

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N.443/01**

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO PRELIMINARE

**LINEA AV/AC VERONA - PADOVA
LOTTO FUNZIONALE II
ATTRAVERSAMENTO DI VICENZA**

**STUDIO DELLE VIBRAZIONI
RELAZIONE GENERALE**

SCALA:

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

IN01 00 R 11 RG IM0006 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione definitiva	F. Giancola	Giugno 2017	S. Relandini	Giugno 2017	B. M. Bianchi	Giugno 2017	F. Arduni	Giugno 2017

n. Elab.:

ITALFERR S.p.A.
 Direzione Tecnica
 Infrastrutture Centro
 Dott. Ing. Fabrizio Arduni
 Ordine degli ingegneri della Provincia di Padova
 n° 16392 sez. A

INDICE

1	PREMESSA	2
2	RIFERIMENTI LEGISLATIVI	3
2.1	ISO 2631 "VALUTAZIONE SULL'ESPOSIZIONE DEL CORPO UMANO ALLE VIBRAZIONI"	3
2.2	UNI 9614 "MISURA DELLE VIBRAZIONI NEGLI EDIFICI E CRITERI DI VALUTAZIONE DEL DISTURBO"	4
2.3	UNI 9916 "CRITERI DI MISURA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE VIBRAZIONI SUGLI EDIFICI",	5
3	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA	8
3.1	MODELLO PREVISIONALE	8
3.2	CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE	9
3.3	LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE VIBRAZIONALI	14
4	INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ E PREVISIONE DELL'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO	22
4.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	22
4.2	TRAFFICO DI ESERCIZIO	23
4.3	LIVELLO DI EMISSIONE COMPLESSIVO	23
5	CONCLUSIONI.....	29

1 PREMESSA

Il presente documento contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale nell'ambito del progetto preliminare della linea A.V./A.C. Verona - Padova – Lotto funzionale II nel tratto di attraversamento di Vicenza compreso tra le progressive chilometriche 44+250 e 49+827 della linea AV.

Il lavoro tiene conto delle indicazioni delle norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, e si basa anche sui risultati della campagna di rilievi vibrometrici appositamente eseguita nell'ambito della Progettazione in oggetto e a cui si fa riferimento per i dettagli del caso.

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

Il valore complessivo di accelerazione che tiene conto anche del modello di esercizio all'orizzonte temporale di progetto, è confrontato con i limiti indicati dalle norme tecniche per il periodo diurno (07-22) e il periodo notturno (22-07), così come previsto dal "Manuale di Progettazione delle Opere Civili di RFI (cod. RFIDTCSIAGMAIFS001A – dic. 2016)".

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA AV/AC VERONA PADOVA Lotto Funzionale II. Attraversamento di Vicenza Studio vibrazionale					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA IN01	LOTTO 00	CODIFICA R11	DOCUMENTO RG IM 0006 002	REV. A

2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI

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

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

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

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

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

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

dove $a(t)$ è l'accelerazione in funzione del tempo, T è la durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione. La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X,Y e alla combinazione dei tre assi. L'Annex A della ISO 2631-2 (che non rappresenta peraltro parte 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.

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

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

Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente, a_w e L_w . Quest'ultimo, espresso in dB, è definito come $L_w = 20 \log_{10} (a_w / 10^{-6} \text{ ms}^{-2})$. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse z prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 4 e 1 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed una attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi x e y prevede un'attenuazione nulla tra 1 e 2 Hz e una attenuazione di 6 dB per ottava tra 2 e 80 Hz. La banda di frequenza 1-80 Hz deve essere limitata da un filtro passabanda con una pendenza asintotica di 12 dB per ottava. Nel caso la postura del soggetto esposto non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti. In alternativa, i rilievi su ogni asse vanno effettuati utilizzando in successione i filtri sopraindicati; ai fini della valutazione del disturbo verrà considerato il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza più elevato. Nell'Appendice della norma UNI 9614, che non costituisce parte integrante della norma, si indica che la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante deve essere

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

2.3 UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici",

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 e in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3. La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime. La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio, tuttavia le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio. L'Appendice A della UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Nell'ambito di questa classificazione, un

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

Le strutture comprese nella classificazione riguardano:

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

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

- la categoria della struttura
- le fondazioni
- la natura del terreno

La categoria di struttura (Prospetto II) è classificata in una scala da 1 a 8 (a numero crescente di categoria corrisponde una minore resistenza alle vibrazioni) in base ad una ripartizione in due gruppi di edifici, edifici vecchi e antichi o strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1) e edifici e strutture moderne (Gruppo 2). L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione e al numero di piani.

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

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

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

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

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

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

	LINEA AV/AC VERONA PADOVA Lotto Funzionale II. Attraversamento di Vicenza Studio vibrazionale					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA IN01	LOTTO 00	CODIFICA R11	DOCUMENTO RG IM 0006 002	REV. A

3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA

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

Le vibrazioni sono in grado di determinare effetti indesiderati sulla popolazione esposta e sugli edifici. Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. Le vibrazioni possono causare danni agli edifici in alcune situazioni, o in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati e prolungati livelli di sollecitazione dinamica. Tale situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance.

Nel caso specifico il territorio interessato dal progetto è di tipo urbano, caratterizzato da un'alternanza di aree residenziali e strutture terziarie e del produttivo industriale e artigianale. La tipologia edilizia è costituita per le residenze da fabbricati prevalentemente con struttura in c.a. con altezze dei piani variabili.

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

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

3.1 Modello previsionale

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

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

	LINEA AV/AC VERONA PADOVA Lotto Funzionale II. Attraversamento di Vicenza Studio vibrazionale					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA IN01	LOTTO 00	CODIFICA R11	DOCUMENTO RG IM 0006 002	REV. A

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

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

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

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

Il livello di base L(x₀) è generalmente ricavato da misure sperimentali svolte in adiacenza alle linee ferroviarie a distanze comprese tra 5 m e 30 m.

3.2 Caratterizzazione della sorgente

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

a) Materiale rotabile:

- tipologia dei veicoli;
- carico per ruota;
- lunghezza del veicolo;
- interperno; passo del carrello;
- caratteristiche di aggressività;
- condizioni di alterazione dell'interfaccia ruota-rotaia
- rigidità e capacità dissipativa della sospensione primaria del carrello del veicolo
- caratteristiche dei sistemi di attacco della rotaia

b) Armamento

- massa della rotaia

	LINEA AV/AC VERONA PADOVA Lotto Funzionale II. Attraversamento di Vicenza Studio vibrazionale					
	RELAZIONE GENERALE	COMMESSA INOI	LOTTO 00	CODIFICA R11	DOCUMENTO RG IM 0006 002	REV. A

- rigidzze
- smorzamenti
- masse
- coefficienti di difettosità

I dati utilizzati per la caratterizzazione della sorgente si riferiscono ad una campagna di rilevamenti eseguita lungo l'attuale linea in esercizio. La strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione di corpo ferroviario in rilevato, lungo la via di propagazione, ed all'interno di un fabbricato, per complessivi quattro punti di misura in una unica sezione. I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito, secondo il quadro sinottico sotto riportato.

Numero di treni rilevato durante le misure VIB 01		
Tipologia treni	Periodo Diurno	Periodo Notturno
ES	42	5
IC/EN	29	7
Merci	36	23
Regionali	87	12
Totale	194	47

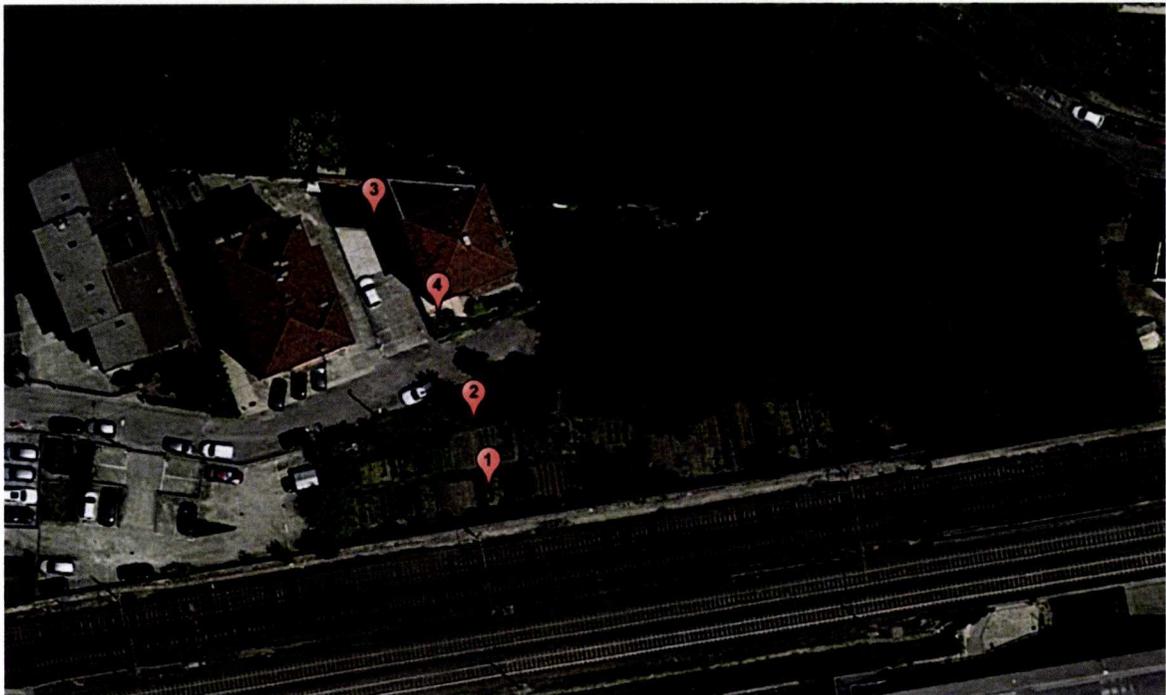
Le quattro terne accelerometriche sono state così posizionate:

- Terna 1: in un terreno agricolo, in prossimità dei binari, a circa 7,5 metri da questi;
- Terna 2: nello stesso terreno agricolo della Terna 1, ma a circa 15 metri dalla ferrovia;
- Terna 3: all'interno di un edificio residenziale, a piano terra, a circa 40 metri dalla linea;
- Terna 4: all'esterno dell'edificio di cui alla terna 3, a circa 30 metri dalla linea;

le quattro terne hanno rilevato i transiti ferroviari contemporaneamente con il seguente orientamento: Asse x: ortogonale alla linea; Asse Y: parallelo alla linea; Asse Z verticale.



Area di indagine



Sezione di rilievo composta da quattro terne distanti dai binari 7.5 m, 15 m, 30 m, 40 m (interno edifi.)

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti ferroviari riportato nell'allegato report di misura, per un totale di 256 eventi, si distinguono i valori di accelerazione emessi dalle diverse tipologie di convoglio. Alcuni eventi sono stati esclusi per anomalie di registrazione, come ad esempio la sovrapposizione nel transito di più treni nello stesso intervallo temporale.

In questo tratto, la ferrovia è composta da quattro binari, di cui due relativi alla linea principale Verona-Padova (binari 3-4) e due relativi alle linee Vicenza-Schio e Vicenza-Treviso (binari 1-2).

Tipologie di Treno	Periodo Diurno	Periodo Notturno
Binario 1	48	6
ES	-	-
IC	-	-
Merci	9	1
Regionale	39	5
Binario 2	18	7
ES	-	-
IC	-	-
Merci	9	6
Regionale	9	1
Binario 3	59	19
ES	19	4
IC	18	4
Merci	7	8
Regionale	15	3
Binario 4	69	15
ES	23	1
IC	11	3
Merci	11	8
Regionale	24	3

Tabella di sintesi del numero treni rilevato

Di seguito, si riporta una tabella di sintesi con indicati i valori medi delle accelerazioni dei livelli equivalenti espressi in decibel per le quattro tipologie di treno che hanno circolato, separatamente per i quattro binari.

Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Binario 1	Linea Treviso – Dir. Treviso											
ES												
IC												
Merci	83,7	84,0	77,5	78,0	78,8	75,4	60,6	59,3	58,5	75,5	75,4	66,6
Regionale	80,6	82,7	72,6	76,4	77,0	70,6	54,8	62,9	51,5	71,4	71,6	61,8
Binario 2	Linea Treviso – Dir. Vicenza											
ES												
IC												
Merci	84,4	82,7	75,9	76,6	77,5	71,1	58,5	58,1	56,7	72,1	72,1	64,5
Regionale	83,1	80,3	73,5	74,6	75,5	69,2	60,9	57,4	56,5	69,9	70,2	62,6
Binario 3	Linea VR-PD – Dir. Padova											
ES	79,0	76,7	69,5	72,1	72,8	65,0	55,2	52,5	58,0	66,9	66,9	62,7
IC	81,3	78,9	69,3	74,2	74,9	63,7	55,0	53,9	57,4	67,5	67,8	61,8
Merci	82,2	79,8	72,6	74,9	75,4	66,9	59,0	59,7	58,5	68,7	68,7	62,9
Regionale	80,8	78,3	69,3	73,6	74,0	64,2	54,7	53,7	56,5	66,6	66,7	61,2
Binario 4	Linea VR-PD – Dir. Verona											
ES	78,3	75,9	69,9	73,3	73,1	64,7	58,0	55,8	56,4	66,5	65,9	62,5
IC	80,3	77,8	70,0	75,9	75,9	65,5	54,8	52,7	54,5	66,3	65,8	61,1
Merci	78,8	76,6	72,9	75,3	75,2	67,1	62,5	60,0	60,8	68,5	67,6	64,0
Regionale	78,9	76,5	68,8	73,2	73,4	63,4	54,2	52,9	54,4	64,8	64,4	59,8

Livello equivalente medio (Leq,te in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

Considerando le intere ventiquattro ore di misura, si osserva che nel periodo diurno, compreso tra le 07:00 e le 22:00, il livello equivalente delle accelerazioni sull'asse z indotte dal totale dei convogli transitati sulla linea è di circa 62 decibel sulla Terna 1, circa 58 decibel sulla Terna 2, circa 46 decibel sulla Terna 3 (interno edificio) e circa 52 decibel sulla Terna 4.

Analogamente, considerando il periodo notturno compreso tra le 22:00 e le 07:00, si osservano accelerazioni complessive mediate sull'asse z di circa 59 decibel sulla Terna 1, circa 54 decibel sulla Terna 2, circa 44 decibel sulla Terna 3 e circa 50 decibel sulla Terna 4.

Si osserva anche che sul piano x-y i valori misurati in esterno sono un po' più alti rispetto all'asse z, mentre tale andamento si inverte nella terna di rilievo interna all'edificio.

3.3 La propagazione delle onde vibrazionali

L'attenuazione geometrica

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

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

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 propagazione delle onde nei terreni sciolti

La varietà delle conformazioni morfologiche del terreno comporta le maggiori incertezze di valutazione della propagazione delle vibrazioni. I fattori che possono influire nella determinazione dell'attenuazione nel terreno sono molteplici. I più determinanti sono costituiti dalla natura del mezzo, dal suo grado di costipazione, dall'attrito statico fra i granuli e quindi dalla granulometria, dalla fratturazione del mezzo, dalla presenza di acqua, e da altri fattori la cui differente combinazione può determinare gradi di attenuazione differenti in mezzi litologicamente simili.

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

In generale le rocce lapidee trasmettono tutta la gamma di frequenze, e principalmente le più alte, mentre le rocce sciolte lasciano passare solo le basse frequenze, che comunque corrispondono a quelle di risposta degli edifici. Inoltre mentre le rocce lapidee difficilmente

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

I ricettori interessati dallo studio sorgono prevalentemente su terreni sciolti di varia natura e granulometria.

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:

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

dove:

- x : distanza dall'asse della linea ferroviaria
- Ω : frequenza [rad*s⁻¹]
- η : coeffic. di assorbimento del terreno (fattore di perdita)

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

- c : velocità di propagazione dell'onda longitudinale nel terreno

RELAZIONE GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN01	00	R11	RG IM 0006 002	A	16 di 30

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:

$$A_1 = 20 \cdot \log\left[\frac{1 + d_c \cdot c_c}{d_a \cdot c_a}\right]^2$$

dove:

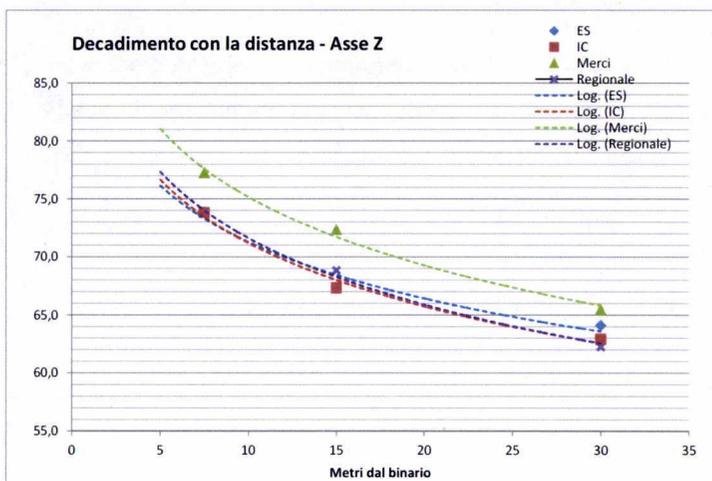
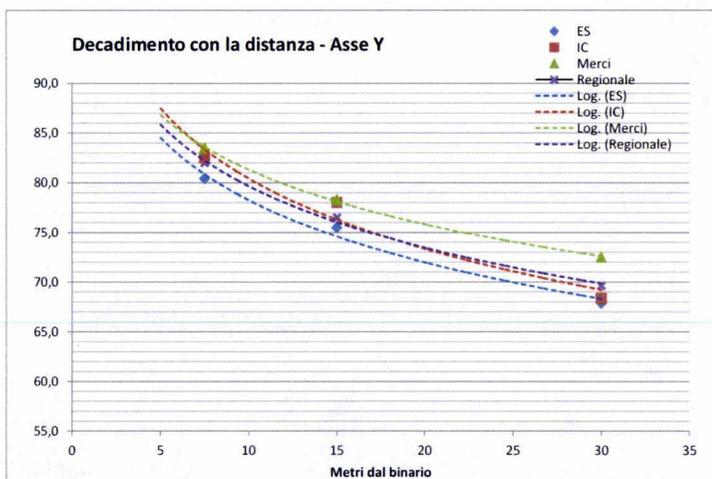
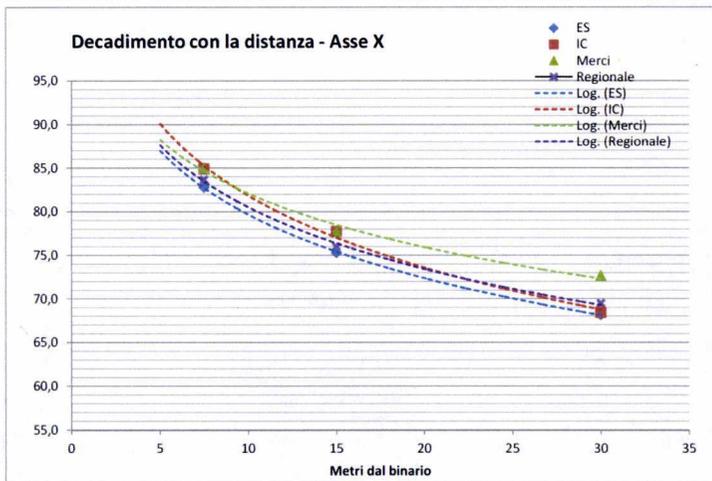
d_c, d_a = densità dei suoli "c" e "a"

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

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

In considerazione dei terreni interessati dal tracciato di progetto, si è proceduto sia a valutazioni teoriche sulla propagazione, sia all'utilizzazione di una curva sperimentale di regressione per la trasmissione delle vibrazioni nel terreno.

Come riportato nelle immagini seguenti attraverso il livello medio di accelerazione, ponderato per "postura non nota", in corrispondenza dei tre punti di misura, si osserva che su tutti i tre assi di rilievo l'andamento con la distanza è analogo con una progressiva diminuzione dello stesso ordine di grandezza per tutte le tipologie di treno.



Andamento del Leq,te in funzione della distanza dal binario, ricavato dai rilievi sperimentali in corrispondenza della Terna 1 (7,5 metri), della Terna 2 (15 metri) e della Terna 4 (30 metri).

La propagazione delle onde in presenza di opere d'arte

In presenza di viadotti, l'opera d'arte determina una riduzione rispetto alla propagazione in rilevato, in quanto il fenomeno vibratorio incontra ulteriori discontinuità del mezzo (fondazioni pile/terreno) e la sorgente diventa puntiforme in corrispondenza di ogni pila (invece che lineare come nel caso del rilevato), con una divergenza geometrica funzione del quadrato della distanza (invece che lineare con la distanza).

Nel caso di galleria, l'energia vibrazionale si distribuisce sull'intera sezione d'opera dalla quale viene assorbita maggiormente rispetto al caso del rilevato sia per la maggiore massa opposta dalla struttura in c.a. dell'opera, sia per l'ulteriore discontinuità del mezzo tra sezione della galleria e terreno.

La propagazione delle onde nelle strutture edilizie

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

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

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

La propagazione nel corpo dell'edificio è determinante sia per il disturbo agli abitanti sia per la resistenza delle strutture in quanto i pavimenti, pareti e soffitti degli edifici sono soggetti a significative amplificazioni delle vibrazioni rispetto a quelle trasmesse dalle fondazioni. In molti casi la risonanza delle strutture orizzontali può causare un'amplificazione delle vibrazioni nel campo di frequenze comprese tra 10 e 30 Hz. I problemi maggiori si verificano quando la frequenza di risonanza dei solai coincide con la frequenza di picco dello spettro di vibrazione del terreno. Negli edifici multipiano un valore di attenuazione delle vibrazioni da piano a piano è

approssimativamente pari a 3 dB. I risultati di misure sperimentali (Ishii e Tachibana) in un edificio a 10 piani fuori terra con struttura in calcestruzzo armato e acciaio mostrano un'attenuazione di circa 1 dB alle basse frequenze in corrispondenza dei piani alti e maggiore di 3 dB ai primi piani.

La norma DIN 4150 riferisce che, nel caso di vibrazioni orizzontali le frequenze proprie dei piani di un edificio seguono all'incirca la legge $f = 10/n$, essendo n il numero del piano. Per la componente verticale si hanno circa $f = 10$ Hz per pavimenti poco rigidi e $f = 30$ Hz per pavimenti molto rigidi. Gli incrementi per risonanza possono essere dell'ordine di 3+8 volte, con rari casi di incrementi fino a 15 volte.

Risultati analoghi sono stati ottenuti nel corso di misure eseguite dalle Ferrovie Svizzere: generalmente si ha un'attenuazione nelle componenti orizzontali x e y ($f = 0+80$ Hz) tra suolo e piano terra degli edifici ma si verifica un'amplificazione della componente verticale z tra suolo e piano terra e suolo-primo piano. Mediamente l'amplificazione sul pavimento è di 5 dB per frequenze di risonanza di circa 20 Hz, ma può arrivare anche a 20 dB nel caso del pavimento del piano terra con frequenza di risonanza di circa 40 Hz.

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

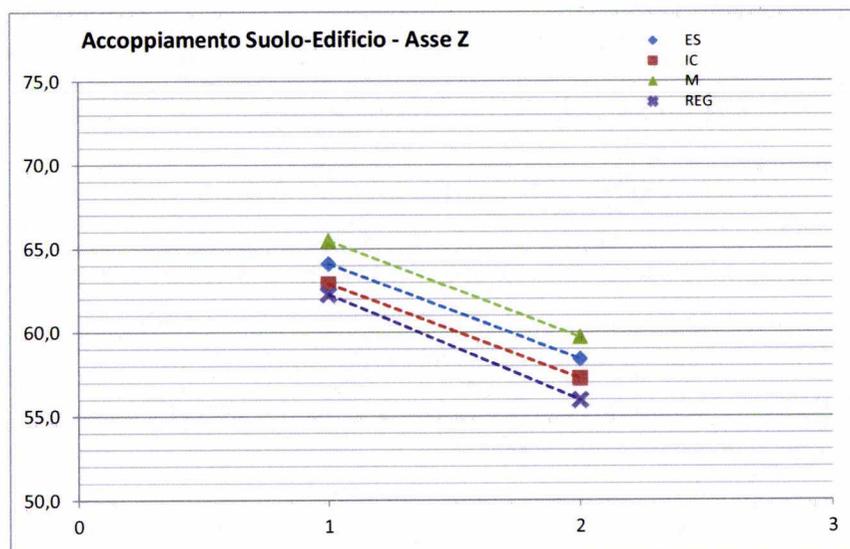
Le tipologie edilizie prevalenti in adiacenza al tracciato sono rappresentate da edifici storici in muratura, con fondazioni direttamente immerse nel terreno, e edifici di recente edificazione con ossatura in cemento armato e fondazioni continue. L'edificazione appare omogenea e caratterizzata da palazzine con struttura in c.a. e altezza media di 2-5 piani.

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

L'approccio cautelativo con cui viene affrontato il tema è confermato anche dalle indagini in campo mediante le quali, per la riduzione del segnale per accoppiamento suolo-fondazione ed eventuale amplificazione per effetto di risonanza dei solai, sono state estratte le medie dei transiti

delle tipologie di treno rappresentative delle vibrazioni nelle posizioni di Terna 3 e Terna 4, cioè, interno edificio al piano terra ed esterno edificio, ma in adiacenza ad esso.

Per l'asse z, dai risultati delle misure alle terne 3 e 4, si evince una media complessiva riferita a tutte le tipologie di treno di circa 5-6 decibel; come indicato anche nel grafico seguente, per quanto riguarda invece gli altri assi di riferimento, si evince un abbattimento maggiore e compreso tra i 9 e gli 11 decibel. Tale differenza può dipendere dalla mancanza della componente di amplificazione delle accelerazioni per risonanza dei solai, che viene ad evidenziarsi maggiormente sulla componente z.



Attenuazione complessiva per accoppiamento suolo-fondazioni e amplificazione risonanza solaio, ricavata dai rilievi sperimentali del Leq,te sull'attuale linea in esercizio, lungo l'asse z

Rumore trasmesso per via solida dalle strutture

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

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

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

dove:

L_p : livello di pressione sonora in dB (0 dB = 20 μ Pa)

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

f: frequenza per bande a terzi di ottava in Hz

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

	LINEA AV/AC VERONA PADOVA Lotto Funzionale II. Attraversamento di Vicenza Studio vibrazionale					
	Studio vibrazionale					
RELAZIONE GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	INOI	00	R11	RG IM 0006 002	A	22 di 30

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

4.1 Considerazioni generali

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

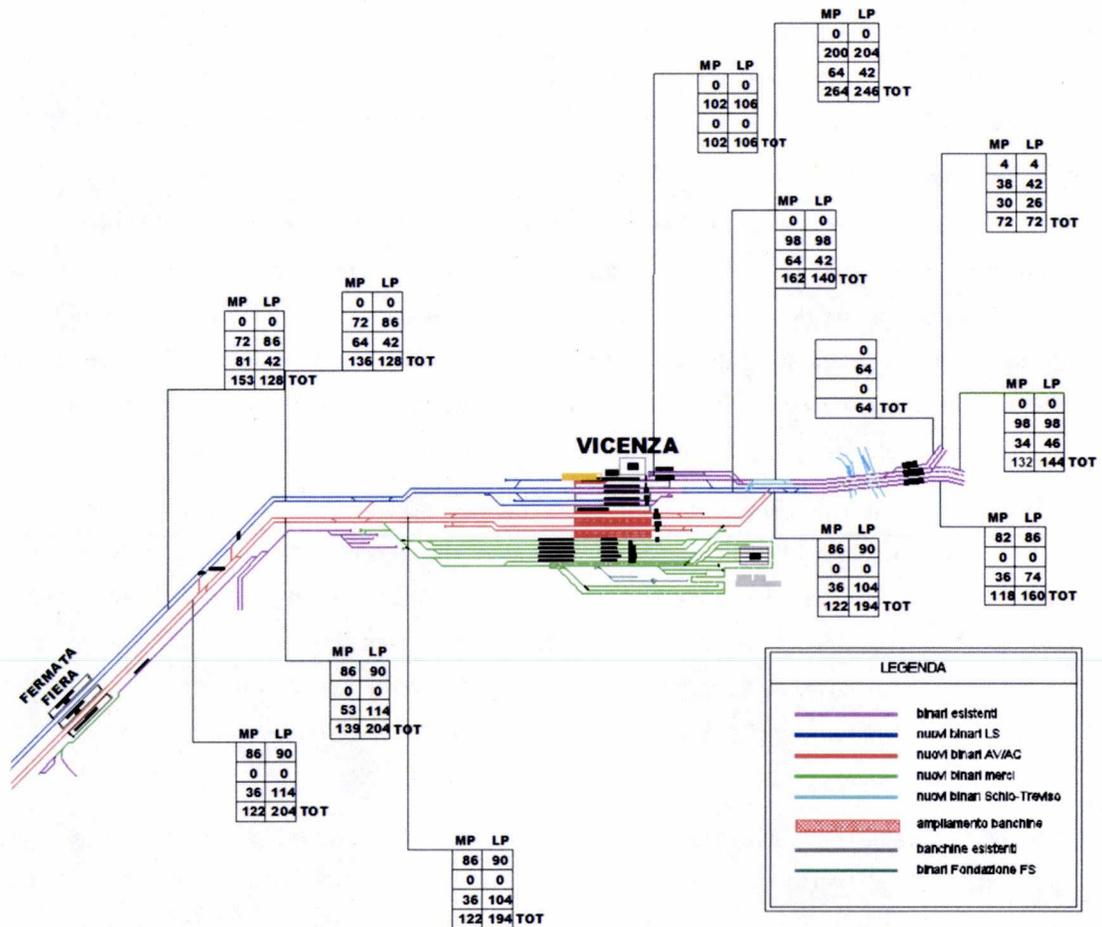
Per quanto riguarda l'individuazione di criticità, in via cautelativa, si è fatto riferimento ai limiti indicati dalla norma ISO 2631/UNI 9614 per le vibrazioni di livello costante, in particolare per la condizione di postura del corpo non nota, per la quale si indicano soglie uguali per tutti i tre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

Applicando i modelli di calcolo precedentemente descritti e le funzioni di trasferimento sperimentali, l'analisi di criticità viene descritta mediante il calcolo dell'emissione vibrazionale su ogni binario in funzione del modello di esercizio e il confronto con i suddetti livelli soglia della norma UNI 9614. Considerando inoltre che la fase di esercizio è rappresentata da un fascio di quattro binari, di cui due appartenenti alla linea storica e due appartenenti alla nuova linea AV/AC, la criticità sarà anche analizzata nella condizione più gravosa possibile, ossia di transito dei convogli ferroviari contemporaneamente su tutti i quattro binari.

In linea generale, si osserva che i valori di riferimento di cui alla norma UNI 9614 sono rispettati per tutti i ricettori posti in prossimità del nuovo tracciato ferroviario. Considerando tipologie edilizie sia in c.a. sia in muratura (con luci di solaio di 4 m) e attraversamenti litologici tipici dell'area in esame, si è giunti al calcolo della distanza dalla sorgente a cui il livello di accelerazione ponderato risulta inferiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa UNI 9614 per i ricettori residenziali nel periodo diurno e notturno lungo tutti gli assi. In assenza però di dati precisi per ciascun edificio analizzato (terreno, fondazioni, strutture) le valutazioni previsionali possono risentire di variazioni anche apprezzabili: a tal fine, nelle valutazioni conclusive si terrà conto in via cautelativa di un margine di tolleranza tale da rappresentare anche la variabilità dei parametri di input.

4.2 Traffico di esercizio

Il programma di esercizio è quello dello Studio di Fattibilità 2014. Detto modello di esercizio prevede due scenari distinti: Medio e Lungo Periodo (vedi figura).



Scenari di traffico Studio di fattibilità 2014

In via cautelativa, le simulazioni sono state eseguite per gli scenari più critici, cioè:

- per i ricettori lato Linea storica, lo scenario di medio periodo;
- per i ricettori lato Linea AV/AC, lo scenario di lungo periodo.

4.3 Livello di emissione complessivo

Le accelerazioni complessivamente prodotte dall'esercizio della linea ferroviaria di progetto sono individuate attraverso l'applicazione dell'emissione vibrazionale delle singole tipologie di treno al

RELAZIONE GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INOI	00	R11	RG IM 0006 002	A	24 di 30

traffico di esercizio previsto. Cioè, in riferimento alle postazioni di indagine effettuate, ma tenendo conto:

- della modalità di propagazione delle onde vibrazionali con la distanza analizzata con gli esiti dei rilievi specifici sul territorio;
- della sezione di progetto e delle distanze relative dei binari;
- del tempo di esposizione medio per tipologia di treno;
- del programma di esercizio atteso nelle due situazioni più critiche;

nelle tabelle seguenti si evince, sulle quattro terne, il valore complessivo di esposizione nel periodo diurno e nel periodo notturno.

Lato Linea Storica – Periodo Diurno – Dettaglio emissioni per binario e tipo di treno												
Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Binario 1	Linea Storica – Dir. Padova											
ES												
IC	53,9	51,5	42,8	46,7	47,0	36,3	23,6	22,0	24,8	36,0	35,9	30,5
Merci	64,4	62,9	56,6	57,1	57,7	51,7	42,7	41,6	41,2	54,2	54,0	47,0
Regionale	68,4	66,7	58,4	60,7	61,2	53,5	40,8	42,0	39,1	52,6	52,7	45,4
Binario 2	Linea Storica – Dir. Verona											
ES												
IC	52,1	49,6	41,0	45,7	46,0	35,3	23,2	21,6	24,4	35,5	35,4	30,0
Merci	62,5	61,0	54,8	56,1	56,6	50,7	42,3	41,2	40,8	53,6	53,4	46,4
Regionale	66,5	64,9	56,6	59,7	60,2	52,5	40,4	41,6	38,7	52,0	52,2	44,8
Binario 3	Linea AV/AC – Dir. Padova											
ES												
IC	58,4	56,0	49,5	52,5	52,7	44,6	35,3	32,9	35,7	45,1	44,8	41,1
Merci	58,5	56,0	47,4	52,9	53,2	42,5	31,2	29,6	32,4	43,2	43,2	37,7
Regionale	57,7	56,2	50,0	52,1	52,6	46,7	39,1	37,9	37,6	50,2	50,0	43,0
Binario 4	Linea AV/AC – Dir. Verona											
ES												
IC	57,6	55,2	48,7	51,9	52,1	44,0	35,0	32,6	35,4	44,7	44,4	40,7
Merci	57,7	55,2	46,6	52,3	52,6	41,9	30,8	29,3	32,1	42,8	42,8	37,3
Regionale	56,9	55,4	49,2	51,5	52,0	46,1	38,8	37,6	37,2	49,8	49,6	42,6

LEQ diurno in dB delle singole tipologie di treno, riferito al progr. di esercizio medio periodo

Lato Linea Storica – Periodo Notturno – Dettaglio emissioni per binario e tipo di treno												
Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Binario 1	Linea Storica – Dir. Padova											
ES												
IC												
Merci	64,4	62,9	56,6	57,1	57,7	51,7	42,7	41,6	41,2	54,2	54,0	47,0
Regionale	58,8	57,2	48,9	51,2	51,7	44,0	31,3	32,5	29,5	43,0	43,2	35,8
Binario 2	Linea Storica – Dir. Verona											
ES												
IC												
Merci	62,5	61,0	54,8	56,1	56,6	50,7	42,3	40,8	40,8	53,6	53,4	46,4
Regionale	57,0	55,3	47,0	50,1	50,6	43,0	30,9	29,1	29,1	42,5	42,6	35,3
Binario 3	Linea AV/AC – Dir. Padova											
ES	47,0	44,6	38,0	41,1	41,3	33,2	23,9	21,5	24,3	33,7	33,4	29,7
IC	50,6	48,1	39,5	45,0	45,3	34,6	23,3	21,7	24,5	35,3	35,3	29,8
Merci	57,7	56,2	50,0	52,1	52,6	46,7	39,1	37,9	37,6	50,2	50,0	43,0
Regionale												
Binario 4	Linea AV/AC – Dir. Verona											
ES	46,2	43,8	37,2	40,5	40,7	32,6	23,5	21,2	24,0	33,3	33,0	29,3
IC	49,8	47,3	38,7	44,4	44,7	34,0	22,9	21,4	24,2	34,9	34,9	29,4
Merci	56,9	55,4	49,2	51,5	52,0	46,1	38,8	37,6	37,2	49,8	49,6	42,6
Regionale												

LEQ notturno in dB delle singole tipologie di treno, riferito al progr. di esercizio medio periodo

Lato Linea Storica – Valori di accelerazione complessivi												
Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Periodo Diurno												
LS-DISPARI	70,0	68,3	60,7	62,4	62,9	55,8	44,9	44,8	43,3	56,5	56,5	49,3
LS-PARI	68,1	66,4	58,9	61,4	61,9	54,8	44,5	44,4	42,9	56,0	55,9	48,8
AV-DISPARI	63,0	60,9	53,9	57,3	57,6	49,7	41,1	39,6	40,5	52,0	51,8	45,9
AV-PARI	62,2	60,1	53,0	56,7	57,0	49,1	40,7	39,3	40,1	51,6	51,4	45,5
Totale Diurno	73,0	71,3	63,8	66,1	66,6	59,3	49,2	48,8	48,0	60,6	60,5	53,7

RELAZIONE GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INOI	00	R11	RG IM 0006 002	A	26 di 30

Lato Linea Storica – Valori di accelerazione complessivi												
Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Periodo Notturno												
LS-DISPARI	65,5	63,9	57,3	58,1	58,6	52,4	43,0	42,1	41,5	54,5	54,3	47,3
LS-PARI	63,6	62,1	55,5	57,1	57,6	51,4	42,6	41,7	41,1	54,0	53,8	46,8
AV-DISPARI	58,8	57,1	50,6	53,1	53,6	47,1	39,3	38,1	38,0	50,5	50,3	43,4
AV-PARI	58,0	56,3	49,8	52,5	53,0	46,5	39,0	37,8	37,6	50,1	49,9	43,0
Totale Notturno	68,6	67,0	60,4	61,9	62,4	56,1	47,4	46,4	45,9	58,7	58,5	51,6

LEQ diurno e notturno in dB complessivo, riferito al progr. di esercizio medio periodo

Lato Linea AV/AC – Periodo Diurno – Dettaglio emissioni per binario e tipo di treno												
Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Binario 1	Linea AV/AC – Dir. Verona											
ES	62,7	60,3	53,8	55,2	55,4	47,3	36,6	34,2	37,0	46,8	46,5	42,7
IC	62,7	60,3	51,6	55,5	55,8	45,1	32,4	30,8	33,6	44,8	44,7	39,3
Merci	66,5	65,0	58,8	59,2	59,8	53,8	44,8	43,7	43,3	56,3	56,1	49,1
Regionale												
Binario 2	Linea AV/AC – Dir. Padova											
ES	60,9	58,5	51,9	54,2	54,4	46,3	36,2	33,8	36,6	46,2	45,9	42,2
IC	60,8	58,4	49,7	54,5	54,8	44,0	31,9	30,4	33,2	44,2	44,1	38,7
Merci	64,6	63,1	56,9	58,2	58,8	52,8	44,4	43,3	42,9	55,7	55,5	48,5
Regionale												
Binario 3	Linea Storica – Dir. Verona											
ES												
IC	49,8	47,4	38,7	44,2	44,5	33,8	22,5	20,9	23,7	34,5	34,5	29,0
Merci	58,6	57,1	50,9	52,9	53,5	47,6	40,0	38,8	38,4	51,1	50,9	43,9
Regionale	64,2	62,6	54,3	58,1	58,7	51,0	39,7	40,9	37,9	51,1	51,3	43,9
Binario 4	Linea Storica – Dir. Padova											
ES												
IC	49,0	46,5	37,9	43,6	43,9	33,2	22,1	20,6	23,4	34,1	34,1	28,6
Merci	57,8	56,3	50,1	52,3	52,9	47,0	39,6	38,5	38,1	50,7	50,5	43,5
Regionale	63,4	61,8	53,5	57,5	58,1	50,4	39,4	40,6	37,6	50,7	50,9	43,5

LEQ diurno in dB delle singole tipologie di treno, riferito al progr. di esercizio lungo periodo

Lato Linea AV/AC – Periodo Notturno – Dettaglio emissioni per binario e tipo di treno												
Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Binario 1	Linea AV/AC – Dir. Verona											
ES	52,1	49,7	43,2	44,6	44,8	36,7	26,0	23,6	26,4	36,2	35,9	32,1
IC	55,7	53,3	44,6	48,5	48,8	38,1	25,4	23,8	26,6	37,8	37,7	32,3
Merci	66,5	65,0	58,8	59,2	59,8	53,8	44,8	43,7	43,3	56,3	56,1	49,1
Regionale												
Binario 2	Linea AV/AC – Dir. Padova											
ES	50,2	47,9	41,3	43,6	43,8	35,7	25,6	23,2	26,0	35,6	35,3	31,6
IC	53,8	51,4	42,7	47,5	47,8	37,1	25,0	23,4	26,2	37,2	37,2	31,7
Merci	64,6	63,1	56,9	58,2	58,8	52,8	44,4	43,3	42,9	55,7	55,5	48,5
Regionale												
Binario 3	Linea Storica – Dir. Verona											
ES												
IC												
Merci	58,6	57,1	50,9	52,9	53,5	47,6	40,0	38,8	38,4	51,1	50,9	43,9
Regionale	55,5	53,8	45,5	49,4	49,9	42,2	30,9	32,1	29,2	42,4	42,5	35,2
Binario 4	Linea Storica – Dir. Padova											
ES												
IC												
Merci	57,8	56,3	50,1	52,3	52,9	47,0	39,6	38,5	38,1	50,7	50,5	43,5
Regionale	54,7	53,0	44,7	48,8	49,3	41,6	30,6	31,8	28,9	42,0	42,1	34,8

LEQ notturno in dB delle singole tipologie di treno, riferito al progr. di esercizio lungo periodo

Lato Linea AV/AC – Valori di accelerazione complessivi												
Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Periodo Diurno												
AV-PARI	69,1	67,2	60,5	61,8	62,2	55,2	45,6	44,4	44,6	57,0	56,8	50,3
AV-DISPARI	67,3	65,4	58,7	60,8	61,2	54,1	45,2	43,9	44,2	56,5	56,3	49,8
LS-PARI	65,4	63,7	56,0	59,4	59,9	52,7	42,9	43,0	41,3	54,2	54,1	47,0
LS-DISPARI	64,6	62,9	55,2	58,8	59,3	52,1	42,6	42,7	41,0	53,8	53,7	46,6
Totale Diurno	73,0	71,2	64,1	66,4	66,9	59,7	50,3	49,6	49,1	61,6	61,5	54,8

Lato Linea AV/AC – Valori di accelerazione complessivi												
Tipologie di Treno	T1-X	T1-Y	T1-Z	T2-X	T2-Y	T2-Z	T3-X	T3-Y	T3-Z	T4-X	T4-Y	T4-Z
Periodo Notturno												
AV-PARI	67,0	65,4	59,0	59,7	60,2	54,0	44,9	43,8	43,5	56,4	56,2	49,3
AV-DISPARI	65,1	63,5	57,2	58,7	59,2	53,0	44,5	43,4	43,1	55,9	55,7	48,7
LS-PARI	60,3	58,8	52,0	54,5	55,1	48,7	40,5	39,7	38,9	51,6	51,5	44,4
LS-DISPARI	59,5	58,0	51,2	53,9	54,5	48,1	40,1	39,3	38,6	51,2	51,1	44,0
Totale Notturno	70,1	68,5	62,1	63,4	64,0	57,7	49,1	48,0	47,6	60,4	60,2	53,3

LEQ diurno e notturno in dB complessivo, riferito al progr. di esercizio lungo periodo

5 CONCLUSIONI

Il livello di esposizione alle vibrazioni dei ricettori lungo la tratta oggetto di studio è stato analizzato mediante degli algoritmi di calcolo calibrati sul territorio sulla base degli esiti delle misure condotte sulla linea ferroviaria esistente con quattro postazioni contemporanee caratterizzate ognuna da una terna di rilievo lungo gli assi x, y, z. I valori di accelerazione complessivi misurati nelle postazioni di indagine lungo la linea ferroviaria esistente risultano sempre inferiori alle soglie di riferimento citati nella norma UNI 9614.

Considerando infatti gli eventi registrati nel giorno di misura, si evince un livello di accelerazione complessivo sull'asse z lungo la linea ferroviaria esistente di circa 62 decibel nel periodo diurno nella postazione a ridosso della ferrovia, e di circa 59 decibel nel periodo notturno, sempre a ridosso della ferrovia. Allontanandosi da questa, i valori si abbassano notevolmente fino a circa 52 decibel nel periodo diurno e 50 decibel nel periodo notturno, nella terna più lontana in esterno edificio.

Estendendo questi risultati anche alla linea di progetto, tenendo conto della tipologia di terreno sostanzialmente analogo a quello presente nell'area dell'indagine strumentale e del traffico di esercizio¹, si evince che tutti i ricettori presenti sono esposti ad un livello di accelerazione inferiore alle soglie di riferimento della norma UNI 9614.

Agli stessi risultati si giunge per le vibrazioni lungo gli assi x e y per i quali si è potuto constatare un livello di accelerazione superiore a quello registrato lungo l'asse z, ma sempre al disotto delle soglie della citata norma UNI 9614, presso le terne di misura 1 e 2, mentre un livello di accelerazione inferiore all'asse z e, quindi ancora più inferiore delle soglie di riferimento, per quanto riguarda le terne più lontane dai binari (terne 3 e 4).

Le considerazioni svolte sono avvalorate dall'aver assunto condizioni al contorno più severe di quelle che si verificheranno con la realizzazione dell'opera ferroviaria, in quanto:

- La nuova linea ferroviaria sarà costituita da un armamento nuovo e pertanto più levigato rispetto a quello della linea ferroviaria esistente sulla quale sono stati eseguiti i rilievi.
- In presenza di opere d'arte, quali viadotti o gallerie, la riduzione dell'energia trasmessa risulta maggiore rispetto alla sezione in rilevato, in quanto il fenomeno vibratorio incontra

¹ Nel calcolo del livello di esposizione sui ricettori lato pari o lato dispari, si è considerata la situazione più gravosa tra il MdE del medio periodo e il MdE lungo periodo.



LINEA AV/AC VERONA PADOVA
Lotto Funzionale II. Attraversamento di Vicenza

Studio vibrazionale

RELAZIONE GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INOI	00	R11	RG IM 0006 002	A	30 di 30

ulteriori discontinuità del mezzo, quali le fondazioni pile/terreno nel caso del viadotto, o dell'intera sezione del corpo ferroviario, nel caso delle gallerie.