

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34H16000620009

S.O. AMBIENTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE

Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

Lotto 3: Variante di tracciato a Portogruaro

Studio Vibrazionale

Relazione Generale

SCALA:

-

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

I Z 0 4 3 0 R 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. Giancola 	Giugno 2021	A. Corvaja 	Giugno 2021	S. Lo Presti 	Giugno 2021	C. Ercolani Giugno 2021	
								 PER EMISSIONE ITALFERR S.p.A. Dott.ssa Carolina Ercolani S.O. Ambiente	

File: IZ0430R22RGIM0004002A

n. Elab. X

LINEA FERROVIARIA VENEZIA – TRIESTE

1 STUDIO VIBRAZIONALE

1.1 Riferimenti normativi

1.1.1 Il quadro delle norme di riferimento

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.

ISO2631 "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 integrale 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 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.

UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"

La norma è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (*giorno*, dalle 7:00 alle 22:00, e *notte*, dalle 22:00 alle 7:00) e dalle destinazioni d'uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614:1990 si configura come più restrittiva.

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

Luogo	Accelerazione [m/s ²]	L [dB]
Aree critiche	$3.3 \cdot 10^{-3}$	71
Abitazioni (notte)	$5.0 \cdot 10^{-3}$	74

Luogo	Accelerazione [m/s ²]	L [dB]
Abitazioni (giorno)	7.2*10 ⁻³	77
Uffici	14.4*10 ⁻³	83
Fabbriche	28.8*10 ⁻³	89

Tabella 1-1 Valori di soglia di vibrazione relativi al disturbo alle persone nel periodo notturno (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 $L_w = 20 \log_{10} (a_w / 10^{-6} \text{ m/s}^2)$.

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 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.

UNI 9916:2014 "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.

Gli edifici sono classificati secondo tre tipologie:

- costruzioni residenziali e costruzioni strutturalmente simili;
- costruzioni industriali e costruzioni strutturalmente simili;
- costruzioni che, per la loro sensibilità particolare alle vibrazioni, non rientrano nella classificazione delle prime due categorie o sono di grande valore intrinseco (per esempio edifici monumentali soggetti a tutela).

La Norma fornisce infine una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo due livelli:

- *Danno architettonico (o di soglia)*: effetto residuo delle vibrazioni che determina alterazione estetica o funzionale dell'edificio senza comprometterne la stabilità strutturale o la sicurezza degli occupanti. Il danno architettonico si presenta in molti casi con la formazione o l'accrescimento di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o sulle superfici intonacate o nei giunti di malta delle costruzioni in mattoni
- *Danno maggiore*: Effetto che si presenta con la formazione di fessure più marcate, distacco e caduta di gesso o pezzi di intonaco fino al danneggiamento di elementi strutturali (per esempio fessure nei pilastri e nelle travature, apertura di giunti).

L'Appendice D della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli della velocità massima con riferimento alla DIN 4150.

Per velocità massima è da intendersi la velocità massima di picco (peak component particle velocity).

Per le vibrazioni di breve durata (quelle per cui sono da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata), i limiti sono riportati nel seguente prospetto:

Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni a breve durata sulle costruzioni						
Classe	Tipo di Edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano Alto	Solai Componente Verticale
		Da 1Hz a 10Hz	Da 10Hz a 50Hz	Da 50Hz a 100Hz	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzione strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f = 1\text{Hz}$)	Varia linearmente da 40 ($f = 1\text{Hz}$)	40	20

			a 40 (f=50Hz)	a 50 (f=50Hz)		
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 (f = 1Hz) a 15 (f=50Hz)	Varia linearmente da 5 (f = 1Hz) a 20 (f=50Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 (f = 1Hz) a 8 (f=50Hz)	Varia linearmente da 8 (f = 1Hz) a 10 (f=50Hz)	8	3/4

Per frequenze oltre in 100Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100Hz

Per le vibrazioni permanenti invece i valori di riferimento sono riportati nel seguente prospetto:

Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni		
Classe	Tipo di Edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzione strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	25

1.2 Area di studio

1.2.1 Inquadramento territoriale

Nella figura seguente è rappresentata l'area geografica in cui si localizza l'intervento oggetto di studio.

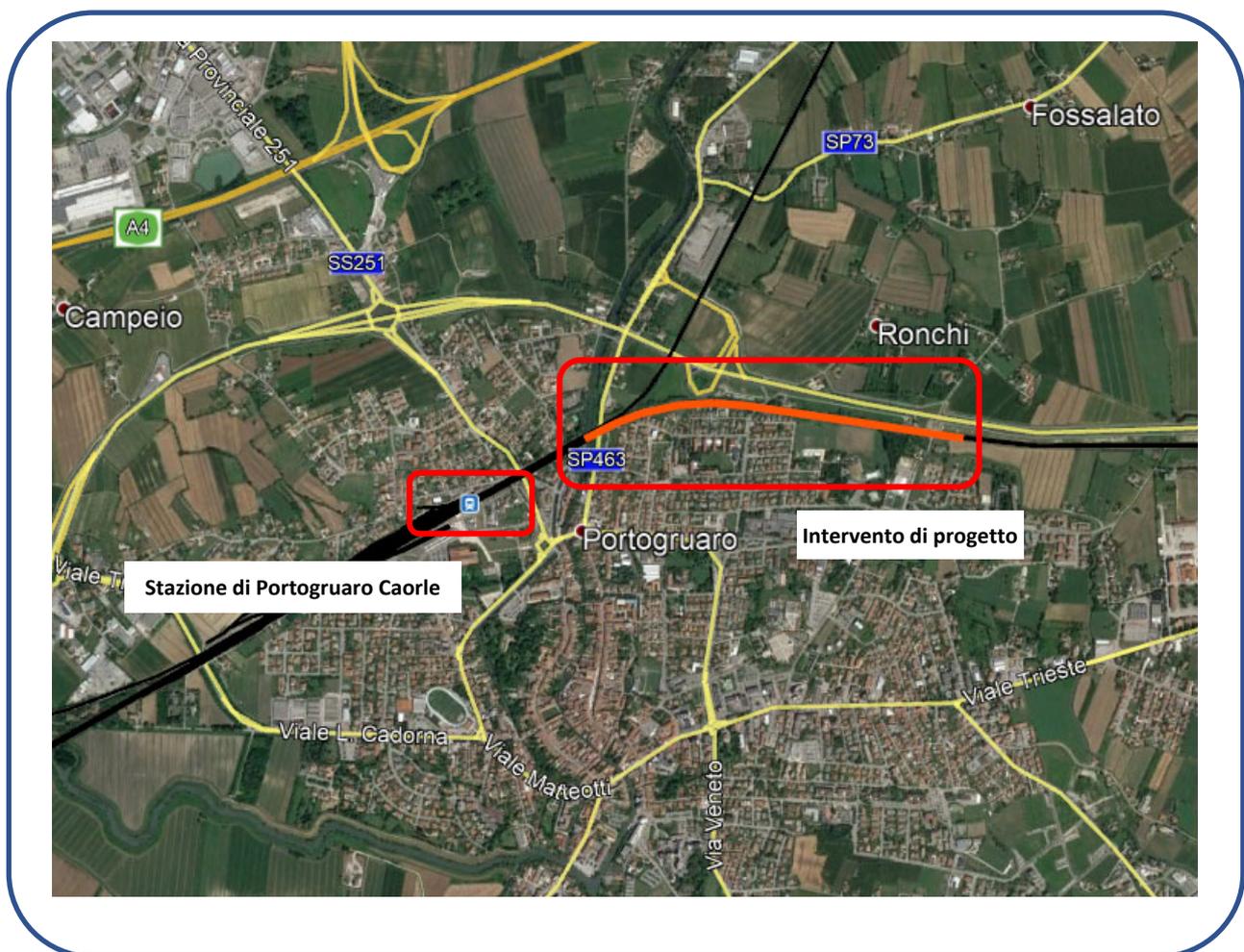


Figura 1-1 Vista aerea dell'inquadramento generale dell'intervento oggetto di studio

L'area di intervento ricade nel territorio del Comune di Portogruaro, partendo a ridosso del fiume Lemene e arrivando nei pressi della località Ronchi.

L'ambito di studio è caratterizzato per circa il 50% da area agricola e per circa il restante 50% da un'area urbanizzata a margine della linea (abitato di Portogruaro, con presenza di edifici residenziali di alta densità soprattutto nel primo tratto).

1.2.2 Inquadramento geologico

I dati necessari alla definizione del quadro geologico dell'area di interesse sono stati ricavati dalle analisi sviluppate nell'ambito dello studio geologico, al quale si rimanda per eventuali approfondimenti.

Nella seguente figura viene riportato uno stralcio della carta geomorfologica estratto dalla Carta Geologica d'Italia che evidenzia come l'area di progetto si trova in una zona caratterizzata da sabbie limose e sabbie argillose.

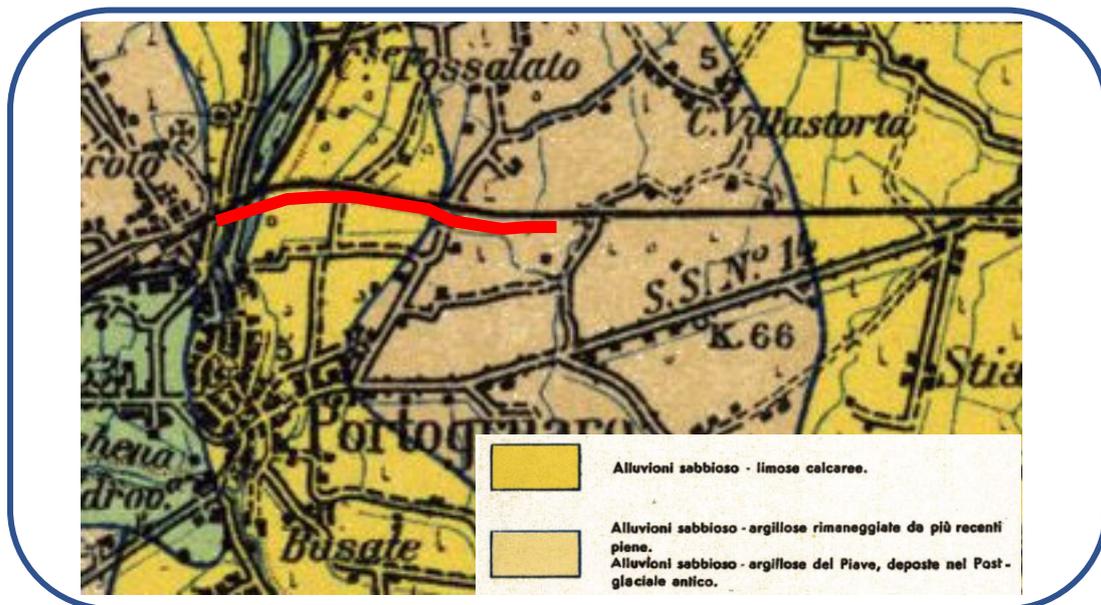


Figura 1-2 Stralcio non in scala della Carta Geologica d'Italia realizzata in scala 1:100.000 dal Servizio Geologico, Foglio n. 39

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

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

In particolare, l'interesse del presente studio è nella rilevazione di due grandi categorie di suolo, per le quali si rileva un comportamento propagativo differente con parametri individuati dalla letteratura. In base alla classificazione di Ungar e Bender le stratigrafie del terreno possono essere associate con le seguenti proprietà utili ai fini del presente studio.

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

La classificazione ai fini vibrazionali è indicata nella seguente tabella.

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

1.3 Indagini vibrazionali

1.3.1 Rilievi di vibrazioni in situ

Nell'ambito del presente progetto è stata eseguita una campagna di rilievi vibrometrici sul campo, i cui risultati sperimentali sono stati utilizzati per la determinazione della propagazione delle onde vibrazionali di origine ferroviaria nel terreno.

Nello specifico sono state eseguite misure in corrispondenza di una sezione lungo l'attuale linea attraverso l'installazione di tre terne accelerometriche T1, T2 e T3 poste a distanze crescenti dall'asse del binario in modo da valutare sia l'emissione vibrazionale dei convogli ferroviari che le modalità di propagazione delle vibrazioni nel terreno.

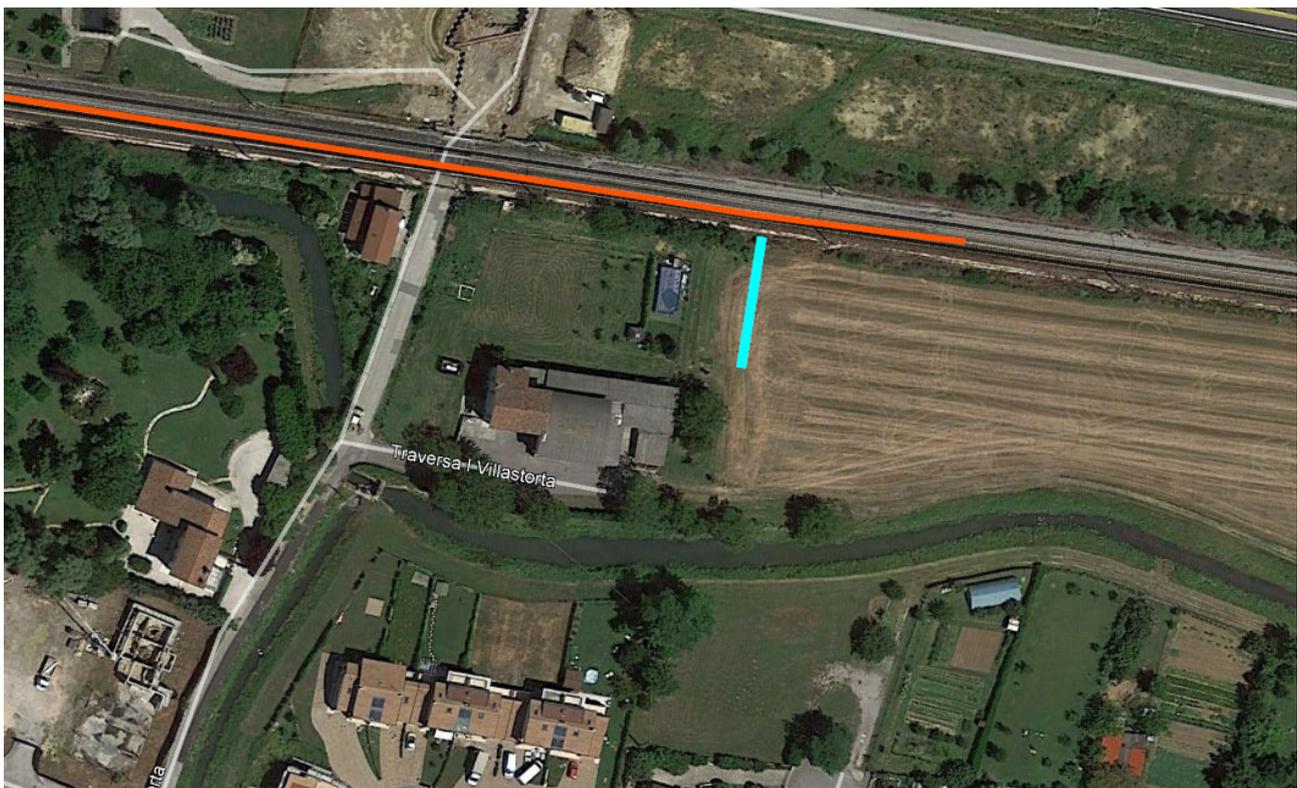


Figura 1-3 Localizzazione delle indagini vibrazionali lungo l'attuale linea di progetto

Le misure sono state eseguite secondo le modalità indicate dalla norma UNI 9614:1990, come indicato dal Manuale di Progettazione RFI delle Opere Civili cod. RFIDTCSIAMMAIFS001D del 31.12.2020. Lungo la via di propagazione sono stati posizionati tre vibrometri in corrispondenza del

STUDIO VIBRAZIONALE RELAZIONE GENERALE	COMMESSA	LOTTO	FASE/ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	30	R22	RG IM 0004 002	A	11 di 47

punto denominato VIB01, ciascuno dotato di tre accelerometri (uno per ciascun asse di riferimento) così posizionati:

- Terna 1 (T1): in prossimità dei binari, a circa 5 metri dall'asse del binario più esterno;
- Terna 2 (T2): a circa 15 metri dai binari dell'asse più esterno, quindi a 10 metri dalla T1;
- Terna 3 (T3): a circa 25 metri dai binari dell'asse più esterno, quindi a 10 metri dalla T2 e 20 metri dalla T1.

Gli accelerometri sono stati sistemati in modo da individuare tre componenti ortogonali di accelerazione orientate secondo un sistema di riferimenti allineato con la sorgente di vibrazioni. Nello specifico si identificano l'asse trasversale X, l'asse longitudinale Y e l'asse verticale Z (cfr. scheda di figura seguente).

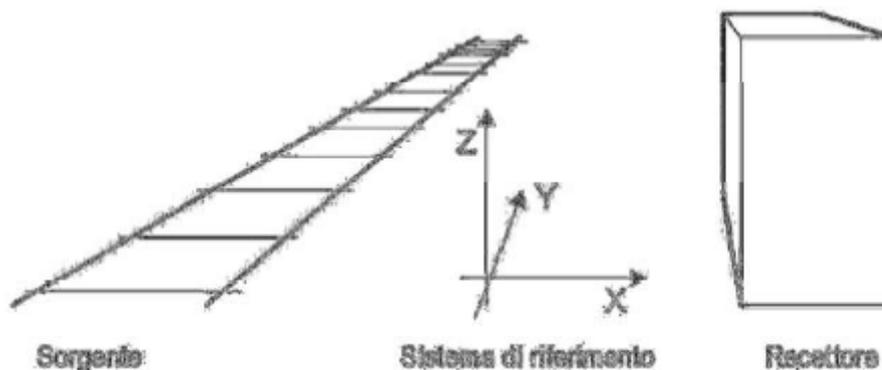


Figura 1-4 Orientamento delle componenti vibrazionali rispetto alle sorgenti



Figura 1-5 Esempio di installazione dell'accelerometro

Tali rilievi hanno permesso di determinare:

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

1.3.2 Analisi dei rilievi

1.3.2.1 Entità vibrazionale e relativa variabilità dei transiti ferroviari

I transiti ferroviari sono caratterizzati da una notevole variabilità dei livelli di accelerazione vibrazionale emessa dovuta alle diverse caratteristiche tipologiche dei convogli e alle condizioni di percorrenza lungo la linea. Nel periodo di misura sono stati campionati i livelli di accelerazione relativi a 27 treni tutti nel periodo diurno. Complessivamente sono stati rilevati:

- 13 treni sul binario dispari, di cui 7 Mercati e 6 Regionali;
- 14 treni sul binario pari, di cui 1 Eurostar, 1 Intercity, 6 Mercati, 6 Regionali.

con una velocità di percorrenza mediamente costante per le singole tipologie di convoglio, pari a:

- 180 km/h per gli Eurostar;
- 140 km/h per gli Intercity;
- 120 km/h per i Regionali;
- 100 km/h per i Mercati.

1.3.2.2 Caratteristiche di emissione delle vibrazioni di origine ferroviaria

Le vibrazioni rilevate nella postazione 1 posta a 5,5 m dall'asse del binario esterno sono di entità rilevante vista la vicinanza del punto di misura alla ferrovia.

Nel grafico seguente si riportano gli spettri rilevati a circa 5,5 m dall'asse del binario esterno distinti per asse X, Y e Z e riferiti al parco ferroviario circolato. Questi sono stati utilizzati come riferimento per il calcolo previsionale a partire dalla sorgente.

Le caratteristiche summenzionate concorrono a determinare le caratteristiche spettrali di emissione e l'entità dell'emissione stessa, ma nel caso di interesse si è potuto determinare con buona affidabilità che l'emissione vibrazionale è caratterizzata da energia concentrata fra 10 e 80 Hz.

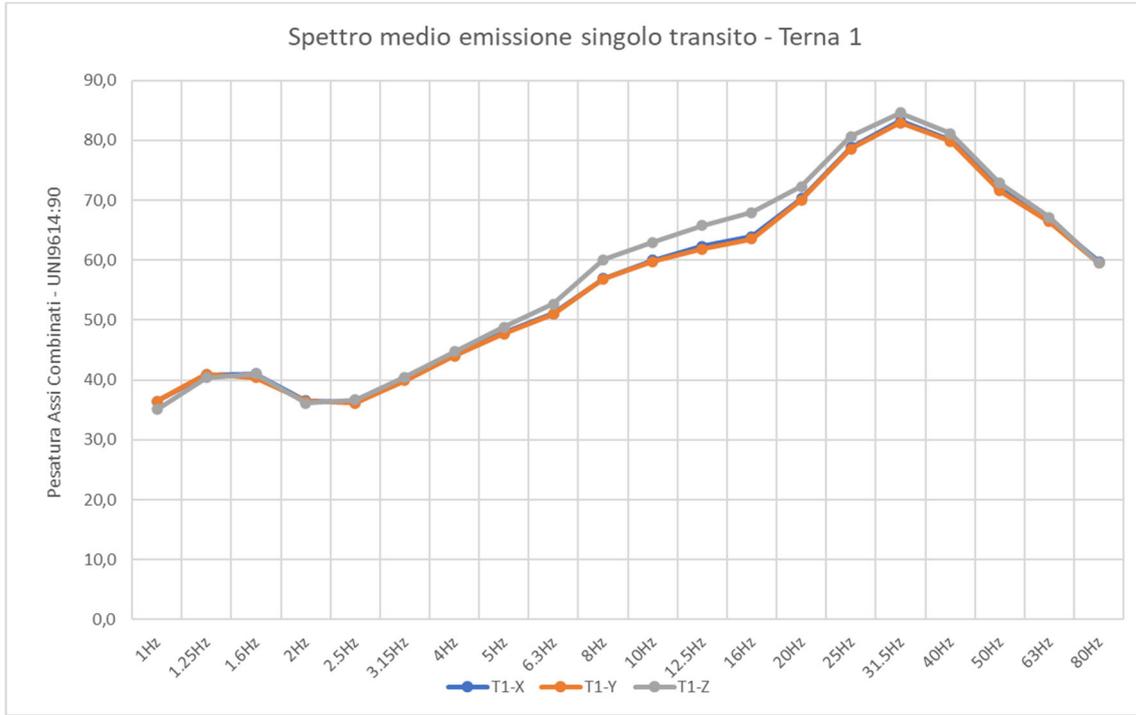


Figura 1-6 Spettro medio dei transiti rilevati presso la postazione T1 in prossimità del binario

Nella tabella seguente si riportano i valori dei livelli di accelerazione L_w lungo gli assi X, Y e Z, riferiti sia alla condizione critica, ovvero al singolo transito che ha indotto i valori massimi di accelerazione, sia alla condizione media ricorrente sulla base dei valori osservati nell'intero periodo di misura.

Postazione	Vel. media [km/h]	Durata media [s]	Lw,eq max [dB]			Lw,eq media [dB]		
			X	Y	Z	X	Y	Z
T1 (5 m da binario)	100	18	88,2	88,1	89,6	86,3	85,8	87,7
T2 (15 m da binario)	100	18	79,1	79,1	79,8	76,3	76,1	76,1

Postazione	Vel. media [km/h]	Durata media [s]	Lw,eq max [dB]			Lw,eq media [dB]		
			X	Y	Z	X	Y	Z
T3 (25 m da binario)	100	18	76,6	77,8	77,8	71,3	73,0	73,0

Tabella 1-2 Livelli di accelerazione Lw,eq in dB riferiti ad un singolo transito di un convoglio sul binario pari nella condizione di massima e media emissione rilevati in corrispondenza dei punti T1, T2 e T3 a 5, 15 e 25 m

Postazione	Vel. media [km/h]	Durata media [s]	Lw,eq max [dB]			Lw,eq media [dB]		
			X	Y	Z	X	Y	Z
T1 (10 m da binario)	100	18	89,8	89,8	91,0	87,2	87,0	88,1
T2 (20 m da binario)	100	18	82,6	82,4	83,8	79,5	79,4	79,4
T3 (30 m da binario)	100	18	75,9	76,6	76,6	73,4	74,5	74,5

Tabella 1-3 Livelli di accelerazione Lw,eq in dB riferiti ad un singolo transito di un convoglio sul binario dispari nella condizione di massima e media emissione rilevati in corrispondenza dei punti T1, T2 e T3 a 10, 20 e 30 m

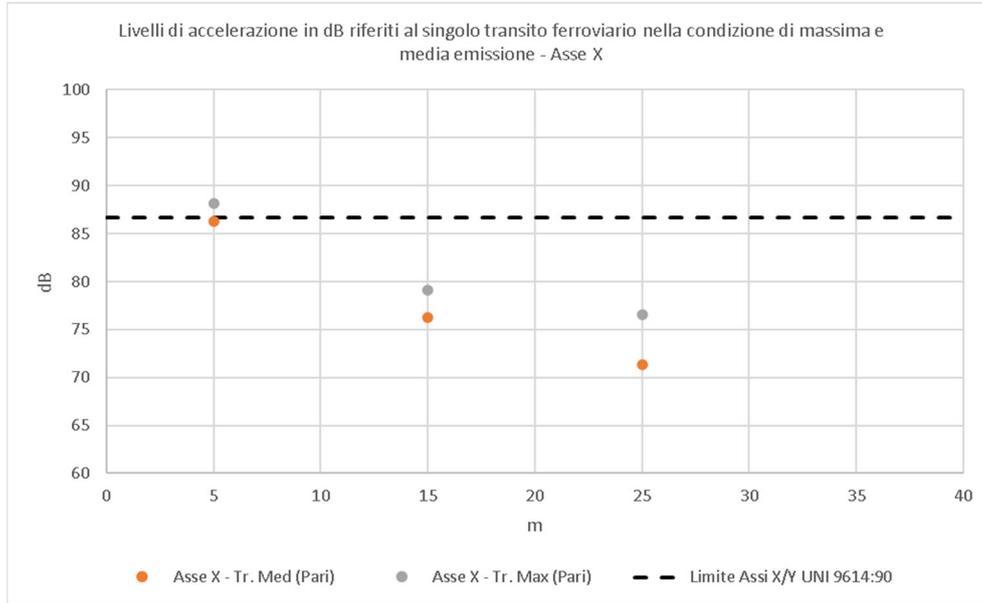


Figura 1-7 Livelli di accelerazione lungo l'asse X rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario sul binario pari a 5, 15 e 25 m dall'asse del binario e confronto con il livello limite per gli assi X e Y della UNI 9614:1990 per i singoli transiti ferroviari (appendice A4)

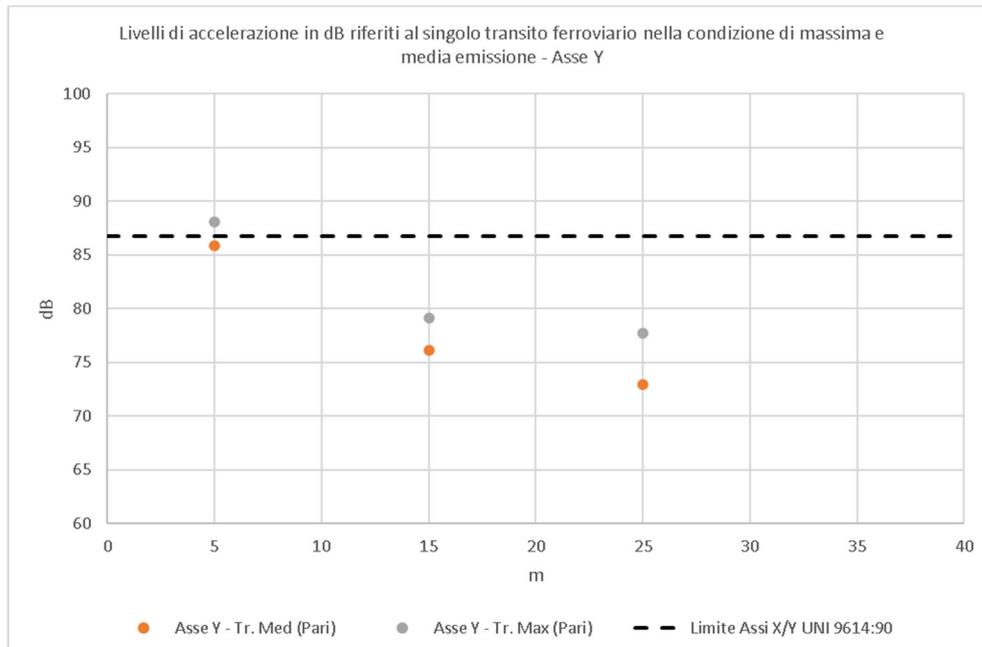


Figura 1-8 Livelli di accelerazione lungo l'asse Y rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario sul binario pari a 5, 15 e 25 m dall'asse del binario e confronto con il livello limite per gli assi X e Y della UNI 9614:1990 per i singoli transiti ferroviari (appendice A4)

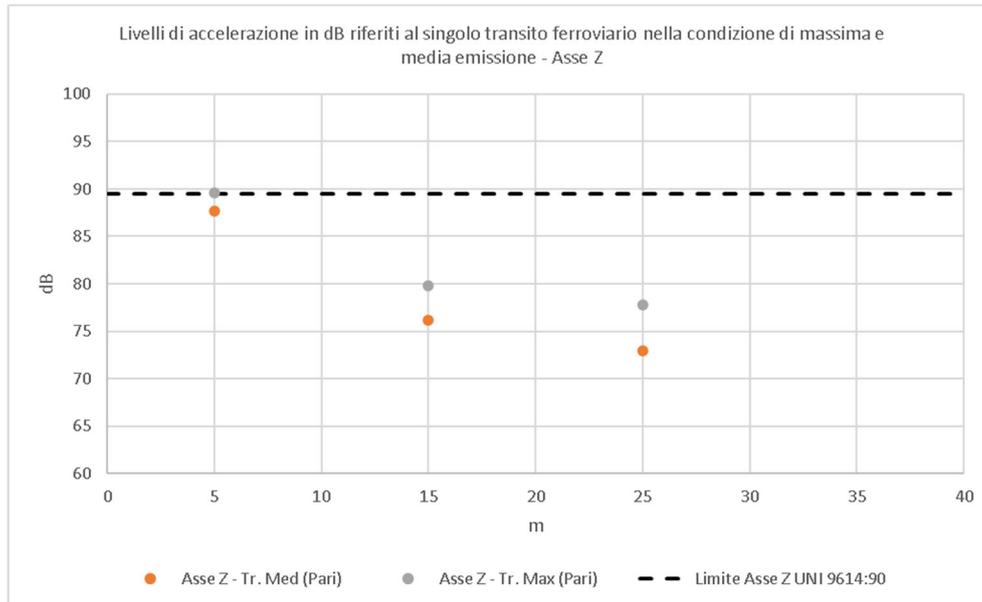


Figura 1-9 Livelli di accelerazione lungo l'asse Z rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario sul binario pari a 5, 15 e 25 m dall'asse del binario e confronto con il livello limite per l'asse Z della UNI 9614:1990 per i singoli transiti ferroviari (appendice A4)

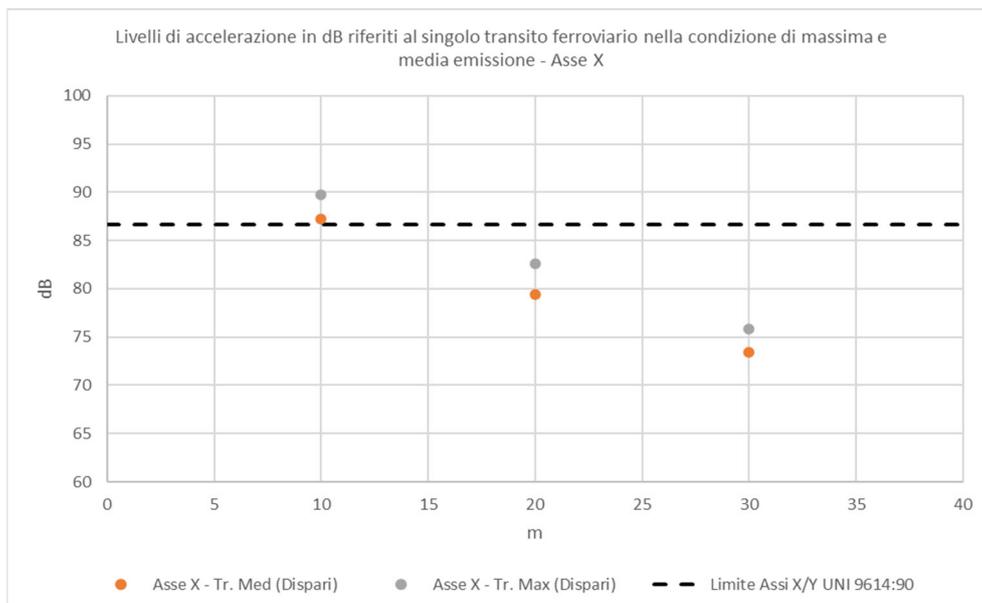


Figura 1-10 Livelli di accelerazione lungo l'asse X rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario sul binario dispari a 10, 20 e 30 m dall'asse del binario e confronto con il livello limite per gli assi X e Y della UNI 9614:1990 per i singoli transiti ferroviari (appendice A4)

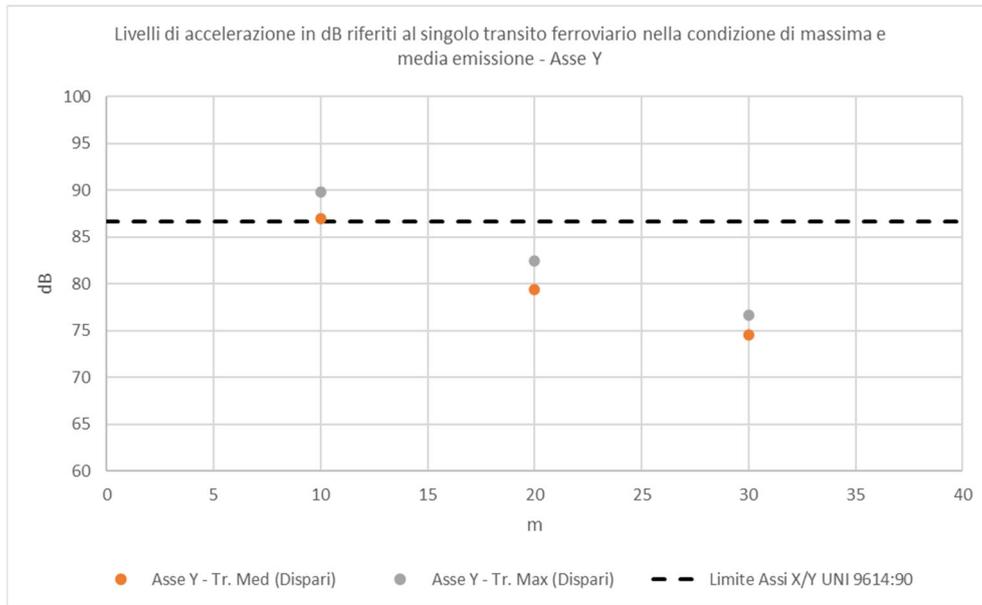


Figura 1-11 Livelli di accelerazione lungo l'asse Y rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario sul binario dispari a 10, 20 e 30 m dall'asse del binario e confronto con il livello limite per gli assi X e Y della UNI 9614:1990 per i singoli transiti ferroviari (appendice A4)

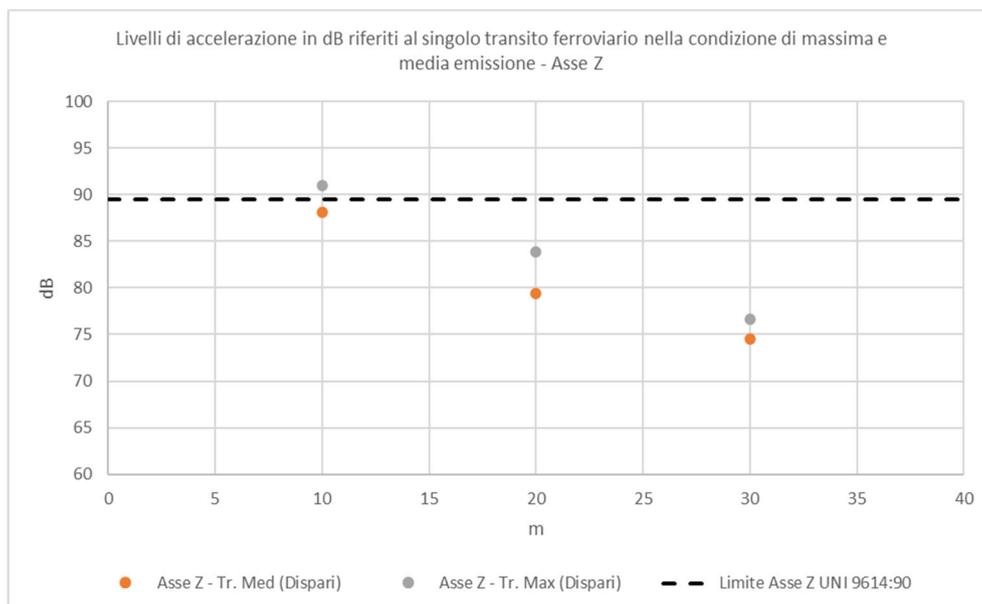


Figura 1-12 Livelli di accelerazione lungo l'asse Z rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario sul binario dispari a 10, 20 e 30 m dall'asse del binario e confronto con il livello limite per l'asse Z della UNI 9614:1990 per i singoli transiti ferroviari (appendice A4)

1.4 Studio dell'impatto da vibrazioni

1.4.1 Le vibrazioni indotte in fase di esercizio

L'esercizio di una linea ferroviaria è fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante. I treni che si muovono su un percorso ferrato eccitano i binari e il relativo sottofondo su cui essi poggiano.

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.

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

a) Interazione ruota- rotaia

b) Velocità del treno

c) Comportamento corpo ferroviario: tipo e dimensioni della linea (tunnel, trincea, superficie, rilevato, viadotto); spessore delle pareti della infrastruttura in tunnel o in trincea

d) Trasmissione nel terreno: natura e caratteristiche del suolo; leggi di attenuazione nel suolo

e) Trasmissione agli edifici: distanza plano-altimetrica tra linea e fondazioni edificio; caratteristiche del sistema fondazionale degli edifici; caratteristiche strutturali degli edifici.

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

Le vibrazioni così generate si propagano nel terreno circostante, sia terreno o roccia, sotto forma di vibrazioni per via solida. Le modalità di propagazione dipendono dalla composizione del terreno, che può influenzare pesantemente l'ampiezza e la stessa velocità di propagazione. Quando l'onda vibrazionale incontra un edificio, la vibrazione può essere percepita sia sotto forma di vibrazione (vibrazioni trasmesse al corpo) sia sottoforma di rumore re-irradiato (di bassa frequenza).

Tali fenomeni 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.

1.4.2 Caratterizzazione della sorgente di vibrazioni

1.4.2.1 Interazione ruota-rotaia

La sorgente di vibrazioni ferroviaria consiste nel movimento del treno lungo le rotaie e dalle conseguenti forze che nascono nell'interazione fra ruota, rotaia e struttura di appoggio della rotaia. I treni, in fase di riposo, esercitano una forza statica data dal peso trasmesso dalle ruote alle rotaie e distribuito dalla rotaia stessa, dalle traversine, dal supporto (ballast,,,) e dal terreno: si tratta del carico statico. Quando il treno si mette in movimento questa forza si sposta insieme al treno stesso, ma a causa delle imperfezioni e irregolarità superficiali di ruota, rotaia nonché delle variazioni nel tipo di supporto della rotaia il carico statico eserciterà una forza dinamica, che si trasforma in vibrazioni generate nel punto di contatto ruota-rotaia e trasmesse nel terreno circostante. I parametri che influenzano il livello e le caratteristiche delle vibrazioni indotte dal passaggio del treno sono:

- **Vibrazioni indotte dalla risposta della struttura del binario:**
 - Carico statico assiale (peso del treno e spaziatura interassiale);
 - Geometria e composizione del treno (tipo, lunghezza,..);
 - Velocità del treno.
- **Interfaccia ruota-rotaia**
 - Imperfezioni della ruota (eccentricità, sbilanciamento, zone piatte, asperità);
 - Andatura instabile dei veicoli ferroviari;
 - Accelerazione e decelerazione del treno.
- **Imperfezioni della rotaia**
 - Qualità della rotaia (corrugamenti, corrosione, asperità, giunti,...),

– Curve e chicane (forze centrifughe).

- **Variazioni nella struttura di supporto**

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

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

Le imperfezioni superficiali della ruota e della rotaia sono la causa principale delle vibrazioni. Nel primo caso le tipiche irregolarità superficiali sono le zone lisce (piatte) della ruota per effetto della frenatura. Le irregolarità della rotaia possono essere costituite invece da giunti fra spezzoni di rotaia (rotaie non saldate), corrugamenti, asperità o altro ancora. Secondo Kurzweil questi difetti possono aumentare i livelli di vibrazione da 10 a 20 dB.

Oltre a quelle menzionate, altre cause di vibrazione possono essere ricondotte alla presenza di curve, alle accelerazioni e/o decelerazioni del treno, alla guida instabile dei veicoli, etc.

Le variazioni nella struttura di supporto delle rotaie dipendono dalla geometria, rigidità e spaziatura fra le traversine. Il contatto tra la traversina e il ballast incide sulla emissione vibrazionale: una traversina che può perdere il contatto con il ballast sottostante oppure essere supportata meglio dallo stesso genera una discontinuità di resistenza (minore o maggiore a seconda del caso) al passaggio del treno e quindi una differente propagazione della vibrazione nel terreno. E' piuttosto comune individuare un picco corrispondente alla frequenza della spaziatura delle traversine e in funzione della velocità del treno. Anche la rigidità e l'eterogeneità del ballast possono influenzare le forze generate dal transito del treno. Come descritto sopra, il carico generato dai treni è dovuto ad un carico statico, dovuto al peso del treno, e ad un carico dinamico, generato dalle imperfezioni della rotaia, ruote, struttura di appoggio. I carichi dinamici variano il carico (e quindi la forza) complessiva trasmessa nella misura percentuale relativa al carico statico descritta nella seguente tabella.

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

1.4.2.2 Velocità dei treni

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

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

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

dove:

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

Dalla relazione sopra riportata si evince che al raddoppiare della velocità di transito si produce un incremento variabile tra i 3 e i 6 dB nei livelli di vibrazione e ciò in maniera indipendente dalla frequenza.

1.4.2.3 Corpo ferroviario

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

Nel caso di tracciati caratterizzati dalla presenza di tratti in rilevato le vibrazioni al terreno la vibrazione si propaga dalla struttura di supporto delle rotaie al terreno sottoforma di onde elastiche. Queste sono generalmente comprese tra i 20 e gli 80 Hz, con livelli di accelerazione dell'ordine di 60-70 dB₁, per distanze da 15 a 30 metri dalla linea ferroviaria con velocità di esercizio sino a 100 Km/h. Altresì il tipico spettro di frequenza generato dal transito di treni in gallerie è compreso fra 4 Hz e alcune centinaia di Hz. Vi possono essere picchi di frequenza compresi fra 80 e 100 dB.

¹ 0 dB \cong 1 μ m/s²

1.4.3 La propagazione delle vibrazioni nel terreno

La propagazione delle vibrazioni nel terreno è un fenomeno molto complesso da determinare in quanto strettamente dipendente dalle caratteristiche specifiche del sito di studio sulla base delle caratteristiche morfologiche, tipologiche del terreno, etc.

Seppur esistono in letteratura numerosi modelli che permettono il calcolo della propagazione delle vibrazioni ferroviarie, modelli che vanno da equazioni di tipo empirico a modelli BEM/FEM, nel caso in oggetto si è ritenuto opportuno rifarsi a dati sperimentali specifici all'ambito di studio.

In linea generale la propagazione delle onde vibrazionali nel terreno è funzione di due principali fenomeni di attenuazione.

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:

- $d+d_0$: distanza dall'asse della linea ferroviaria
- d_0 : distanza di riferimento
- $n=0,5$ per galleria, $n=1$ per tracciato di superficie

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 similari.

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

In generale le rocce lapidee trasmettono tutta la gamma di frequenze, e principalmente le più alte, mentre le rocce sciolte lasciano passare solo le basse frequenze, che comunque corrispondono a quelle di risposta degli edifici. Inoltre, mentre le rocce lapidee difficilmente possono subire variazioni di struttura sotto sollecitazioni dinamiche, le rocce sciolte, risultano di gran lunga più sensibili. La loro risposta alla azione di disturbo è diversa a seconda che l'intensità del disturbo sia lieve o al contrario forte: in altre parole il comportamento dei materiali sciolti è fortemente non lineare. Nel primo caso non si ha una vera variazione della struttura mentre nel secondo caso la vibrazione produce per tutte le rocce sciolte un assestamento e quindi una riduzione di porosità. Ciò avviene in misura maggiore per le rocce incoerenti poiché i granuli sottoposti a vibrazione perdono resistenza di attrito e quindi vengono favoriti fenomeni di scorrimento con assestamenti.

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

Tipo di terreno	Densità [t/m ³]	Velocità di propagazione [m/s]	Fattore di perdita η
Roccia compatta	2.65	3500	0.01
Sabbia, limo, ghiaia, loess	1.6	600	0.1
Argilla, terreni argillosi	1.7	1500	0.2÷0.5

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

$$A_t = 4,34 \cdot \Omega \cdot \eta \cdot x/c \text{ con } c = (E/d)^{1/2}$$

dove:

- x: distanza dall'asse della linea ferroviaria
- Ω: frequenza [rad*s⁻¹]

STUDIO VIBRAZIONALE RELAZIONE GENERALE	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	FASE/ENTE R22	DOCUMENTO RG IM 0004 002	REV. A	FOGLIO 26 di 47
---	------------------	-------------	------------------	-----------------------------	-----------	--------------------

- η : coeffic. di assorbimento del terreno (fattore di perdita)
- 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:

$$A_i = 20 \cdot \log\left[\frac{1 + d_c \cdot c_c / d_a \cdot c_a}{2}\right]$$

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 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.

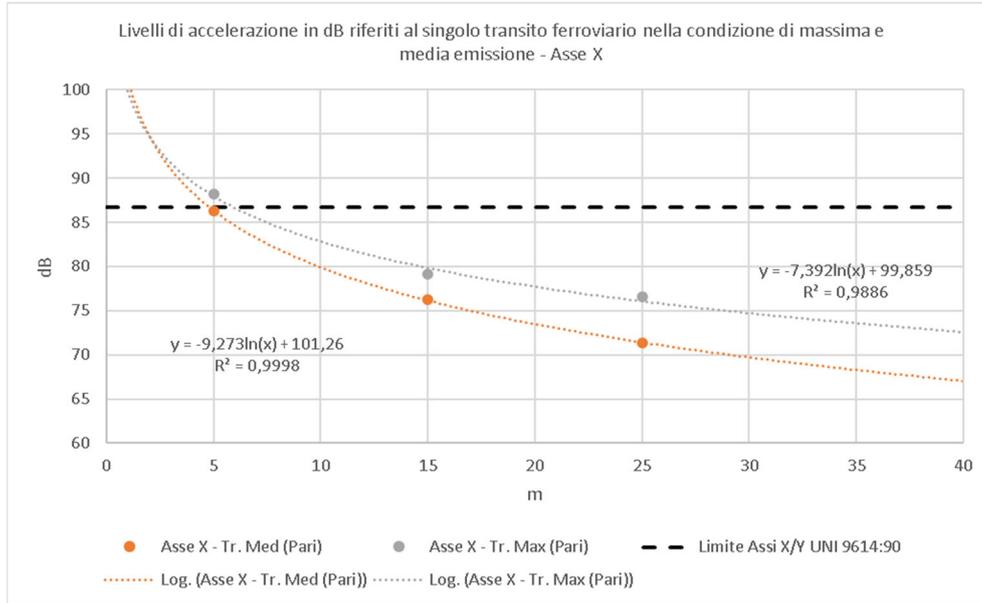


Figura 1-13 Individuazione della legge di propagazione delle vibrazioni nel terreno sulla base dei dati sperimentali lungo l'asse X per un singolo transito ferroviario sul binario pari nella condizione di massima e media emissione

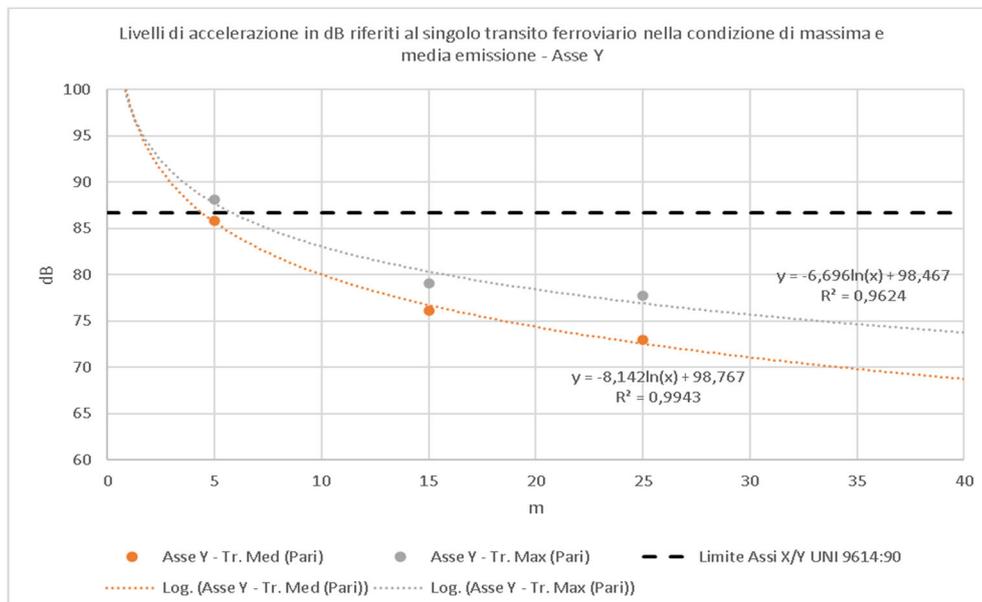


Figura 1-14 Individuazione della legge di propagazione delle vibrazioni nel terreno sulla base dei dati sperimentali lungo l'asse Y per un singolo transito ferroviario sul binario pari nella condizione di massima e media emissione

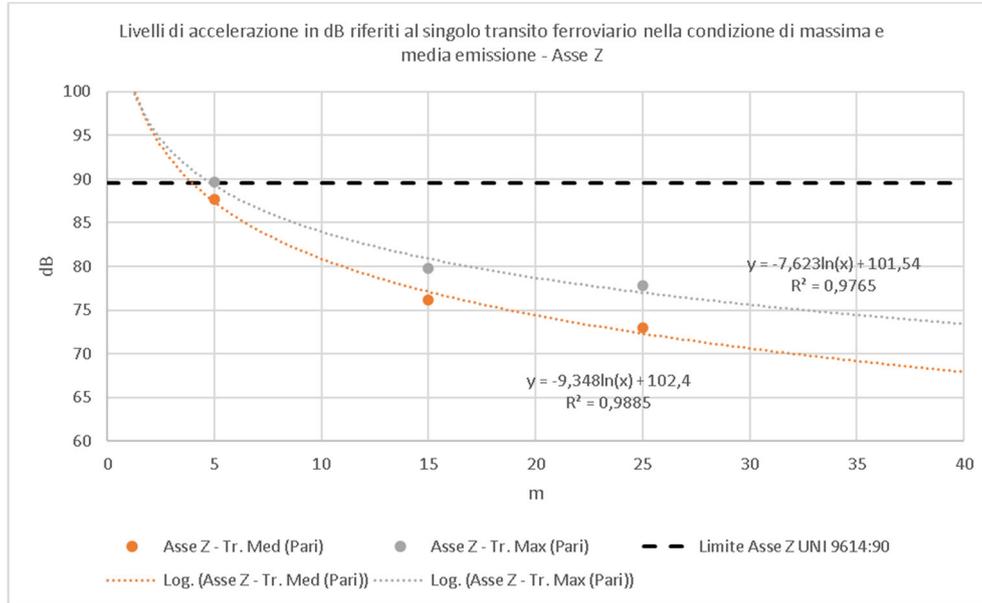


Figura 1-15 Individuazione della legge di propagazione delle vibrazioni nel terreno sulla base dei dati sperimentali lungo l'asse Z per un singolo transito ferroviario sul binario pari nella condizione di massima e media emissione

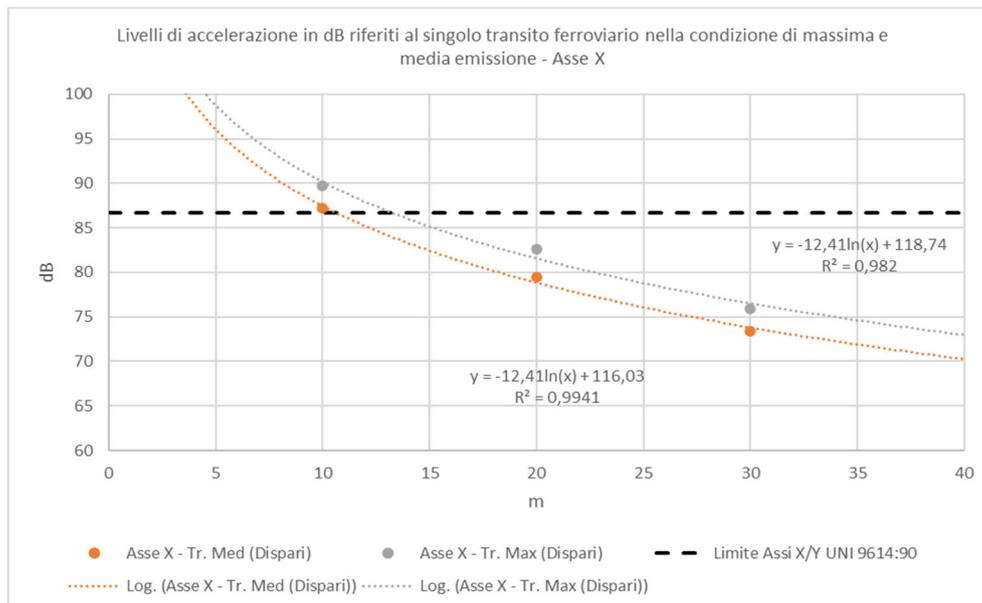


Figura 1-16 Individuazione della legge di propagazione delle vibrazioni nel terreno sulla base dei dati sperimentali lungo l'asse X per un singolo transito ferroviario sul binario dispari nella condizione di massima e media emissione

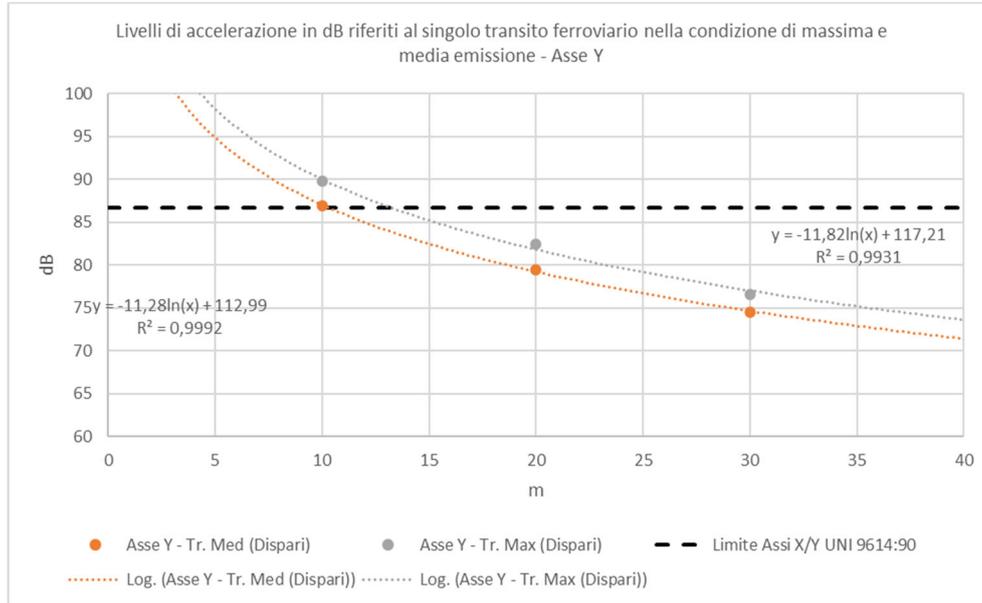


Figura 1-17 Individuazione della legge di propagazione delle vibrazioni nel terreno sulla base dei dati sperimentali lungo l'asse Y per un singolo transito ferroviario sul binario dispari nella condizione di massima e media emissione

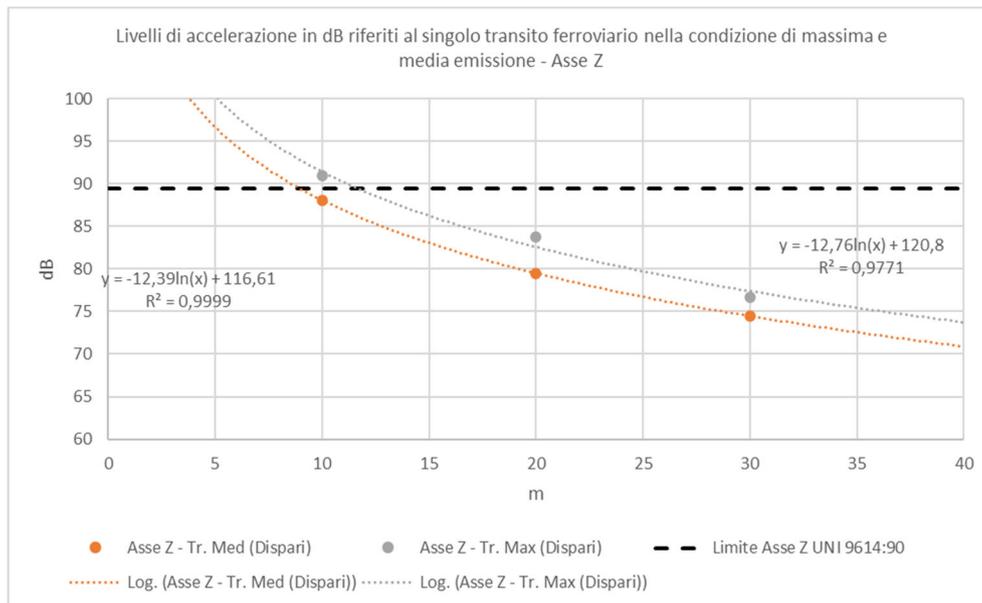


Figura 1-18 Individuazione della legge di propagazione delle vibrazioni nel terreno sulla base dei dati sperimentali lungo l'asse Z per un singolo transito ferroviario sul binario dispari nella condizione di massima e media emissione

1.4.4 La propagazione delle vibrazioni nelle strutture edilizie

1.4.4.1 Risposta degli edifici alle vibrazioni

Il modello semplificato di propagazione illustrato in precedenza si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, supposto omogeneo ed isotropo (perlomeno all'interno di ogni strato). Quando invece le vibrazioni nel terreno raggiungono un edificio esse si propagano attraverso le sue fondazioni e successivamente alle altre parti dell'edificio (pareti, pavimenti, soffitti), trasferendo ad esse l'energia vibratoria. Queste possono essere percepite come vibrazioni trasmesse al corpo delle persone o come rumore re-irradiato di bassa frequenza. Le vibrazioni possono a loro volta mettere in movimento alcune parti o oggetti delle abitazioni (mobili, vetri, suppellettili) e questi possono generare rumore o causare danni a strumenti sensibili. In alcuni casi le vibrazioni particolarmente elevate e ripetute nel tempo possono procurare un danno strutturale agli edifici, ma ben raramente questi effetti si verificano con infrastrutture dei trasporti.

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

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

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

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

edificio e richiede solitamente metodi numerici agli elementi finiti. Nel presente studio ci si deve necessariamente basare su considerazioni molto meno dettagliate, che tuttavia hanno solide basi sperimentali ed esperienziali.

La propagazione delle vibrazioni attraverso un edificio e la radiazione sonora conseguente viene stimata utilizzando formulazioni empiriche o modelli teorici. Le formulazioni più note si basano sugli studi di Kurzweil e Melke, e sono anche disponibili in testi quali *Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control*. L'approccio consiste nel trattare la vibrazione proveniente dal terreno con una serie di fattori correttivi dipendenti dalla particolare configurazione dell'edificio.

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

1.4.4.2 Accoppiamento terreno – fondazioni edificio

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

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

L'accoppiamento per edifici con strutture leggere è anch'esso stimato essere pari a 0 dB da Kurzweil, 1979. Per altri tipi di fondazioni (pali...) l'accoppiamento varia fra 2 e 15 dB in funzione della frequenza e della fondazione (Remington, 1987; Kurzweil, 1979). Per edifici fondati direttamente su strati rocciosi l'accoppiamento è 0 (Kurzweil, 1979). La riduzione delle vibrazioni fra terreno ed edificio è maggiore per oscillazioni verticali poiché l'edificio risulta strutturalmente più debole in senso orizzontale.

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

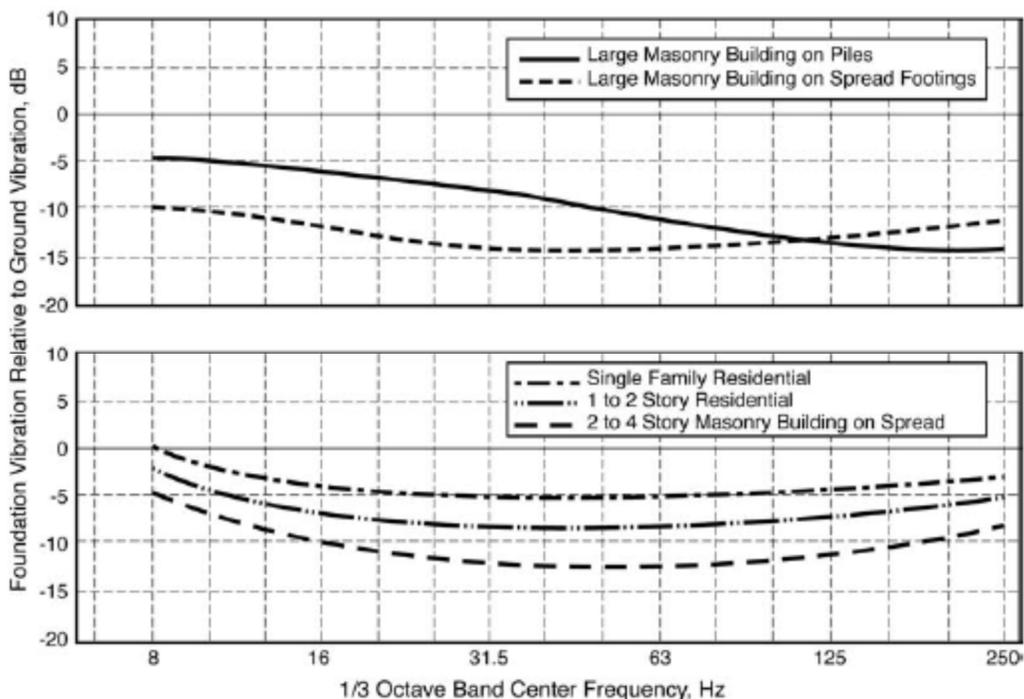


Figura 1-19 Risposta delle fondazioni per diverse tipologie di edifici (Fonte: FTA, USA)

1.4.4.3 Trasmissione attraverso l'edificio

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

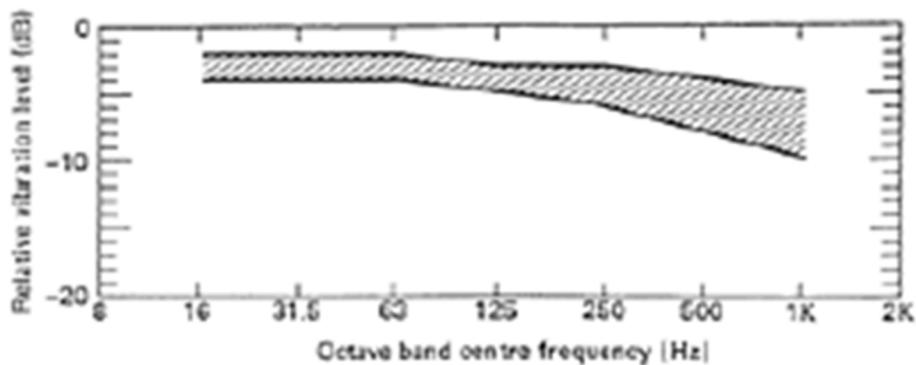


Figura 1-20 Attenuazione delle vibrazioni nel passaggio da un piano al successivo

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

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

dove:

- L_g è la vibrazione alle fondazioni;
- n è il numero di piani dell'edificio (o meglio il numero di piani interposti fra le fondazioni e il piano per il quale interessa calcolare la vibrazione).

Dunque viene calcolata una riduzione di 3 dB per ogni piano.

1.4.4.4 Risonanze strutturali dei solai

Pareti, solai e soffitti di un edificio talvolta amplificano le vibrazioni. Edifici con strutture leggere in genere non amplificano particolarmente, anche se si possono verificare amplificazioni ai piani

superiori (Kurzweil, 1979). L'amplificazione può variare tra un fattore 0.5 (riduzione) e 2 (amplificazione) nella gamma di frequenza 25 - 30 Hz, anche se si sono osservate amplificazioni fino a un fattore 5 (Leventhall, 1987). Questo fenomeno è causato dal fatto che parti diverse di un edificio possono avere caratteristiche diverse di rigidità, massa e smorzamento, con conseguenti diverse frequenze naturali di oscillazione. Di seguito vengono indicate alcune frequenze naturali tipiche.

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

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

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

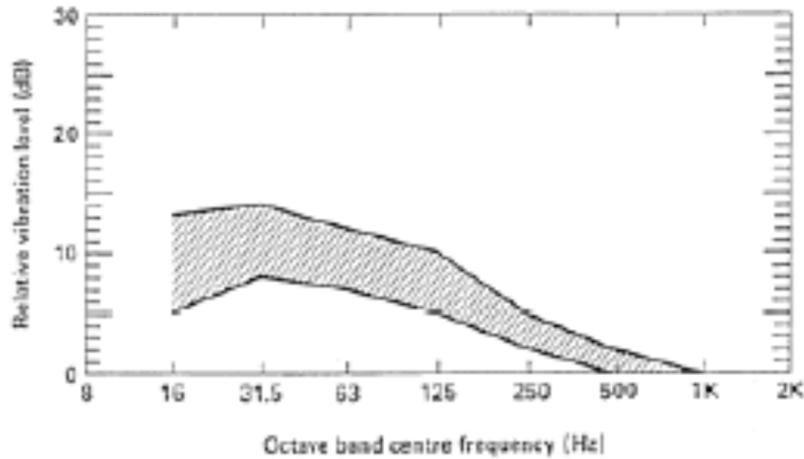


Figura 1-21 Amplificazione prodotta dai solai

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

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

Una stima dell'effetto locale di riduzione/amplificazione di ciascun edificio è possibile parametrizzando gli effetti combinati sopra descritti. In base alle caratteristiche delle fondazioni dell'edificio si definisce un fattore di attenuazione per le fondazioni secondo il seguente schema.

Tipologia fondazioni	Tipologia edificio	Fattore correttivo [dB]
Fondazioni a platea	Villetta monofamiliare	curva 1
"	Palazzina 1-2 piani	curva 2
"	Palazzina 2-4 piani	curva 3

Tipologia fondazioni	Tipologia edificio	Fattore correttivo [dB]
"	Edificio di grandi dimensioni (industriale, commerciale, palazzo multipiano)	curva 4
Fondazioni su pali	Edificio di grandi dimensioni (industriale, commerciale, palazzo multipiano)	curva 5

La correzione in frequenza è desunta dal seguente diagramma.

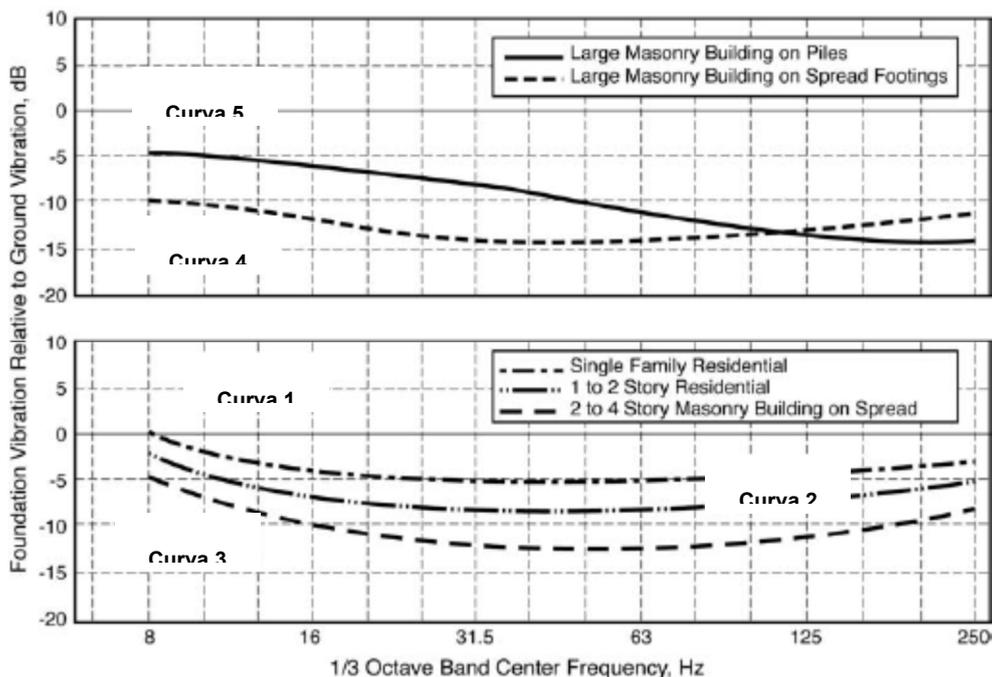


Figura 1-22 Fattori correttivi dovuti alla tipologia di fondazione

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. 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 essere di circa +5 dB.

Tali fattori costituiscono un ulteriore elemento cautelativo nella valutazione del disturbo da vibrazioni e tengono conto dell'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.

1.4.4.6 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 è il livello di pressione sonora in dB (0 dB = 20 μ Pa);
- L_a è il livello di vibrazione di accelerazione all'orizzontamento in dB (0 dB = 1 μ g);
- F è la frequenza per bande a terzi di ottava in Hz.

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.

1.5 La valutazione delle vibrazioni indotte in fase di esercizio

1.5.1 Previsione dell'impatto in fase di esercizio

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 eseguito nell'ambito dello studio acustico. 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 l'asse z - 86,7 dB per gli assi x e y). Applicando i modelli di calcoli precedentemente descritti, le funzioni di trasferimento sperimentali e attraversamenti litologici tipici dell'area in esame, i dati di caratterizzazione dei singoli transiti massimi e medi e tipologie edilizie sia in c.a. sia in muratura (con luci di solaio di 4 m), si è giunti al calcolo della distanza dalla sorgente a cui il livello di accelerazione ponderato risulti inferiore ai valori indicati dalla norma UNI 9614:1990 per i ricettori residenziali sia nel periodo diurno che 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.

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 DTC SI AM MA IFS 001 D del 31.12.2020).

Come indicato nel manuale citato, i valori di riferimento suggeriti dalla norma UNI 9614:1990 precedentemente descritti (punto A.4 della Appendice) nel caso di vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari, sono invece da confrontare con i livelli dei singoli transiti, distinti per tipologia di convoglio, adottando come intervallo di tempo rappresentativo la durata dell'evento, in caso di tracciato in sotterraneo. Si fa presente che tuttavia il tracciato di progetto in questo caso si sviluppa interamente allo scoperto.

1.5.2 Traffico di esercizio

Il numero di transiti considerati per la valutazione previsionale del disturbo da vibrazioni si basa sul modello di esercizio futuro individuato nell'ambito del progetto e riferito alla linea di progetto.

Si evidenzia infatti, che per tale studio non si è fatto riferimento alla sovrapposizione degli effetti dovuti alla coesistenza con le linee concorsuali, in quanto lo studio è finalizzato alla valutazione del solo disturbo indotto dalla linea in progetto e all'individuazione delle eventuali specifiche soluzioni mitigative.

Ai fini dell'applicazione del modello previsionale sono stati considerati i seguenti dati di input:

	Velocità di progetto	Diurno (06:00-22:00)	Notturmo (22:00-06:00)	Totale
Lunga Percorrenza	200-175 km/h	16	5	30
Intercity	180-150 km/h	7	2	
Regionali	145-160 km/h	24	4	28
Merci	140 km/h	8	12	104
Merci STI	140 km/h	34	50	

1.5.3 Livelli vibrazionali indotti

1.5.3.1 Individuazione dei livelli emissivi

Le accelerazioni complessivamente prodotte dall'esercizio della linea ferroviaria di progetto sono fornite dall'applicazione dell'emissione delle singole tipologie di treno e verso di percorrenza al traffico di esercizio previsto, in riferimento alle postazioni di indagine effettuate e tenendo conto del tempo di esposizione medio. Nelle tabelle seguenti si evincono per i tre assi di riferimento X, Y e Z e nelle tre postazioni T1, T2 e T3 di riferimento il valore complessivo di esposizione nel periodo diurno e nel periodo notturno calcolato sulla base del modello di esercizio atteso e delle velocità di percorrenza. Inoltre, è stato considerato un fattore di correzione per tener conto della differenza tra

il livello vibrazionale nel terreno e quello all'interno dell'edificio che, nel caso specifico per le motivazioni dette nel capitolo precedente si stima essere cautelativamente di +5 dB.

La valutazione è eseguita sia considerando il singolo transito nella condizione di massima emissione vibrazionale che l'intero modello di esercizio nell'arco delle 24 ore, differenziando le analisi tra periodo diurno e notturno.

Per quanto concerne il livello di emissione massima, questo è rappresentato dai valori vibrazionali massimi indotti da un singolo transito di un convoglio ferroviario determinato sulla base dei dati sperimentali e opportunamente corretti rispetto ai valori di velocità massima secondo la formula nei paragrafi precedenti. Inoltre, è stato considerato l'ulteriore fattore di +5dB per tener conto della propagazione delle vibrazioni all'interno dell'edificio che cautelativamente è stato considerato come fenomeno di amplificazione seppur non sempre verificato in quanto dipende strettamente dalle caratteristiche strutturali del singolo edificio.

Dalle indagini vibrazionali eseguite lungo la linea ferroviaria di progetto, trattandosi di una linea ferroviaria adibita al traffico di diverse tipologie di treni, il valore di massima emissione è rappresentata dal transito che ha indotto il più alto livello di accelerazione, corrispondente al transito di un treno merci. A partire da questi valori è stato individuato il valore di massima emissione considerando il modello di esercizio previsto, la velocità di percorrenza massima possibile e il periodo temporale di riferimento (limite di riferimento più basso).

1.5.3.2 Livello di emissione massima

Nel caso specifico la condizione di massima emissione è rappresentata da un transito di un convoglio alla velocità di 140 km/h (massima velocità possibile lungo la linea ferroviaria oggetto di studio e associata ad un treno merci).

Per quanto riguarda le emissioni ferroviarie, sulla base dei dati sperimentali rilevati durante le indagini sul campo, è stato individuato il livello emissivo massimo rilevato e corretto secondo la velocità di percorrenza assunta e i fattori cautelativi di amplificazione delle vibrazioni all'interno degli edifici.

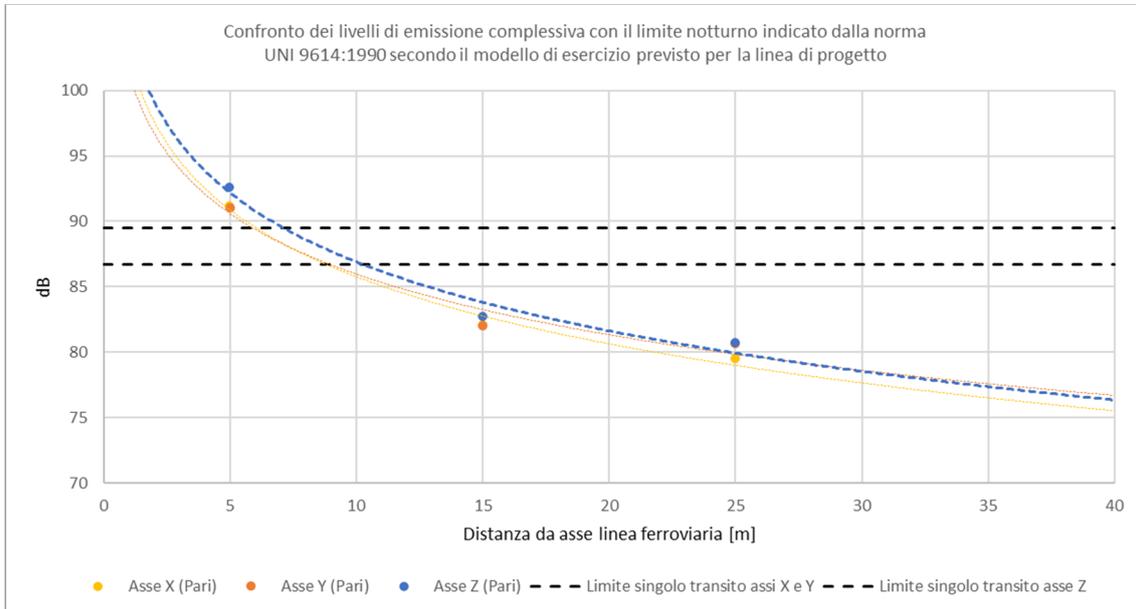


Figura 1-23 Confronto dei livelli di emissione massima riferiti al transito di un singolo convoglio ferroviario a 140 km/h in funzione della distanza dall'asse del binario pari con i limiti indicati dalla UNI 9614:1990 in Appendice A4

Dal confronto tra il livello emissivo di origine ferroviaria secondo la sua legge di propagazione in funzione della distanza dall'asse della linea ferroviaria e i valori limite indicati dalla norma UNI 9614:1990 nell'appendice A4 per i singoli transiti ferroviari, si evince come:

- per l'asse Z la fascia di potenziale disturbo per le abitazioni ha una ampiezza di circa 4 m dall'asse del binario più esterno (limite 89,5 dB);
- per gli assi X e Y la fascia di potenziale disturbo per le abitazioni ha una ampiezza di circa 4 m dall'asse del binario più interno (limite 86,7 dB).

Stante i risultati soprariportati non si evincono condizioni di criticità su edifici.

1.5.3.3 Livello di emissione complessivo

Per la determinazione dei livelli di emissione complessivi si è fatto riferimento invece all'intero modello di esercizio previsto nell'arco delle 24 ore, distinguendo il numero di transiti nel periodo diurno e notturno, e considerando i valori emissivi medi di un convoglio merci desunti dall'analisi dei dati sperimentali rilevati dalle indagini sul campo e corretti in funzione delle varie velocità di percorrenza previste sulla linea.

Il modello di esercizio prevede il transito dei seguenti treni:

	Velocità di progetto	Diurno (06:00-22:00)	Notturmo (22:00-06:00)	Totale
Lunga Percorrenza	200-175 km/h	16	5	30
Intercity	180-150 km/h	7	2	
Regionali	145-160 km/h	24	4	28
Merci	140 km/h	8	12	104
Merci STI	140 km/h	34	50	

Il contributo energetico associato all'intero modello di esercizio è stato poi rapportato all'intero periodo diurno e notturno. Anche in questo caso le analisi hanno tenuto conto della propagazione all'interno degli edifici considerando un fattore cautelativo di amplificazione di +5dB per tener conto della propagazione nell'accoppiamento terreno-fondazioni.

Posizione	Dist. da binario esterno	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		Asse X	Asse Y	Asse Z	Asse X	Asse Y	Asse Z
T1	5 m	73,3	73,3	74,0	76,0	76,0	76,5
T2	15 m	63,2	63,2	63,2	65,7	65,7	65,7
T3	25 m	59,1	60,3	60,3	61,6	63,2	63,2

Tabella 1-4 Livelli di accelerazione Lw,eq in dB all'interno degli edifici nel periodo diurno e notturno lungo gli assi X, Y e Z complessivamente attesi secondo il programma di esercizio previsto considerando i valori emissivi medi per la tratta di progetto, binario pari

Considerando quindi i livelli di emissione complessivi, dall'applicazione del modello previsionale individuato, si evince:

- Il livello limite diurno di 77 dB per le abitazioni nel periodo diurno viene raggiunto internamente agli edifici ad una distanza di circa 4 metri dalla mezzeria delle due linee ferroviarie;
- Il livello limite notturno di 74 dB per le abitazioni nel periodo notturno viene raggiunto internamente agli edifici ad una distanza di 4 metri dalla mezzeria delle due linee ferroviarie.

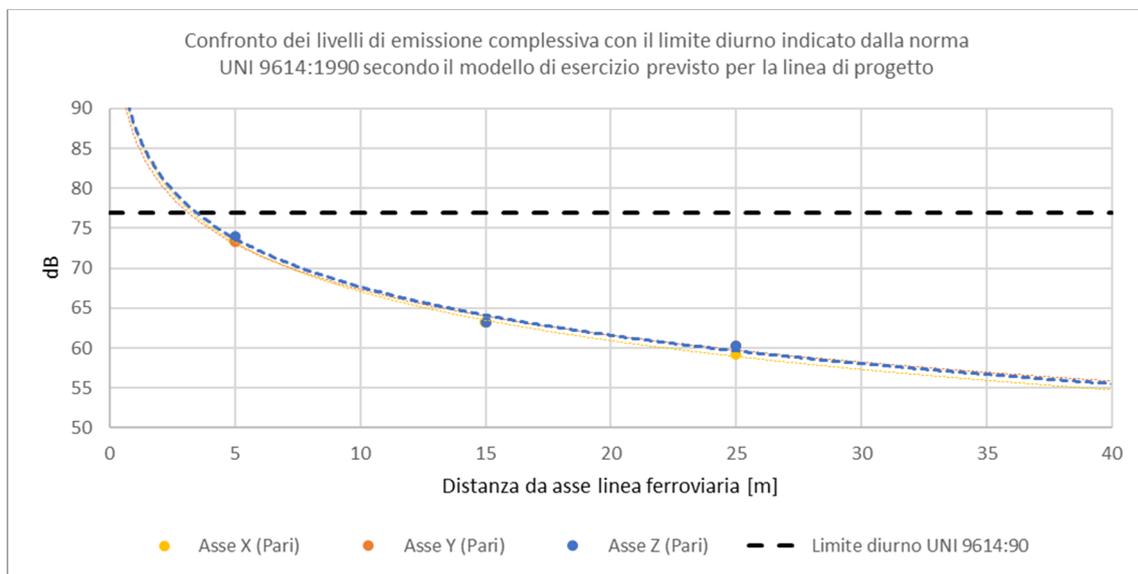


Figura 1-24 Confronto dei livelli di emissione complessiva all'interno degli edifici con i limiti UNI 9614:1990 in funzione della distanza dal binario pari secondo il modello di esercizio previsto – Periodo diurno

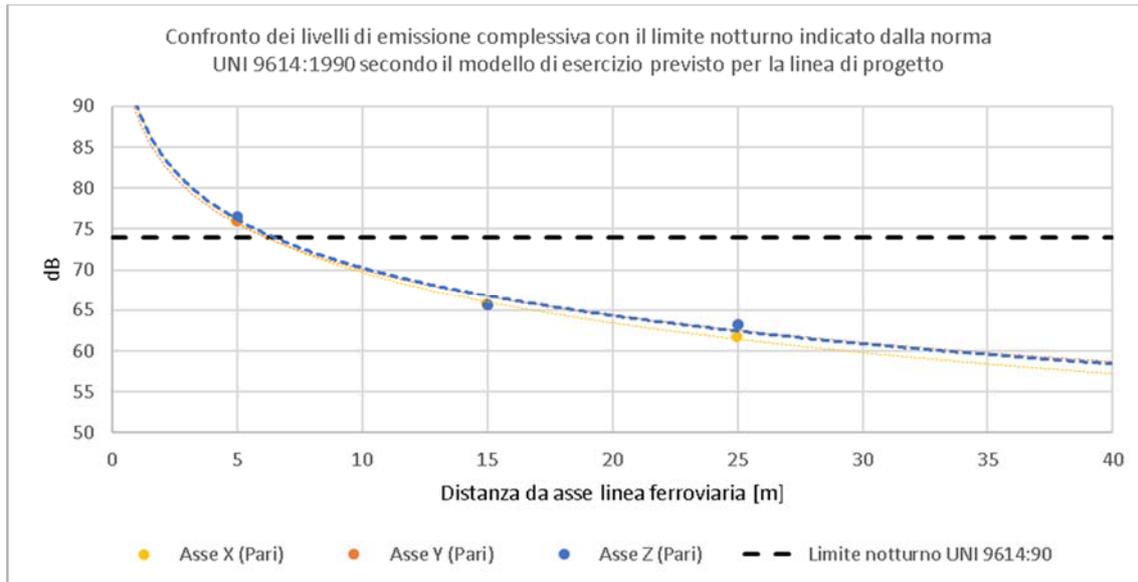


Figura 1-25 Confronto dei livelli di emissione complessiva all'interno degli edifici con i limiti UNI 9614:1990 in funzione della distanza dal binario pari secondo il modello di esercizio previsto - Periodo notturno

1.5.4 Individuazione delle potenziali aree critiche

La determinazione dei livelli equivalenti delle accelerazioni calcolate secondo il modello di esercizio futuro della linea ferroviaria oggetto di studio e riferiti al periodo diurno e notturno secondo quanto previsto dalla UNI 9614:1990, ha permesso di individuare le aree potenzialmente critiche sulla scorta del confronto con i valori indicati dalla norma UNI come riferimento per la valutazione del disturbo.

In merito alla condizione di massima emissione, sulla base di quanto esposto in precedenza questa è rappresentata dal singolo transito di un convoglio alla velocità di 140 km/h. Dall'applicazione dell'algoritmo di calcolo si evince come l'area di potenziale disturbo massimo all'interno degli edifici sia rappresentata da una fascia di ampiezza massima pari a 10 m dall'asse del binario più esterno. Dalla planimetria del censimento ricettori dello studio acustico (rif. Elaborato cod. IZ0430R22P6IM0004001A) si evince una condizione di rispetto per tutti i ricettori non essendo presenti edifici residenziali all'interno della suddetta fascia. Infatti, la distanza minima tra i ricettori e l'asse del binario più esterno è di circa 12 metri (cfr. in particolare edificio con codice 2015 riportato nello stralcio planimetrico seguente estratto dal censimento dei ricettori).

Si specifica che si escludono da tale considerazione gli edifici di cui si prevede la demolizione.



Figura 1-26 – Stralcio della planimetria del censimento dei ricettori che indica gli edifici residenziali potenzialmente disturbati dalla condizione di massima emissione.

La condizione di rispetto dei limiti indicati dalla norma UNI 9614:1990 per il disturbo da vibrazioni all'interno degli edifici è verificata anche nella condizione di emissione totale, ovvero considerando l'intero modello di esercizio previsto per la linea di progetto oggetto di verifica e rapportando i livelli emissivi indotti al periodo diurno e notturno.

ALLEGATO 1

REPORT MISURE VIBRAZIONALI

1. Premessa

Il presente documento costituisce il report di misura delle indagini vibrazionali condotte nell'ambito del PFTE velocizzazione di Variante di Portogruaro.

2. Misure

Ai fini del presente lavoro sono state condotte delle misurazioni dei livelli vibrazionali lungo la linea ferroviaria esistente, in un'area di caratteristiche geologiche analoghe a quelle attraversate dall'infrastruttura di progetto.

Le misurazioni sono state programmate in una sezione di rilievo rappresentando i valori di accelerazione (m/s²) su tre postazioni in contemporanea

Le tre postazioni sono state individuate per caratterizzare lo spettro in frequenza in terzi di ottava della sorgente relativamente al passaggio di un convoglio ferroviario in prossimità del binario, in funzione del tipo di treno e della velocità di transito.

Le misurazioni sono state eseguite con analizzatori di segnale collegati a terne accelerometriche, ognuna delle quali, debitamente ancorata al centro dei solai delle abitazioni oggetto di indagine o al terreno nel caso la postazione di riferimento sia esterna, è composta da tre accelerometri disposti secondo gli assi spaziali x, y, z. Gli accelerometri sono collegati all'acquisitore multicanale tramite cavi coassiali schermati in modo da avere l'acquisizione simultanea delle accelerazioni sui tre assi x, y, z.

Le postazioni di misura caratterizzano i tipi di transito ferroviario distinguendo, tipologie di convogli, velocità di percorrenza, ecc. All'interno della finestra di misura sono transitati 27 convogli così composti.

Numero di treni rilevato durante la misura		
Tipologia treni	Periodo Diurno	Periodo Notturno
Eurostar	1	-
Intercity	1	-
Merci	13	-
Regionali	12	-
Totale transiti	27	-

I rilievi sono avvenuti il 13/05/2021 ,presso Via Villastorta a Portogruaro (VE)

L'indagine vibrazionale è costituita da 3 terne accelerometriche con rilievo contemporaneo, così posizionate:

- indagine in prossimità dei binari 5,5 metri dall'asse del binario più prossimo (Terna1);

STUDIO VIBRAZIONALE RELAZIONE GENERALE ALLEGATO – REPORT MISURE	COMMESSA	LOTTO	FASE/ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	30	R22	RG IM 0004 002	A	2 di 14

- indagine a 15,5 metri dall'asse del binario più prossimo (Terna2);
- indagine a 25,5 metri dall'asse del binario più prossimo (Terna3);

3. Normativa di riferimento

L'inquinamento da vibrazioni viene regolamentato da normative tecniche inerenti al disturbo sull'uomo e agli effetti sugli edifici, dal momento che non esiste a tutt'oggi una legislazione specifica in merito a livello nazionale. Tali norme introducono le grandezze e i parametri che devono essere valutati e definiscono le caratteristiche dei sistemi di rilevazione e della strumentazione da impiegare per le misure.

Il problema del disturbo causato dalle vibrazioni sull'uomo viene trattato, in particolare, dalla norma ISO 2631 e dalla UNI 9614 che risultano sostanzialmente in accordo. Gli standard di protezione sull'uomo previsti dalle suddette normative garantiscono ampiamente rispetto alla possibile insorgenza di danni agli edifici e, pertanto, l'azione sugli edifici deve essere valutata nel caso di beni monumentali o storici per i quali possono essere assunti limiti più restrittivi.

4. Parametri oggetto delle misure

La grandezza principale per la valutazione del disturbo da vibrazioni è individuata nel valore efficace (RMS - Root-Mean-Square) dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza a_w , definito dalla relazione:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{0,5}$$

dove:

- t è il tempo;
- $a_w(t)$ è l'accelerazione complessiva ponderata in frequenza;
- T è la durata del periodo di riferimento.

Una rappresentazione equivalente è data dal livello di accelerazione L , definito dalla relazione:

$$L = 20 \text{ LOG} \left(\frac{a_w}{a_0} \right)$$

dove a_0 è il valore dell'accelerazione di riferimento, pari a 10^{-6} m/s^2 . Nel caso si utilizzino sistemi di acquisizione senza filtri di ponderazione, il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza può essere calcolato in fase di elaborazione dall'accelerogramma misurato in terzi d'ottava nell'intervallo 1-80 Hz.

DATI GENERALI DELLA MISURA

Area Operativa	Linea Venezia Trieste – PFTE di di Variante Portogruaro (VE)		
Punto di misura	Via Giovanni Boccaccio– Portogruaro (VE)		
Monitoraggio	<input checked="" type="checkbox"/> Ante operam	<input type="checkbox"/> Corso d'opera	<input type="checkbox"/> Post operam
Sezione misura	Portogruaro		

Caratterizzazione tipologica delle sorgenti di monitoraggio

<input type="checkbox"/> Traffico veicolare	<input checked="" type="checkbox"/> Ferroviario - VIF	<input type="checkbox"/> Cantiere - VIL	<input type="checkbox"/> Altro *
---	---	---	----------------------------------

(*)

Caratteristiche del Monitoraggio

Il monitoraggio è stato eseguito in contemporanea su tre terne accelerometriche. Nell'area in cui si trova il ricettore è presente oltre alla linea ferroviaria, una viabilità locale piuttosto sporadica su Via Villastorta.

Normativa di riferimento

Le misure per la valutazione del disturbo provocato dalle vibrazioni alle persone negli ambienti abitativi sono eseguite in conformità alle norme UNI 9614

Strumentazione adottata

Le misurazioni sono state eseguite con un analizzatore della Sinus – Modello Soundbook , Svantek SV 106



INDIVIDUAZIONE DEL PUNTO DI MISURA

Coordinate geografiche: 45°46'59.53"N 12°51'12.08"E



PLANIMETRIE CON INDIVIDUAZIONE DEL PUNTO DI MISURA

ORIENTAMENTO ACCELEROMETRI COME IN FIGURA – ASSE Z VERTICALE



Stralcio planimetrico della sezione di misura

GRANDEZZE DI RIFERIMENTO PER L'ELABORAZIONE

Parametro di riferimento (UNI 9614 – Appendice A)

<i>Tipologia di vibrazioni</i>	<i>Parametro [a = ...]</i>	<i>Tabella limiti</i>
A 1 - Di livello costante (livello di accelerazione complessiva ponderata in frequenza variabile entro un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB)	RMS	Prospetto III
A 2 - Di livello non costante (livello di accelerazione complessiva ponderata in frequenza variabile entro un intervallo di ampiezza superiore a 5 dB)	$a_{w,eq}$	Prospetto III
A 3 - Impulsive (rapido innalzamento e abbassamento del valore dell'accelerazione e oscillazioni)	$0,71 a_{pk}$	Prospetto V
A 4 - Prodotte da veicoli ferroviari nelle abitazioni	a'	Sperimentale

Limiti di riferimento

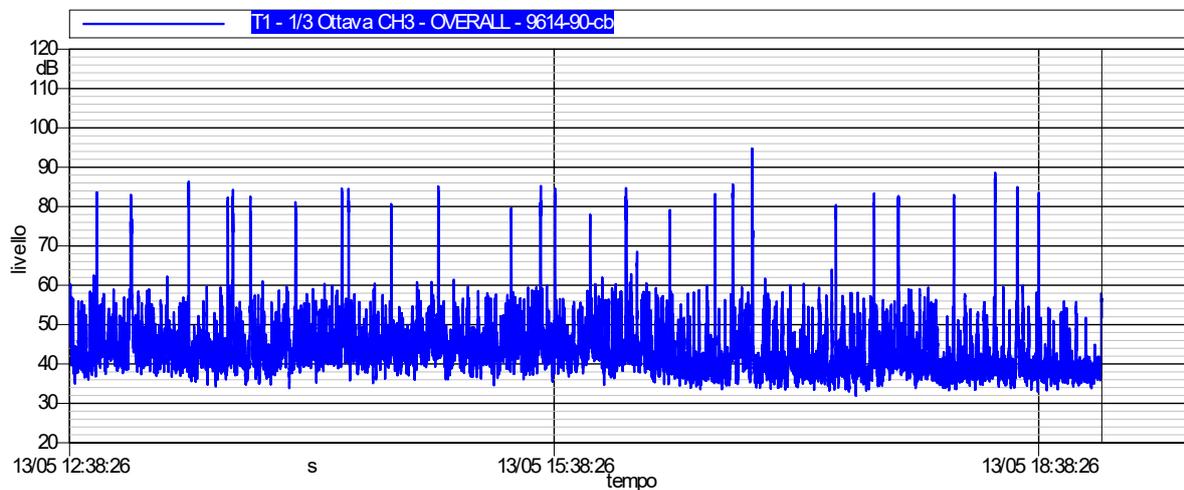
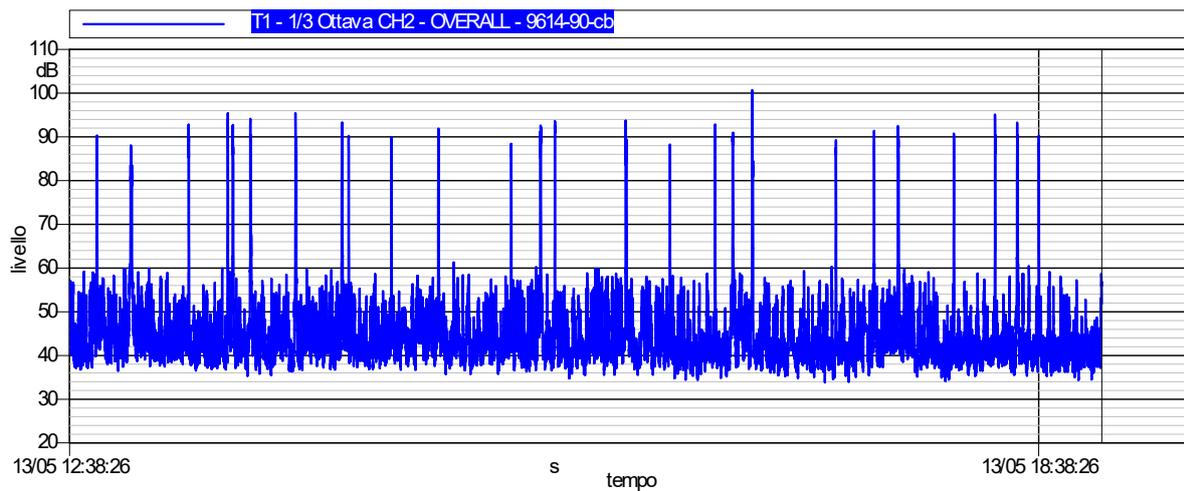
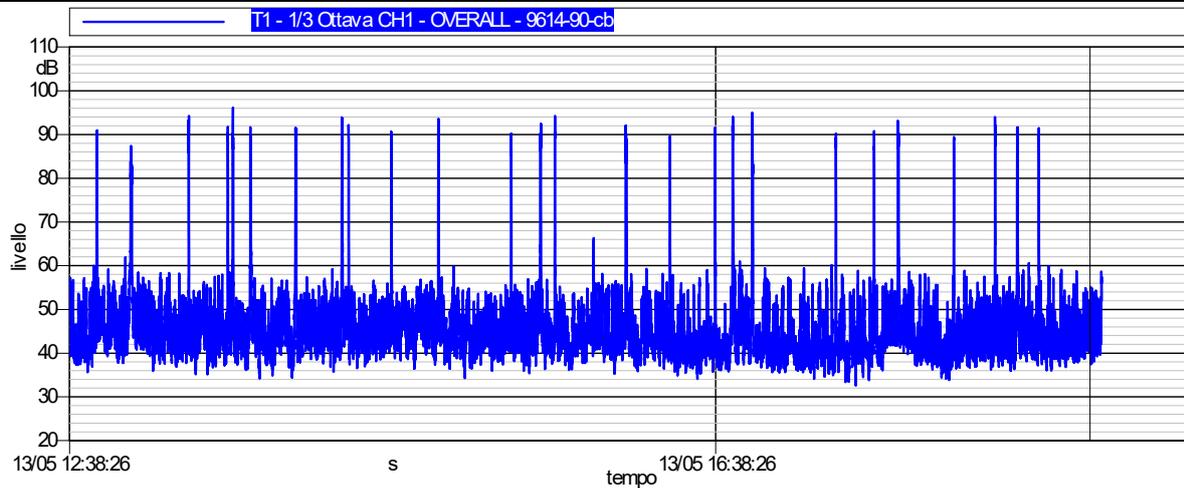
Tipologia ricettore	<i>Limite UNI 9614 – prospetto II / III</i>			<i>Limite UNI 9614 – prospetto V</i>		
	a_x [mm/s ²]	a_y [mm/s ²]	a_z (*) [mm/s ²]	a_x [mm/s ²]	a_y [mm/s ²]	a_z (*) [mm/s ²]
Aree critiche	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	5,0
Abitazioni (notte)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	7,0
Abitazioni (giorno)	7,2	7,2	7,2	220	220	300
Uffici	14,4	14,4	14,4	460	460	640
Fabbriche	28,8	28,8	28,8	460	460	640

(*) Per postura non nota o variabile

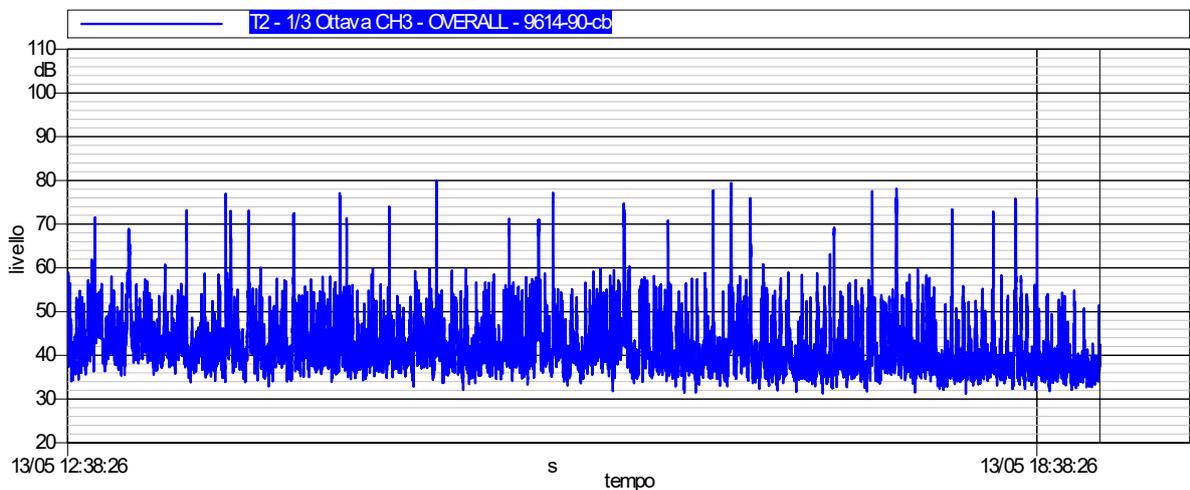
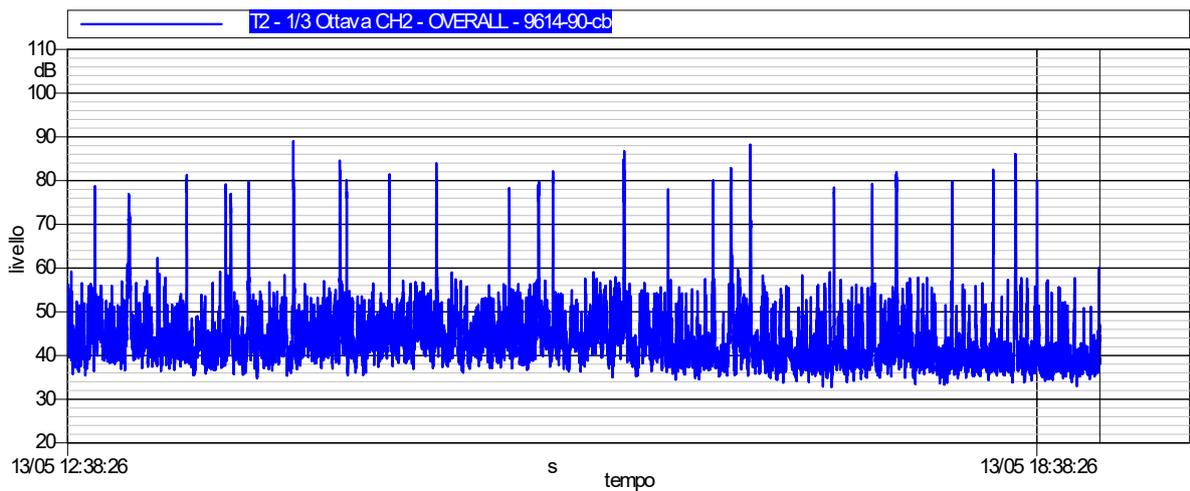
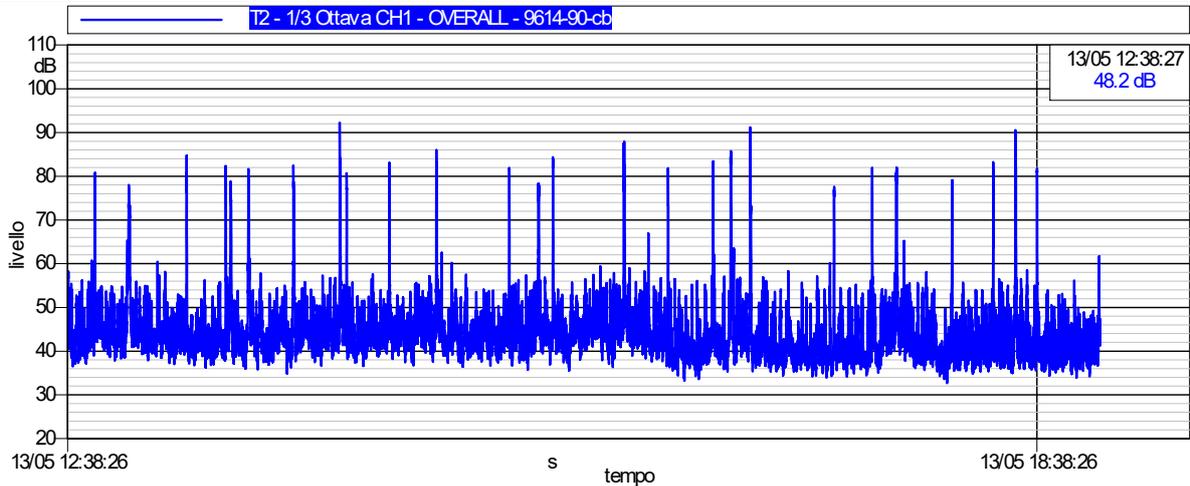
Tipologia ricettore	<i>Limite UNI 9614 – veicoli ferroviari</i>			<i>Curva Limite ISO 2631</i>
	a_x [mm/s ²]	a_y [mm/s ²]	a_z (*) [mm/s ²]	a [mm/s ²]
Aree critiche	---	---	---	ISO 2631 XYZ x1
Abitazioni (notte)	21,6	21,6	30,0	ISO 2631 XYZ x1,4
Abitazioni (giorno)				ISO 2631 XYZ x2÷4
Uffici	---	---	---	ISO 2631 XYZ x4
Fabbriche	---	---	---	ISO 2631 XYZ x8

TIME HISTORY

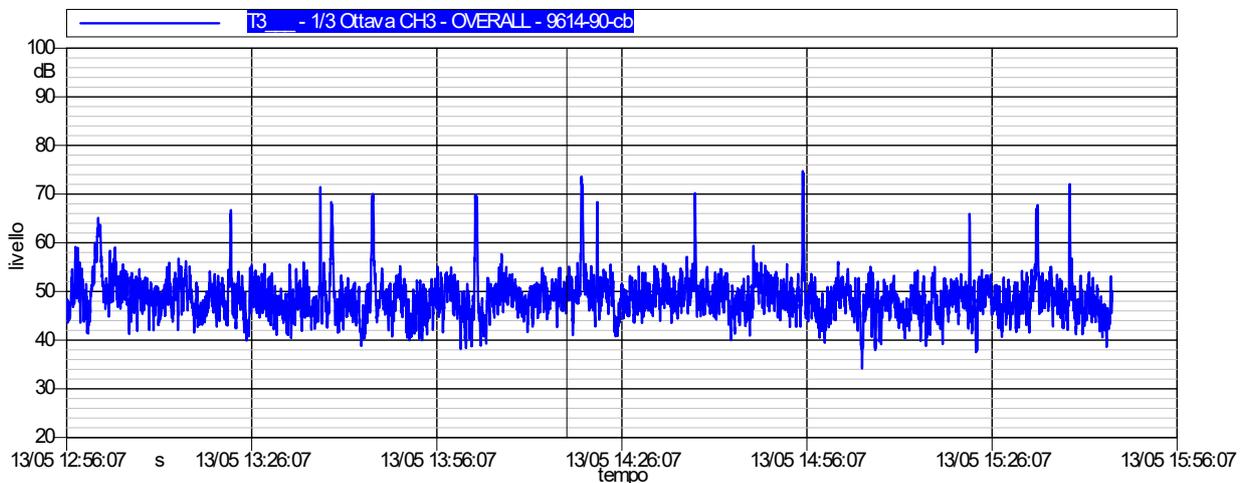
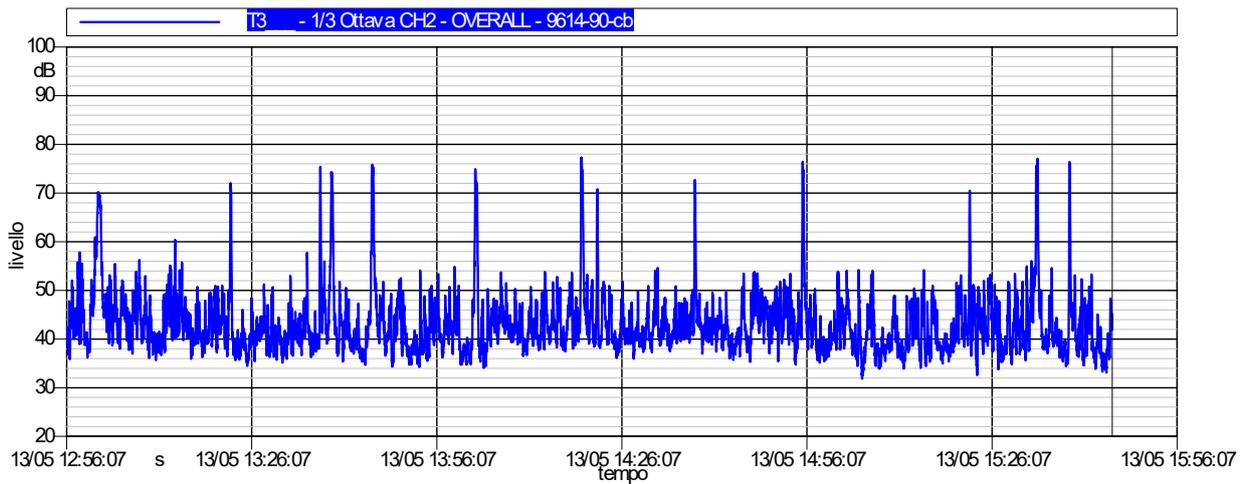
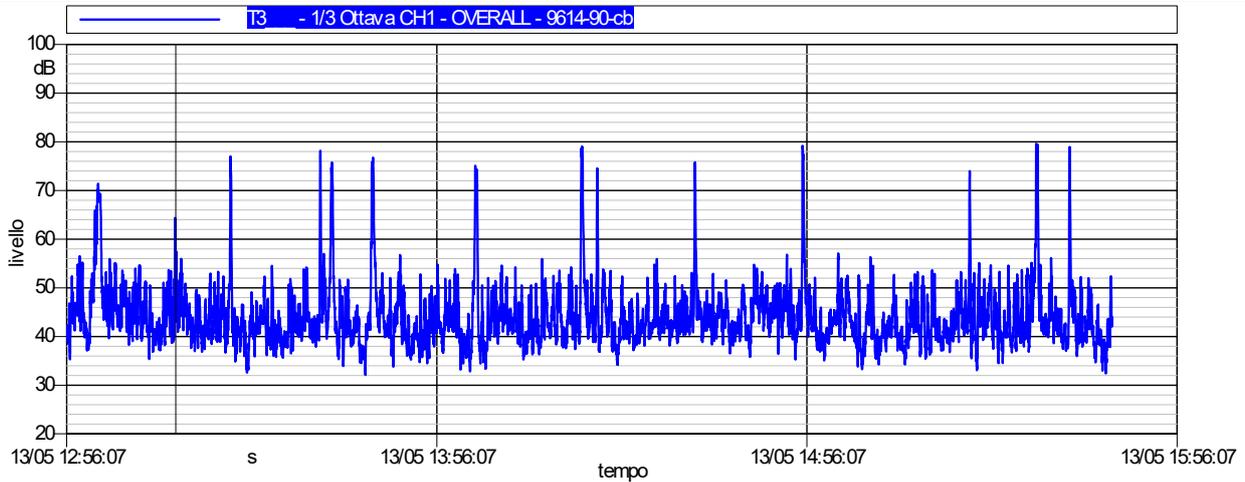
UNI 9614 ACCELERAZIONI R.M.S. – TERNA 1 CH1-X, CH2-Y, CH3-Z



UNI 9614 ACCELERAZIONI R.M.S. – TERNA 2 CH1-X, CH2-Y, CH3-Z



UNI 9614 ACCELERAZIONI R.M.S. – TERNA 3 CH1-X, CH2-Y, CH3-Z



LIVELLI DI ACCELERAZIONE COMPLESSIVI
PER TIPOLOGIE DI TRENO
VALORI LINEARI E PESATI ASSI COMBINATI

Data/ora	Tipo treno	Binario	T1-X LEQ (lin)	T1-X LEQ (ac)	T1-X SEL (lin)	T1-X SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	101,6	86,2	113,1	97,6
13/05/2021 13:01:00	M	P	95,5	80,4	112,1	96,9
13/05/2021 13:22:35	R	P	102,5	86,9	114,3	98,7
13/05/2021 13:37:09	R	D	101,3	86,7	111,3	96,7
13/05/2021 13:38:54	M	P	103,2	88,0	117,4	102,2
13/05/2021 13:45:28	M	D	101,4	85,8	116,1	100,6
13/05/2021 14:02:16	M	P	103,5	88,2	118,0	102,7
13/05/2021 14:19:27	M	D	104,6	89,8	118,6	103,8
13/05/2021 14:22:03	R	P	102,6	87,2	113,0	97,6
13/05/2021 14:37:52	R	D	100,7	85,2	112,4	97,0
13/05/2021 14:55:20	M	D	104,2	89,3	117,2	102,3
13/05/2021 15:22:27	R	P	100,0	84,3	109,6	93,9
13/05/2021 15:33:13	M	P	102,5	87,1	116,8	101,4
13/05/2021 15:38:37	R	D	102,5	87,4	113,6	98,6
13/05/2021 16:04:57	M	D	101,4	85,7	116,3	100,7
13/05/2021 16:21:26	R	P	101,4	85,4	111,4	95,4
13/05/2021 16:38:09	R	D	101,8	86,7	112,9	97,8
13/05/2021 16:44:38	M	D	103,4	88,3	117,0	101,9
13/05/2021 16:51:54	M	P	101,0	84,5	115,4	98,8
13/05/2021 17:23:02	R	P	101,3	85,4	112,7	96,9
13/05/2021 17:37:12	R	D	98,8	83,8	109,2	94,2
13/05/2021 17:46:02	M	D	102,6	87,1	117,5	102,0
13/05/2021 18:06:51	ES	P	101,9	86,3	111,9	96,3
13/05/2021 18:22:09	R	P	103,2	87,5	114,0	98,3
13/05/2021 18:30:20	M	D	103,5	88,7	117,1	102,3
13/05/2021 18:38:25	R	D	101,4	86,3	111,4	96,3

Data/ora	Tipo treno	Binario	T1-Y LEQ (lin)	T1-Y LEQ (ac)	T1-Y SEL (lin)	T1-Y SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	101,3	85,9	113,1	97,6
13/05/2021 13:01:00	M	P	95,5	80,4	112,1	96,9
13/05/2021 13:22:35	R	P	102,5	86,9	114,3	98,7
13/05/2021 13:37:09	R	D	100,5	85,9	111,3	96,7
13/05/2021 13:38:54	M	P	102,9	87,7	117,4	102,2
13/05/2021 13:45:28	M	D	101,1	85,6	116,1	100,6
13/05/2021 14:02:16	M	P	103,4	88,1	118,0	102,7
13/05/2021 14:19:27	M	D	104,6	89,8	118,6	103,8
13/05/2021 14:22:03	R	P	101,9	86,5	113,0	97,6
13/05/2021 14:37:52	R	D	100,7	85,2	112,4	97,0
13/05/2021 14:55:20	M	D	104,0	89,1	117,2	102,3
13/05/2021 15:22:27	R	P	99,6	83,9	109,6	93,9
13/05/2021 15:33:13	M	P	102,7	87,2	116,8	101,4
13/05/2021 15:38:37	R	D	102,1	87,1	113,6	98,6
13/05/2021 16:04:57	M	D	101,4	85,7	116,3	100,7
13/05/2021 16:21:26	R	P	101,0	85,0	111,4	95,4
13/05/2021 16:38:09	R	D	101,8	86,7	112,9	97,8
13/05/2021 16:44:38	M	D	103,2	88,1	117,0	101,9
13/05/2021 16:51:54	M	P	101,0	84,5	115,4	98,8
13/05/2021 17:23:02	R	P	101,0	85,1	112,7	96,9
13/05/2021 17:37:12	R	D	98,1	83,1	109,2	94,2
13/05/2021 17:46:02	M	D	102,4	87,0	117,5	102,0
13/05/2021 18:06:51	ES	P	100,8	85,2	111,9	96,3
13/05/2021 18:22:09	R	P	102,9	87,1	114,0	98,3
13/05/2021 18:30:20	M	D	103,0	88,2	117,1	102,3
13/05/2021 18:38:25	R	D	100,6	85,5	111,4	96,3

Data/ora	Tipo treno	Binario	T1-Z LEQ (lin)	T1-Z LEQ (ac)	T1-Z SEL (lin)	T1-Z SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	102,7	87,2	113,1	97,6
13/05/2021 13:01:00	M	P	96,3	81,1	112,1	96,9
13/05/2021 13:22:35	R	P	104,3	88,7	114,3	98,7
13/05/2021 13:37:09	R	D	102,3	87,7	111,3	96,7
13/05/2021 13:38:54	M	P	104,6	89,4	117,4	102,2
13/05/2021 13:45:28	M	D	103,1	87,6	116,1	100,6
13/05/2021 14:02:16	M	P	104,2	88,9	118,0	102,7
13/05/2021 14:19:27	M	D	105,8	91,0	118,6	103,8
13/05/2021 14:22:03	R	P	104,0	88,6	113,0	97,6
13/05/2021 14:37:52	R	D	102,9	87,4	112,4	97,0
13/05/2021 14:55:20	M	D	105,5	90,5	117,2	102,3
13/05/2021 15:22:27	R	P	101,1	85,4	109,6	93,9
13/05/2021 15:33:13	M	P	104,0	88,6	116,8	101,4
13/05/2021 15:38:37	R	D	104,1	89,0	113,6	98,5
13/05/2021 16:04:57	M	D	102,2	86,5	116,3	100,7
13/05/2021 16:21:26	R	P	102,4	86,3	111,4	95,4
13/05/2021 16:38:09	R	D	103,4	88,3	112,9	97,8
13/05/2021 16:44:38	M	D	104,7	89,6	117,0	101,9
13/05/2021 16:51:54	M	P	101,7	85,2	115,4	98,8
13/05/2021 17:23:02	R	P	103,2	87,3	112,7	96,9
13/05/2021 17:37:12	R	D	100,8	85,8	109,2	94,2
13/05/2021 17:46:02	M	D	103,5	88,1	117,5	102,0
13/05/2021 18:06:51	ES	P	102,9	87,3	111,9	96,3
13/05/2021 18:22:09	R	P	104,0	88,3	114,0	98,3
13/05/2021 18:30:20	M	D	104,1	89,3	117,1	102,3
13/05/2021 18:38:25	R	D	102,4	87,3	111,4	96,3

Data/ora	Tipo treno	Binario	T2-X LEQ (lin)	T2-X LEQ (ac)	T2-X SEL (lin)	T2-X SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	94,8	77,0	106,6	88,8
13/05/2021 13:01:00	M	P	88,1	72,0	104,6	88,5
13/05/2021 13:22:35	R	P	94,5	76,5	106,6	88,5
13/05/2021 13:37:09	R	D	94,8	77,7	105,6	88,5
13/05/2021 13:38:54	M	P	90,9	74,3	104,8	88,3
13/05/2021 13:45:28	M	D	93,2	76,3	107,7	90,8
13/05/2021 14:02:16	M	P	93,8	76,5	108,4	91,1
13/05/2021 14:19:27	M	D	99,8	82,6	113,8	96,6
13/05/2021 14:22:03	R	P	93,4	75,8	103,4	85,8
13/05/2021 14:37:52	R	D	96,2	78,2	107,7	89,6
13/05/2021 14:55:20	M	D	97,3	80,3	110,6	93,5
13/05/2021 15:22:27	R	P	96,4	77,8	105,9	87,3
13/05/2021 15:33:13	M	P	91,9	75,2	105,9	89,1
13/05/2021 15:38:37	R	D	96,8	79,3	107,9	90,4
13/05/2021 16:04:57	M	D	97,6	79,6	112,6	94,7
13/05/2021 16:21:26	R	P	92,6	74,2	103,0	84,6
13/05/2021 16:38:09	R	D	96,2	78,7	107,3	89,8
13/05/2021 16:44:38	M	D	98,5	81,3	112,1	94,9
13/05/2021 16:51:54	M	P	97,8	79,1	112,1	93,4
13/05/2021 17:23:02	R	P	92,2	74,0	103,0	84,8
13/05/2021 17:37:12	R	D	93,4	76,1	103,9	86,5
13/05/2021 17:46:02	M	D	94,9	78,5	109,8	93,4
13/05/2021 18:06:51	ES	P	93,5	75,9	103,9	86,3
13/05/2021 18:22:09	R	P	95,5	76,7	106,9	88,2
13/05/2021 18:30:20	M	D	99,1	82,0	113,1	96,0
13/05/2021 18:38:25	R	D	94,8	77,5	105,2	87,9

Data/ora	Tipo treno	Binario	T2-Y LEQ (lin)	T2-Y LEQ (ac)	T2-Y SEL (lin)	T2-Y SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	94,6	76,7	106,6	88,8
13/05/2021 13:01:00	M	P	88,0	71,9	104,6	88,5
13/05/2021 13:22:35	R	P	94,8	76,7	106,6	88,5
13/05/2021 13:37:09	R	D	95,2	78,1	105,6	88,5
13/05/2021 13:38:54	M	P	90,9	74,3	104,8	88,3
13/05/2021 13:45:28	M	D	93,0	76,2	107,7	90,8
13/05/2021 14:02:16	M	P	93,8	76,5	108,4	91,1
13/05/2021 14:19:27	M	D	99,7	82,4	113,8	96,6
13/05/2021 14:22:03	R	P	93,0	75,4	103,4	85,8
13/05/2021 14:37:52	R	D	96,6	78,5	107,7	89,6
13/05/2021 14:55:20	M	D	97,3	80,3	110,6	93,5
13/05/2021 15:22:27	R	P	95,1	76,6	105,9	87,4
13/05/2021 15:33:13	M	P	91,9	75,2	105,9	89,1
13/05/2021 15:38:37	R	D	96,8	79,3	107,9	90,4
13/05/2021 16:04:57	M	D	97,8	79,9	112,6	94,7
13/05/2021 16:21:26	R	P	92,6	74,2	103,0	84,6
13/05/2021 16:38:09	R	D	96,2	78,7	107,3	89,8
13/05/2021 16:44:38	M	D	98,1	81,0	112,1	94,9
13/05/2021 16:51:54	M	P	97,8	79,1	112,1	93,4
13/05/2021 17:23:02	R	P	91,9	73,7	103,0	84,8
13/05/2021 17:37:12	R	D	93,4	76,1	103,9	86,5
13/05/2021 17:46:02	M	D	95,2	78,8	109,8	93,4
13/05/2021 18:06:51	ES	P	93,5	75,9	103,9	86,3
13/05/2021 18:22:09	R	P	96,2	77,4	106,9	88,2
13/05/2021 18:30:20	M	D	98,9	81,8	113,1	96,0
13/05/2021 18:38:25	R	D	94,4	77,2	105,2	87,9

Data/ora	Tipo treno	Binario	T2-Z LEQ (lin)	T2-Z LEQ (ac)	T2-Z SEL (lin)	T2-Z SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	96,2	78,3	106,6	88,7
13/05/2021 13:01:00	M	P	88,8	72,6	104,6	88,4
13/05/2021 13:22:35	R	P	96,5	78,5	106,5	88,5
13/05/2021 13:37:09	R	D	96,5	79,4	105,6	88,4
13/05/2021 13:38:54	M	P	92,0	75,5	104,8	88,3
13/05/2021 13:45:28	M	D	94,6	77,8	107,6	90,8
13/05/2021 14:02:16	M	P	94,6	77,2	108,4	91,0
13/05/2021 14:19:27	M	D	101,0	83,8	113,8	96,6
13/05/2021 14:22:03	R	P	94,9	77,2	103,3	85,7
13/05/2021 14:37:52	R	D	97,3	79,2	107,7	89,6
13/05/2021 14:55:20	M	D	98,8	81,7	110,6	93,5
13/05/2021 15:22:27	R	P	97,5	78,9	105,9	87,3
13/05/2021 15:33:13	M	P	93,1	76,3	105,8	89,1
13/05/2021 15:38:37	R	D	97,9	80,4	107,9	90,4
13/05/2021 16:04:57	M	D	98,5	80,5	112,6	94,7
13/05/2021 16:21:26	R	P	94,5	76,1	102,9	84,6
13/05/2021 16:38:09	R	D	97,8	80,3	107,3	89,8
13/05/2021 16:44:38	M	D	99,3	82,2	112,1	94,9
13/05/2021 16:51:54	M	P	98,5	79,8	112,1	93,4
13/05/2021 17:23:02	R	P	93,5	75,2	103,0	84,7
13/05/2021 17:37:12	R	D	94,8	77,5	103,9	86,5
13/05/2021 17:46:02	M	D	95,7	79,2	109,8	93,4
13/05/2021 18:06:51	ES	P	94,9	77,3	103,9	86,3
13/05/2021 18:22:09	R	P	97,9	79,1	106,9	88,1
13/05/2021 18:30:20	M	D	100,0	83,0	113,1	96,0
13/05/2021 18:38:25	R	D	96,1	78,9	105,2	87,9

Data/ora	Tipo treno	Binario	T3-X LEQ (lin)	T3-X LEQ (ac)	T3-X SEL (lin)	T3-X SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	80,9	68,0	97,6	84,7
13/05/2021 13:01:00	M	P	76,4	59,9	84,2	67,6
13/05/2021 13:22:35	R	P	86,9	71,4	99,2	83,7
13/05/2021 13:37:09	R	D	87,8	72,9	98,9	84,0
13/05/2021 13:38:54	M	P	86,5	71,6	100,8	85,9
13/05/2021 13:45:28	M	D	87,4	73,1	102,2	87,9
13/05/2021 14:02:16	M	P	87,6	72,7	102,2	87,3
13/05/2021 14:19:27	M	D	90,9	75,9	104,9	89,9
13/05/2021 14:22:03	R	P	85,7	70,6	96,8	81,8
13/05/2021 14:37:52	R	D	86,5	71,3	98,6	83,4
13/05/2021 14:55:20	M	D	90,2	74,8	103,5	88,0
13/05/2021 15:22:27	R	P	85,8	69,8	96,2	80,3
13/05/2021 15:33:13	M	P	93,1	76,6	107,6	91,1
13/05/2021 15:38:37	R	D	89,6	73,7	101,7	85,7
13/05/2021 16:04:57	M	D	86,5	72,2	101,3	87,0
13/05/2021 16:21:26	R	P	86,1	70,6	98,4	82,9
13/05/2021 16:38:09	R	D	88,7	73,8	99,8	84,9
13/05/2021 16:44:38	M	D	89,1	73,7	102,4	86,9
13/05/2021 16:51:54	M	P	87,1	72,2	101,7	86,8
13/05/2021 17:23:02	R	P	87,6	72,1	99,9	84,4
13/05/2021 17:37:12	R	D	86,9	72,0	98,0	83,1
13/05/2021 17:46:02	M	D	86,9	72,6	101,7	87,4
13/05/2021 18:06:51	ES	P	87,8	72,9	98,9	84,0
13/05/2021 18:22:09	R	P	86,4	70,4	96,8	80,9
13/05/2021 18:30:20	M	D	89,8	74,4	103,1	87,6
13/05/2021 18:38:25	R	D	88,5	72,6	100,6	84,6

Data/ora	Tipo treno	Binario	T3-Y LEQ (lin)	T3-Y LEQ (ac)	T3-Y SEL (lin)	T3-Y SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	81,8	68,8	97,5	84,5
13/05/2021 13:22:35	R	P	88,4	72,9	99,1	83,6
13/05/2021 13:37:09	R	D	88,9	74,0	98,9	84,0
13/05/2021 13:38:54	M	P	87,5	72,6	100,7	85,8
13/05/2021 13:45:28	M	D	88,8	74,4	102,2	87,8
13/05/2021 14:02:16	M	P	88,2	73,2	102,2	87,2
13/05/2021 14:19:27	M	D	91,6	76,6	104,9	89,8
13/05/2021 14:22:03	R	P	86,8	71,7	96,8	81,7
13/05/2021 14:37:52	R	D	88,1	72,9	98,5	83,3
13/05/2021 14:55:20	M	D	91,1	75,6	103,4	87,9
13/05/2021 15:22:27	R	P	87,1	71,1	96,1	80,1
13/05/2021 15:33:13	M	P	94,4	77,8	107,6	91,0
13/05/2021 15:38:37	R	D	90,9	74,9	101,7	85,7
13/05/2021 16:04:57	M	D	87,9	73,5	101,3	86,9
13/05/2021 16:21:26	R	P	87,6	72,1	98,3	82,8
13/05/2021 16:38:09	R	D	89,8	74,9	99,8	84,9
13/05/2021 16:44:38	M	D	90,0	74,5	102,3	86,8
13/05/2021 16:51:54	M	P	87,7	72,7	101,7	86,7
13/05/2021 17:23:02	R	P	89,1	73,6	99,8	84,3
13/05/2021 17:37:12	R	D	88,0	73,1	98,0	83,1
13/05/2021 17:46:02	M	D	88,3	73,9	101,7	87,3
13/05/2021 18:06:51	ES	P	88,9	74,0	98,9	84,0
13/05/2021 18:22:09	R	P	87,7	71,7	96,7	80,7
13/05/2021 18:30:20	M	D	90,7	75,2	103,0	87,5
13/05/2021 18:38:25	R	D	89,8	73,8	100,6	84,6

Data/ora	Tipo treno	Binario	T3-Z LEQ (lin)	T3-Z LEQ (ac)	T3-Z SEL (lin)	T3-Z SEL (ac)
13/05/2021 12:48:31	IC	P	81,8	68,8	97,5	84,5
13/05/2021 13:22:35	R	P	88,4	72,9	99,1	83,6
13/05/2021 13:37:09	R	D	88,9	74,0	98,9	84,0
13/05/2021 13:38:54	M	P	87,5	72,6	100,7	85,8
13/05/2021 13:45:28	M	D	88,8	74,4	102,2	87,8
13/05/2021 14:02:16	M	P	88,2	73,2	102,2	87,2
13/05/2021 14:19:27	M	D	91,6	76,6	104,9	89,8
13/05/2021 14:22:03	R	P	86,8	71,7	96,8	81,7
13/05/2021 14:37:52	R	D	88,1	72,9	98,5	83,3
13/05/2021 14:55:20	M	D	91,1	75,6	103,4	87,9
13/05/2021 15:22:27	R	P	87,1	71,1	96,1	80,1
13/05/2021 15:33:13	M	P	94,4	77,8	107,6	91,0
13/05/2021 15:38:37	R	D	90,9	74,9	101,7	85,7
13/05/2021 16:04:57	M	D	87,9	73,5	101,3	86,9
13/05/2021 16:21:26	R	P	87,6	72,1	98,3	82,8
13/05/2021 16:38:09	R	D	89,8	74,9	99,8	84,9
13/05/2021 16:44:38	M	D	90,0	74,5	102,3	86,8
13/05/2021 16:51:54	M	P	87,7	72,7	101,7	86,7
13/05/2021 17:23:02	R	P	89,1	73,6	99,8	84,3
13/05/2021 17:37:12	R	D	88,0	73,1	98,0	83,1
13/05/2021 17:46:02	M	D	88,3	73,9	101,7	87,3
13/05/2021 18:06:51	ES	P	88,9	74,0	98,9	84,0
13/05/2021 18:22:09	R	P	87,7	71,7	96,7	80,7
13/05/2021 18:30:20	M	D	90,7	75,2	103,0	87,5
13/05/2021 18:38:25	R	D	89,8	73,8	100,6	84,6

**LIVELLI DI ACCELERAZIONE IN FREQUENZA
SINGOLI TRANSITI SU TERNA 1**

DETTAGLIO DELLE ACCELERAZIONI RILEVATE ALLA TERNA 1 (ADIACENTE BINARIO) PER I SINGOLI TRANSITI FERROVIARI – ASSE X

Caratteristiche degli eventi					Valori in frequenza in 1/3 di ottava [hz] – Valori riferiti alla Terna 1 – Asse X																			Livello Tot	
Evento	Data / Ora	Binario	Tipo	Durata (s)	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	Pesato
1	13/05/2021 12:48	P	IC	14	35,5	41,8	34,9	36,1	38,7	42,3	38,0	42,2	47,5	59,1	60,9	64,1	63,6	74,3	79,6	82,3	80,0	72,6	63,5	60,0	86,2
2	13/05/2021 13:01	P	M	45	31,7	31,1	40,6	30,6	30,8	30,3	42,6	52,5	58,2	57,7	55,4	57,4	58,8	74,6	70,3	76,1	72,5	67,4	63,8	55,7	80,4
3	13/05/2021 13:22	P	R	15	37,5	33,6	31,5	31,4	30,6	38,1	38,7	34,8	40,9	50,6	57,5	58,2	58,6	71,2	79,3	84,3	79,2	73,8	69,4	58,7	86,9
4	13/05/2021 13:37	D	R	10	25,7	29,8	32,1	28,3	28,9	36,9	43,1	46,8	45,3	50,2	62,6	61,4	69,4	73,1	82,4	83,3	76,3	68,4	60,8	51,4	86,7
5	13/05/2021 13:38	P	M	26	35,0	32,4	38,5	37,4	39,7	44,8	41,0	46,2	55,4	62,1	60,0	60,6	63,7	69,3	78,6	86,6	78,9	68,8	63,2	58,3	88,0
6	13/05/2021 13:45	D	M	30	24,8	27,6	31,2	32,6	36,9	40,3	51,9	52,6	56,4	62,4	61,9	70,3	66,3	67,6	72,0	83,6	80,3	66,8	60,0	51,4	85,8
7	13/05/2021 14:02	P	M	28	31,0	28,2	32,0	36,7	33,7	38,7	38,9	51,2	49,7	59,3	65,1	63,5	64,4	69,9	79,6	86,3	80,1	71,9	67,0	55,7	88,2
8	13/05/2021 14:19	D	M	25	33,2	28,4	26,3	27,7	31,6	35,5	41,4	50,4	55,0	62,0	64,6	65,6	73,7	74,2	82,8	87,9	78,2	71,7	63,1	54,6	89,8
9	13/05/2021 14:22	P	R	11	37,5	42,5	38,5	35,6	35,2	33,3	44,4	49,6	44,7	48,9	60,1	62,6	67,9	64,3	79,0	85,4	78,2	72,2	67,1	60,1	87,2
10	13/05/2021 14:37	D	R	15	31,0	33,8	30,9	29,6	27,5	33,5	38,0	44,0	44,5	52,6	61,1	63,9	63,0	73,8	76,8	81,3	80,3	68,6	57,8	49,8	85,2
11	13/05/2021 14:55	D	M	20	30,3	27,4	26,6	25,5	31,6	34,7	40,4	48,6	52,6	59,2	63,6	62,6	72,2	70,5	83,5	86,8	79,6	72,7	65,8	58,7	89,3
12	13/05/2021 15:22	P	R	9	38,3	40,3	38,8	37,0	36,4	36,4	44,4	46,2	41,1	50,2	55,8	62,9	61,0	68,3	79,8	76,7	79,8	72,7	61,3	55,4	84,3
13	13/05/2021 15:33	P	M	27	37,9	49,5	39,1	37,2	39,4	42,8	51,9	52,1	54,4	62,0	62,2	57,3	65,7	67,4	81,9	81,9	82,5	68,7	61,6	58,5	87,1
14	13/05/2021 15:38	D	R	13	31,7	33,5	32,7	28,4	31,4	34,8	45,6	48,5	47,0	53,1	62,0	64,3	66,4	73,0	81,7	84,4	79,4	69,4	65,6	59,6	87,4
15	13/05/2021 16:04	D	M	31	31,1	28,0	33,5	38,5	39,6	36,0	41,7	43,1	51,7	59,1	59,1	62,7	69,9	73,0	77,2	82,1	80,1	72,6	66,5	57,7	85,7
16	13/05/2021 16:21	P	R	10	38,8	35,7	34,4	34,0	31,8	39,3	43,1	43,2	39,4	50,6	52,5	60,5	62,6	67,9	77,6	79,8	82,1	72,3	61,7	55,7	85,4
17	13/05/2021 16:38	D	R	13	31,5	31,9	28,4	28,7	29,6	29,3	41,1	45,8	46,1	51,4	61,5	61,5	66,2	71,8	81,1	83,3	79,6	68,6	62,4	53,9	86,7
18	13/05/2021 16:44	D	M	23	29,1	27,0	27,4	28,6	31,5	34,5	41,8	47,1	53,0	65,7	68,4	64,3	70,6	72,5	82,1	85,4	80,4	72,0	63,8	55,0	88,3
19	13/05/2021 16:51	P	M	27	33,3	33,8	34,7	36,7	36,7	39,7	39,0	44,7	48,1	52,3	57,1	59,8	61,5	68,0	72,3	81,1	79,9	71,4	71,1	64,8	84,5
20	13/05/2021 17:23	P	R	14	38,1	38,3	31,5	33,1	32,1	39,6	40,1	37,7	43,4	48,7	56,7	60,8	61,9	68,7	74,9	82,5	80,7	69,6	63,1	60,2	85,4
21	13/05/2021 17:37	D	R	11	26,8	32,1	31,6	27,9	25,0	31,1	41,3	43,7	45,8	48,7	61,3	59,8	65,2	67,9	79,8	78,7	77,1	67,0	62,0	50,1	83,8
22	13/05/2021 17:46	D	M	31	38,8	35,6	34,9	32,9	32,1	36,4	37,3	47,0	53,6	61,7	62,2	73,0	72,4	71,2	80,0	82,2	82,7	69,9	61,9	53,2	87,1
23	13/05/2021 18:06	P	ES	10	24,4	29,3	50,3	42,3	39,2	42,1	40,9	47,1	48,5	51,0	62,1	66,4	67,3	68,0	79,5	83,1	79,1	74,6	67,5	54,0	86,3
24	13/05/2021 18:22	P	R	12	38,9	38,5	32,8	32,2	32,1	37,5	43,6	43,8	39,5	53,6	59,3	64,7	63,1	70,4	80,8	83,7	81,7	73,9	70,1	63,8	87,5
25	13/05/2021 18:30	D	M	23	25,5	27,0	24,8	25,9	26,1	29,9	35,8	48,7	51,0	59,4	60,9	66,3	73,0	73,9	81,9	86,6	78,1	69,4	63,6	52,3	88,7
26	13/05/2021 18:38	D	R	10	25,2	32,3	28,1	26,6	24,0	30,9	37,3	45,0	41,6	52,2	60,5	62,4	65,0	73,1	81,4	82,0	79,9	69,3	61,4	48,8	86,3

DETTAGLIO DELLE ACCELERAZIONI RILEVATE ALLA TERNA 1 (ADIACENTE BINARIO) PER I SINGOLI TRANSITI FERROVIARI – ASSE Y

Caratteristiche degli eventi					Valori in frequenza in 1/3 di ottava [hz] – Valori riferiti alla Terna 1 – Asse Y																			Livello Tot	
Evento	Data / Ora	Binario	Tipo	Durata (s)	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	Pesato
1	13/05/2021 12:48	P	IC	15	36,5	41,8	34,9	35,9	38,4	42,0	37,7	41,9	47,3	58,8	60,6	63,8	63,3	74,0	79,3	82,0	79,7	72,3	63,2	59,7	85,9
2	13/05/2021 13:00	P	M	45	31,5	31,2	40,6	30,6	30,6	30,4	42,6	52,5	58,2	57,8	55,5	57,4	58,8	74,6	70,3	76,1	72,5	67,4	63,8	55,7	80,4
3	13/05/2021 13:22	P	R	15	37,5	33,6	31,5	31,4	30,6	38,1	38,7	34,8	40,9	50,6	57,5	58,2	58,6	71,2	79,3	84,3	79,2	73,8	69,4	58,7	86,9
4	13/05/2021 13:37	D	R	12	27,1	30,5	32,1	28,2	29,9	36,4	42,4	46,0	44,9	49,5	61,9	60,6	68,6	72,3	81,6	82,5	75,6	67,6	60,0	50,6	85,9
5	13/05/2021 13:38	P	M	28	35,0	32,3	38,3	37,1	39,4	44,5	40,7	46,0	55,1	61,8	59,7	60,3	63,4	69,0	78,3	86,3	78,6	68,4	62,9	58,0	87,7
6	13/05/2021 13:45	D	M	32	24,7	27,4	30,9	32,3	36,6	40,0	51,6	52,4	56,2	62,2	61,7	70,0	66,0	67,4	71,7	83,4	80,0	66,5	59,7	51,1	85,6
7	13/05/2021 14:02	P	M	29	31,1	28,5	32,2	36,6	33,5	38,5	38,7	51,1	49,5	59,2	65,0	63,3	64,2	69,8	79,5	86,2	79,9	71,8	66,9	55,5	88,1
8	13/05/2021 14:19	D	M	25	33,2	28,4	26,3	27,7	31,6	35,5	41,4	50,4	55,0	62,0	64,6	65,6	73,7	74,2	82,8	87,9	78,2	71,7	63,1	54,6	89,8
9	13/05/2021 14:22	P	R	13	36,9	41,8	38,1	35,2	34,6	32,8	43,7	48,9	44,2	48,3	59,4	61,9	67,2	63,6	78,2	84,7	77,5	71,4	66,4	59,4	86,5
10	13/05/2021 14:37	D	R	15	31,0	33,8	30,9	29,6	27,5	33,5	38,0	44,0	44,5	52,6	61,1	63,9	63,0	73,8	76,8	81,3	80,3	68,6	57,8	49,8	85,2
11	13/05/2021 14:55	D	M	21	30,2	27,5	26,4	25,4	31,4	34,5	40,3	48,5	52,4	59,1	63,4	62,4	72,0	70,3	83,3	86,6	79,4	72,5	65,6	58,5	89,1
12	13/05/2021 15:22	P	R	10	38,8	41,5	39,0	37,0	36,0	36,0	43,9	45,8	40,7	49,8	55,4	62,4	60,6	67,8	79,4	76,2	79,4	72,2	60,9	55,0	83,9
13	13/05/2021 15:33	P	M	26	38,0	49,7	39,3	37,3	39,5	43,0	52,0	52,2	54,6	62,2	62,3	57,4	65,8	67,5	82,1	82,0	82,6	68,8	61,7	58,7	87,2
14	13/05/2021 15:38	D	R	14	31,5	33,2	32,5	28,3	31,3	34,5	45,3	48,1	46,7	52,8	61,7	64,0	66,1	72,6	81,4	84,1	79,1	69,1	65,3	59,3	87,1
15	13/05/2021 16:04	D	M	31	31,0	27,8	33,4	38,6	39,6	36,1	41,8	43,1	51,6	59,0	59,1	62,7	69,9	73,0	77,2	82,1	80,1	72,6	66,5	57,7	85,7
16	13/05/2021 16:21	P	R	11	38,4	35,3	34,0	33,7	31,7	38,9	42,9	43,7	39,8	50,6	52,1	60,1	62,2	67,5	77,2	79,4	81,7	71,8	61,3	55,3	85,0
17	13/05/2021 16:38	D	R	13	29,4	31,7	28,4	28,8	29,6	29,3	41,1	45,7	45,9	51,1	61,4	61,5	66,2	71,8	81,1	83,3	79,6	68,6	62,4	53,9	86,7
18	13/05/2021 16:44	D	M	24	29,0	27,1	27,4	28,6	31,4	34,6	41,9	46,9	52,8	65,5	68,2	64,1	70,4	72,3	81,9	85,2	80,2	71,8	63,6	54,8	88,1
19	13/05/2021 16:51	P	M	27	33,3	33,8	34,7	36,7	36,7	39,7	39,0	44,7	48,1	52,3	57,1	59,8	61,5	68,0	72,3	81,1	79,9	71,4	71,1	64,8	84,5
20	13/05/2021 17:23	P	R	15	37,8	38,0	31,3	32,8	31,8	39,3	39,8	37,5	43,1	48,6	56,4	60,5	61,6	68,4	74,6	82,2	80,4	69,3	62,8	59,9	85,1
21	13/05/2021 17:37	D	R	13	28,6	32,9	31,5	29,8	25,7	31,7	41,0	43,6	45,4	48,3	60,7	59,2	64,5	67,1	79,1	78,0	76,4	66,2	61,3	49,3	83,1
22	13/05/2021 17:46	D	M	32	38,7	35,4	34,8	32,8	32,2	36,3	37,2	46,8	53,5	61,6	62,0	72,8	72,3	71,1	79,9	82,0	82,6	69,8	61,8	53,0	87,0
23	13/05/2021 18:06	P	ES	13	27,6	28,3	49,4	42,2	39,3	41,0	40,0	46,2	48,9	50,0	61,0	65,2	66,1	66,9	78,3	82,0	78,0	73,4	66,4	52,9	85,2
24	13/05/2021 18:22	P	R	13	38,6	38,2	32,7	31,9	31,7	37,1	43,2	43,5	39,9	53,3	58,9	64,4	62,7	70,1	80,5	83,3	81,4	73,5	69,8	63,4	87,1
25	13/05/2021 18:30	D	M	26	25,5	26,7	24,5	25,6	26,3	29,7	36,3	48,3	50,6	59,0	60,4	65,8	72,5	73,3	81,4	86,1	77,6	68,8	63,0	51,7	88,2
26	13/05/2021 18:38	D	R	12	26,4	33,1	27,7	26,1	23,8	30,8	37,2	44,4	41,1	51,8	60,0	61,6	64,2	72,3	80,6	81,2	79,1	68,6	60,6	48,0	85,5

DETTAGLIO DELLE ACCELERAZIONI RILEVATE ALLA TERNA 1 (ADIACENTE BINARIO) PER I SINGOLI TRANSITI FERROVIARI – ASSE Z

Caratteristiche degli eventi					Valori in frequenza in 1/3 di ottava [hz] – Valori riferiti alla Terna 1 – Asse Z																			Livello Tot	
Evento	Data / Ora	Binario	Tipo	Durata (s)	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	Pesato
1	13/05/2021 12:48	P	IC	11	32,4	41,2	33,8	33,4	36,1	43,2	38,8	43,0	47,5	59,9	61,8	65,0	64,6	75,3	80,7	83,3	81,1	73,7	64,5	61,1	87,2
2	13/05/2021 13:01	P	M	38	30,5	31,5	41,3	31,1	30,2	30,7	43,0	53,1	58,8	58,2	55,9	58,1	59,5	75,4	71,0	76,8	73,2	68,2	64,5	56,5	81,1
3	13/05/2021 13:22	P	R	10	36,4	34,1	31,3	32,0	32,0	39,7	40,1	34,4	41,2	51,7	59,1	59,8	60,3	72,9	81,1	86,1	81,0	75,5	71,1	60,5	88,7
4	13/05/2021 13:37	D	R	8	24,0	28,4	32,0	26,7	29,1	37,7	43,9	47,6	46,0	50,4	63,4	62,3	70,4	74,1	83,4	84,3	77,3	69,4	61,8	52,3	87,7
5	13/05/2021 13:38	P	M	19	35,7	33,3	39,8	38,4	41,0	46,0	41,8	46,9	56,5	63,4	61,1	61,9	65,1	70,7	80,0	88,0	80,3	70,1	64,5	59,7	89,4
6	13/05/2021 13:45	D	M	20	25,2	28,2	32,4	33,9	36,9	40,7	53,3	54,1	57,7	64,0	63,5	72,0	68,0	69,4	73,7	85,4	82,0	68,5	61,8	53,2	87,6
7	13/05/2021 14:02	P	M	24	30,2	27,6	31,0	37,2	34,1	39,1	39,3	51,8	50,0	59,7	65,7	64,1	65,0	70,6	80,3	87,0	80,7	72,6	67,7	56,4	88,9
8	13/05/2021 14:19	D	M	19	33,6	25,5	26,5	28,3	32,2	36,4	42,2	50,4	55,8	63,0	65,7	66,8	74,9	75,3	84,0	89,1	79,4	72,9	64,3	55,8	91,0
9	13/05/2021 14:22	P	R	8	37,7	38,9	37,7	32,1	35,3	33,9	45,5	50,4	45,0	49,8	61,2	63,8	69,2	65,7	80,3	86,8	79,6	73,5	68,5	61,5	88,6
10	13/05/2021 14:37	D	R	9	31,2	32,9	31,0	30,0	28,6	35,2	39,0	45,8	45,2	54,2	63,2	66,0	65,1	76,0	79,1	83,5	82,5	70,8	60,0	52,0	87,4
11	13/05/2021 14:55	D	M	15	30,1	27,7	27,5	25,1	31,2	35,7	41,0	49,0	53,4	59,7	64,7	63,7	73,5	71,8	84,8	88,0	80,9	73,9	67,1	59,9	90,5
12	13/05/2021 15:22	P	R	7	36,9	35,8	37,9	36,7	36,3	37,2	45,4	47,2	40,5	51,0	56,6	63,8	62,0	69,3	80,9	77,8	80,9	73,8	62,4	56,5	85,4
13	13/05/2021 15:33	P	M	19	38,7	50,5	39,3	36,0	40,0	44,1	53,4	53,4	55,7	62,9	63,4	58,6	67,2	68,9	83,5	83,4	84,0	70,2	63,1	60,0	88,6
14	13/05/2021 15:38	D	R	9	30,6	32,4	33,8	29,0	31,9	35,5	46,8	49,9	48,2	53,3	63,3	65,8	68,0	74,6	83,3	86,0	81,0	71,0	67,2	61,2	89,0
15	13/05/2021 16:04	D	M	26	31,2	27,1	33,9	38,9	40,2	36,7	42,2	43,5	51,9	59,7	59,8	63,4	70,6	73,8	78,0	82,9	80,8	73,3	67,3	58,4	86,5
16	13/05/2021 16:21	P	R	8	37,8	26,9	35,1	34,4	32,0	40,1	43,9	44,1	40,2	51,4	53,2	61,4	63,6	68,9	78,6	80,8	83,0	73,2	62,7	56,7	86,3
17	13/05/2021 16:38	D	R	9	27,8	30,0	28,8	29,9	30,5	30,2	42,3	47,1	47,2	52,2	62,8	63,0	67,7	73,4	82,7	84,9	81,2	70,2	64,0	55,5	88,3
18	13/05/2021 16:44	D	M	17	29,7	25,1	27,7	28,9	32,3	34,8	42,4	47,4	53,1	66,1	69,6	65,5	71,9	73,8	83,4	86,7	81,7	73,3	65,1	56,3	89,6
19	13/05/2021 16:51	P	M	23	33,7	34,4	35,0	37,2	37,3	40,2	39,3	45,2	48,5	52,8	57,6	60,4	62,1	68,7	73,0	81,8	80,6	72,1	71,8	65,5	85,2
20	13/05/2021 17:23	P	R	9	36,8	39,2	32,5	34,5	31,1	41,3	41,7	39,1	44,9	49,8	58,4	62,5	63,8	70,6	76,8	84,4	82,6	71,5	65,0	62,1	87,3
21	13/05/2021 17:37	D	R	7	22,9	30,5	33,1	27,2	25,8	32,3	42,6	45,0	46,7	48,9	63,0	61,6	67,1	69,8	81,8	80,7	79,1	68,9	64,0	52,0	85,8
22	13/05/2021 17:46	D	M	25	39,7	36,4	35,7	33,4	32,4	37,1	37,8	46,9	54,4	62,5	63,0	73,9	73,3	72,1	80,9	83,1	83,7	70,9	62,8	54,1	88,1
23	13/05/2021 18:06	P	ES	8	23,3	30,2	50,7	41,4	38,3	42,8	41,4	47,8	49,0	51,7	62,9	67,3	68,2	69,0	80,5	84,1	80,1	75,5	68,5	55,0	87,3
24	13/05/2021 18:22	P	R	10	39,6	38,0	32,3	32,7	32,6	38,2	44,2	44,4	39,7	54,0	60,0	65,5	63,8	71,2	81,6	84,5	82,5	74,7	70,9	64,6	88,3
25	13/05/2021 18:30	D	M	20	25,5	26,7	24,9	26,4	26,4	30,3	36,2	49,3	51,5	59,9	61,4	66,9	73,6	74,5	82,5	87,2	78,7	70,0	64,2	52,9	89,3
26	13/05/2021 18:38	D	R	8	25,3	29,3	28,7	26,1	24,0	31,2	37,8	45,9	42,4	51,9	61,2	63,3	66,0	74,0	82,4	82,9	80,9	70,3	62,4	49,8	87,3