

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA - PRAIA
LOTTO 1B ROMAGNANO - BUONABITACOLO
STUDIO VIBRAZIONALE

Relazione Generale

SCALA:

-

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

RC2A B1 R 22 RG IM0004 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Tamburini	Dicembre 2021	R. Azzarito A. Corvaja	Dicembre 2021	I. D'Amore	Dicembre 2021	C. E. Blani Dicembre 2021

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

1	PREMESSA	3
2	RIFERIMENTI LEGISLATIVI	4
2.1	ISO 2631 “VALUTAZIONE SULL’ESPOSIZIONE DEL CORPO UMANO ALLE VIBRAZIONI”	4
2.2	UNI 9614 “MISURA DELLE VIBRAZIONI NEGLI EDIFICI E CRITERI DI VALUTAZIONE DEL DISTURBO”	5
2.3	UNI 9916 “CRITERI DI MISURA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE VIBRAZIONI SUGLI EDIFICI”	6
3	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA	9
3.1	CONTESTO GEOLOGICO	9
3.2	MODELLO PREVISIONALE	19
3.3	CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE	19
3.4	LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE VIBRAZIONALI	32
4	INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ E PREVISIONE DELL’IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO	45
4.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	45
4.2	TRAFFICO E VELOCITÀ DI ESERCIZIO	46
4.3	LIVELLO DI EMISSIONE COMPLESSIVO	47
4.3.1	<i>Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento</i>	<i>47</i>
4.3.2	<i>Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico</i>	<i>52</i>
4.3.3	<i>Valori attesi per i tratti allo scoperto (Viadotto) sul livello dei periodi di riferimento</i>	<i>54</i>
4.3.4	<i>Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato) sul livello dei periodi di riferimento</i>	<i>59</i>
5	CONCLUSIONI	64

1 PREMESSA

Il presente documento contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale prodotto dall'esercizio della Linea Ferroviaria Salerno – Reggio Calabria: Nuova linea AV Salerno – Reggio Calabria – Lotto 1B, della tratta Battipaglia-Praia, denominato “Romagnano – Buonabitacolo”.

Il lavoro tiene conto delle indicazioni delle norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, basandosi 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 alla sorgente, lungo la linea di propagazione ed agli eventuali ricettori prossimi alla linea ferroviaria è effettuata distinguendo le tipologie di convogli effettivamente transitanti sulla ferrovia, le condizioni geologiche che costituiscono il terreno tra ferrovia e ricettori e la tipologia di ricettore in termini di struttura e numero di piani.

Il valore complessivo di accelerazione, che tiene conto anche del modello di esercizio all'orizzonte temporale di progetto, è confrontato con i limiti indicati dalle norme tecniche per il periodo diurno (07-22) e il periodo notturno (22-07), così come previsto dal “*Manuale di Progettazione delle Opere Civili di RFI (cod. RFI RFIDTCSIAMMAIFS001D di dicembre 2020)*”.

2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI

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

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

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

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

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

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

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

Le vibrazioni devono essere misurate nel punto di ingresso nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione r.m.s. perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in

pedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

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

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

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

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

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

Considerato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo.

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

3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA

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

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

Nel caso specifico il territorio interessato dal progetto è di tipo rurale, caratterizzato da un'alternanza di aree agricole/incolti, residenze sparse e strutture del produttivo industriale e artigianale. La tipologia edilizia è costituita per le residenze da fabbricati generalmente di 1, 2 o 3 piani in parte con struttura in muratura e in parte con struttura in c.a. I terreni affioranti interessati dal tracciato di progetto sono principalmente di tipo sciolto e presentano un comportamento abbastanza omogeneo in relazione al trasferimento di onde vibratorie.

Per quanto riguarda le sorgenti vibrazionali attualmente presenti si evidenzia l'attuale linea ferroviaria che si sviluppa parallelamente alla tratta ferroviaria in progetto.

3.1 Contesto geologico

L'inquadramento geologico dell'area di interesse rientra nel contesto della fascia a thrust dell'Appennino meridionale, ovvero un segmento degli Appennini grossolanamente orientato in senso NO-SE, che appartiene al sistema orogenico circum-Mediterraneo. È collocata tra l'Appennino centrale a nord e l'Arco Calabro-Peloritano a sud, e limitata rispettivamente dalle linee tettoniche Ortona-Roccamonfina e Sanginetto (Bonardi et alii, 2009). Essa rappresenta una "thrust and fold belt" (catena a pieghe e falde) con vergenza orientale, collocata tra il bacino di retroarco tirrenico ad ovest e l'avampaese apulo-adriatico ad est, come evidenziato nella figura seguente

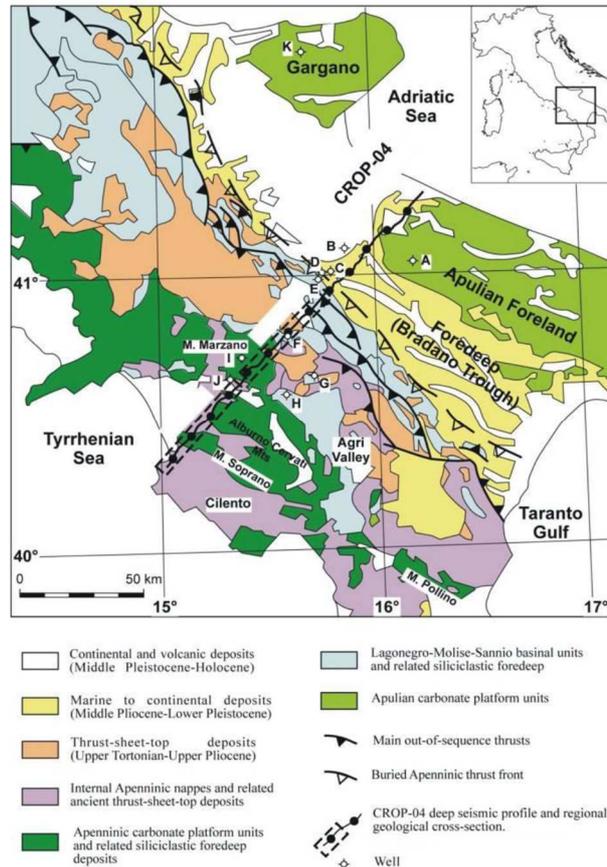


Figura 1 - Carta geologica semplificata degli Appennini meridionali (da Scrocca, 2010, modificato).

La catena si è originata a partire dal Miocene inferiore per la convergenza tettonica che ha portato alla subduzione verso ovest della litosfera oceanica, al di sotto del Blocco Sardo-Corso. L'assetto strutturale dell'Appennino meridionale è il risultato di eventi, compressivi, estensionali e trascorrenti, connessi all'arretramento flessurale della microplacca apulo-adriatica, a partire dal Tortoniano superiore

Nello specifico, nell'area in studio si incontra in maniera completa la struttura fondamentale dell'Appennino meridionale, in quanto sono rappresentate quasi tutte le unità tettoniche che costituiscono il sistema a pieghe e falde. Dal basso verso l'alto strutturale queste unità sono:

1. l'Unità della Piattaforma Apula, diffusamente affiorante nel Gargano e in Puglia in posizione di avampaese; spessore tra 5000 e 7000 m (Scrocca, 2010);
2. le Unità Lagonegresi derivanti dalla deformazione di una successione di bacino triassico-cretacica, distinte in base alla posizione prossimale o distale (rispettivamente Unità Lagonegro II e Unità Lagonegro I); affiorano nella zona di

Lagonegro, tra Casalbuono e Nemoli, nella posizione strutturale più bassa all'interno della pila di falde alloctone, con spessore complessivo di 1 km (Casero et alii, 1988);

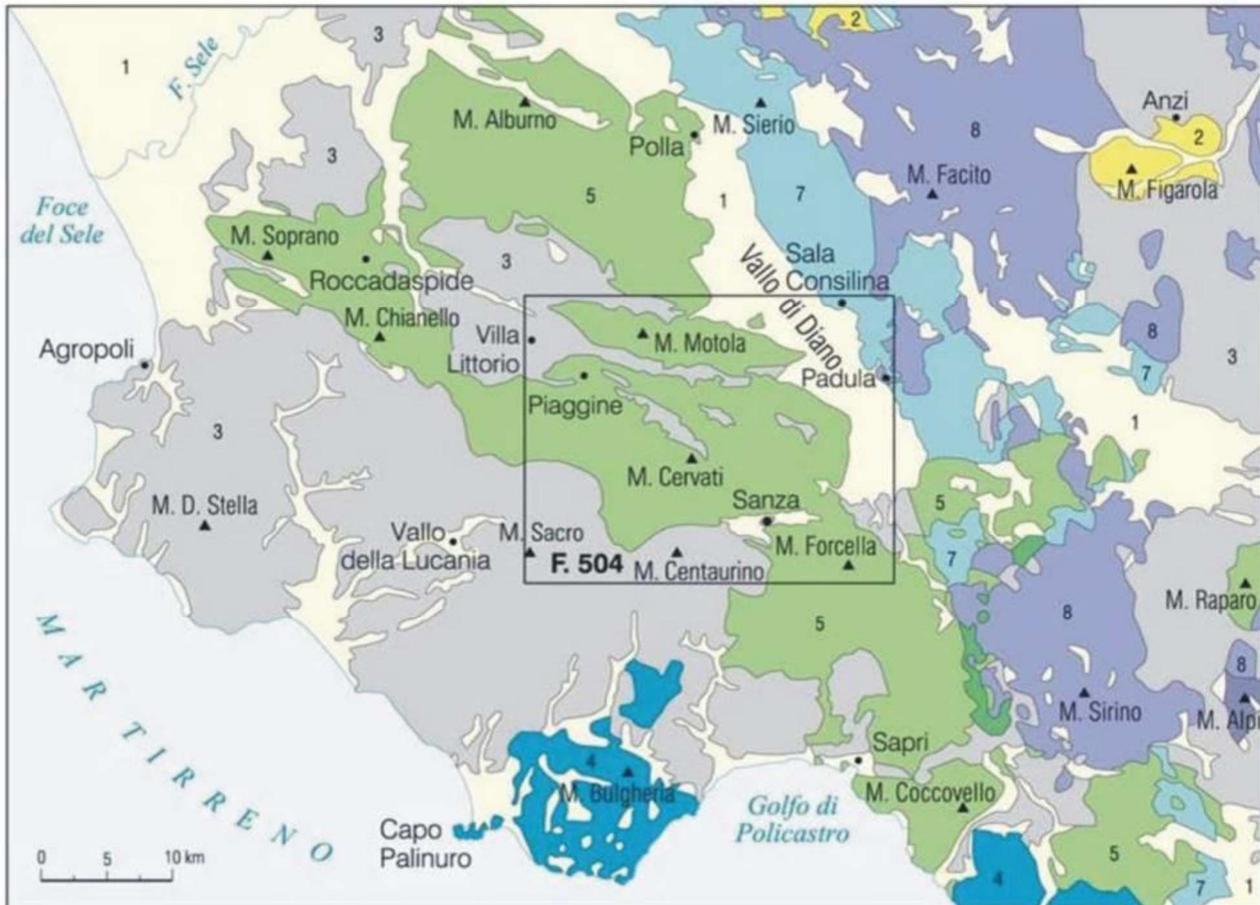
3. le Unità della Piattaforma Carbonatica, derivanti dalla deformazione di un dominio carbonatico di mare basso mesozoico, comunemente conosciuto come Piattaforma Appenninica; affiorano ubiquitariamente nell'area in studio e mostrano uno spessore complessivo fino a 5000 m (Scrocca, 2010);

4. le Unità Sicilidi, un insieme relativamente caotico di unità derivanti dalla deformazione di un'area interna impostata, insieme alle Unità Liguridi, su crosta oceanica; si incontrano nella metà meridionale dell'area in oggetto, a sud di Casalbuono;

5. seguono infine i depositi clastici plio-pleistocenici che costituiscono quasi sempre un velo esclusivamente superficiale e pellicolare di pochi metri; soltanto nel Bacino di Auletta, nel Vallo di Diano e nella Valle del Noce possono assumere spessore fino a decine di metri, con massimo di centinaia di metri nella depressione strutturale quaternaria del Val Le successioni dei gruppi 2-3-4 costituiscono oggi la struttura portante profonda della catena sud-Appenninica, strutturata in una serie di accavallamenti con vergenza verso est e nord-est. L'insieme di questa struttura a sua volta si è accavallato sul substrato costituito dalla Piattaforma Apula sepolta (gruppo 1), che si è flesso verso il basso per effetto del peso delle falde alloctone dell'Appennino.

Le successioni stratigrafiche plio-quaternarie (gruppo 5) costituiscono la copertura superficiale e sono poco o per nulla interessate dalla tettonica compressiva che ha generato la catena appenninica (successioni post-orogene). Io di Diano.

Gli schemi strutturali generali e le diverse Unità Tettoniche che caratterizzano l'area su cui si interesserà il Lotto in esame, si possono individuare nel *Foglio 504-Sala Consilina* e nel *Foglio 521-Lauria* e sono riferiti alla porzione mediana e alla porzione meridionale del tracciato; dalle citate carte (del Progetto CARG, Fogli della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.00) e da rilievi in campo è stato costruito l'assetto litostratigrafico che verrà di seguito illustrato.



- | | |
|--|--|
| 1 Depositi quaternari | 5 Unità dei Monti Alburno-Cervati-Pollino (Trias sup.-Miocene) |
| 2 Depositi post-orogeni (Miocene sup.-Pliocene) | 6 Unità del Monte Foraporta e Monte Monna (Trias sup.-Giurassico) |
| UNITÀ TETTONICHE e depositi miocenici stratigraficamente connessi | |
| 3 Unità Nord-Calabresi, Unità Castelnuovo Cilento e Unità Sicilide (Cretacico sup.-Miocene) | 7 Unità dei Monti Picentini-Monte della Maddalena (Trias sup.-Giurassico) |
| 4 Unità di Monte Bulgheria (Trias sup.-Miocene) | 8 Unità lagonegresi (Trias sup.-Miocene) |
| | 9 Unità del Monte Alpi (Giurassico-Miocene) |

Figura 2 – Schema tettonico del Foglio 504 – Sala Consilina (ISPRA, 2010)

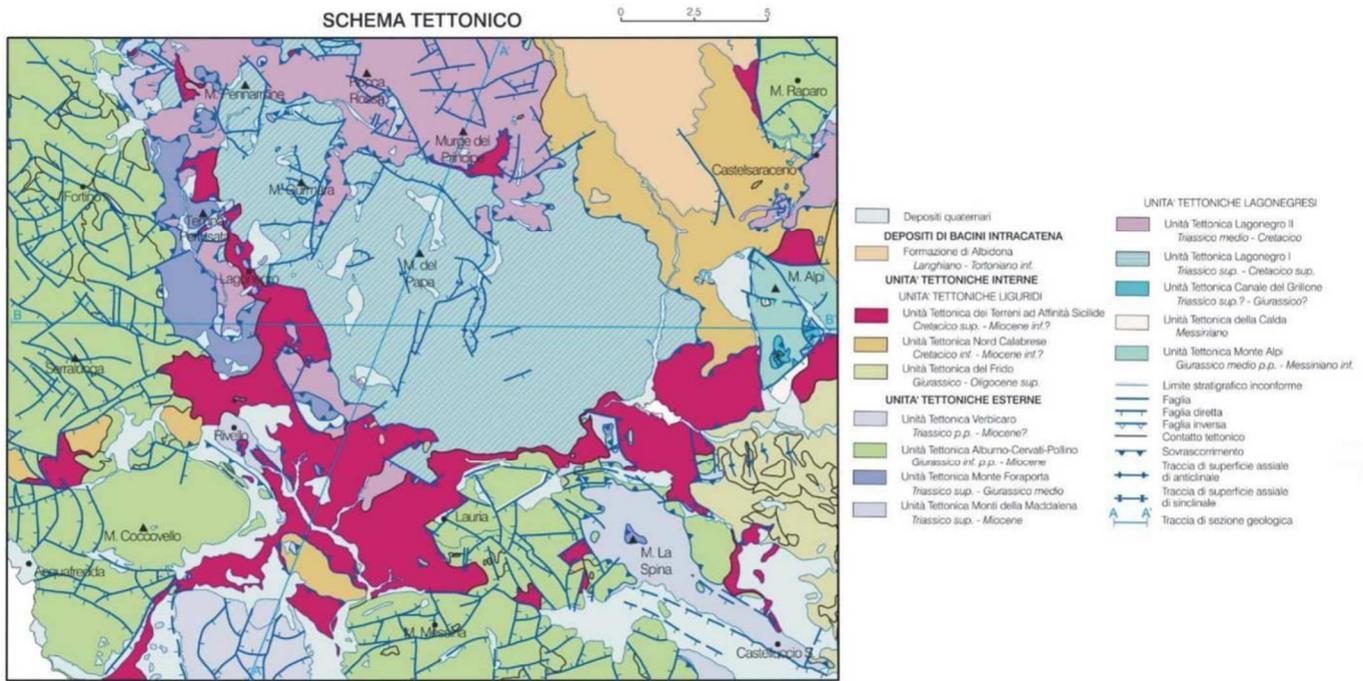


Figura 3 – Schema tettonico del Foglio-521-Lauria (ISPRA, 2014, modificato)

Alle differenti Unità Tettoniche appartengono le Formazioni affioranti che, data la considerevole lunghezza del tracciato, verranno citate di seguito nell'ordine in cui vengono intercettate dalla linea di progetto, in base alle progressive chilometriche, da considerarsi indicative: verrà, pertanto, sintetizzato il modello geologico di riferimento del tracciato, in relazione a quanto riportato nel profilo geologico generale, seguendo una suddivisione per tratte omogenee – caratterizzate da condizioni geologiche omogenee. Sarà specificato, come maggior dettaglio di valutazione, in quali tratte è prevista l'imbocco e la realizzazione di eventuali gallerie in progetto.

LOTTO 1B

Pk 0+00 ÷ 1+400:

Depositi appartenenti alle facies fine e grossolana del sistema Bottiglieri-Palomonte BTL-PLM. Al di sopra di essi sono presenti depositi di coltre detritico-colluviale e di frana, e nel fondovalle di depositi alluvionali attuali e recenti. Caratterizzato da depositi conglomeratico-ghiaiosi, il sistema di Bottiglieri e Palomonte BTL-PLM, è stato già individuato nello studio del Lotto1A ed è stato classificato in parte a comportamento coesivo, in parte a comportamento granulare, in base alla facies di appartenenza.

In questa tratta è prevista la realizzazione di alcune opere all'aperto e di una galleria artificiale.

Pk 1+400 ÷ 1+700:

Depositi ghiaioso-sabbiosi del Sintema di Bivio (RGC), che ricoprono i depositi della facies fine del sintema BTL-PLM. La Formazione delle Ghiaie del Cerreto è caratterizzata da ghiaie, conglomerati e brecce di conoide torrentizio; pertanto, è stato ipotizzato un comportamento granulare

In questa tratta è prevista la realizzazione dell'imbocco lato SA di una galleria.

Pk 1+700 ÷ 2+600

In quest'area sono presenti i depositi ghiaioso-sabbiosi del sintema di Bivio RGC che ricoprono quelli del sintema BTL-PLM. Il substrato prequaternario è costituito dalle argille varicolori superiori ALV, con aspetto caotico.

Considerando gli strati più superficiali si considera valido quanto già specificato per la tratta precedente.

In questa tratta è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

Pk 2+600 ÷ 3+000

Il substrato prequaternario è costituito dalle argille varicolori ALV. Al di sopra di esso è presente uno spessore variabile di coltre detritico-colluviale, in parte coinvolta in movimenti franosi.

Le Argille Varicolori Superiori ALV sono caratterizzate da alternanze litologiche simili, costituite da livelli marnoso-argillosi e da bancate di calcari e calcari marnosi. In generale i litotipi del *Gruppo delle Argille Varicolori* si presentano spesso destrutturati, alterati o comunque poco compatti, tuttavia, vengono considerati a comportamento coesivo come già analizzato per il Lotto1A.

In questa tratta è prevista la realizzazione dell'imbocco lato RC della stessa galleria del tratto precedente e alcune opere all'aperto.

Pk 3+000 ÷ 3+200

Il substrato prequaternario, costituito dai litotipi della formazione FMS, è coperto da coltre detritico-colluviale per uno spessore di circa 1-3 m. La Formazione del Selli (FMS) rientra tra il Gruppo delle Argille Varicolori, ma è rappresentata maggiormente da calcari marnosi, rispetto alle ALV. Avendo riscontrato anche questa formazione nei precedenti studi, si può conferire a questo litotipo un comportamento coesivo.

In questa tratta è prevista la realizzazione dell'imbocco lato SA di una galleria.

Pk 3+200 ÷ 4+950

Area complessa dal punto di vista del substrato prequaternario, per la presenza di numerosi contatti anche di natura tettonica. La galleria sviluppata in direzione Reggio Calabria dovrebbe intercettare i litotipi appartenenti alle formazioni del Gruppo delle Argille Variegate, in particolare FMS e ALV. Non si esclude la presenza di limitata scaglie tettoniche di calcari CRQ, osservate in affioramento e nei sondaggi più a nord.

Il substrato è coperto da depositi fluivo-torrentizi RGC. Non si esclude la presenza di lenti di BTL-PLM tra il substrato e i depositi RGC.

Si fa presente che la Formazione dei i Calcari con Requinie e Gasteropodi (CRQ) è tra quelle di maggiore rilevanza; è costituita da calcari grigi generalmente ben stratificati, di conseguenza rappresenta un litotipo con caratteristiche geotecniche differenti rispetto alle formazioni finora descritte. Tuttavia, essendo specificata la loro presenza limitata nell'area, si può considerare questa tratta assimilabile a quella precedente, in quanto già riscontrata le formazioni di FMS e ALV, associate a comportamenti coesivi.

In questa tratta è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

Pk 4+950 ÷ 5+400

Area complessa dal punto di vista del substrato prequaternario, per la presenza di numerosi contatti anche di natura tettonica. La galleria sviluppata in direzione Reggio Calabria dovrebbe intercettare i litotipi appartenenti alle formazioni dell'Unità tettonica del Sele, in particolare TUT e ALV. Non si esclude la presenza limitata di scaglie tettoniche di calcari CRQ, osservate in affioramento e nei sondaggi più a nord.

Il substrato è coperto da depositi fluivo-torrentizi RGC o BTL-PLM.

Rispetto alle precedenti tratte qui si riscontrano anche le formazioni delle Tufiti di Tusa (TUT), litotipo arenaceo-marnoso appartenente all'Unità Tettonica Val di Sele, associabili per questo ad un comportamento coesivo.

Non essendo noto lo spessore dei depositi che ricoprono il substrato, gli affioramenti di RGC e BTL-PLM sono stati esclusi dalla caratterizzazione del comportamento geologico.

Pk 5+400 ÷ 6+200

Area caratterizzata dalla presenza di litotipi del substrato prequaternario, appartenenti alle formazioni dell'Unità tettonica del Sele, in particolare AVF e ALV in contatto per faglia, sormontati dai depositi plio-quadernari (b e bn e AUL). Non si esclude la presenza di limitate scaglie tettoniche di calcari CRQ, osservate in affioramento e nei sondaggi più a est.

In quest'area si ritengono valide le stesse considerazioni illustrate per le chilometriche in cui è presente ALV, in quanto, le AVF (Argille Varicolori Inferiori), trattandosi di argilliti grigio-brune, argilliti siltoso-marnose, argilliti quarzolitiche e argilliti scagliose e già incontrate nell'ambito dello studio geologico del Lotto1A, sono state classificate a comportamento coesivo

Pk 6+200 ÷ 6+300

Area caratterizzata dalla presenza di litotipi del substrato prequaternario, appartenenti alle formazioni dell'Unità tettonica del Sele, in particolare ALV, sormontati dai depositi plio-quadernari (AUL) per uno spessore > 40 m.

Come strato più superficiale, quindi si ha il Sintema di Auletta, caratterizzato da conglomerati più o meno cementati con ghiaie e ciottoli e livelli sabbiosi e limoso-sabbiosi: a tale Formazione può essere attribuito un comportamento granulare.

In questa tratta è prevista la realizzazione dell'imbocco di una galleria

Pk 6+300 ÷ 21+800

Area complessa dal punto di vista del substrato prequaternario, per la presenza di numerosi contatti anche di natura tettonica, non facilmente tracciabili in profondità. La galleria è suddivisibile in 5 settori con caratteristiche geologiche similari:

- Nel tratto compreso tra le pk 6+300 ÷ 8+400 circa dovrebbe dapprima intercettare i depositi appartenenti al sintema di AUL e successivamente i litotipi appartenenti alle formazioni dell'Unità tettonica del Sele, in particolare ALV. Non si esclude la presenza di limitata scaglie tettoniche di calcari CRQ, osservate in affioramento e nei sondaggi più a nord.
- Nel tratto compreso tra le pk 8+400 ÷ 10+000 circa dovrebbe intercettare il substrato carbonatico rappresentato dal CRQ, dislocato da possibili contatti tettonici prevalentemente verticali e con carsismo potenziale.
- Nel tratto compreso tra le pk 10+000 ÷ 15+200 circa dovrebbe dapprima intercettare i depositi appartenenti al sintema di AUL e successivamente i litotipi appartenenti alle formazioni dell'Unità del SIE.
- Nel tratto compreso tra le pk 15+200 ÷ 20+800 dovrebbe intercettare il substrato carbonatico rappresentato dal CRQ e dal DBS, dislocato da possibili contatti tettonici sia verticali che orizzontali, con carsismo potenziale.

- Nel tratto compreso tra le pk 20+800 ÷ 21+800 dovrebbe intercettare i depositi di ambiente lacustre / fluviale / di conoide alluvionale appartenenti al BUO e al PAD.

In questa tratta è prevista la realizzazione di una galleria.

Pk 21+800 ÷ 21+900

Area di conoide corrispondente al passaggio tra i depositi più antichi BUO e quelli più recenti PAD. Si tratta di depositi lacustri costituiti da argille grigie, a luoghi alternati a livelli sabbiosi e lenti di ghiaie fluviali, in eteropia a depositi di conoide alluvionale e in subordine fluviali, costituiti da conglomerati e ghiaie con matrice sabbiosa e intercalazioni di lenti di sabbie e limi.

Il Sintema di Buonabitacolo (BUO) e il Sintema della Certosa di Padula (PAD) possono definirsi a comportamento più granulare rispetto alle formazioni analizzate finora, in quanto presenti in zona di conoide.

In questa tratta è prevista la realizzazione dell'imbocco di una galleria.

Pk 21+900 ÷ 49+800

Depositi fluvio-lacustri costituiti da alternanze di argille, limi-sabbiosi passanti a sabbie limose, con lenti ghiaiose e possibili livelli torbosi, in eteropia a depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi fluviali e di conoide alluvionale costituiti da ghiaie, con matrice limoso-sabbioso-argillosa talora prevalente.

Anche questi, come i precedenti, possono essere classificati a comportamento "granulare".

Le Formazioni affioranti, delle quali è stata esposta una breve descrizione pocanzi, possono essere raggruppate in base al litotipo e al loro comportamento geotecnico, per una comprensione maggiore e per una valutazione ai fini dello studio vibrazionale, oggetto del presente studio. Pertanto, ai fini di tale studio, sono state considerate le tratte delle opere all'aperto e degli imbocchi delle gallerie, e sono stati esclusi le tratte che prevedono unicamente la realizzazione in galleria (sia naturale che antropica).

In sintesi per il Lotto 1B:

- Nelle tratte della linea comprese tra le Pk 0+000 ÷ 1+400, Pk 2+600 ÷ 3+000, Pk 3+000 ÷ 3+200, Pk 4+950 ÷ 5+400, Pk 5+400 ÷ 6+200 sono stati osservati litotipi essenzialmente classificati come coesivi, alcuni dei quali già riscontrati nei precedenti studi effettuati sul Lotto 1A.

- Nelle tratte della linea comprese tra le Pk 0+000 ÷ 1+400, Pk 1+400 ÷ 1+700, Pk 6+200 ÷ 6+300, Pk 21+800 ÷ 21+900, Pk 21+900 ÷ 49+800 sono stati osservati litotipi essenzialmente classificati come granulari, soprattutto vista la modesta presenza di Formazioni di ambiente di conoide o depositi fluvio-lacustri.

Considerando tutte le chilometriche del Lotto1B e la classificazione dei litotipi presenti, alcuni come già specificato, riscontrati nella tratta del Lotto1A, è possibile considerare tale terreno paragonabile al terreno analizzato per le linee del Lotto1A e del Lotto1B: di conseguenza la risposta per lo studio vibrazionale si può considerare omogenea con i precedenti studi.

Si ricorda che le informazioni indicate per il presente paragrafo sono state recepite dalle Relazioni Geologiche di riferimento.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA - PRAIA LOTTO 1B ROMAGNANO - BUONABITACOLO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Generale	COMMESSA RC2A	LOTTO B1 R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

3.2 Modello previsionale

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

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

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

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

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

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

Il livello di base L(x₀) è generalmente ricavato da misure sperimentali svolte in adiacenza alle linee ferroviarie a distanze comprese tra 5 m e 25 m.

3.3 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;
- 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 in due sezioni di misura in località Agropoli ed in una sezione di misura in località Paola.

Nella **Sezione 1** la strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione del corpo ferroviario in galleria (tratto al coperto), lungo la via di propagazione, per complessivi tre punti di misura. I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito, secondo il quadro sinottico sotto riportato.

Numero di treni rilevato durante le misure nella Sezione 1	
Tipologia treni	Periodo Diurno (osservazione dalle 8:00 alle 18:30)
Regionali	16
EC/IC	9
ES	15
Merci	4
TOTALE	44

Tabella 3-1 – Treni transitanti sulla linea – SEZ.1 – caratterizzazione corpo ferroviario al coperto

Le tre terne accelerometriche sono state così posizionate:

Identificazione Terna	Posizionamento
VIB 01a	In corrispondenza della galleria ferroviaria, a circa 3 metri dal binario più esterno
VIB 01b	Area verde a margine della linea ferroviaria, a circa 15 metri dal binario più esterno
VIB 01c	Area verde a margine della linea ferroviaria, a circa 30 metri dal binario più esterno

Tabella 3-2 – Identificazione delle terne accelerometriche e posizionamento



Figura 4 - Ortofoto area di indagine e postazioni di misura SEZ.1

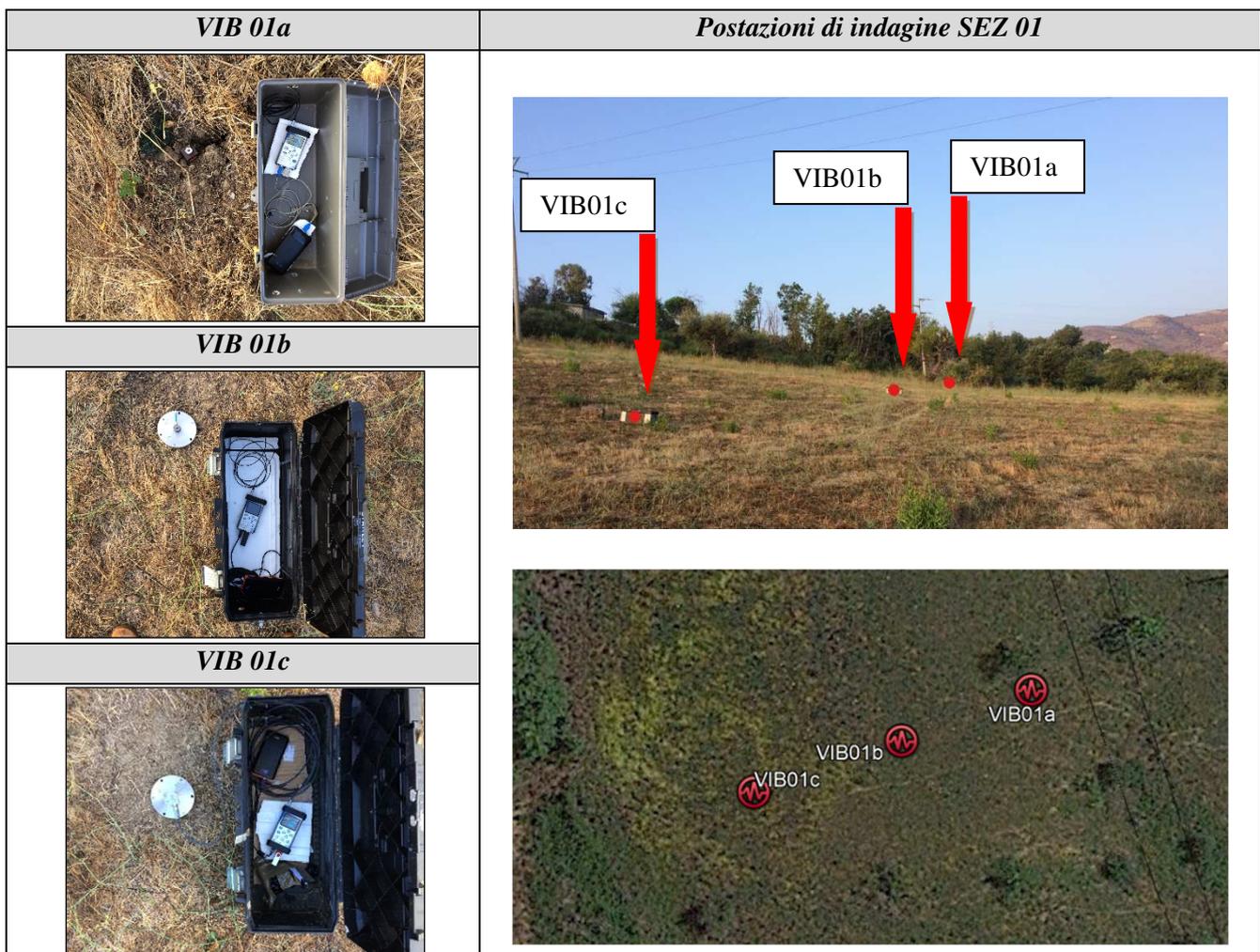


Figura 5 - Report fotografico postazioni di misura (Asse x: parallelo alla linea; Asse Y: ortogonale alla linea; Asse Z verticale)

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report Indagini Vibrazionali, doc. RC2AB1R22RHIM0004002A, per un totale di 44 eventi, si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni transitati.

In riferimento agli assi X, Y e Z indicati ed orientati come indicato, per tutti i passaggi dei convogli rilevati presso la terna vibrometrica VIB 01a, cioè a ridosso del binario a circa 3 metri, si osservano valori medi del totale dei transiti pari a 77,9 dB per l'asse x, 76,2 dB per l'asse y e 70,9 dB per l'asse z (valori ponderati secondo la Norma UNI 9614). Allontanandosi da esso presso la terna VIB 01b, a circa 15 metri dal binario, i livelli di accelerazione media presentano un aumento per gli assi Y e Z ed una diminuzione per l'asse X. Questo risultato può essere stato determinato da caratteristiche imprevedibili e non prevedibili del terreno sottostante e dal probabile effetto della galleria. Presso la terna VIB 01c, a circa 30 metri dal binario si registra una progressiva diminuzione dei valori medi ponderati per tutti e tre gli assi, sino ad osservare valori medi del totale dei transiti pari a 67,0 dB per l'asse X, 74,9 dB per l'asse Y e 63,7 dB per l'asse Z (valori ponderati secondo la Norma UNI 9614). Di seguito si riporta la tabella di sintesi, con indicati i valori medi delle accelerazioni dei livelli equivalenti espressi in decibel, relativa alle categorie di treni sopracitate nel periodo di osservazione.

Tipologie di Treno	VIB 01a			VIB 01b			VIB 01c			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	69,4	68,3	62,9	67,7	71,4	80,9	58,3	64,8	56,4	63
IC-EC	71,1	70,0	65,1	70,2	73,5	77,3	59,4	66,0	57,4	65
ES	68,5	67,6	62,5	68,3	71,4	76,6	57,6	63,2	56,1	74
MERCI	75,1	72,8	67,2	68,6	77,3	74,6	64,6	73,4	59,7	107
TOTALE	77,9	76,2	70,9	74,8	80,2	84,0	67,0	74,9	63,7	/

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

Di seguito si espongono i valori di accelerazione, suddivisi per tipologia di convoglio, che transitano nei tratti al coperto.

REGIONALI (Vel. media= 63 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 01a	3	69,4	68,3	62,9
VIB 01b	15	67,7	71,4	80,9
VIB 01c	30	58,3	64,8	56,4

Tabella 3-4 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – REGIONALI

IC-EC (Vel. media= 65 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 01a	3	71,1	70,0	65,1
VIB 01b	15	70,2	73,5	77,3
VIB 01c	30	59,4	66,0	57,4

Tabella 3-5 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – IC-EC

ES (Vel. media= 74 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 01a	3	68,5	67,6	62,5
VIB 01b	15	68,3	71,4	76,6
VIB 01c	30	57,6	63,2	56,1

Tabella 3-6 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – ES

MERCİ (Vel. media= 107 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 01a	3	75,1	72,8	67,2
VIB 01b	15	68,6	77,3	74,6
VIB 01c	30	64,6	73,4	59,7

Tabella 3-7 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – MERCİ

TUTTE LE CATEGORIE: TOTALE TRANSITI				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 01a	3	77,9	76,2	70,9
VIB 01b	15	74,8	80,2	84,0
VIB 01c	30	67,0	74,9	63,7

Tabella 3-8 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – TUTTE LE CATEGORIE

Nella **Sezione 2** la strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione di corpo ferroviario in viadotto, lungo la via di propagazione, per complessivi tre punti di misura per la sezione. I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito, secondo il quadro sinottico sotto riportato.

Numero di treni rilevato durante le misure nella Sezione 2	
Tipologia treni	Periodo Diurno (osservazione dalle 9:00 alle 18:30)
Regionali	14 per VIB 02a e VIB 02c / 7 per VIB 02b
EC/IC	9 per VIB 02a e VIB 02c / 5 per VIB 02b
ES	14 per VIB 02a e VIB 02c / 6 per VIB 02b
Merci	4 per VIB 02a e VIB 02C / 2 per VIB 02b
TOTALE	41 per VIB 02a e VIB 02c / 20 per VIB 02b

Tabella 3-9 – Treni transitanti sulla linea – SEZ.2 – caratterizzazione corpo ferroviario allo scoperto (viadotto)

Le tre terne accelerometriche sono state così posizionate:

Identificazione Terna	Posizionamento
VIB 02a	In corrispondenza del viadotto ferroviario, a circa 3 metri dal binario più esterno
VIB 02b	Area verde a margine della linea ferroviaria, a circa 15 metri dal binario più esterno
VIB 02c	Area verde a margine della linea ferroviaria, a circa 30 metri dal binario più esterno

Tabella 3-10 – Identificazione delle terne accelerometriche e posizionamento

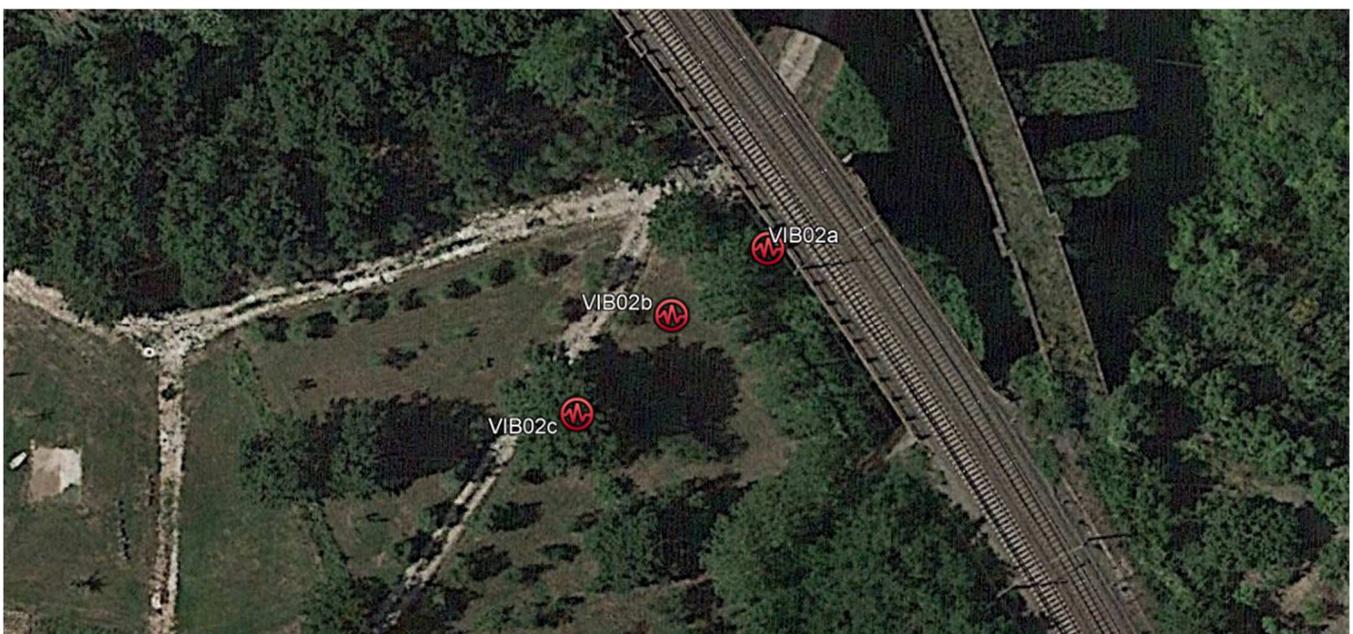


Figura 6 - Ortofoto area di indagine e postazioni di misura SEZ.2

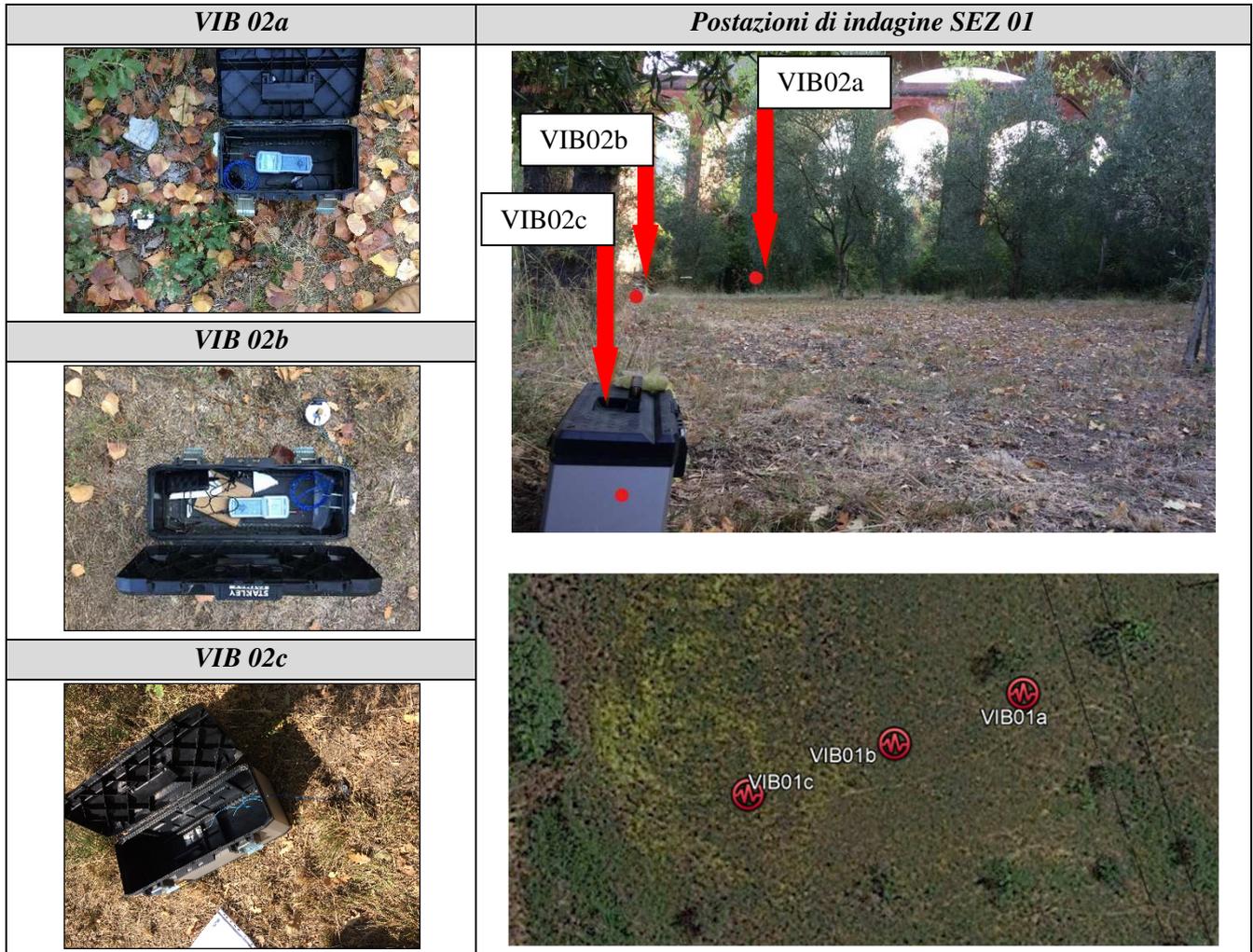


Figura 7 - Report fotografico postazioni di misura (Asse x: parallelo alla linea; Asse Y: ortogonale alla linea; Asse Z verticale)

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report Indagini Vibrazionali, doc. RC2AB1R22RHIM0004002A, per un totale di 41 eventi nelle postazioni VIB 02a e VIB 02c e 20 eventi per la postazione VIB02b, si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni transitati. Facendo riferimento agli assi X, Y e Z indicati ed orientati nelle normative citate, per tutti i passaggi dei convogli rilevati presso la terna vibrometrica VIB 02a, cioè a ridosso del viadotto a circa 3 metri si osservano valori medi del totale dei transiti pari a 81,7 dB per l'asse X, 78,3 dB per l'asse Y e 67,3 dB per l'asse Z (valori ponderati secondo la Norma UNI 9614). Allontanandosi da esso presso la terna VIB 02b, a circa 15 metri dal binario, i livelli di accelerazione media presentano un aumento per gli assi. Questo risultato può essere stato determinato da caratteristiche imprevedibili e non prevedibili del terreno sottostante. Presso la terna

VIB 02c, a circa 30 metri dal binario si registra una progressiva diminuzione dei valori medi ponderati per tutti e tre gli assi, sino ad osservare valori medi del totale dei transiti pari a 63,3 dB per l'asse X, 64,4 dB per l'asse Y e 60,2 dB per l'asse Z (valori ponderati secondo la Norma UNI 9614). Di seguito si riporta la tabella di sintesi, con indicati i valori medi delle accelerazioni dei livelli equivalenti espressi in decibel, relativa alle categorie di treni sopracitate nel periodo di osservazione.

Tipologie di Treno	VIB 02a			VIB 02b			VIB 02c			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	71,7	67,7	61,5	82,1	82,6	72,9	55,6	56,1	54,7	63
IC-EC	70,1	67,0	59,5	86,1	85,9	76,7	57,3	58,5	54,5	65
ES	80,4	77,0	62,6	80,2	84,2	71,6	57,3	58,7	53,6	74
MERCI	71,3	67,9	61,1	85,9	84,2	75,5	58,5	59,6	53,9	107
TOTALE	81,7	78,3	67,3	90,3	90,4	80,7	63,3	64,4	60,2	/

Tabella 3-11 - Livello equivalente medio (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

Di seguito si espongono i valori di accelerazione, suddivisi per tipologia di convoglio, che transitano nei tratti allo scoperto.

REGIONALI (Vel. media= 63 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 02a	3	71,7	67,7	61,5
VIB 02b	15	82,1	82,6	72,9
VIB 02c	30	55,6	56,1	54,7

Tabella 3-12 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – REGIONALI

IC-EC (Vel. media= 65 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 02a	3	70,1	67,0	59,5
VIB 02b	15	86,1	85,9	76,7
VIB 02c	30	57,3	58,5	54,5

Tabella 3-13 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – IC-EC

ES (Vel. media= 74 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 02a	3	80,4	77,0	62,6
VIB 02b	15	80,2	84,2	71,6
VIB 02c	30	57,3	58,7	53,6

Tabella 3-14 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – ES

MERCİ (Vel. media= 107 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 02a	3	71,3	67,9	61,1
VIB 02b	15	85,9	84,2	75,5
VIB 02c	30	58,5	59,6	53,9

Tabella 3-15 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – MERCİ

TUTTE LE CATEGORIE: TOTALE TRANSITI				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 02a	3	81,7	78,3	67,3
VIB 02b	15	90,3	90,4	80,7
VIB 02c	30	63,3	64,4	60,2

Tabella 3-16 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – TUTTE LE CATEGORIE

Nella **Sezione 3** la strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione di corpo ferroviario in rilevato, lungo la via di propagazione, per complessivi tre punti di misura per la sezione. I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito, secondo il quadro sinottico sotto riportato.

Numero di treni rilevato durante le misure nella Sezione 3	
Tipologia treni	Periodo Diurno e Notturno (osservazione dalle 10:30 alle 23:00)
Regionali	35
EC/IC	12
ES	16
Merci	4
TOTALE	67

Tabella 3-17 – Treni transitanti sulla linea – SEZ.3 – caratterizzazione corpo ferroviario allo scoperto (caratterizzazione sezione in rilevato e trincea)

Le tre terne accelerometriche sono state così posizionate:

Identificazione Terna	Posizionamento
VIB 03a	In corrispondenza del rilevato ferroviario, a circa 5 metri dal binario più esterno
VIB 03b	Area verde a margine della linea ferroviaria, a circa 20 metri dal binario più esterno
VIB 03c	Area verde a margine della linea ferroviaria, a circa 35 metri dal binario più esterno

Tabella 3-18 – Identificazione delle terne accelerometriche e posizionamento



Figura 8 - Ortofoto area di indagine e postazioni di misura SEZ.3

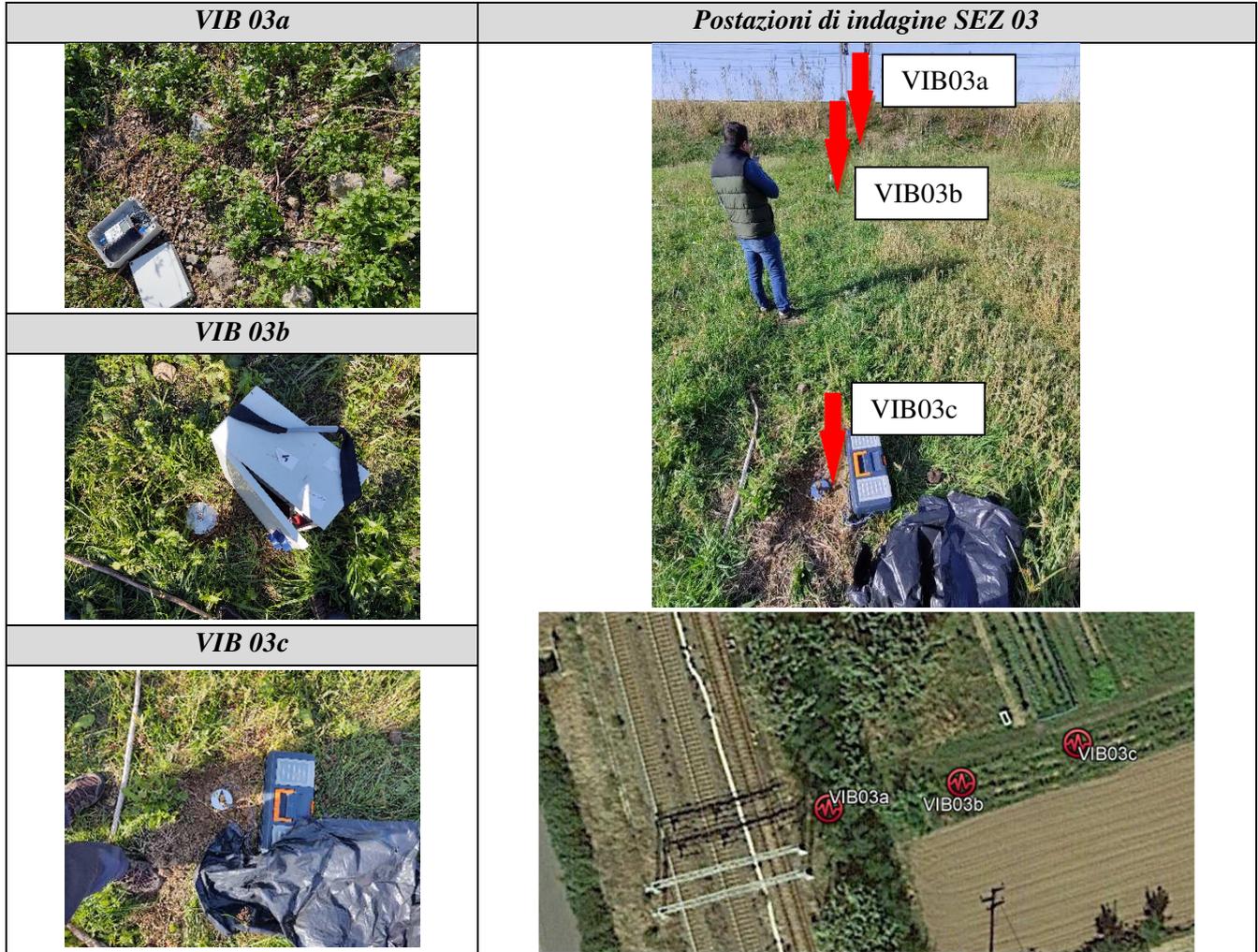


Figura 9 - Report fotografico postazioni di misura (Asse x: parallelo alla linea; Asse Y: ortogonale alla linea; Asse Z verticale)

Facendo riferimento al dettaglio dei rilievi sperimentali dei transiti, riportato nell'elaborato Studio Vibrazionale – Report Indagini Vibrazionali, doc. RC2AB1R22RHIM0004002A, per un totale di 67 eventi nelle postazioni VIB 03a, VIB 03b VIB03c, si caratterizzano i valori di accelerazione emessi dalla tipologia di convoglio relativa ai treni transitati. Facendo riferimento agli assi X, Y e Z indicati ed orientati nelle normative citate, per tutti i passaggi dei convogli rilevati presso la terna vibrometrica VIB 03a, cioè a ridosso del rilevato a circa 5 metri si osservano valori medi del totale dei transiti pari a 86,8 dB per l'asse X, 87,8 dB per l'asse Y e 81,9 dB per l'asse Z (valori ponderati secondo la Norma UNI 9614). Allontanandosi da esso presso la terna VIB 03b, a circa 20 metri dal binario, i livelli di accelerazione media presentano una diminuzione per gli assi. Presso la terna VIB 03c, a circa 35 metri dal binario si registra una progressiva diminuzione dei valori medi ponderati per tutti e tre gli assi, sino ad osservare valori

medi del totale dei transiti pari a 72,3 dB per l'asse X, 70,9 dB per l'asse Y e 67,1 dB per l'asse Z (valori ponderati secondo la Norma UNI 9614). Di seguito si riporta la tabella di sintesi, con indicati i valori medi delle accelerazioni dei livelli equivalenti espressi in decibel, relativa alle categorie di treni sopracitate nel periodo di osservazione.

Tipologie di Treno	VIB 03a			VIB 03b			VIB 03c			Velocità media [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	85,2	85,1	79,7	69,6	71,1	67,4	66,7	65,6	62,3	43
IC-EC	77,9	81,3	74,0	68,7	69,0	66,1	66,6	64,8	60,7	58
ES	77,3	79,2	73,2	66,8	67,1	64,7	65,6	64,7	60,7	65
MERCI	75,3	78,2	71,5	66,6	67,5	64,5	66,3	64,2	60,2	71
TOTALE	86,8	87,8	81,9	74,1	75,0	71,9	72,3	70,9	67,1	/

Tabella 3-19 - Livello equivalente medio (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno

Di seguito si espongono i valori di accelerazione, suddivisi per tipologia di convoglio, che transitano nei tratti allo scoperto in rilevato.

REGIONALI (Vel. media= 43 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 03a	5	85,2	85,1	79,7
VIB 03b	20	69,6	71,1	67,4
VIB 03c	35	66,7	65,6	62,3

Tabella 3-20 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – REGIONALI

IC-EC (Vel. media= 58 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 03a	5	77,9	81,3	74,0
VIB 03b	20	68,7	69,0	66,1
VIB 03c	35	66,6	64,8	60,7

Tabella 3-21 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – IC-EC

ES (Vel. media= 65 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 03a	5	77,3	79,2	73,2
VIB 03b	20	66,8	67,1	64,7
VIB 03c	35	65,6	64,7	60,7

Tabella 3-22 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – ES

MERCİ (Vel. media= 71 km/h)				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 03a	5	75,3	78,2	71,5
VIB 03b	20	66,6	67,5	64,5
VIB 03c	35	66,3	64,2	60,2

Tabella 3-23 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – MERCİ

TUTTE LE CATEGORIE: TOTALE TRANSITI				
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB]		
		X	Y	Z
VIB 03a	5	86,8	87,8	81,9
VIB 03b	20	74,1	75,0	71,9
VIB 03c	35	72,3	70,9	67,1

Tabella 3-24 - Livello equivalente delle accelerazioni indotte dal transito dei treni in dB lungo gli assi di riferimento: x, y e z – TUTTE LE CATEGORIE

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA - PRAIA LOTTO 1B ROMAGNANO - BUONABITACOLO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Generale	COMMESSA RC2A	LOTTO B1 R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

3.4 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:

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

dove:

d distanza dall'asse della linea ferroviaria;

d₀ distanza di riferimento;

n=0,5 per galleria;

n=1 per tracciato di superficie;

Velocità di transito

La velocità del treno ha un effetto significativo sul valore di vibrazioni trasmesso nel terreno, 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 L₀: sono i livelli di vibrazioni in decibel
- V e V₀: 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 di 6 dB nei livelli di vibrazione e ciò in maniera indipendente dalla frequenza. A fine di compiere una stima cautelativa si considera il coefficiente proposto maggiore e pari a 20.

Di seguito si identificano le velocità di progetto previste per le tratte della linea ed il numero di transiti.

LOTTO 1B

Tratto ROMAGNANO - BIVIO PRAJA

Tipologia	Periodo Diurno (06-22)	Periodo Diurno (06-22)	V [km/h]
AV	80	8	300
IC (LH-Etr600)	14	2	250
MERCI	24	24	100

Tabella 3-25 – Velocita di esercizio linea in progetto

La propagazione delle onde nei terreni

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 compattazione, dall'attrito statico fra i granuli e quindi dalla granulometria, dalla fratturazione del mezzo, dalla presenza di acqua e da altri fattori la cui differente combinazione può determinare gradi di attenuazione differenti in mezzi litologicamente simili.

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

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

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

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

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

Tabella 3-26 - Valori tipici di densità, velocità di propagazione e fattore di perdita per tipologia di terreno

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

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

dove:

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

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

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

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

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

dove:

- d_c, d_a = densità dei suoli "c" e "a"
- c_c, c_a = velocità di propagazione nei suoli "c" e "a"

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA - PRAIA LOTTO 1B ROMAGNANO - BUONABITACOLO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Generale	COMMESSA RC2A	LOTTO B1 R 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 002	REV. A

Valutazione della funzione di propagazione delle vibrazioni

La valutazione sarà eseguita in funzione della velocità di progetto e della tipologia di treno previsto. Di seguito si riporta la tabella con il dettaglio dei flussi di esercizio relativi alla linea di progetto:

LOTTO 1B Tratto ROMAGNANO - BIVIO PRAJA			
Tipologia	Periodo Diurno (06-22)	Periodo Notturno (06-22)	V [km/h]
AV	80	8	300
IC (LH-Etr600)	14	2	250
MERCI	24	24	100

Tabella 3-27 – Modello di Esercizio di Progetto Linea AV

Per la **Sezione 1** in considerazione dei terreni interessati dal tracciato di progetto in galleria, si è proceduto sia a valutazioni teoriche sulla propagazione, sia all'utilizzazione di una curva sperimentale di regressione per la trasmissione delle vibrazioni nel terreno lungo i tre assi, come riportato nell'immagine seguente (livello medio di accelerazione, ponderato per “postura non nota”, in corrispondenza dei punti di misura), considerando le velocità previste in progetto al fine della definizione dell'emissione del convoglio ferroviario e dell'effettiva tipologia di servizio. Di seguito si riportano le emissioni delle vibrazioni per tipologia di treno rilevati dalle indagini sperimentali rappresentative della galleria.

Tipologie di Treno	VIB 01a (3m)			VIB 01b (15m)			VIB 01c (30m)			Velocità media da indagine [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	69,4	68,3	62,9	67,7	71,4	80,9	58,3	64,8	56,4	63
IC-EC	71,1	70,0	65,1	70,2	73,5	77,3	59,4	66,0	57,4	65
ES	68,5	67,6	62,5	68,3	71,4	76,6	57,6	63,2	56,1	74
MERCI	75,1	72,8	67,2	68,6	77,3	74,6	64,6	73,4	59,7	107

Tabella 3-28 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno rilevate dalle indagini sperimentali

Nelle tabelle successive i valori stimati delle emissioni delle vibrazioni con le velocità di progetto previste per tratta in cui è prevista l'indagine sui ricettori e per le tipologie di treni previste da progetto in transito in galleria.

Tipologie di Treno	VIB 01a (3m)			VIB 01b (15m)			VIB 01c (30m)			Velocità progetto [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
IC-EC	82,8	81,7	76,8	81,9	85,2	89,0	71,1	77,7	69,1	250
ES	80,7	79,8	74,7	80,5	83,6	88,8	69,8	75,4	68,3	300

Tipologie di Treno	VIB 01a (3m)			VIB 01b (15m)			VIB 01c (30m)			Velocità progetto [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
MERCI	74,5	72,2	66,6	68,0	76,7	74,0	64,0	72,8	59,1	100

Tabella 3-29 - Livello equivalente medio (Lw,eq in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno stimate in base alle velocità di progetto in Galleria

Di seguito si riportano le curve di attenuazione in funzione della distanza per categoria di treno.

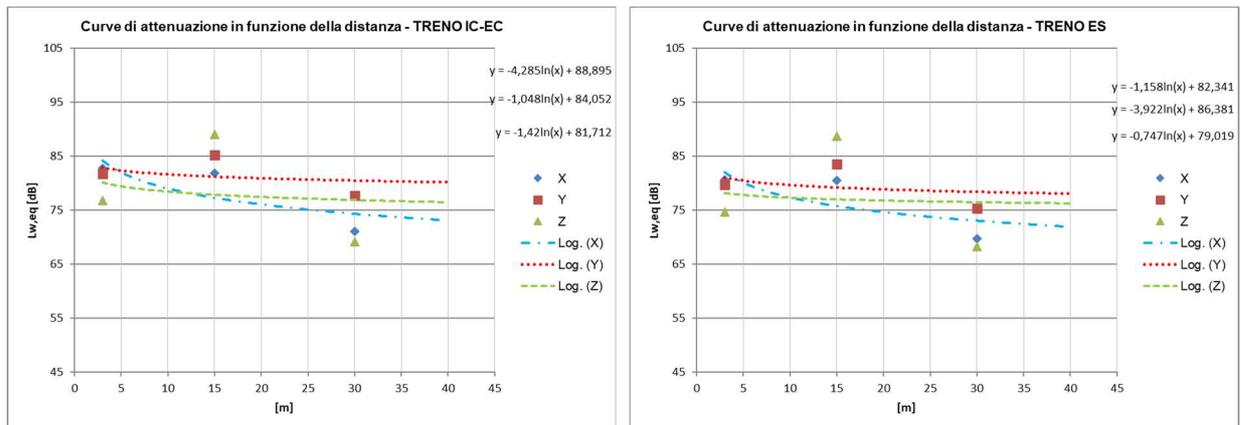


Figura 10 - Curva di attenuazione del Lw,eq in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 250 km/h per TIPOLOGIA TRENO IC-EC a destra a 300 km/h – TIPOLOGIA TRENO ES per t. coperto

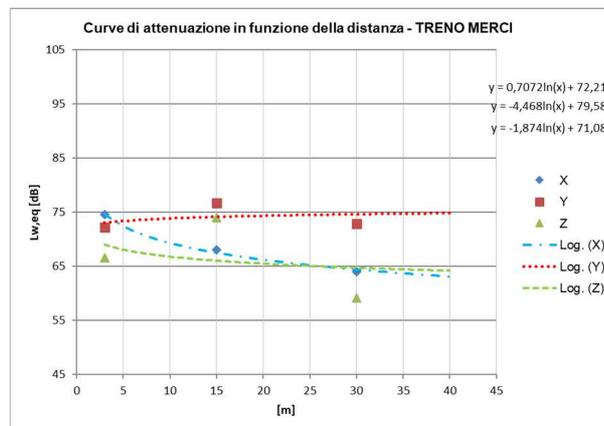


Figura 11 - Curva di attenuazione del Lw,eq in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 1 e valutata considerando le velocità di progetto di 100 km/h – TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. coperto

Per la **Sezione 2** in considerazione dei terreni interessati dal tracciato di progetto nei tratti in viadotto, in analogia a quanto fatto per l'altra sezione, si è proceduto sia a valutazioni teoriche sulla propagazione, sia all'utilizzazione di una curva sperimentale di regressione per la trasmissione delle vibrazioni nel terreno lungo i tre assi, come riportato nell'immagine seguente (livello medio di accelerazione, ponderato per "postura non nota", in corrispondenza dei punti di misura) e considerando le velocità previste in progetto al fine della definizione dell'emissione del convoglio ferroviario.

Di seguito si riportano le emissioni delle vibrazioni per tipologia di treno rilevati dalle indagini sperimentali rappresentative dei tratti allo scoperto su viadotto.

Tipologie di Treno	VIB 02a (3m)			VIB 02b (15m)			VIB 02c (30m)			Velocità media da indagine [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	71,7	67,7	61,5	82,1	82,6	72,9	55,6	56,1	54,7	63
IC-EC	70,1	67,0	59,5	86,1	85,9	76,7	57,3	58,5	54,5	65
ES	80,4	77,0	62,6	80,2	84,2	71,6	57,3	58,7	53,6	74
MERCI	71,3	67,9	61,1	85,9	84,2	75,5	58,5	59,6	53,9	107

Tabella 3-30 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno rilevate dalle indagini sperimentali

Nella tabella successiva i valori stimati delle emissioni delle vibrazioni con le velocità di progetto previste per tratta in cui è prevista l'indagine sui ricettori e per le tipologie di treni previste da progetto in transito su viadotto.

Tipologie di Treno	VIB 02a (3m)			VIB 02b (15m)			VIB 02c (30m)			Velocità progetto [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
IC-EC	81,8	78,7	71,2	97,8	97,6	88,4	69,0	70,2	66,2	250
ES	92,6	89,2	74,8	92,4	96,4	83,8	69,5	70,9	65,8	300
MERCI	70,7	67,3	60,5	85,3	83,6	74,9	57,9	59,0	53,3	100

Tabella 3-31 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno stimate in base alle velocità di progetto su Viadotto

Di seguito si riportano le curve di attenuazione in funzione della distanza per categoria di treno.

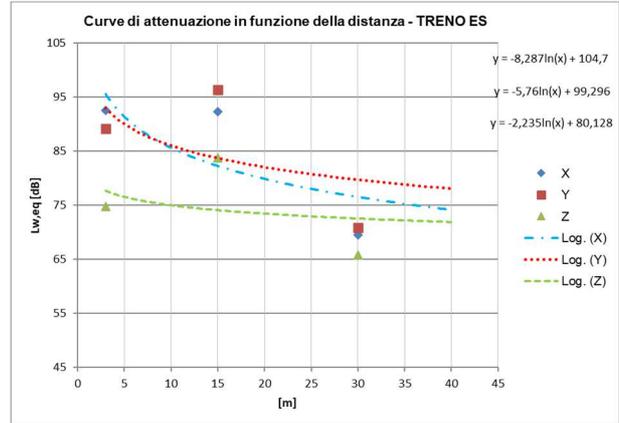
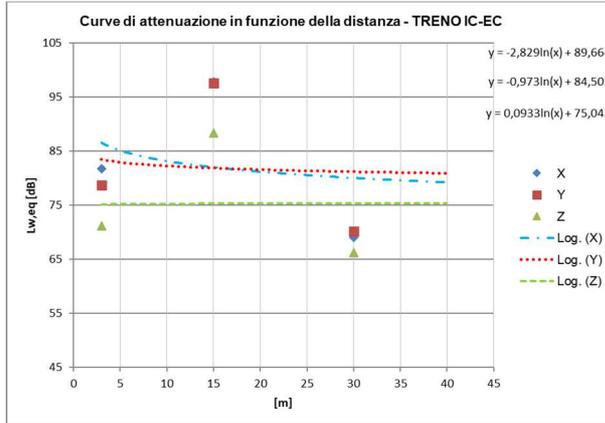


Figura 12 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 250 km/h per TIPOLOGIA TRENO IC-EC a destra a 300 km/h – TIPOLOGIA TRENO ES per t. scoperto/viadotto

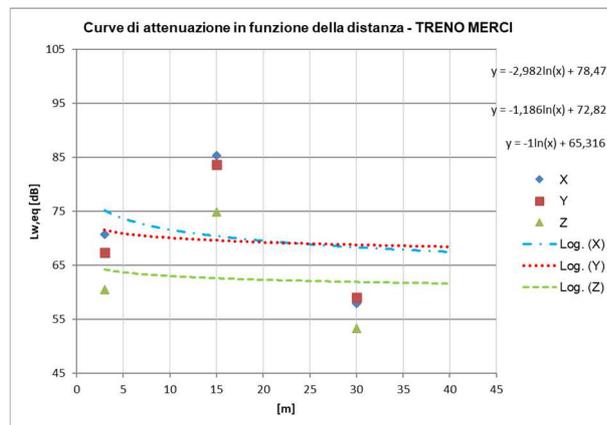


Figura 13 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 2 e valutata considerando le velocità di progetto – TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. scoperto/viadotto a 100 km/h

Per la **Sezione 3** in considerazione dei terreni interessati dal tracciato di progetto nei tratti in rilevato e trincea, in analogia a quanto fatto per le altre sezioni, si è proceduto sia a valutazioni teoriche sulla propagazione, sia all'utilizzazione di una curva sperimentale di regressione per la trasmissione delle vibrazioni nel terreno lungo i tre assi, come riportato nell'immagine seguente (livello medio di accelerazione, ponderato per "postura non nota", in corrispondenza dei punti di misura) e considerando le velocità previste in progetto al fine della definizione dell'emissione del convoglio ferroviario.

Di seguito si riportano le emissioni delle vibrazioni per tipologia di treno rilevati dalle indagini sperimentali rappresentative dei tratti allo scoperto su rilevato e trincea.

Tipologie di Treno	VIB 03a (5m)			VIB 03b (20m)			VIB 03c (35m)			Velocità media da indagine [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
REG	85,2	85,1	79,7	69,6	71,1	67,4	66,7	65,6	62,3	43
IC-EC	77,9	81,3	74,0	68,7	69,0	66,1	66,6	64,8	60,7	58
ES	77,3	79,2	73,2	66,8	67,1	64,7	65,6	64,7	60,7	65
MERCI	75,3	78,2	71,5	66,6	67,5	64,5	66,3	64,2	60,2	71

Tabella 3-32 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno rilevate dalle indagini sperimentali

Nella tabella successiva i valori stimati delle emissioni delle vibrazioni con le velocità di progetto previste per tratta in cui è prevista l'indagine sui ricettori e per le tipologie di treni previste da progetto in transito su rilevato e trincea.

Tipologie di Treno	VIB 03a (5m)			VIB 03b (20m)			VIB 03c (35m)			Velocità progetto [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
IC-EC	90,6	94,0	86,7	81,4	81,7	78,8	79,3	77,5	73,4	250
ES	90,6	92,5	86,5	80,1	80,4	78,0	78,9	78,0	74,0	300
MERCI	78,3	81,2	74,5	69,6	70,5	67,5	69,3	67,2	63,2	100

Tabella 3-33 - Livello equivalente medio ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni per tipologia di treno stimate in base alle velocità di progetto

Di seguito si riportano le curve di attenuazione in funzione della distanza per categoria di treno.

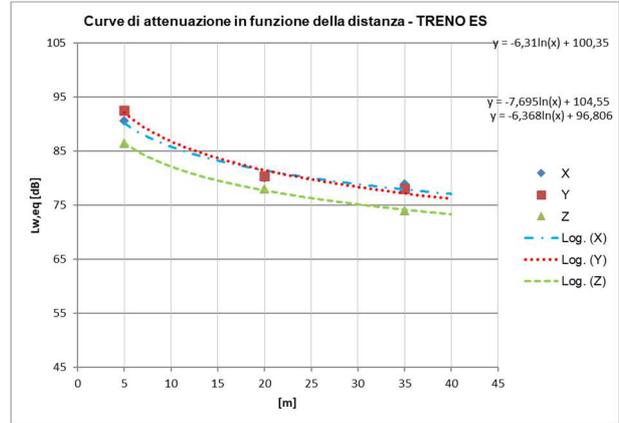
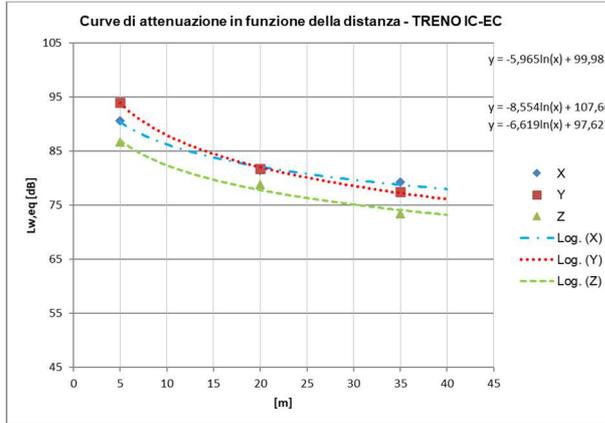


Figura 14 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 3 e valutata considerando le velocità di progetto a sinistra a 250 km/h per TIPOLOGIA TRENO IC-EC a destra a 300 km/h – TIPOLOGIA TRENO ES per t. scoperto/rilevato

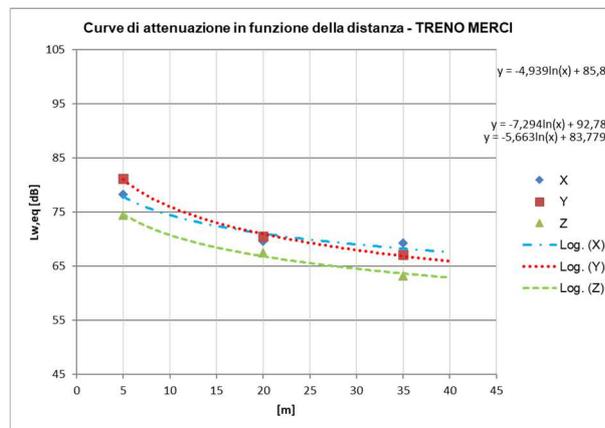


Figura 15 - Curva di attenuazione del $L_{w,eq}$ in funzione della distanza dal binario, ricavata dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo gli assi x, y e z, in corrispondenza delle SEZ. 3 e valutata considerando le velocità di progetto di 100 km/h – TIPOLOGIA TRENO MERCI per t. scoperto/rilevato

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 moltiplicano 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 ($f = 0\div 80$ 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 immorsate nel terreno e edifici di recente edificazione con ossatura in cemento armato e fondazioni continue. L'edificazione appare omogenea e caratterizzata da abitazioni isolate o palazzine con struttura in c.a. e altezza media di 1, 2 e/o 3 piani.

In queste condizioni, sulla base di quanto sin ora detto, la differenza tra il livello di vibrazione del terreno e quello dell'edificio si stima cautelativamente amplificata di 5 dB per l'effetto combinato delle componenti positive, quali la perdita di accoppiamento suolo-fondazioni e l'attenuazione da piano a piano, e delle componenti negative di attenuazione, quali la risonanza alle frequenze proprie dei solai. L'approccio cautelativo con cui viene affrontato il tema è confermato anche da indagini effettuate sulle linee ferroviarie italiane.

Rumore trasmesso per via solida dalle strutture

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

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

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

dove:

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

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

f: frequenza per bande a terzi di ottava in Hz

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.

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 (89,5 dB per il giorno - 86,7 dB per la notte).

Applicando i modelli di calcoli precedentemente descritti e le funzioni di trasferimento sperimentali, si rileva che i valori di riferimento di cui alla norma UNI 9614 sono generalmente rispettati per tutti i ricettori posti in prossimità del nuovo tracciato ferroviario.

Considerando tipologie edilizie sia in c.a. sia in muratura (con luci di solaio di 4 m) e attraversamenti litologici tipici dell'area in esame, si è giunti al calcolo della distanza dalla sorgente a cui il livello di accelerazione ponderato risulta inferiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa UNI 9614 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 e velocità di esercizio

Di seguito si riporta la tabella con il dettaglio dei flussi di esercizio e delle velocità relative alla linea di progetto:

LOTTO 1B			
Tratto ROMAGNANO - BIVIO PRAJA			
Tipologia	Periodo Diurno (06-22)	Periodo Notturno (06-22)	V [km/h]
AV	80	8	300
IC (LH-Etr600)	14	2	250
MERCI	24	24	100

Tabella 4-1 – Modello di Esercizio di Progetto Linea AV

4.3 Livello di emissione complessivo

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, tenendo conto del tempo di esposizione medio per tipologia di treno. Nelle tabelle seguenti si evince, per i tre assi alle tre terne, il valore complessivo di esposizione nel periodo diurno e nel periodo notturno calcolato sulla base del modello di esercizio atteso considerando il traffico e le velocità in esercizio.

Di seguito si riportano i valori attesi sia per i tratti di linea allo scoperto (viadotto, rilevato/trincea) che per i tratti in galleria (coperto) per il quale la valutazione è compiuta sia sui periodi di riferimento che per l'evento massimo.

4.3.1 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello dei periodi di riferimento

Di seguito si riporta la valutazione considerando il modello di esercizio in relazione ai periodi di riferimento.

IC-EC (Velocità = 250km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 1a	3	57,7	56,6	51,7	51,5	50,4	45,5
VIB 1b	15	56,8	60,1	63,9	50,6	53,9	57,7
VIB 1c	30	46,0	52,6	44,0	39,8	46,4	37,8

Tabella 4-2 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI IC-EC tratti al coperto

ES (Velocità = 300km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 1a	3	62,9	62,0	56,9	55,2	54,3	49,2
VIB 1b	15	62,7	65,8	71,0	55,0	58,1	63,3
VIB 1c	30	52,0	57,6	50,5	44,3	49,9	42,8

Tabella 4-3 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI ES tratti al coperto

MERCİ (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 1a	3	54,4	52,1	46,5	56,6	54,3	48,7
VIB 1b	15	47,9	56,6	53,9	50,1	58,8	56,1
VIB 1c	30	43,9	52,7	39,0	46,1	54,9	41,2

Tabella 4-4 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti al coperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 1a	3	64,5	63,5	58,4	59,7	58,1	52,8
VIB 1b	15	63,8	67,3	71,9	57,2	62,2	64,9
VIB 1c	30	53,5	59,8	51,7	48,9	56,5	45,8

Tabella 4-5 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 1a	3	69,5	68,5	63,4	64,7	63,1	57,8
VIB 1b	15	68,8	72,3	76,9	62,2	67,2	69,9
VIB 1c	30	58,5	64,8	56,7	53,9	61,5	50,8

Tabella 4-6 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti al coperto

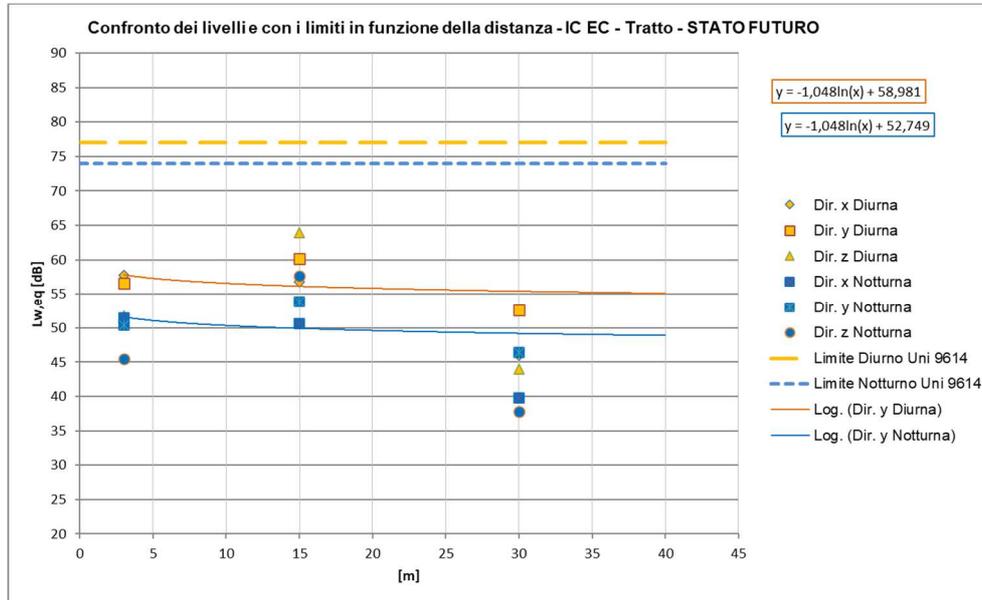


Figura 16 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, TRENI IC-EC a 250km/h

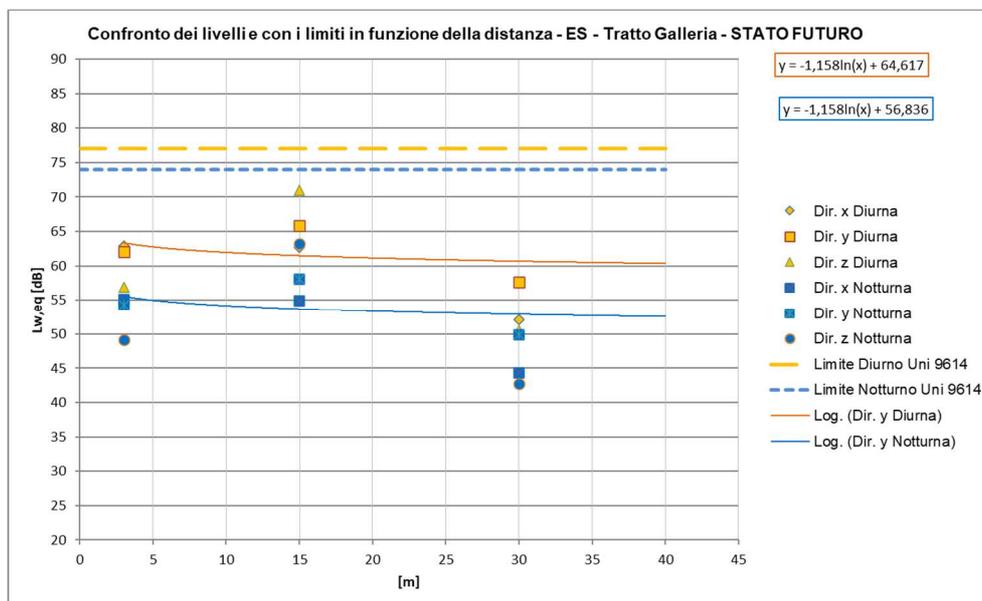


Figura 17 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, TRENI ES a 300km/h

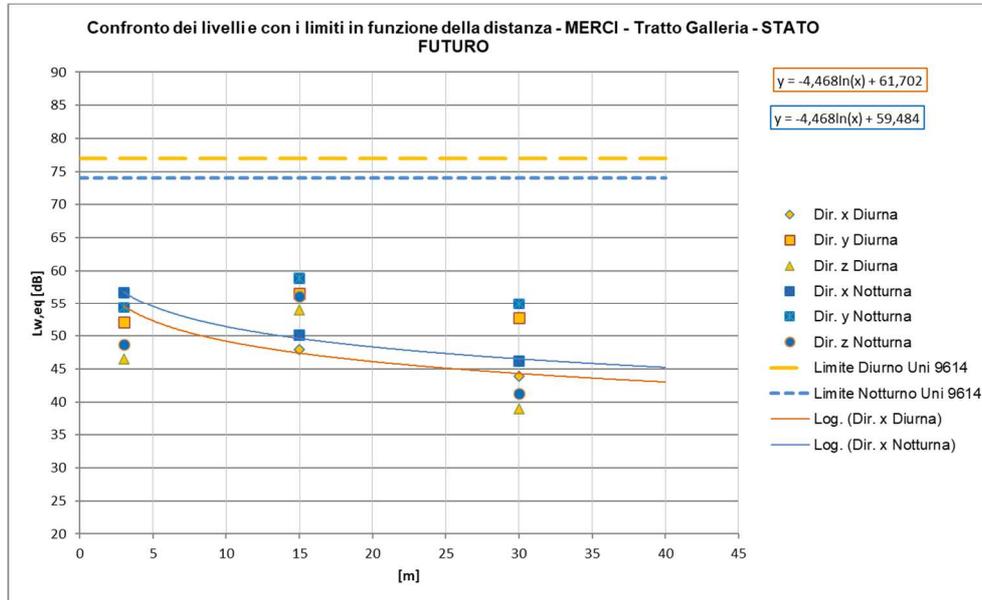


Figura 18 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, TRENI MERCI a 100km/h

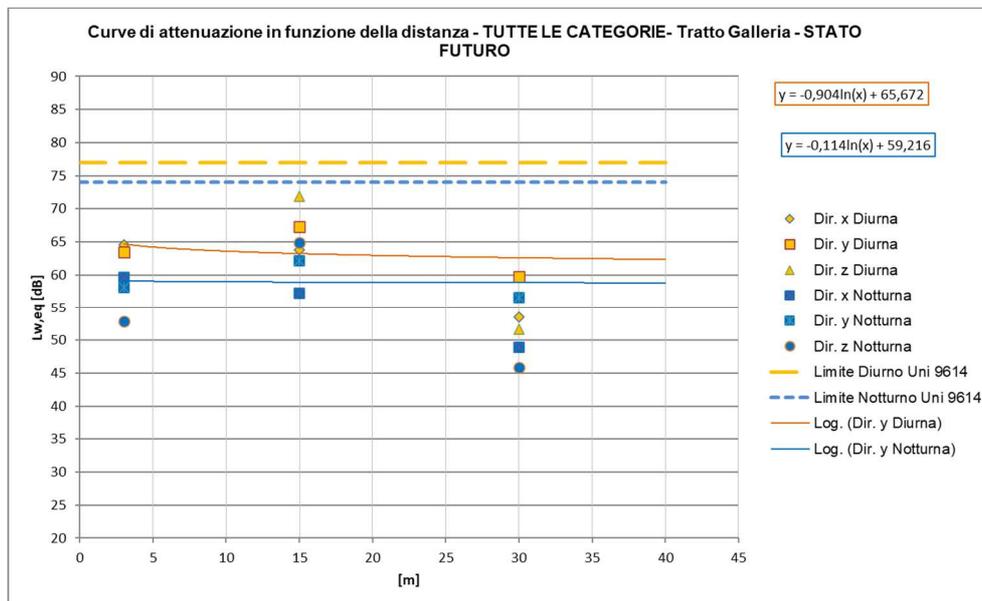


Figura 19 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto, Treni TUTTE LE CATEGORIE

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB. La valutazione è compiuta sul totale del modello di esercizio.

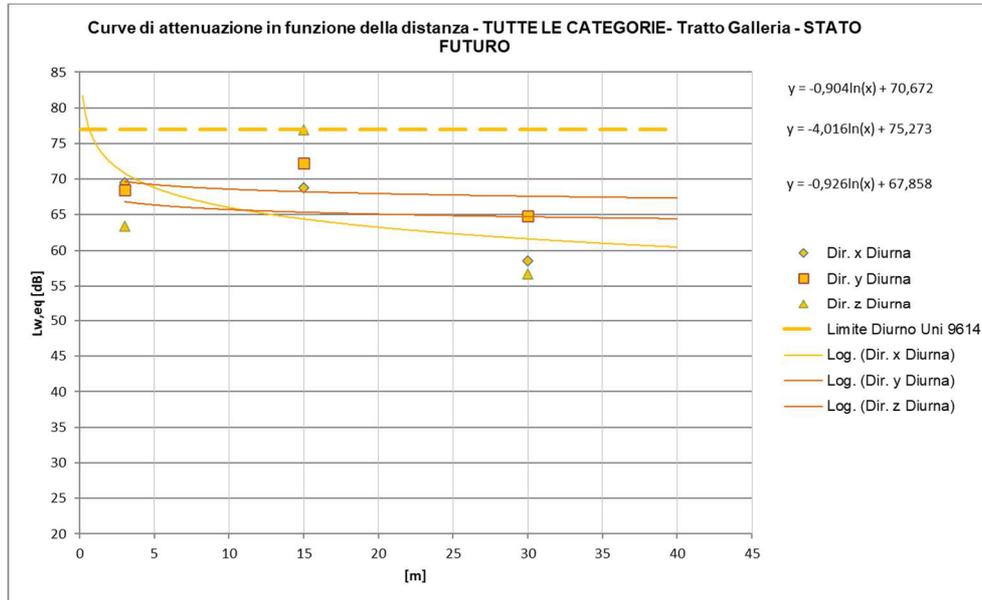


Figura 20 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, periodo diurno

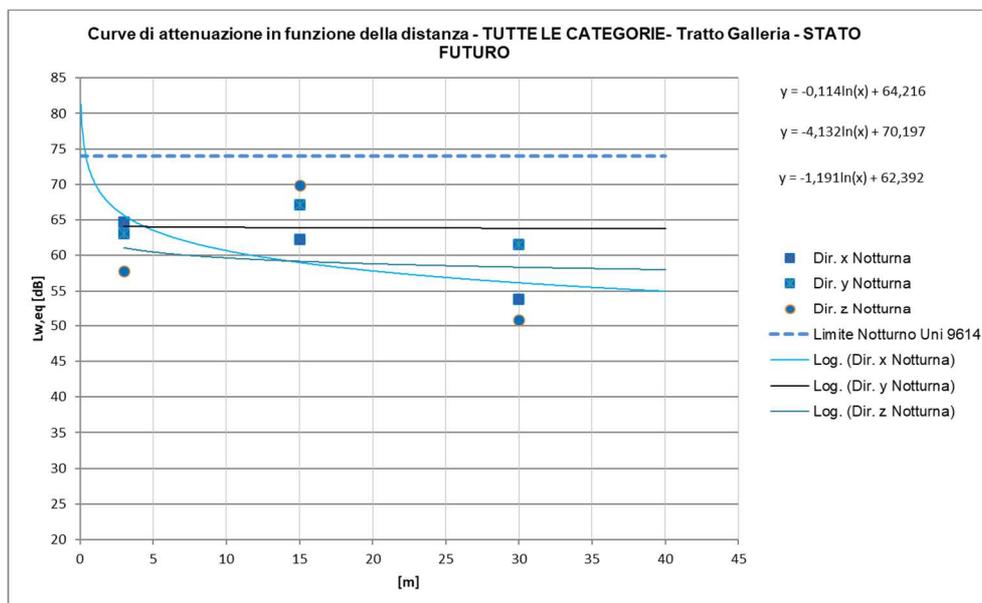


Figura 21 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti al coperto INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, periodo notturno

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti al coperto (galleria), si riscontra il rispetto dei limiti, all'interno degli edifici, del periodo diurno e del notturno già a distanze pari ed inferiori a circa 1 m dalla linea ferroviaria.

4.3.2 Valori attesi per i tratti al coperto (Galleria): valutazione sul livello evento critico

Al fine della valutazione dell'evento massimo di transito si individua, in base ai valori di emissione riscontrati dalle indagini sperimentali, che la tipologia di convoglio che lo genera è il MERCI.

Di seguito si riporta l'emissione delle vibrazioni del treno MERCI rilevata dalle indagini sperimentali ed il valore riportato alla velocità di progetto.

Tipologie di Treno	VIB 01a			VIB 01b			VIB 01c			Velocità all'indagine [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
MERCI	80,2	77,3	72,2	70,5	82,2	63,2	69,8	78,6	64,0	81

Tabella 4-7 - Livello equivalente massimo ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno rilevato dalle indagini sperimentali individuato come il maggiore

Tipologie di Treno	VIB 01a			VIB 01b			VIB 01c			Velocità progetto [km/h]
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
MERCI	82,0	79,1	74,0	72,3	84,0	65,0	71,6	80,4	65,8	100

Tabella 4-8 - Livello equivalente massimo ($L_{w,eq}$ in decibel) delle accelerazioni della tipologia di treno stimate in base alle velocità di progetto individuato come il maggiore

Di seguito si riporta la valutazione considerando la curva di attenuazione del singolo convoglio critico.

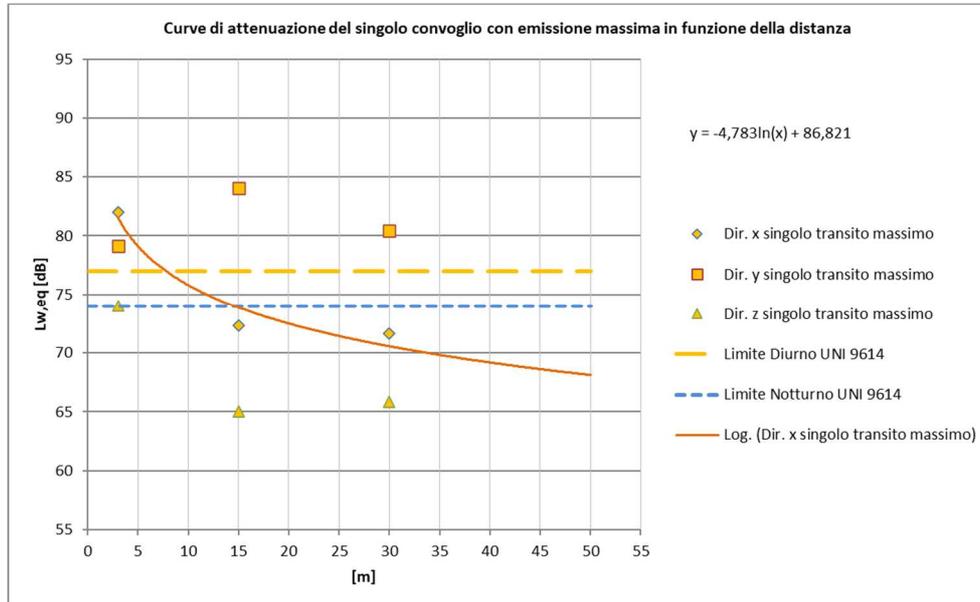


Figura 22 – Curva di attenuazione in funzione della distanza relativa al transito massimo – tratti al coperto

In base alla curva di attenuazione del transito massimo per i tratti al coperto (galleria) si riscontra, per il limite del periodo diurno il suo rispetto da circa 9 m e per il limite notturno da circa 15 m dalla linea ferroviaria.

4.3.3 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Viadotto) sul livello dei periodi di riferimento

IC-EC (Velocità = 250km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 2a	3	56,7	53,6	46,1	50,5	47,4	39,9
VIB 2b	15	72,7	72,5	63,3	66,5	66,3	57,1
VIB 2c	30	43,9	45,1	41,1	37,7	38,9	34,9

Tabella 4-9 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI IC-EC tratti allo scoperto/viadotto

ES (Velocità = 300km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 2a	3	74,8	71,4	57,0	67,1	63,7	49,3
VIB 2b	15	74,6	78,6	66,0	66,9	70,9	58,3
VIB 2c	30	51,7	53,1	48,0	44,0	45,4	40,3

Tabella 4-10 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI ES tratti allo scoperto/viadotto

MERCİ (Velocità = 100km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 2a	3	50,6	47,2	40,4	52,8	49,4	42,6
VIB 2b	15	65,2	63,5	54,8	67,4	65,7	57,0
VIB 2c	30	37,8	38,9	33,2	40,0	41,1	35,4

Tabella 4-11 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCİ tratti allo scoperto/viadotto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 2a	3	74,9	71,5	57,5	67,3	63,9	50,5
VIB 2b	15	77,1	79,7	68,1	71,7	73,0	62,3
VIB 2c	30	52,5	53,9	49,0	46,1	47,4	42,4

Tabella 4-12 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto/viadotto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	L _{w,eq} [dB] Diurno			L _{w,eq} [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 2a	3	79,9	76,5	62,5	72,3	68,9	55,5
VIB 2b	15	82,1	84,7	73,1	76,7	78,0	67,3
VIB 2c	30	57,5	58,9	54,0	51,1	52,4	47,4

Tabella 4-13 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto/viadotto

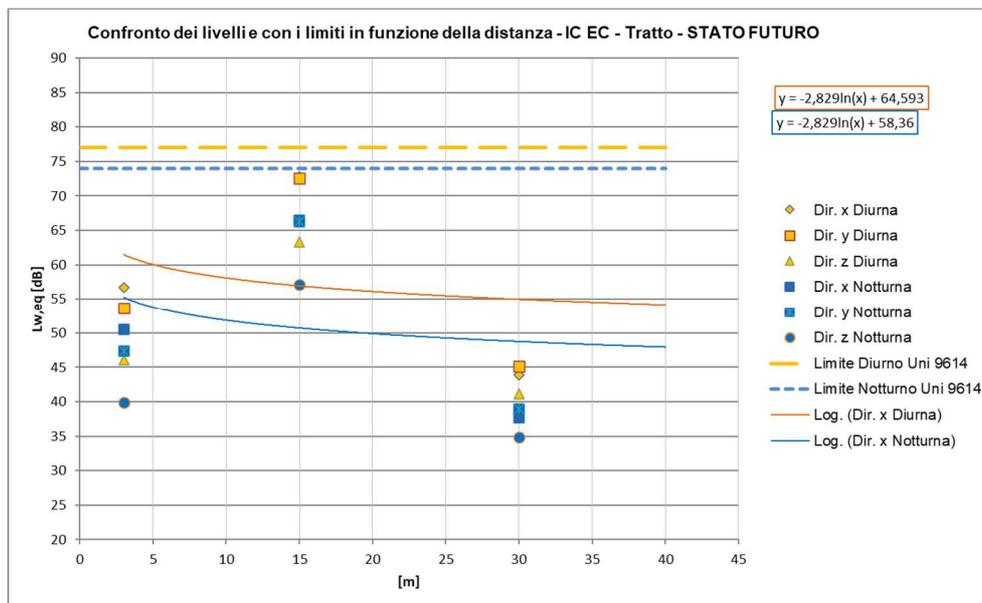


Figura 23 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, TRENI IC-EC a 250km/h

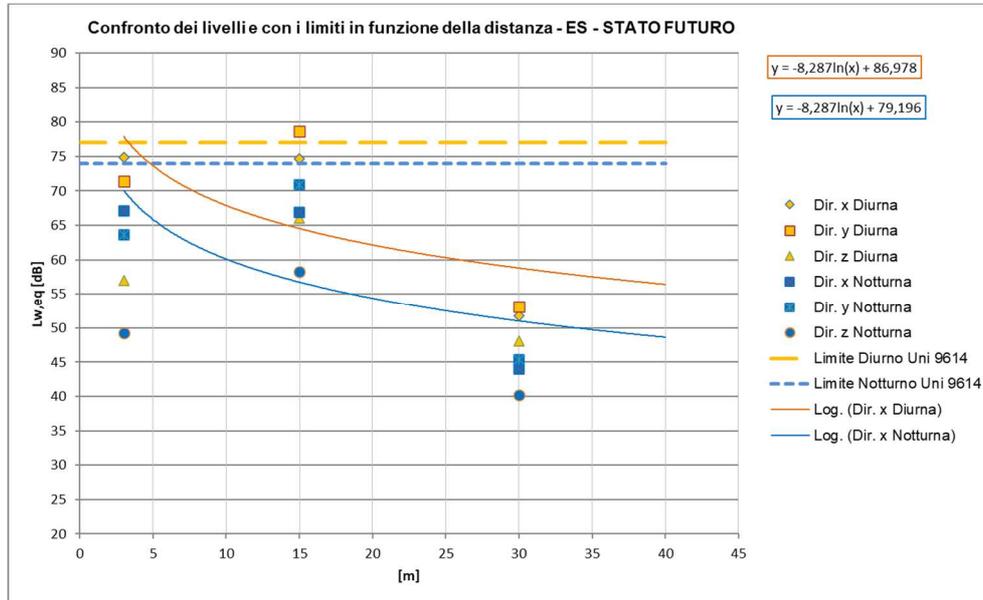


Figura 24 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, TRENI ES a 300km/h

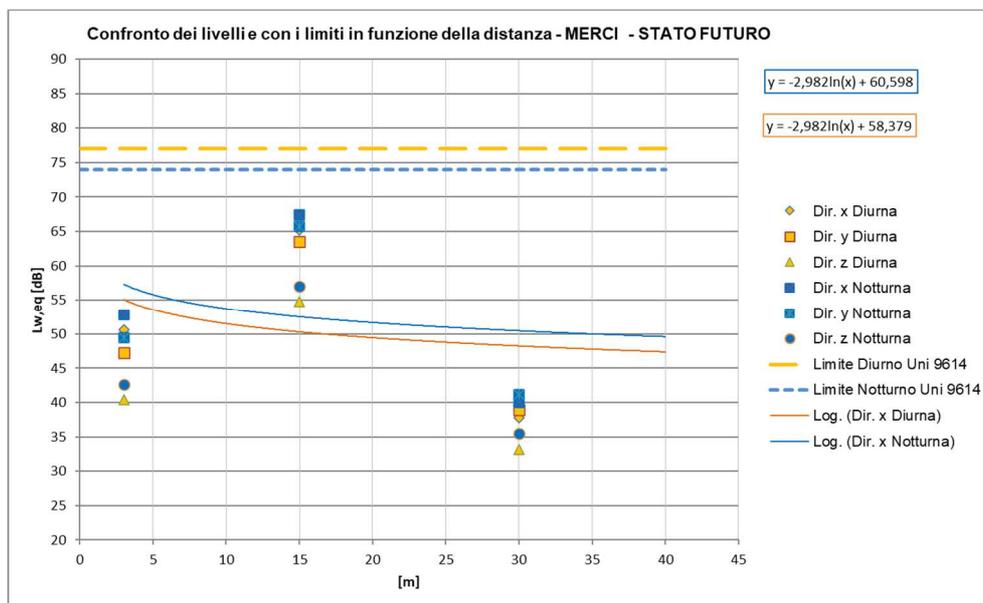


Figura 25 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, TRENI MERCI a 100km/h

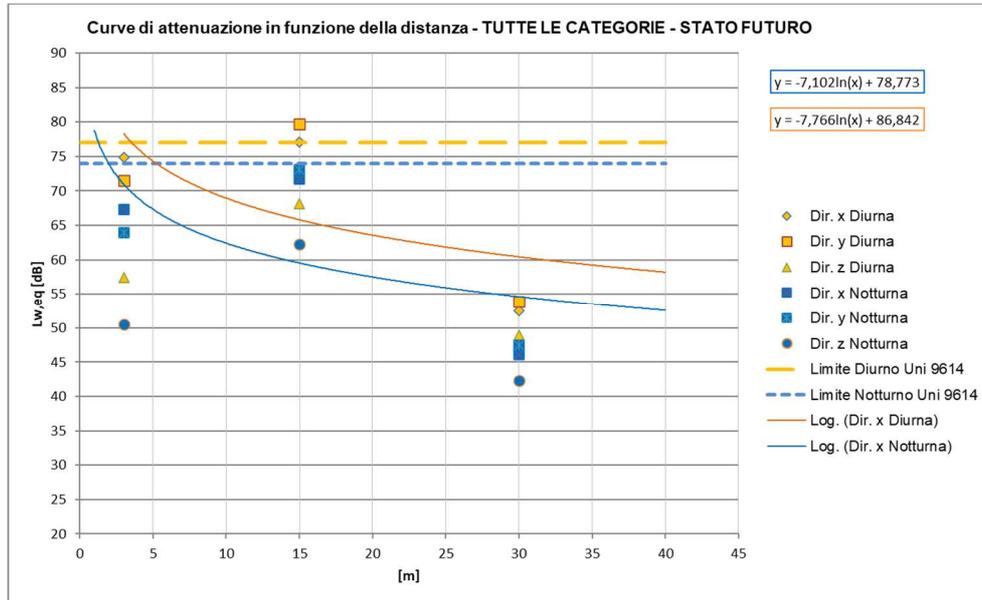


Figura 26 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, Treni TUTTE LE CATEGORIE

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB.

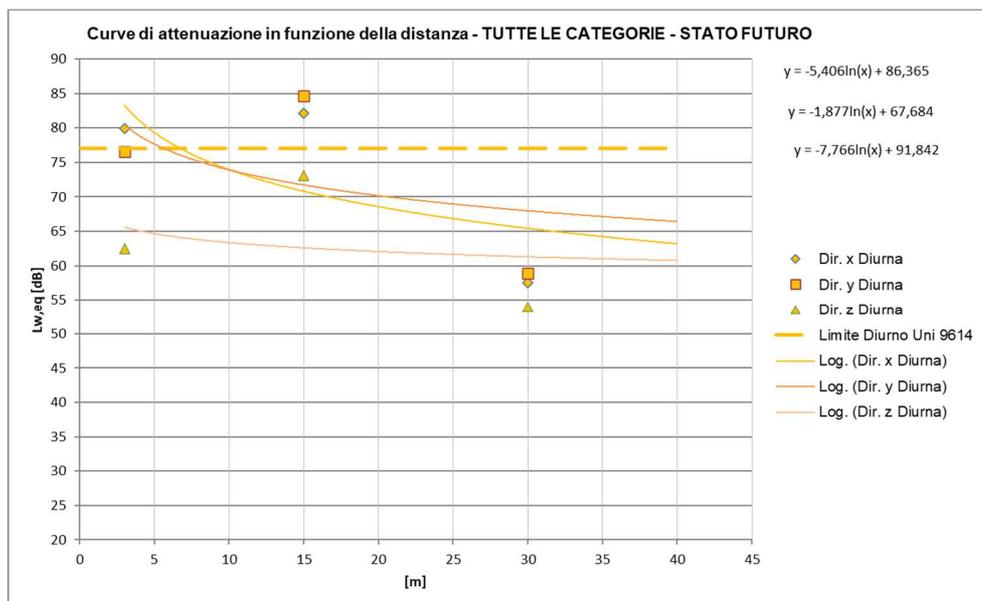


Figura 27 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, periodo diurno

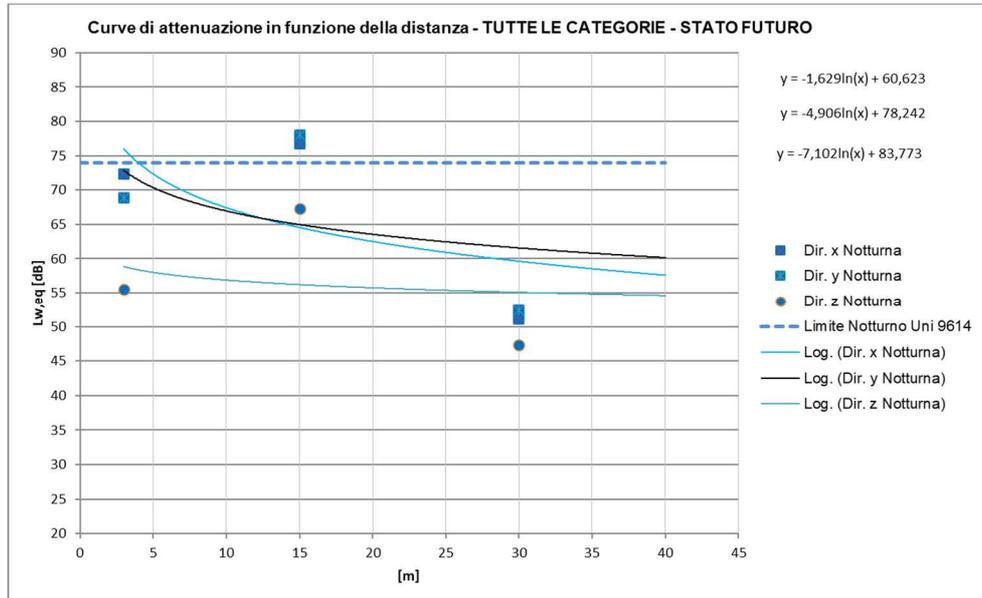


Figura 28 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, periodo notturno

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio, per i tratti allo scoperto in viadotto, si riscontra il rispetto dei limiti, già a distanze pari ed inferiori a circa 7 m dalla linea ferroviaria nel periodo diurno. Nel periodo notturno si riscontra il rispetto dei limiti, già a distanze pari ed inferiori a circa 4 m dalla linea ferroviaria

4.3.4 Valori attesi per i tratti allo scoperto (Rilevato) sul livello dei periodi di riferimento

IC-EC (Velocità = 250 km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 3a	5	66,7	70,1	62,8	58,2	61,6	54,3
VIB 3b	20	57,5	57,8	54,9	49,0	49,3	46,4
VIB 3c	35	55,4	53,6	49,5	46,9	45,1	41,0

Tabella 4-14 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI IC-EC tratti allo scoperto

ES (Velocità = 300 km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 3a	5	73,8	75,7	69,7	63,8	65,7	59,7
VIB 3b	20	63,3	63,6	61,2	53,3	53,6	51,2
VIB 3c	35	62,1	61,2	57,2	52,1	51,2	47,2

Tabella 4-15 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI ES tratti allo scoperto

MERCİ (Velocità = 100 km/h)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 3a	5	58,2	61,1	54,4	58,2	61,1	54,4
VIB 3b	20	49,5	50,4	47,4	49,5	50,4	47,4
VIB 3c	35	49,2	47,1	43,1	49,2	47,1	43,1

Tabella 4-16 – L_{w,eq} diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TRENI MERCI tratti allo scoperto

TOTALI (somma dell'emissione delle vibrazioni del numero di transiti di ogni categoria dell'MdE)							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 3a	5	74,7	76,9	70,6	65,7	68,1	61,7
VIB 3b	20	64,4	64,8	62,2	55,8	56,3	53,6
VIB 3c	35	63,1	62,0	58,0	54,7	53,3	49,3

Tabella 4-17 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

Nella tabella seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici.

Valutazione delle vibrazioni interna all'edificio (+5 dB) sul totale dei transiti							
Postazione	Dist. [m]	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		X	Y	Z	X	Y	Z
VIB 3a	5	79,7	81,9	75,6	70,7	73,1	66,7
VIB 3b	20	69,4	69,8	67,2	60,8	61,3	58,6
VIB 3c	35	68,1	67,0	63,0	59,7	58,3	54,3

Tabella 4-18 – $L_{w,eq}$ diurno e notturno (Assi X, Y e Z) in dB complessivamente atteso INTERNO AGLI EDIFICI, riferito al programma di esercizio futuro – TUTTE LE CATEGORIE tratti allo scoperto

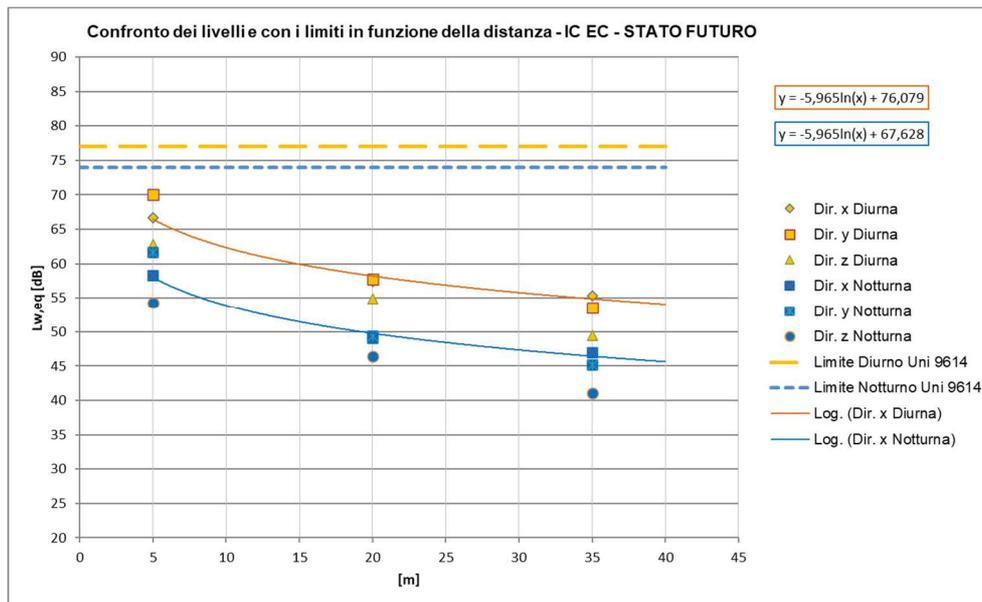


Figura 29 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, TRENI IC-EC a 250 km/h

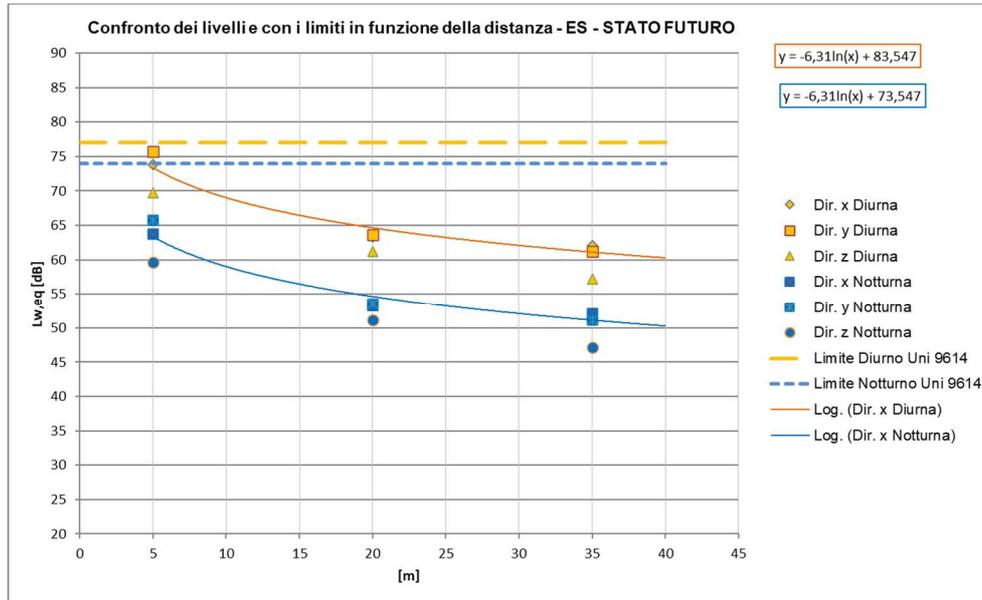


Figura 30 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, TRENI ES a 300 km/h

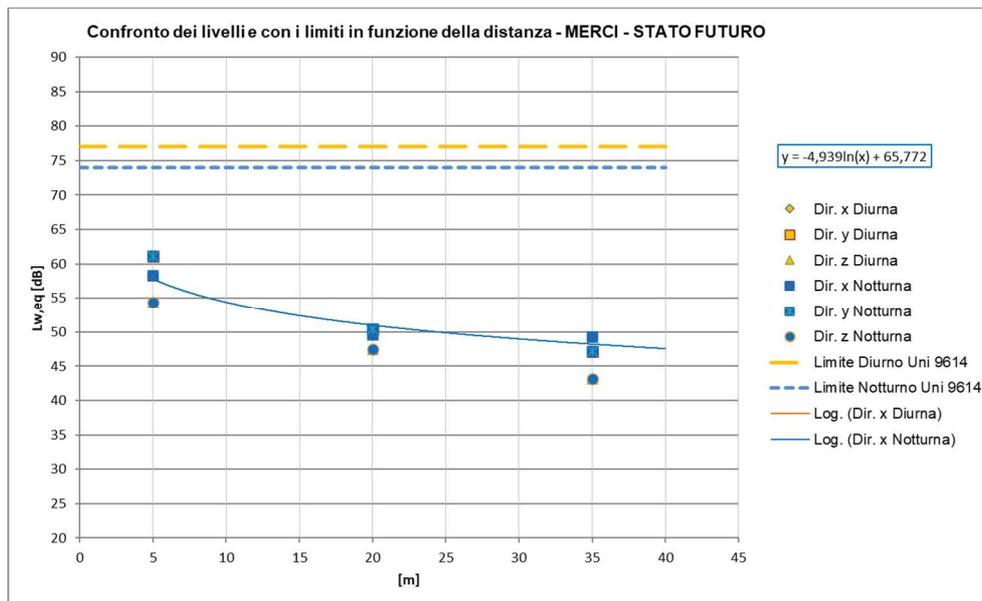


Figura 31 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, TRENI MERCI a 100 km/h

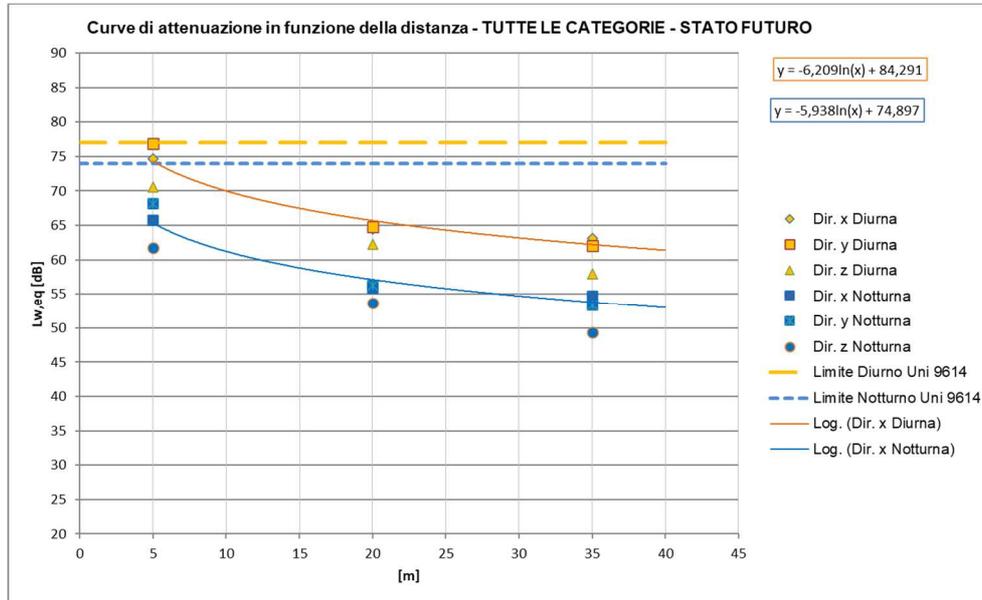


Figura 32 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto, Treni TUTTE LE CATEGORIE

Nei grafici seguente si riporta la valutazione delle vibrazioni interne agli edifici, la quale considera un incremento di amplificazione di +5 dB.

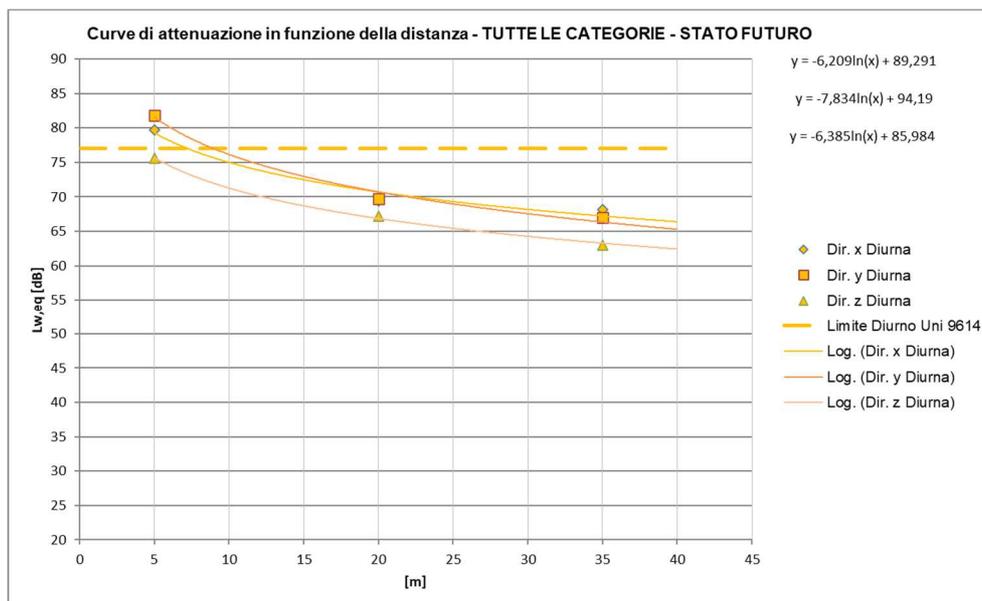


Figura 33 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, periodo diurno

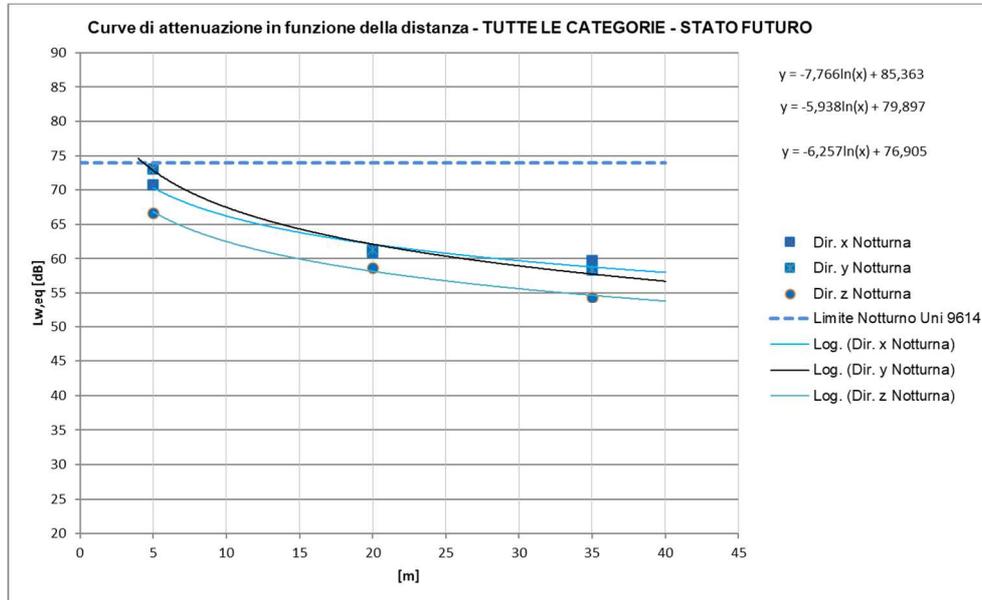


Figura 34 – Curve di attenuazione in funzione della distanza relativa al traffico ferroviario di progetto – tratti allo scoperto INTERNO AGLI EDIFICI, Treni TUTTE LE CATEGORIE, periodo notturno

In base alla curva di attenuazione relativa alla valutazione del traffico in esercizio per i tratti allo scoperto, in rilevato o trincea, si riscontra il rispetto dei limiti per destinazione abitazione, all'interno degli edifici, nel periodo diurno a distanze pari a circa 10m. Nel periodo notturno si riscontra il rispetto dei limiti per destinazione abitazione, all'interno degli edifici, a distanze pari a circa 5m.

5 CONCLUSIONI

Il livello di esposizione alle vibrazioni dei ricettori lungo la tratta oggetto di studio è stato analizzato mediante degli algoritmi di calcolo calibrati sul territorio mediante gli esiti delle misure condotte sulla linea ferroviaria esistente, su tre sezioni di indagine, ognuna con tre postazioni contemporanee caratterizzate da una terna di rilievo lungo gli assi X, Y e Z.

Come si può dedurre dai risultati complessivi relativi alle indagini condotte per caratterizzare la sezione in galleria e la sezione in viadotto sono stati registrati dei livelli di accelerazione media, che non procedono in modo decrescente rispetto alla distanza dal binario tra la terna di misura vicino alla linea ferroviaria (a 3 m) e quella nella postazione intermedia (a 15 m). Questo risultato può essere stato determinato da caratteristiche imprevedibili e non prevedibili del terreno sottostante nonché dalle caratteristiche delle opere civili presenti. Allontanandosi dalla linea ferroviaria, si riscontra tra la posizione intermedia (a 15 m) e la postazione di indagine più lontana (a 30m), valori che hanno un andamento decrescente con una tendenza a ridursi notevolmente. Nelle indagini sperimentale condotte per la caratterizzazione del rilevato si registra una progressiva diminuzione dei valori medi ponderati per tutti e tre gli assi che procede, rispetto alla distanza dal binario, dalla terna di misura vicino alla linea ferroviaria (a 5 m), in quella nella postazione intermedia (a 20 m) a quella più lontana (a 35m).

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.

Al fine della valutazione del progetto, prendendo in considerazione gli eventi registrati nella Sezione 1 di misura, ritenuta caratterizzante della futura linea per la propagazione delle vibrazioni per i tratti al coperto, la Sezione 2 ritenuta caratterizzante i tratti allo scoperto in viadotto e la Sezione 3, ritenuta caratterizzante per i tratti allo scoperto in rilevato e trincea, e riferendosi al traffico e alle velocità di progetto, si evince nella tabella seguente la distanza limite alla quale è atteso il rispetto del limite delle vibrazioni, all'interno degli edifici ad uso abitativo, in periodo diurno e notturno in funzione del modello di esercizio per i diversi tratti (tipologia, numero e velocità dei convogli) e la valutazione sul singolo transito massimo per la galleria. Per il dettaglio del livello di accelerazione medio sui tratti si rimanda alla consultazione delle tabelle contenute nel paragrafo della valutazione delle emissioni delle vibrazioni. In tale paragrafo, le tabelle riportano il livello di accelerazione medio atteso nella postazione a ridosso della ferrovia; per galleria e viadotto a 3 m, per rilevato e trincea a 5 m dal binario esterno; nella postazione intermedia, a 15 m per galleria e viadotto e 20 m per rilevato e trincea; nella postazione più lontana, a 30 m per galleria e viadotto e 35 m per rilevato e trincea. I livelli di emissione sono suddivisi per tipologia di treno, rispettivamente per gli assi X, Y e Z, in periodo diurno e notturno.

In dettaglio, si identificano le seguenti distanze dalla linea ferroviaria per le quali si stimano valori inferiori ai limiti normativi.

Tratti linea in progetto	Distanza limite per il periodo diurno	Distanza limite per il periodo notturno
tratti al coperto (galleria)	≤ 1 m	≤ 1 m
singolo transito massimo per i tratti al coperto (galleria)	9 m	15 m
tratti allo scoperto, in viadotto	7 m	4 m
tratti allo scoperto, in rilevato o trincea	10 m	5 m

Tabella 5-1 – Distanza entro la quale è rispettato il limite delle vibrazioni per edifici a destinazione abitazione suddivisa per tipologia di tratta

Valutando i risultati ottenuti, i quali considerano il traffico e la velocità di esercizio, l'effetto di amplificazione interno agli edifici e la funzione di propagazione delle vibrazioni in base alla tipologia di terreno, sostanzialmente analogo a quello presente nell'area dell'indagine strumentale, si evince che tutti i ricettori presenti in progetto sono esposti ad un livello di accelerazione conforme alle soglie di riferimento della norma UNI 9614.

Eseguendo una analisi dei ricettori entro una distanza di 25 m dall'asse ferroviario e riferita allo stato futuro, si identificano i seguenti ricettori per i quali si stima un livello di accelerazione conforme alle soglie di riferimento della norma UNI 9614. Per le tratte allo scoperto si identificano sei ricettori siti nel Comune di Sala Consilina (5 ad uso abitazione ed un artigianale/industriale). Per la linea al coperto (galleria) si individuano, nella fascia di 25 m dal binario, sul Comune di Buccino nove ricettori (7 ad uso abitazione e 2 commerciale e servizi) alle distanze planimetriche, rispetto alla linea ferroviaria del binario (preso come riferimento), da circa 2 m a 27 m e coperture da circa 31 m a 83 m. Nel Comune di Polla si individuano due ricettori (ad uso abitazione) alle distanze planimetriche, rispetto alla linea ferroviaria del binario, da circa 7 m a 20 m e coperture da circa 43 m a 84 m.

Nella tabella seguente il dettaglio dei ricettori individuati.

ric.	destinazione d'uso	distanza dal binario più prossimo [m]	ricopertura [m]	pk BP	pk BD	Tipologia Opera	Comune
1008	residenziale	19	34		2+036	galleria	Buccino
1009	residenziale	13	33		2+059	galleria	Buccino
9002	residenziale	8	75	2+250		galleria	Buccino

ric.	destinazione d'uso	distanza dal binario più prossimo [m]	ricopertura [m]	pk BP	pk BD	Tipologia Opera	Comune
1010	residenziale	2	64		2+788	galleria	Buccino
9004	residenziale	23	83	3+620		galleria	Buccino
9005	commerciale	7	37	4+620		galleria	Buccino
9006	commerciale	22	37	4+620		galleria	Buccino
9007	residenziale	27	31	4+680		galleria	Buccino
9009	residenziale	2	78	7+030		galleria	Buccino
9011	residenziale	20	84	21+050		galleria	Polla
9013	residenziale	7	43	21+290		galleria	Polla
2097	residenziale	25	---	32+300		viadotto	Sala Consilina
1274	artigianale	19	---		28+570	viadotto	Sala Consilina
1280	residenziale	18	---		28+700	viadotto	Sala Consilina
2098	residenziale	26	---	32+500		viadotto	Sala Consilina
2123	residenziale	10	---	33+170		viadotto	Sala Consilina
1327	residenziale	23	---		29+654	viadotto	Sala Consilina

Tabella 5-2 – Distanza dei ricettori entro una distanza di 25 m dal binario dispari e dal binario pari.

Considerando che le valutazioni svolte sono avvalorate dal fatto che sono state assunte in condizioni al contorno più severe di quelle che si verificheranno con la realizzazione dell'opera ferroviaria, in quanto la nuova linea ferroviaria sarà costituita da un armamento nuovo e pertanto più levigato rispetto a quello della linea ferroviaria esistente e sulla quale sono stati eseguiti i rilievi, per tali ricettori, si stimano valori conformi alla soglia di riferimento della normativa.