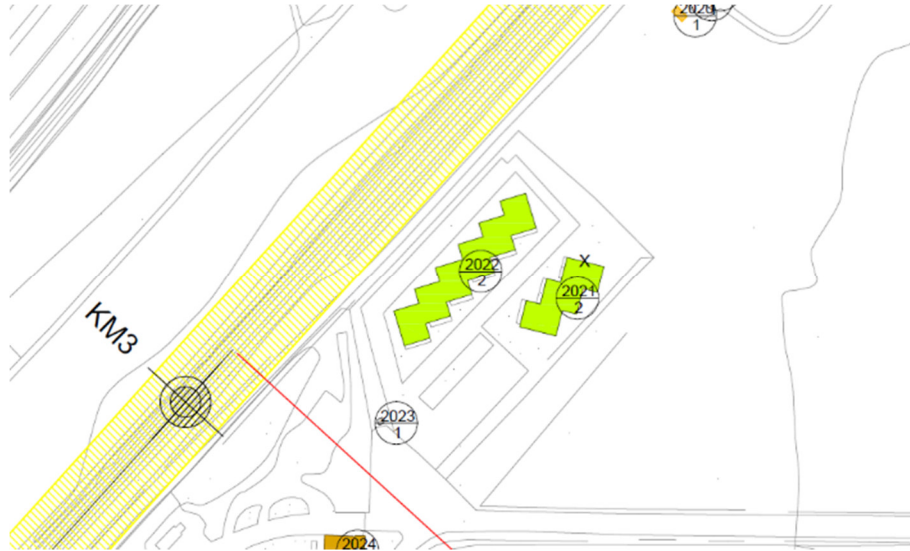
Si riportano di seguito stralci planimetrici con individuazione delle aree, con la presenza di ricettori residenziali più prossimi alla linea ferroviaria, con evidenziata in colore giallo l'area potenzialmente di disturbo risultante dalle valutazioni eseguite. Il codice identificativo ricettore è il medesimo di quello riportato negli elaborati dello Studio Acustico (Planimetria localizzazione censimento ricettori – cod. elab. RS3H00D22P6IM0004001+7A; Schede di censimento dei ricettori – cod. elab. RS3H00D22SHIM0004001A) al quale si rimanda per gli approfondimenti necessari.

AREA 1 – area a nord

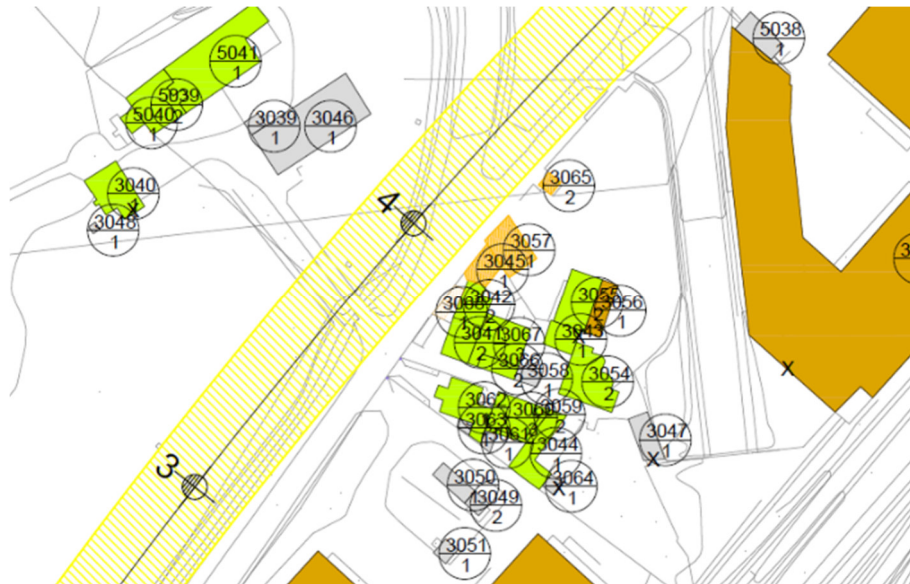


Si fa presente che all'interno dell'ambito di studio, il censimento dei ricettori ha evidenziato la presenza di un solo edificio sensibile ad uso scuola (4005) ed evidenzia in arancione all'interno dello stralcio "AREA 1". Tale edificio sensibile si trovi ad una distanza tale da non risentire del fenomeno di "annoyance" generato dalla linea ferroviaria.

AREE 2 – area a nord / pressi aeroporto



AREA 3 – a sud dell'aeroporto



AREA 4 – area a sud



Nota: Gli edifici campiti di color arancione chiaro sono edifici previsti nel piano delle demolizioni in quanto risultano interferenti con il progetto, e quindi non sono compresi nella valutazione degli impatti.