

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. ARCHITETTURA, AMBIENTE E TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

**LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO**

STUDIO VIBRAZIONALE

RELAZIONE VIBRAZIONALE

PFTE da sottoporre all'esame del CSLP ai sensi del DL 16 luglio 2020, n. 76 convertito con legge n. 120/2020 «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale.»

SCALA:

-

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

NN1X 00 D 22 RG IM0004 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMMISSIONE ESECUTIVA	C. Giannobile 	Dicembre 2020	A. Corvaja 	Dicembre 2020	M. Branno 	Dicembre 2020	D. Ludovici Dicembre 2020

File: NN1X00D22RGIM0004003A

n. Elab.:

Indice

1	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
1.1	IL QUADRO DELLE NORME DI RIFERIMENTO.....	3
2	AREA DI STUDIO	9
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	9
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
3	INDAGINI VIBRAZIONALI	14
3.1	RILIEVI DI VIBRAZIONI IN SITU	14
3.2	ANALISI DEI RILIEVI.....	16
3.2.1	Entità vibrazionale e relativa variabilità dei transiti ferroviari	16
3.2.2	Caratteristiche di emissione delle vibrazioni di origine ferroviaria	16
4	STUDIO DELL'IMPATTO DA VIBRAZIONI	21
4.1	LE VIBRAZIONI INDOTTE IN FASE DI ESERCIZIO	21
4.2	CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE DI VIBRAZIONI	22
4.2.1	Interazione ruota-rotaia	22
4.2.2	Velocità dei treni.....	24
4.2.3	Corpo ferroviario	24
4.3	LA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO	25
4.4	LA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NELLE STRUTTURE EDILIZIE.....	34
4.4.1	Risposta degli edifici alle vibrazioni	34
4.4.2	Accoppiamento terreno – fondazioni edificio	35
4.4.3	Trasmissione attraverso l'edificio.....	36
4.4.4	Risonanze strutturali dei solai.....	37
4.4.5	Individuazione delle vibrazioni trasmesse a ciascun edificio e stima della risposta	39
4.4.6	Rumore trasmesso per via solida dalle strutture.....	40
5	LA VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE IN FASE DI ESERCIZIO	42
5.1	PREVISIONE DELL'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO	42
5.2	TRAFFICO DI ESERCIZIO	42
5.3	LIVELLI COMPLESSIVI.....	43
5.3.1	Individuazione dei livelli di vibrazione	43
5.3.2	Livello di emissione massima	43
5.3.3	Livello di emissione complessivo.....	46
5.4	INDIVIDUAZIONE DELLE AREE CRITICHE	50
6	CONCLUSIONI	53

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 3 di 54

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

1.1 IL QUADRO DELLE NORME DI RIFERIMENTO

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

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

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

ISO2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni"

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

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

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

L'Annex A della ISO 2631-2 (che non rappresenta peraltro parte 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,

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

vibrazioni transitorie) e del tipo di insediamento (ospedali, laboratori di precisione, residenze, uffici, industrie). Le vibrazioni devono essere misurate nel punto di ingresso nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione r.m.s. perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

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

La norma è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (*giorno*, dalle 7:00 alle 22:00, e *notte*, dalle 22:00 alle 7:00) e dalle destinazioni d'uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614 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 1-1 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

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 5 di 54

con una pendenza asintotica di 12 dB per ottava. Nel caso la postura del soggetto esposto non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti. In alternativa, i rilievi su ogni asse vanno effettuati utilizzando in successione i filtri sopraindicati; ai fini della valutazione del disturbo verrà considerato il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza più elevato. Nell'Appendice della norma UNI 9614, che non costituisce parte integrante della norma, si indica che la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante deve essere svolta confrontando i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, o i corrispondenti livelli più elevati riscontrati sui tre assi, con una serie di valori limite riportati nei prospetti II e III. Quando i valori o i livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto. Nel caso di vibrazioni di tipo impulsivo è necessario misurare il livello di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale livello deve essere successivamente diminuito di 3 dB al fine di stimare il corrispondente livello efficace. I limiti possono essere adottati se il numero di eventi impulsivi giornalieri non è superiore a 3. Nel caso si manifestino più di 3 eventi impulsivi giornalieri i limiti fissati per le abitazioni, gli uffici e le fabbriche vanno diminuiti in base al numero di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per un fattore correttivo F. Nessuna riduzione può essere applicata per le aree critiche. Nel caso di impulsi di durata inferiore a 1 s si deve porre $F = 1.7 \cdot N^{-0.5}$. Per impulsi di durata maggiore si deve porre $F = 1.7 \cdot N^{-0.5} \cdot t^{-k}$, con $k = 1.22$ per pavimenti in calcestruzzo e $k = 0.32$ per pavimenti in legno. Qualora i limiti così calcolati risultassero inferiori ai limiti previsti per le vibrazioni di livello stazionario, dovranno essere adottati questi ultimi valori.

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

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 6 di 54

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.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 7 di 54

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center">LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>STUDIO VIBRAZIONALE Relazione</p>	<p>COMMESSA NN1X</p>	<p>LOTTO 00 E 22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 003</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 8 di 54</p>

durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale compresa tra 20÷200 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 9 di 54

2 AREA DI STUDIO

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

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



Figura 2-1 Vista aerea dell'inquadramento generale dell'intervento oggetto di studio

La nuova linea metropolitana si sviluppa in affiancamento alla linea ferroviaria Salerno-Battipaglia. L'ambito di studio è caratterizzato da un tessuto prevalentemente urbanizzato con presenza di edifici residenziali, commerciali, industriali e sensibili e la presenza di aree agricole in prossimità dell'aeroporto di Salerno-Pontecagnano.

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio oggetto degli interventi in progetto si sviluppa lungo la Piana del Sele, nel settore centro settentrionale della pianura, per una lunghezza di 8,8 km circa ed affiancherà la linea ferroviaria Salerno – Battipaglia nei pressi del comune di Pontecagnano. Per quanto concerne la cartografia geologica di riferimento, la cartografia CARG in scala 1: 50.000 copre l'intero territorio oggetto del presente studio (foglio 467 "Salerno" – scala 1:5000, Fonte ISPRA). Questo settore si presenta

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

alquanto articolato per la presenza dei golfi di Napoli e Salerno, individuati da NW a SE dal settore vulcanico Flegreo, dalla Penisola di Sorrento e dal promontorio del Cilento. Specificatamente all'ambito di studio, la Piana del Sele, come detto, è una pianura alluvionale che occupa la parte emersa del graben peritirrenico del Golfo di Salerno. La parte più interna di questo graben a partire dal Pliocene fu riempita da un'enorme quantità di sedimenti (dello spessore di 2000 m), associata ad una lenta e progressiva subsidenza Quaternario. All'interno della piana la distribuzione spaziale ed altimetrica di questi depositi è molto caratteristica ed appare strettamente influenzata dall'evoluzione tettonica dell'area: i terreni più recenti sono incastrati in quelli più antichi procedendo dalla periferia verso il centro della depressione (Brancaccio et al., 1995). Il basamento della piana (del Miocene superiore) è formato da argille marnose con frequenti intercalazioni arenacee, alla cui sommità sono presenti calcari evaporitici e sedimenti derivati dall'accumulo dei frustoli di diatomee (Ortolani et al., 1979). La parte più interna di tale depressione è occupata da successioni conglomeratiche che si estendono da Salerno ad Eboli, frutto dell'erosione che ha interessato i Monti Picentini in seguito alle condizioni climatiche fredde e ai movimenti tettonici del Pleistocene inferiore (Sintema di Eboli) (Pappone et al., 2009). Questi depositi alluvionali, in massima parte in facies di media e bassa conoide, testimoniano, come accennato in precedenza, le fasi di più forte e rapido sollevamento dei massicci carbonatici bordieri (Monti Picentini) e la contemporanea subsidenza anche sul settore orientale del graben (Brancaccio et al., 1987).

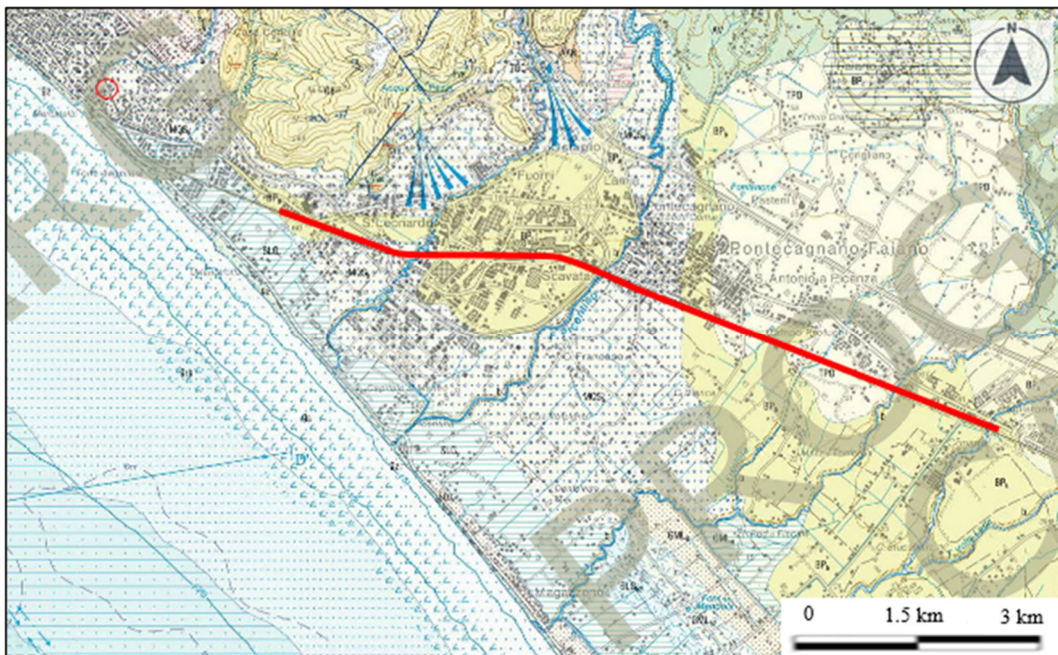


Figura 2-2 Stralcio, non in scala, delle Carta Geologica, Foglio 467 "Salerno", scala 1: 50.000, ISPRA. Il tracciato oggetto di intervento è stato evidenziato in rosso, il cerchio rosso indica l'ubicazione del PPM di Mercatello.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

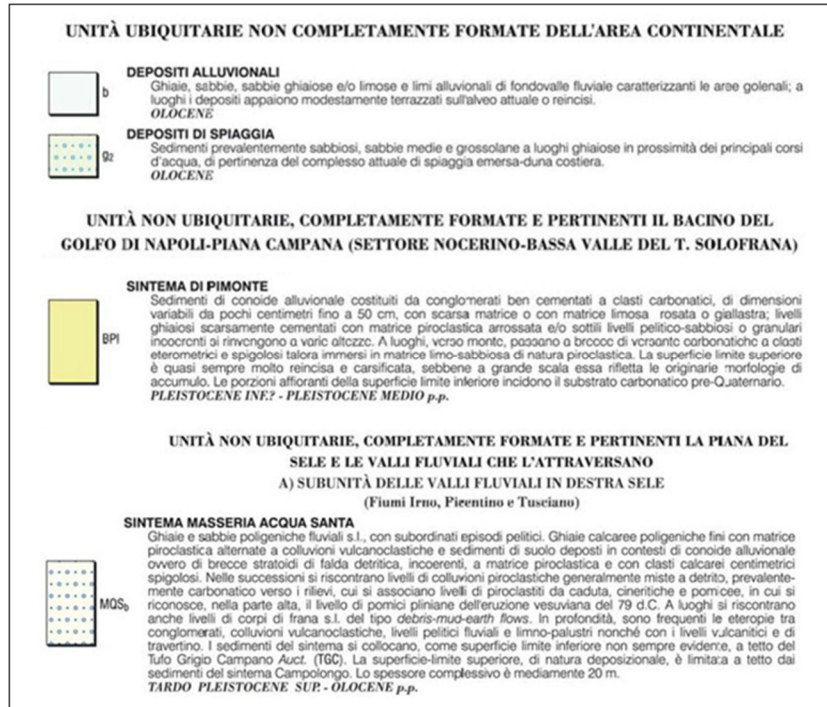


Figura 2-3 Stralcio della legenda della Carta Geologica, Foglio 467 "Salerno", scala 1: 50.000, ISPRA.

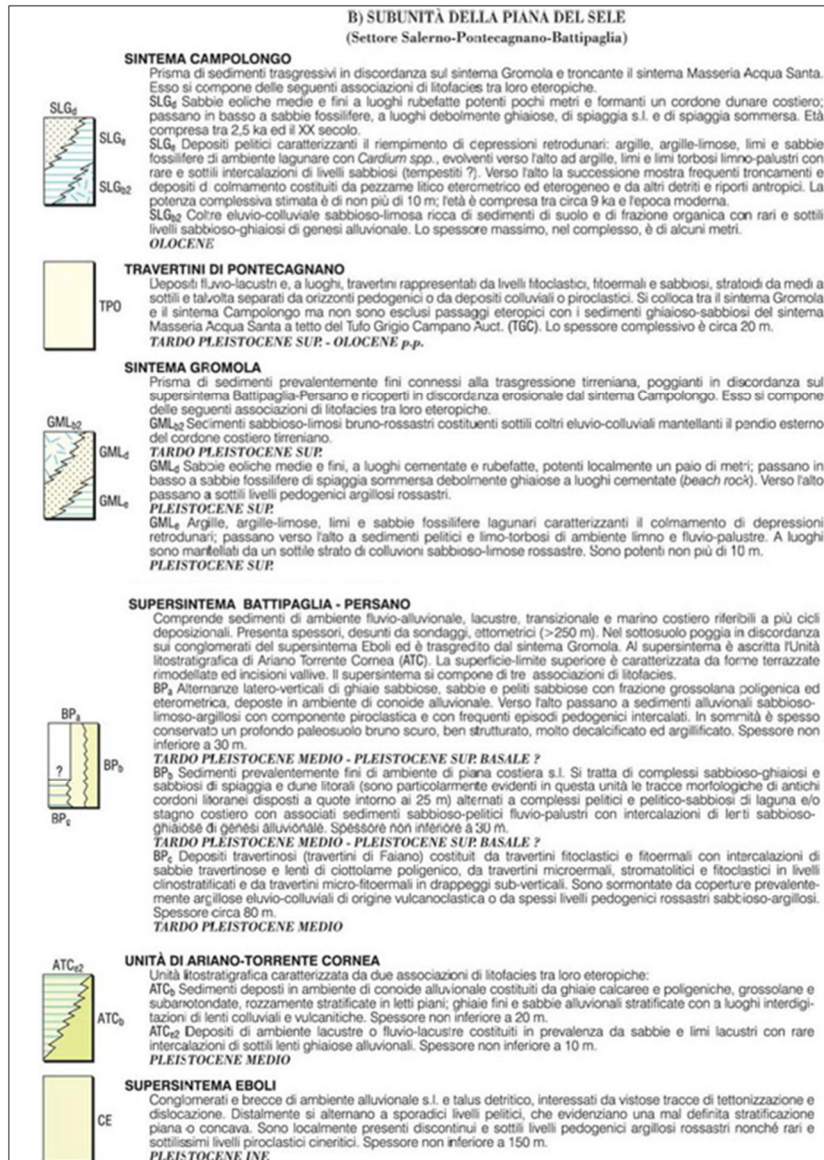


Figura 2-4 Stralcio della legenda della Carta Geologica, Foglio 467 "Salerno", scala 1: 50.000, ISPRA.

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

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

Tipologia suolo	Velocità di propagazione delle onde longitudinali [m/s]	Fattore di smorzamento	Densità [kg/m ²]
Roccia	3500	0,01	2650
Sabbia, limo, ghiaia, loess	600	0,1	1600
Argilla, suolo argilloso	1500	0,1 – 0,2	1700

La classificazione ai fini vibrazionali è indicata nella seguente tabella.

Simbologia stratigrafica	Descrizione	Velocità di propagazione delle onde longitudinali [m/s]	Fattore di smorzamento	Densità [kg/m ²]
Aa	Terreno prevalentemente sabbioso, con eventuale presenza di limo, ghiaia, loess	600	0,1	1600
FMA	Roccia	3500	0,01	2650
FR	“	“	“	“

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

3 INDAGINI VIBRAZIONALI

3.1 RILIEVI DI VIBRAZIONI IN SITU

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

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



Figura 3-1 Localizzazione delle indagini vibrazionali lungo l'attuale linea Salerno – Battipaglia

Le misure sono state eseguite secondo le modalità indicate dalla norma UNI 9614:1990. Lungo la via di propagazione sono stati posizionati tre vibrometri in corrispondenza del punto denominato VIB01, ciascuno dotato di tre accelerometri (uno per ciascun asse di riferimento) così posizionati:

- Terna 1 (T1): in prossimità dei binari, a circa 10 metri dall'asse del binario più esterno, su terreno sciolto;
- Terna 2 (T2): a circa 15 metri dai binari dell'asse più esterno su un terreno analogo a quello della Terna 1;
- Terna 3 (T3): a circa 20 metri dai binari su un terreno analogo a quello delle Terne 1 e 2.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 15 di 54

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

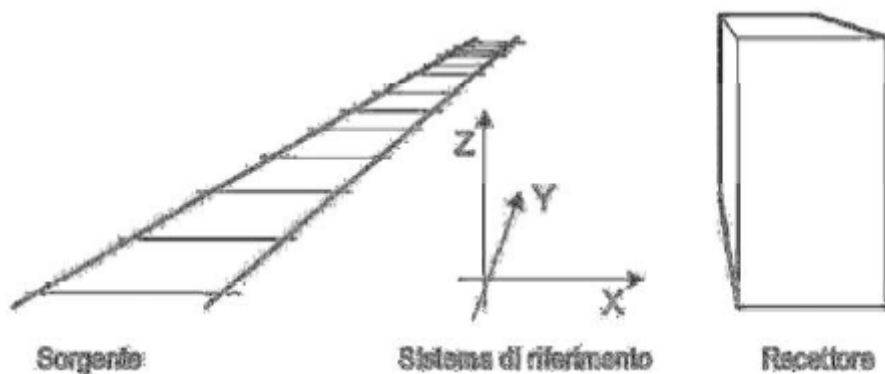


Figura 3-2 Orientamento delle componenti vibrazionali rispetto alle sorgenti



Figura 3-3 Esempio di installazione dell'accelerometro

Tali rilievi hanno permesso di determinare:

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center">LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>STUDIO VIBRAZIONALE Relazione</p>	<p>COMMESSA NN1X</p>	<p>LOTTO 00 E 22</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO IM0004 003</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 16 di 54</p>

3.2 ANALISI DEI RILIEVI

3.2.1 Entità vibrazionale e relativa variabilità dei transiti ferroviari

I transiti ferroviari sono caratterizzati da una notevole variabilità dei livelli di accelerazione vibrazionale emessa dovuta alle diverse caratteristiche tipologiche dei convogli e alle condizioni di percorrenza lungo la linea. Nel periodo delle 24 ore di misura sono stati campionati i livelli di accelerazione relativi a 56 treni regionali, 3 treni merci, 19 treni intercity e 19 treni Alta velocità.

La velocità dei convogli in corrispondenza della sezione di indagine varia tra i 60 e i 120 km/h a seconda della tipologia di convoglio.

3.2.2 Caratteristiche di emissione delle vibrazioni di origine ferroviaria

Le vibrazioni rilevate nella postazione 1 posta a 10 m dall'asse del binario esterno sono di entità rilevante vista la vicinanza del punto di misura alla ferrovia, e non si differenziano molto in funzione della tipologia di transito.

Nel grafico seguente si riportano gli spettri rilevati a circa 10 m dall'asse del binario esterno distinti per asse X, Y e Z e riferiti al parco ferroviario circolato nelle 24 ore di indagine eseguita. Questi sono stati utilizzati come riferimento per il calcolo previsionale a partire dalla sorgente.

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

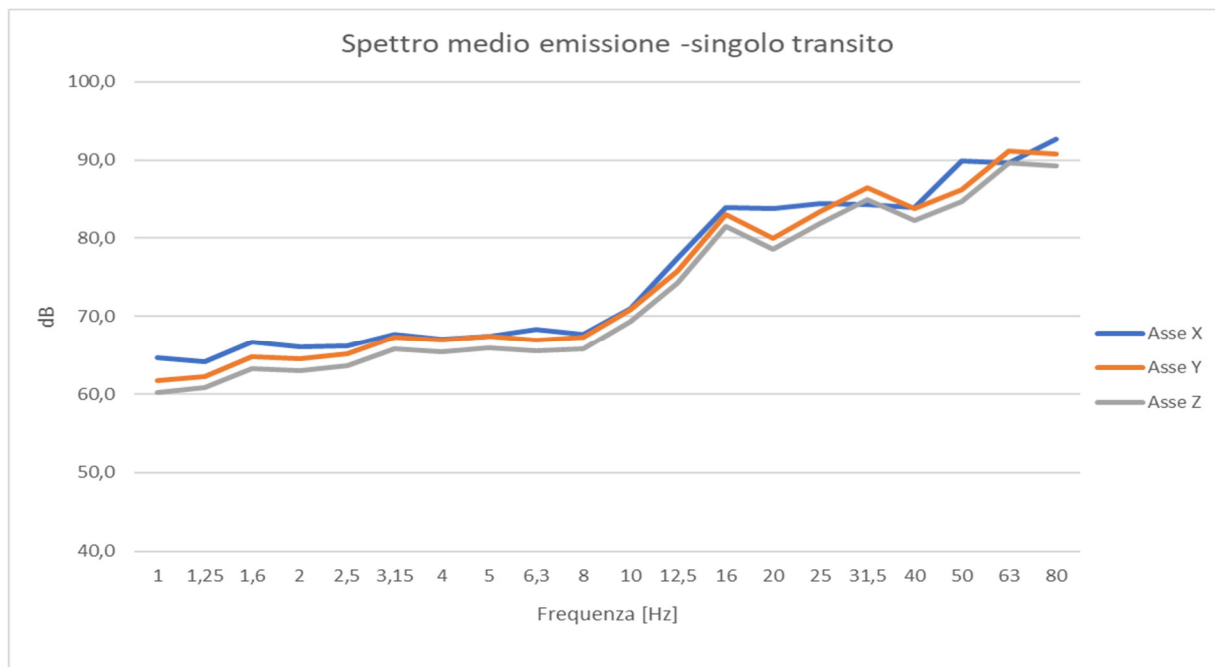


Figura 3-4 Spettro medio dei transiti rilevati presso la postazione T1 in prossimità del binario

Nella tabella seguente si riportano i valori dei livelli di accelerazione L_w lungo gli assi X, Y e Z, riferiti sia alla condizione critica, ovvero al singolo transito che ha indotto i valori massimi di accelerazione, sia alla condizione media ricorrente. Tale analisi è stata differenziata per ciascuna tipologia di componente di traffico.

Tipologia di transito	Velocità media [km/h]	Durata media [s]	Postazione T1 (distanza da binario 10 m)					
			Lw,eq max [dB]			Lw,eq media [dB]		
			X	Y	Z	X	Y	Z
REG	85	10.7 s	86,9	84,3	88,7	81,8	80,5	79,9
A/V	140	14.3	85,8	87,4	82,8	82,3	80,8	80,0
MRC	65	25.6	82,4	80,4	80	81,8	79,7	79,6
IC	120	12.8	89,6	87,1	89,6	83,1	81,7	81,3

Tabella 3-1 Livelli di accelerazione L_w,eq in dB riferiti ad un singolo transito di un convoglio regionale nella condizione di massima e media emissione rilevati in corrispondenza del punto T1 (10 m da asse binario)

Tipologia di transito	Velocità media [km/h]	Durata media [s]	Postazione T2 (distanza da binario 20 m)					
			Lw,eq max [dB]			Lw,eq media [dB]		
			X	Y	Z	X	Y	Z
REG	85	10.7 s	82,4	79,8	84,2	77,6	76,4	75,7
A/V	140	14.3	81,8	83,4	78,8	78,1	76,7	75,8
MRC	65	25.6	79,4	77,4	77	78,8	76,7	76,6
IC	120	12.8	85,1	82,6	85,1	78,8	77,4	77,1

Tabella 3-2 Livelli di accelerazione Lw,eq in dB riferiti ad un singolo transito di un convoglio regionale nella condizione di massima e media emissione rilevati in corrispondenza del punto T2 (15 m da asse binario)

Tipologia di transito	Velocità media [km/h]	Durata media [s]	Postazione T3 (distanza da binario 30 m)					
			Lw,eq max [dB]			Lw,eq media [dB]		
			X	Y	Z	X	Y	Z
REG	85	10.7 s	75,3	73,8	74,5	74,6	72,8	72,7
A/V	140	14.3	78,6	77,9	75,8	75,2	72,9	72,8
MRC	65	25.6	74	72,6	74	73,3	71,4	73,6
IC	120	12.8	77,7	74,1	82,1	75,5	74,3	74,1

Tabella 3-3 Livelli di accelerazione Lw,eq in dB riferiti ad un singolo transito di un convoglio regionale nella condizione di massima e media emissione rilevati in corrispondenza del punto T3 (20 m da asse binario)

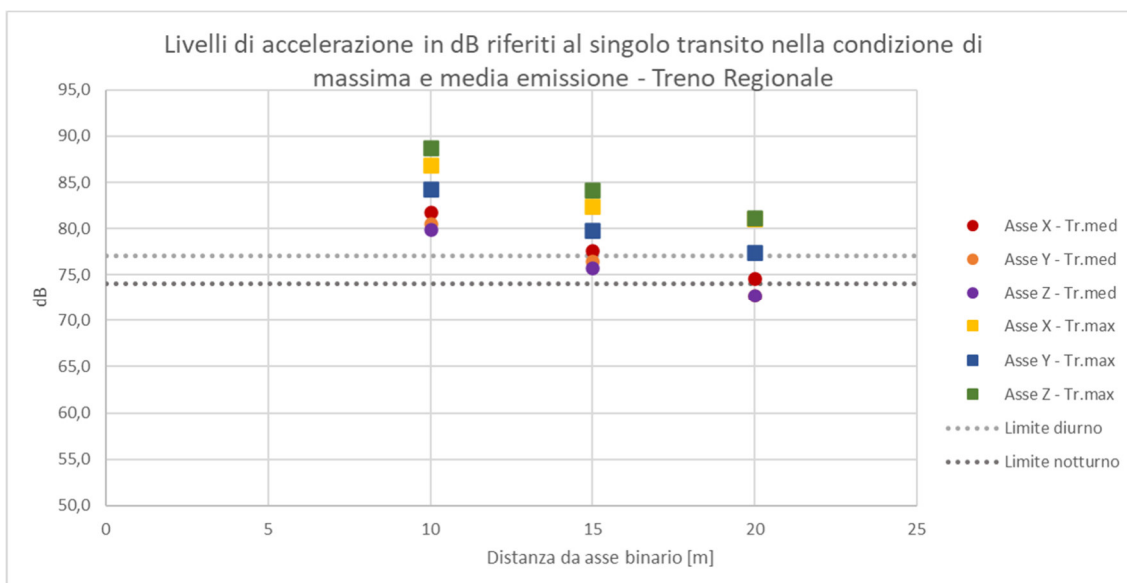


Figura 3-5 Livelli di accelerazione rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario a 10, 15 e 20 m dall'asse del binario e confronto con i livelli limite della UNI 9614:1990 – Treno Regionale

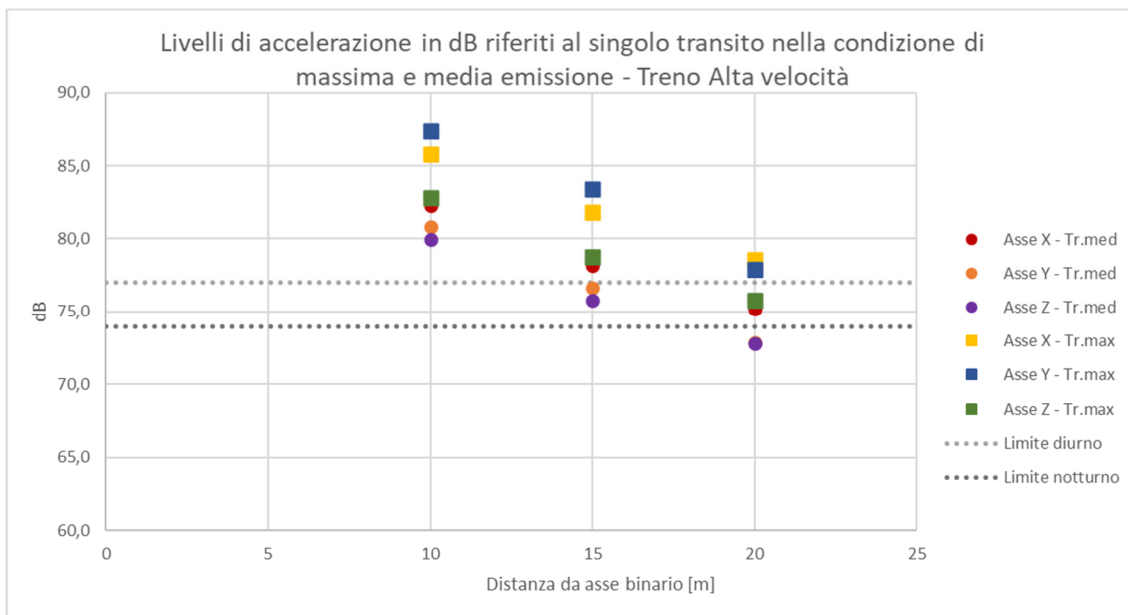


Figura 3-6 Livelli di accelerazione rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario a 10, 15 e 20 m dall'asse del binario e confronto con i livelli limite della UNI 9614:1990 – Treno Alta velocità

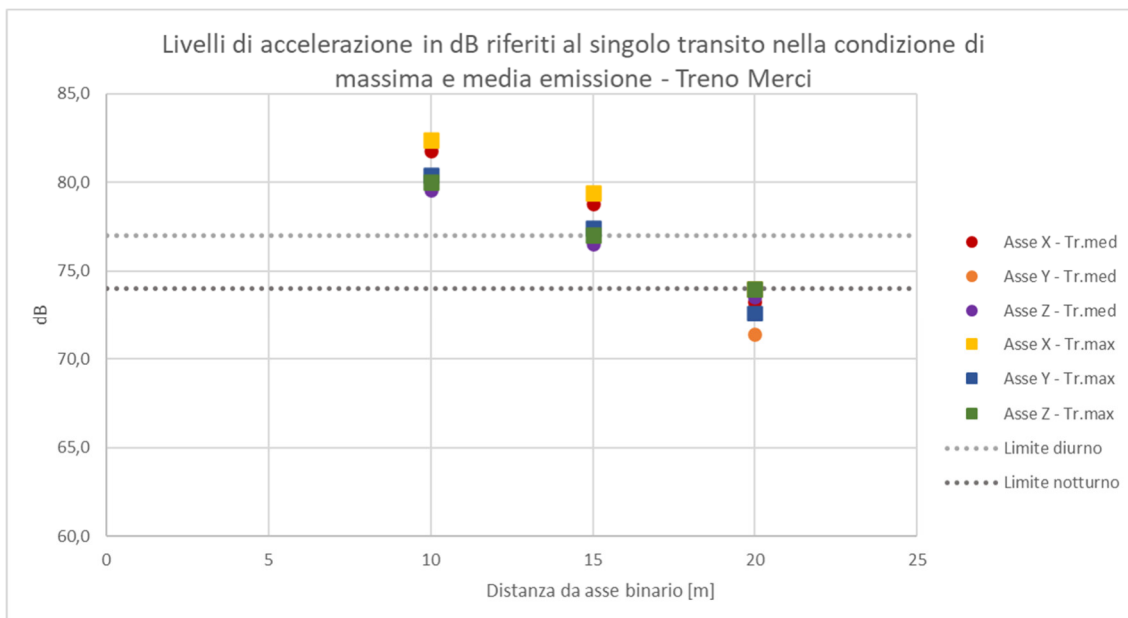


Figura 3-7 Livelli di accelerazione rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario a 10, 15 e 20 m dall'asse del binario e confronto con i livelli limite della UNI 9614:1990 – Treno Merci

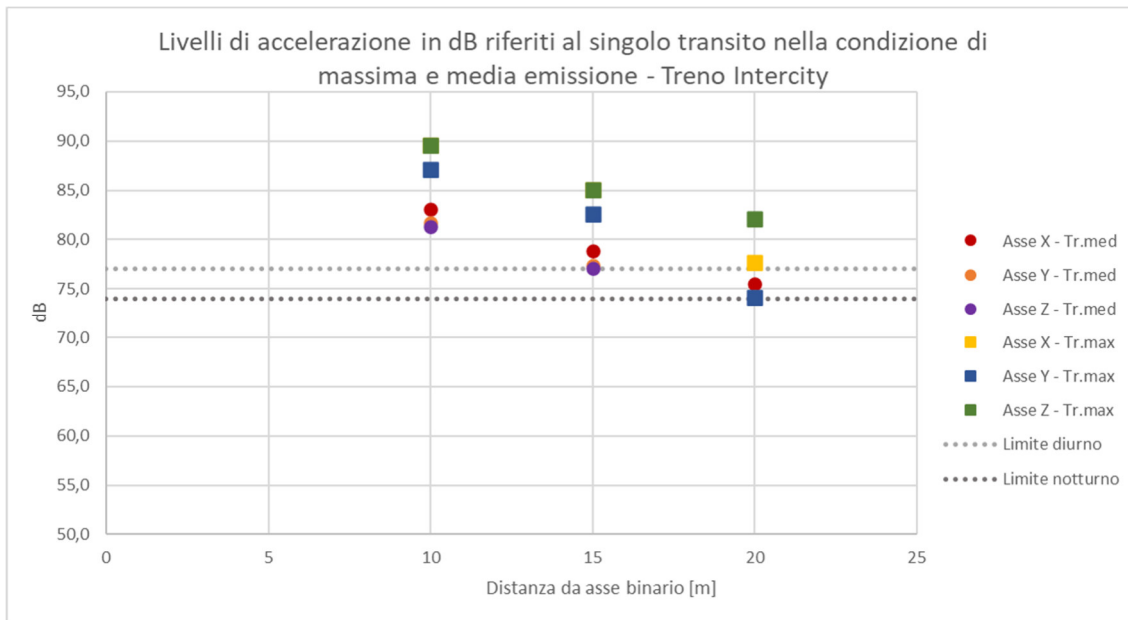


Figura 3-8 Livelli di accelerazione rappresentativi delle condizioni di massima e media emissione di un singolo transito ferroviario a 10, 15 e 20 m dall'asse del binario e confronto con i livelli limite della UNI 9614:1990 – Treno Intercity

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 21 di 54

4 STUDIO DELL'IMPATTO DA VIBRAZIONI

4.1 LE VIBRAZIONI INDOTTE IN FASE DI ESERCIZIO

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

Le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi all'interazione del sistema veicolo/armamento/struttura di sostegno e dipendono da diversi fattori quali la tipologia di convoglio, le velocità di esercizio le caratteristiche dell'armamento, la tipologia di terreni e non ultimo le caratteristiche strutturali dei fabbricati.

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

- a) *Interazione ruota- rotaia*
- b) *Velocità del treno*
- c) *Comportamento corpo ferroviario: tipo e dimensioni della linea (tunnel, trincea, superficie, rilevato, viadotto); spessore delle pareti della infrastruttura in tunnel o in trincea*
- d) *Trasmissione nel terreno: natura e caratteristiche del suolo; leggi di attenuazione nel suolo*
- e) *Trasmissione agli edifici: distanza plano-altimetrica tra linea e fondazioni edificio; caratteristiche del sistema fondazionale degli edifici; caratteristiche strutturali degli edifici.*

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

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

Tali fenomeni sono in grado di determinare effetti indesiderati sulla popolazione esposta e sugli edifici. Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. Le vibrazioni possono causare danni agli edifici in alcune situazioni, o in presenza di caratteristiche di estrema suscettività

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 22 di 54

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.

4.2 CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE DI VIBRAZIONI

4.2.1 Interazione ruota-rotaia

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

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

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

- Presenza di ghiaccio.

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

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

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

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

Tipo di carico	Carico	Contributo
Statico	Peso del treno	100%
Dinamico	Contributo quasi-statico nelle curve	10-40%
"	Contributo dovuto ad asperità delle rotaie	50 – 300%

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

Tipo di carico	Carico	Contributo
“	Contributo dovuto ad asperità delle ruote	50 – 300 %
“	Contributo dovuto ad accelerazioni e frenature	5 – 20 %

4.2.2 Velocità dei treni

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

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

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

dove:

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

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

4.2.3 Corpo ferroviario

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

Nel caso di tracciati caratterizzati dalla presenza di tratti in rilevato le vibrazioni al terreno la vibrazione si propaga dalla struttura di supporto delle rotaie al terreno sottoforma di onde elastiche. Queste sono generalmente comprese tra i 20 e gli 80 Hz, con livelli di accelerazione dell'ordine di

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

60-70 dB₁, per distanze da 15 a 30 metri dalla linea ferroviaria con velocità di esercizio sino a 100 Km/h. Altresì il tipico spettro di frequenza generato dal transito di treni in gallerie è compreso fra 4 Hz e alcune centinaia di Hz. Vi possono essere picchi di frequenza compresi fra 80 e 100 dB.

4.3 LA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO

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

L'esecuzione di indagini sul campo ha permesso una conoscenza di tipo puntuale del comportamento del terreno alla propagazione delle onde elastiche secondo il contesto territoriale di riferimento e il parco ferroviario circolante della linea ferroviaria oggetto di studio.

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

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

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

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

dove:

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

¹ 0 dB \cong 1 μ m/s²

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

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

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

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

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

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

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

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

dove:

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 27 di 54

- x: distanza dall'asse della linea ferroviaria
- Ω : frequenza [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]
- η : coeffic. di assorbimento del terreno (fattore di perdita)
- c: velocità di propagazione dell'onda longitudinale nel terreno
- E: modulo elastico
- d: densità del terreno

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

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

dove:

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

In considerazione dei molteplici fattori che possono condizionare il trasferimento delle vibrazioni nel suolo, per la costruzione del modello sono stati utilizzati i dati sperimentali rilevati durante la campagna di rilievi in precedenza riportati. Si nota che, conoscendo la mutua distanza tra le postazioni, dai dati sperimentali è possibile estrapolare le funzioni di attenuazione, tramite regressione, le quali descrivono la propagazione nel terreno dell'onda vibrazionale in funzione della distanza. Nei grafici seguenti sono riportati i valori sperimentali sui quali è applicata la regressione logaritmica al fine di definire la funzione di trasferimento.

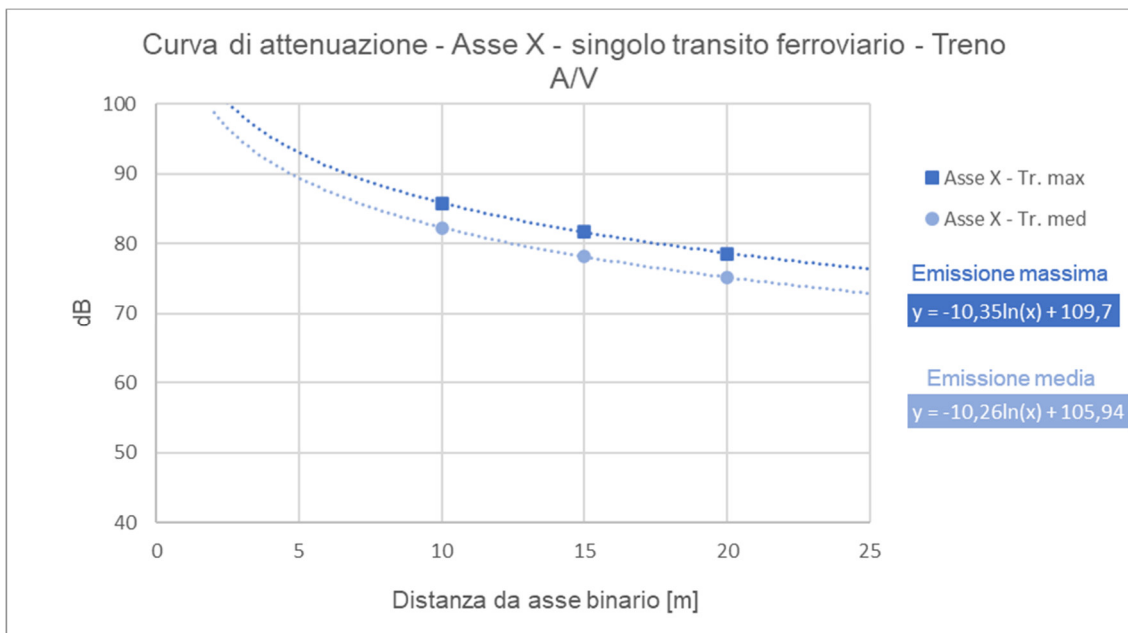


Figura 4-1 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse X del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

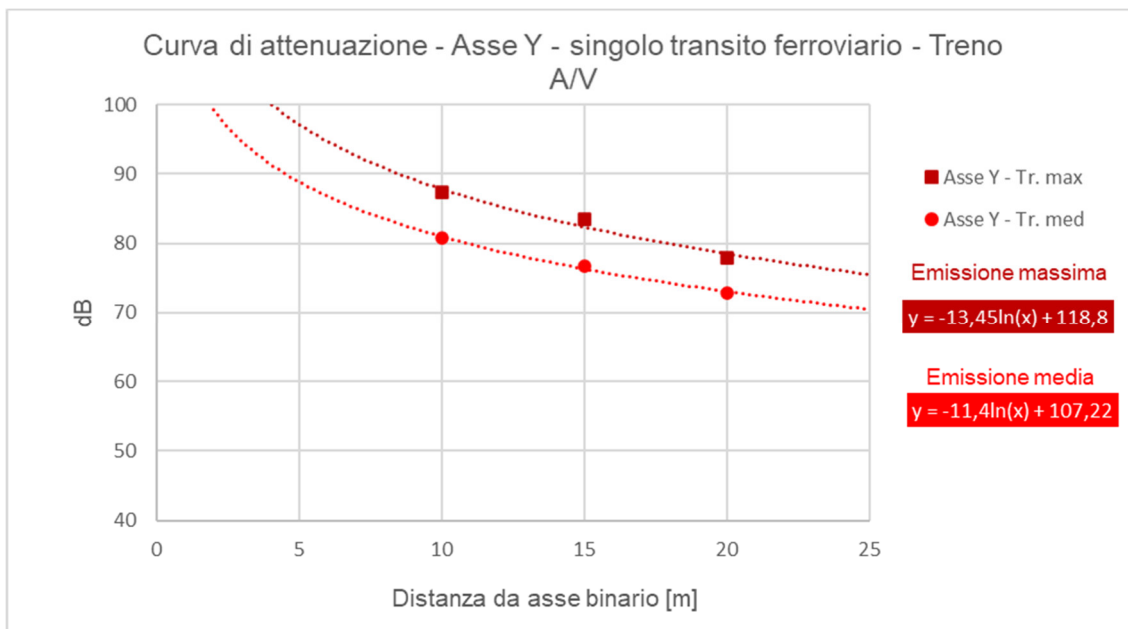


Figura 4-2 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse Y del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

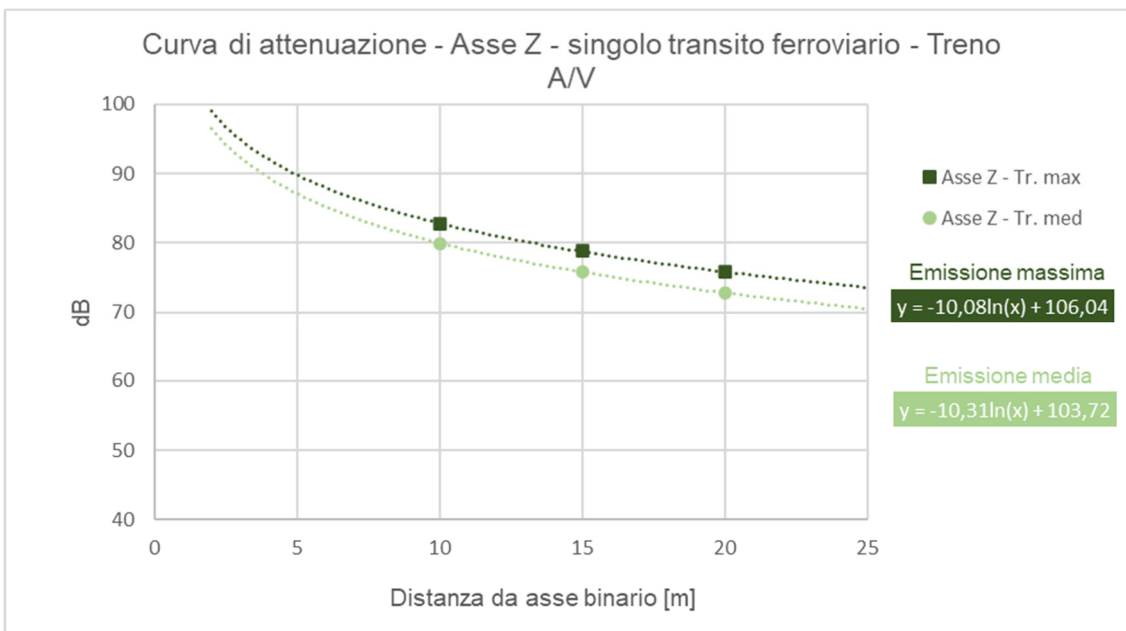


Figura 4-3 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse Z del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

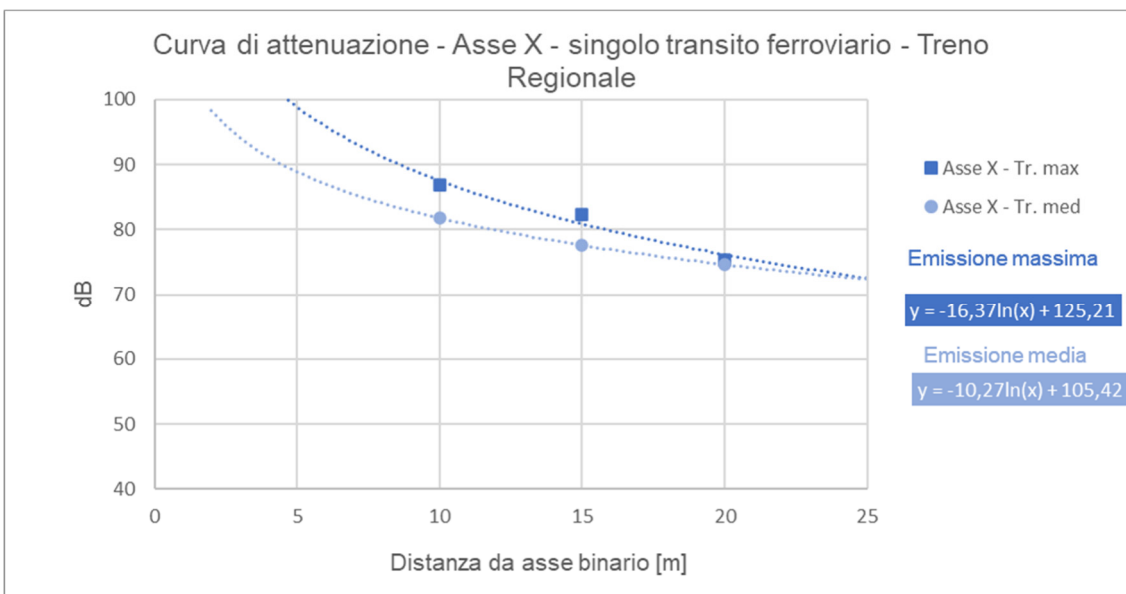


Figura 4-4 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse X del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

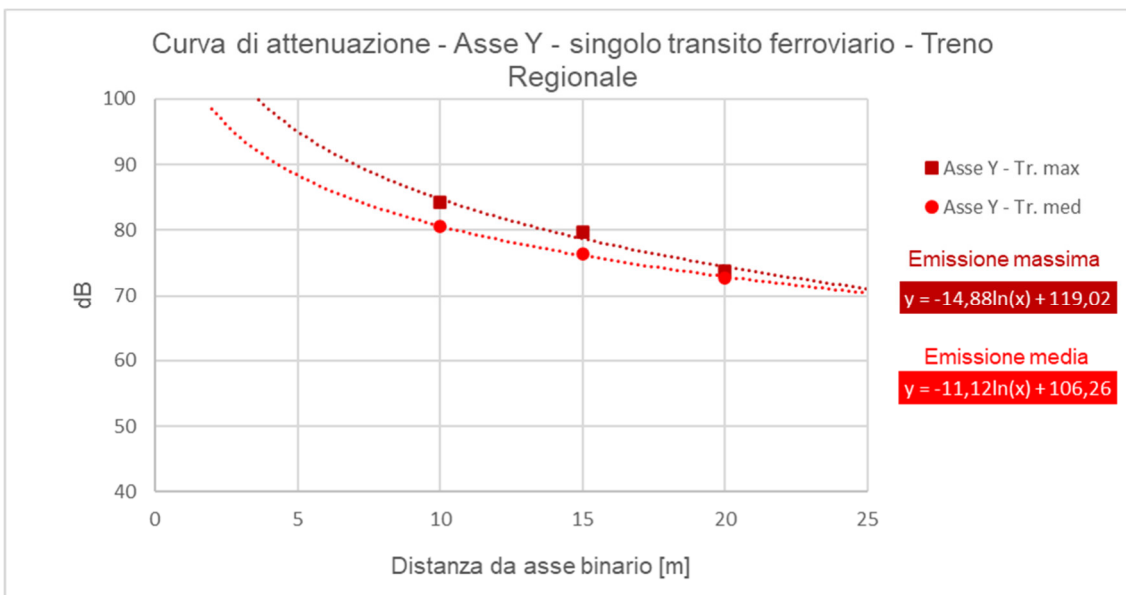


Figura 4-5 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse Y del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

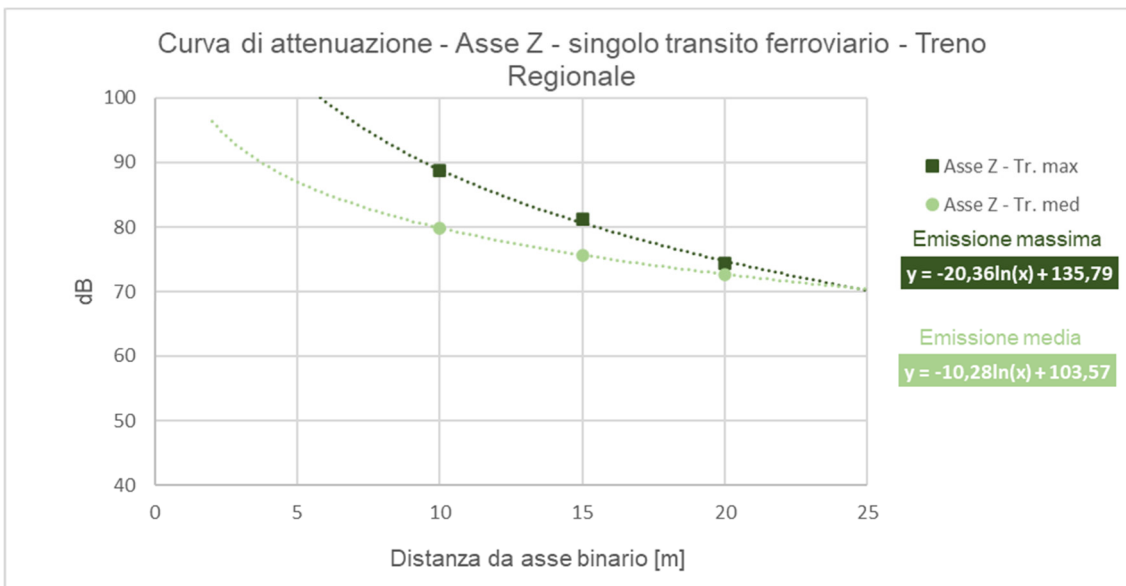


Figura 4-6 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse Z del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

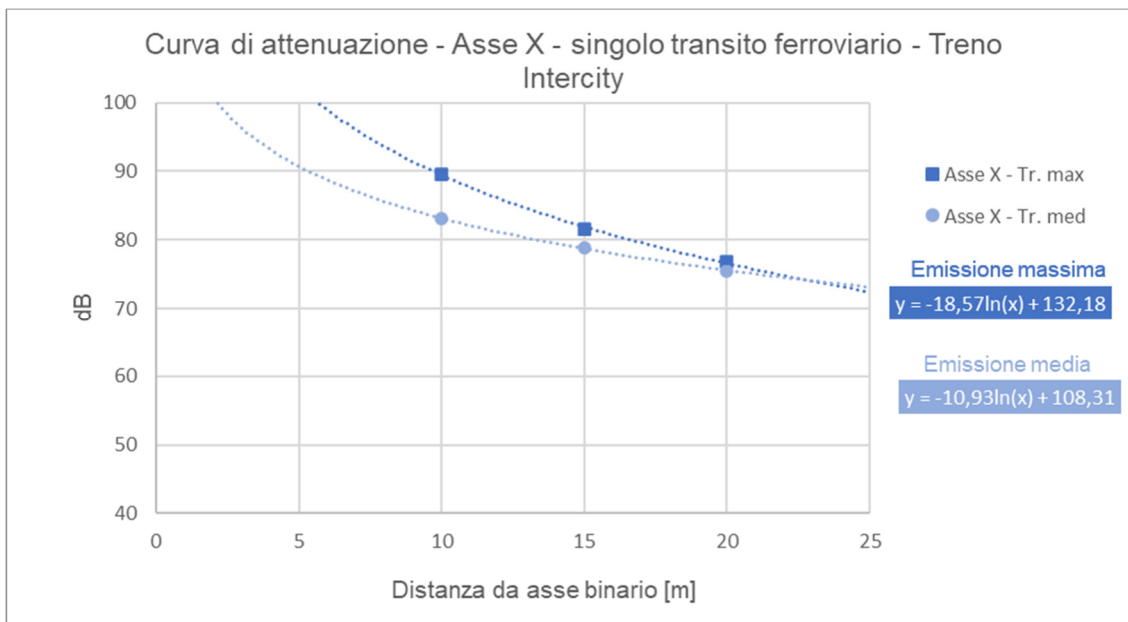


Figura 4-7 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse X del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

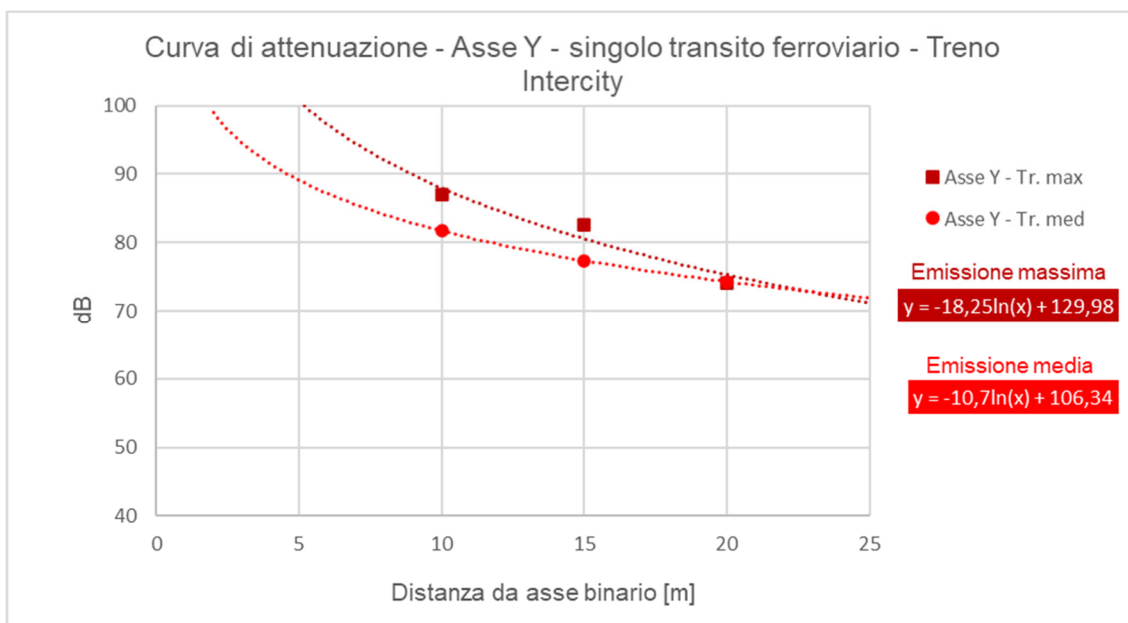


Figura 4-8 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse Y del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

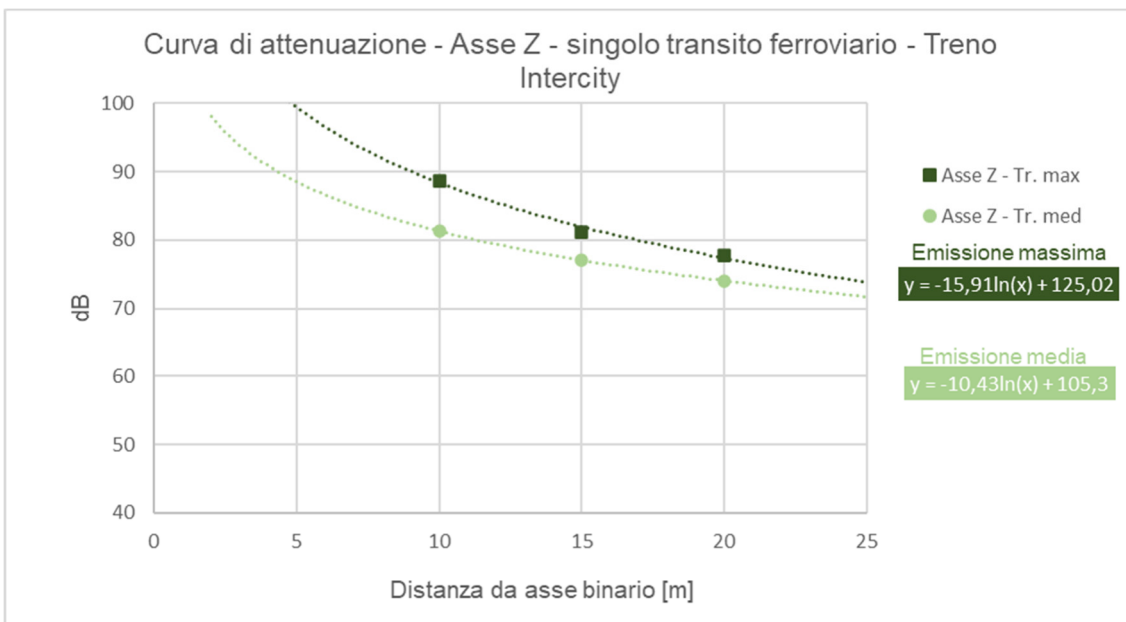


Figura 4-9 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse Z del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

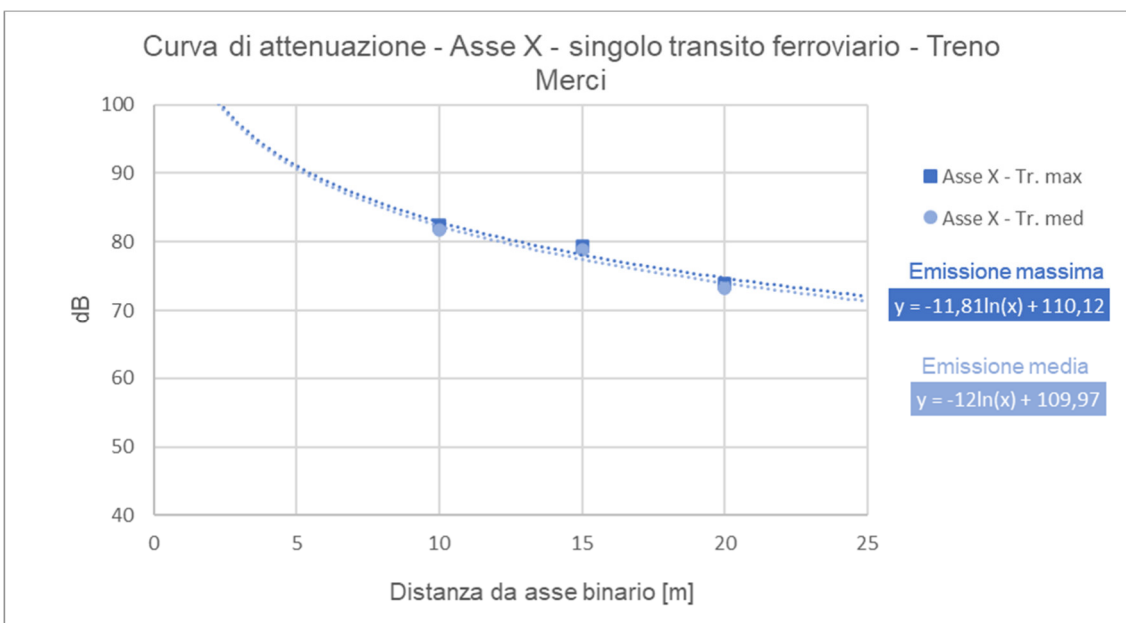


Figura 4-10 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse X del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

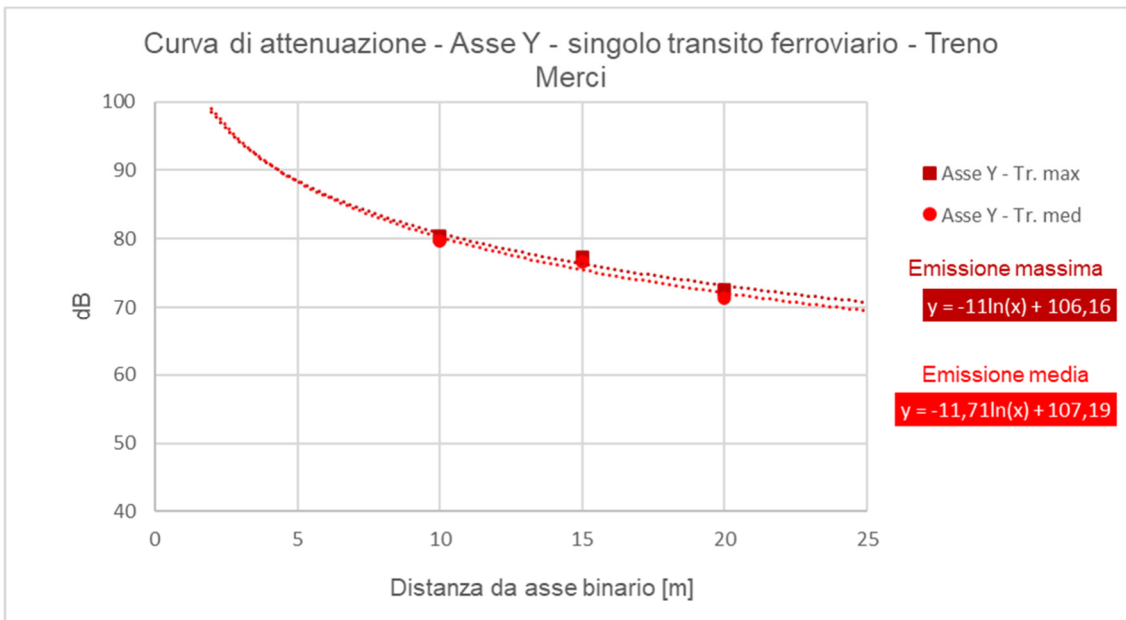


Figura 4-11 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse Y del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

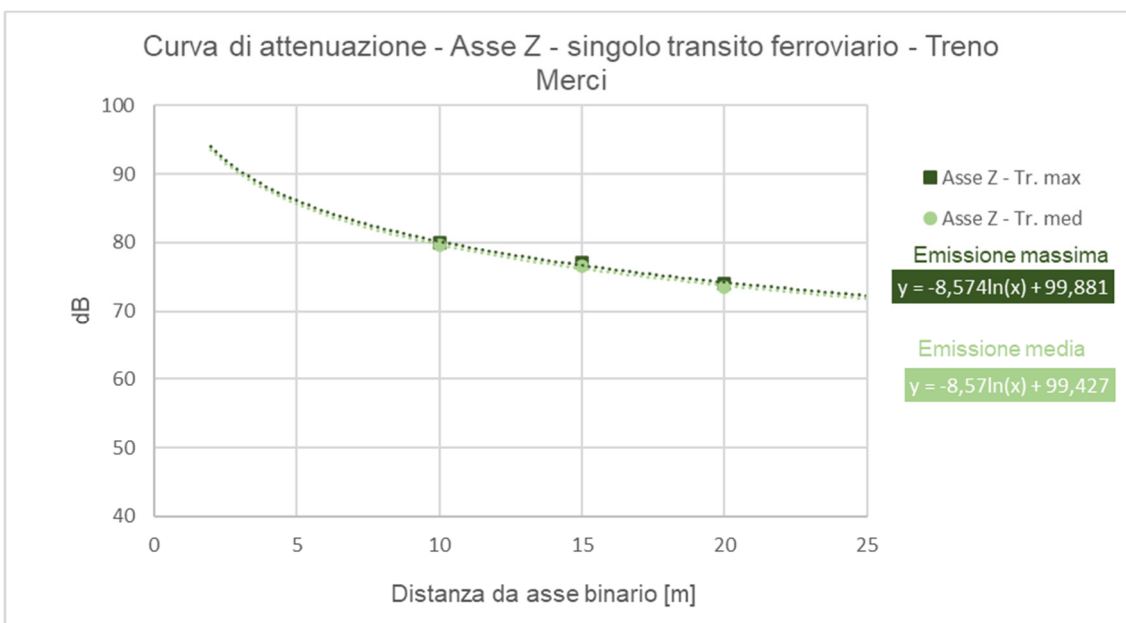


Figura 4-12 Curve e funzioni di attenuazione lungo l'asse Z del singolo evento transito nella condizione di emissione massima e media

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 34 di 54

4.4 LA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NELLE STRUTTURE EDILIZIE

4.4.1 Risposta degli edifici alle vibrazioni

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

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

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

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

La propagazione delle vibrazioni dalle fondazioni di un edificio all'ambiente ricevente all'interno dell'edificio è un problema estremamente complesso, che richiede peraltro la conoscenza esatta della struttura dell'edificio, e può dunque essere studiato solo in fase di progettazione di un nuovo edificio e richiede solitamente metodi numerici agli elementi finiti. Nel presente studio ci si deve necessariamente basare su considerazioni molto meno dettagliate, che tuttavia hanno solide basi sperimentali ed esperienziali.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

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

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

4.4.2 Accoppiamento terreno – fondazioni edificio

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

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

L'accoppiamento per edifici con strutture leggere è anch'esso stimato essere pari a 0 dB da Kurzweil, 1979.

Per altri tipi di fondazioni (pali...) l'accoppiamento varia fra 2 e 15 dB in funzione della frequenza e della fondazione (Remington, 1987; Kurzweil, 1979). Per edifici fondati direttamente su strati rocciosi l'accoppiamento è 0 (Kurzweil, 1979).

La riduzione delle vibrazioni fra terreno ed edificio è maggiore per oscillazioni verticali poiché l'edificio risulta strutturalmente più debole in senso orizzontale.

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

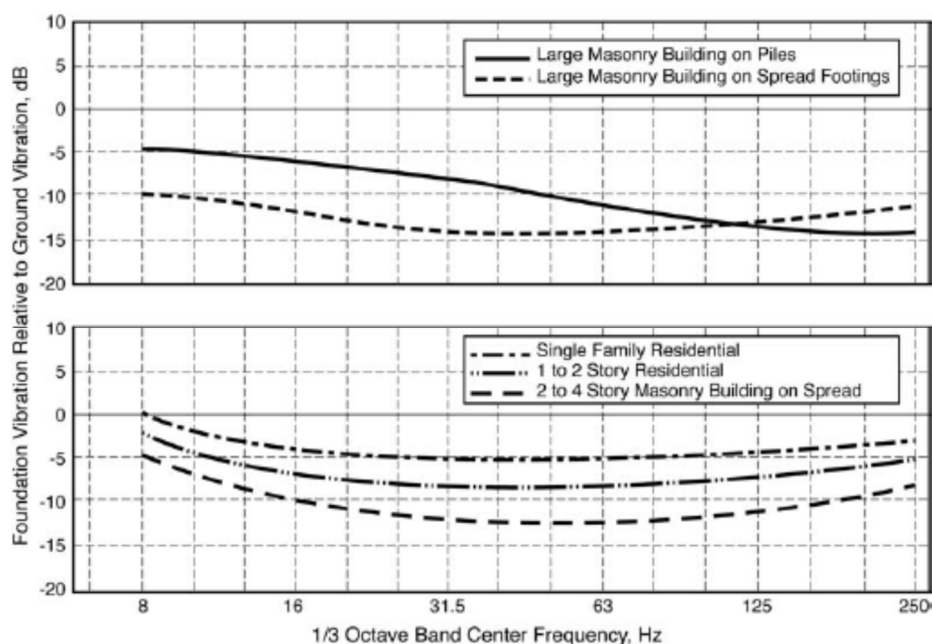


Figura 4-13 Risposta delle fondazioni per diverse tipologie di edifici (Fonte: FTA, USA)

4.4.3 Trasmissione attraverso l'edificio

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

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

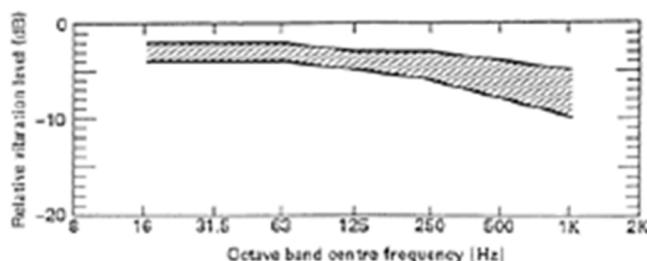


Figura 4-14 Attenuazione delle vibrazioni nel passaggio da un piano al successivo

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

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

dove:

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

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

4.4.4 Risonanze strutturali dei solai

Pareti, solai e soffitti di un edificio talvolta amplificano le vibrazioni. Edifici con strutture leggere in genere non amplificano particolarmente, anche se si possono verificare amplificazioni ai piani superiori (Kurzweil, 1979). L'amplificazione può variare tra un fattore 0.5 (riduzione) e 2 (amplificazione) nella gamma di frequenza 25 - 30 Hz, anche se si sono osservate amplificazioni fino a un fattore 5 (Leventhall, 1987). Questo fenomeno è causato dal fatto che parti diverse di un edificio possono avere caratteristiche diverse di rigidità, massa e smorzamento, con conseguenti diverse frequenze naturali di oscillazione. Di seguito vengono indicate alcune frequenze naturali tipiche.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

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

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

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

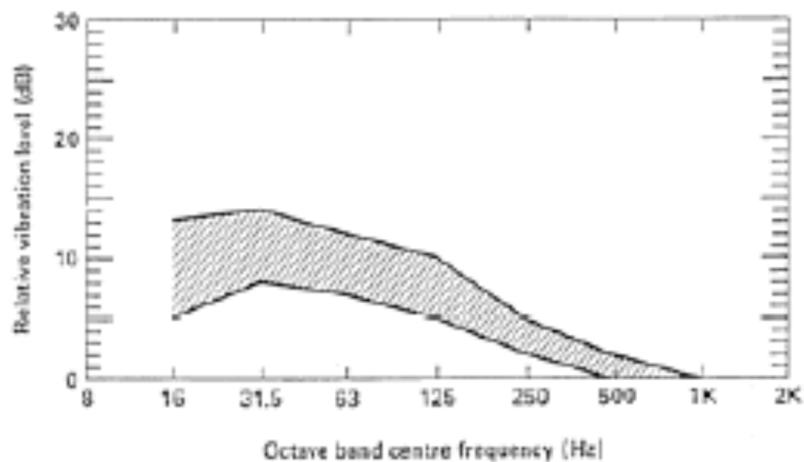


Figura 4-15 Amplificazione prodotta dai solai

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

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

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

Tipologia fondazioni	Tipologia edificio	Fattore correttivo [dB]
Fondazioni a platea	Villetta monofamiliare	curva 1
“	Palazzina 1-2 piani	curva 2
“	Palazzina 2-4 piani	curva 3
“	Edificio di grandi dimensioni (industriale, commerciale, palazzo multipiano)	curva 4
Fondazioni su pali	Edificio di grandi dimensioni (industriale, commerciale, palazzo multipiano)	curva 5

La correzione in frequenza è desunta dal seguente diagramma.

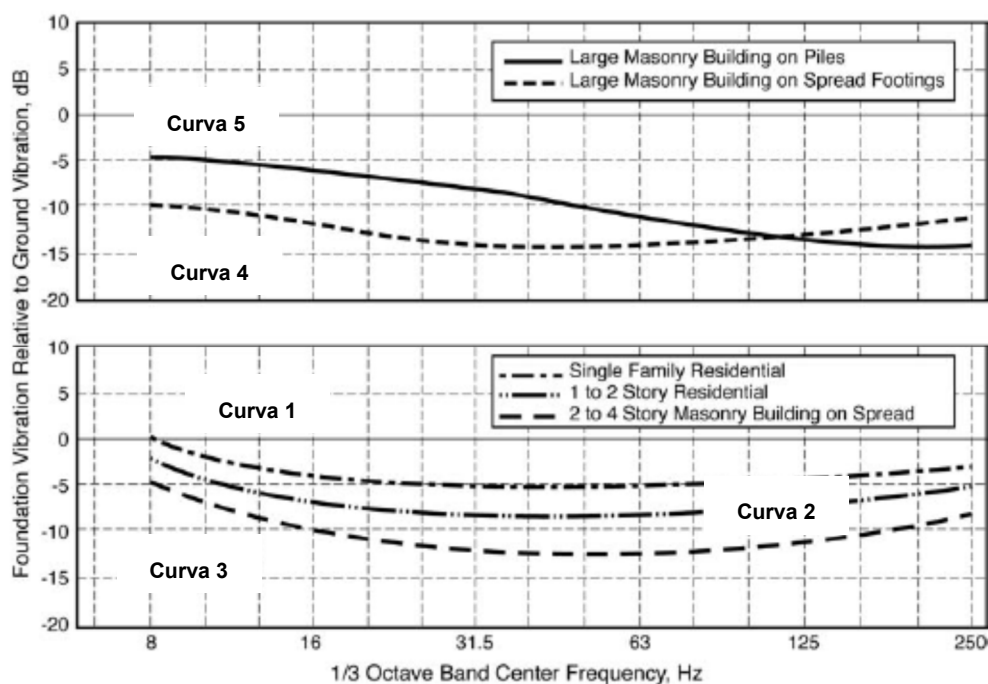


Figura 4-16 Fattori correttivi dovuti alla tipologia di fondazione

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

Le tipologie edilizie prevalenti in adiacenza al tracciato sono rappresentate da edifici di moderna costruzione con ossatura in cemento armato e fondazioni continue con una altezza mediamente non superiore ai 4 piani.

In queste condizioni, sulla base di quanto sin ora detto, la differenza tra il livello di vibrazione del terreno e quello dell'edificio si stima cautelativamente di +5 dB¹ 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.

Come detto tali fattori costituiscono un ulteriore elemento cautelativo che si vuole introdurre nell'analisi previsionale per la valutazione del disturbo da vibrazioni in quanto si tiene conto del solo effetto combinato delle componenti negative di attenuazione (risonanza alle frequenze proprie dei solai, etc.) trascurando quelle positive quali la perdita di accoppiamento suolo-fondazioni e l'attenuazione da piano a piano e trascurando le componenti negative di attenuazione. L'approccio cautelativo con cui viene affrontato il tema è confermato anche da indagini effettuate sulle linee ferroviarie italiane.

4.4.6 Rumore trasmesso per via solida dalle strutture

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

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

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

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

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 41 di 54

dove:

- L_p è il livello di pressione sonora in dB ($0 \text{ dB} = 20 \mu\text{Pa}$);
- L_a è il livello di vibrazione di accelerazione all'orizzontamento in dB ($0 \text{ dB} = 1 \mu\text{g}$);
- F è la frequenza per bande a terzi di ottava in Hz.

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

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

5 LA VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE IN FASE DI ESERCIZIO

5.1 PREVISIONE DELL'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO

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

Per quanto riguarda l'individuazione di criticità, in via cautelativa, si è fatto riferimento ai limiti indicati dalla norma ISO 2631/UNI 9614:1990 per le vibrazioni di livello costante, in particolare per la condizione di postura del corpo non nota, per la quale si indicano soglie uguali per tutti i tre assi di riferimento (x, y, z) di 77 dB per il giorno e 74 dB per la notte, per ambiti residenziali. Ciò, pertanto, senza tener conto dei valori di riferimento suggeriti dalla medesima norma nel caso di vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari (89,5 dB per il giorno - 86,7 dB per la notte).

Applicando i modelli di calcoli precedentemente descritti, le funzioni di trasferimento sperimentali e attraversamenti litologici tipici dell'area in esame, i dati di caratterizzazione dei singoli transiti e tipologie edilizie sia in c.a. sia in muratura (con luci di solaio di 4 m), si è giunti al calcolo della distanza dalla sorgente a cui il livello di accelerazione ponderato risulti inferiore ai valori indicati dalla norma UNI 9614:1990 per i ricettori residenziali sia nel periodo diurno che notturno lungo tutti gli assi.

In assenza però di dati precisi per ciascun edificio analizzato (terreno, fondazioni, strutture) le valutazioni previsionali possono risentire di variazioni anche apprezzabili: a tal fine, nelle valutazioni conclusive si terrà conto in via cautelativa di un margine di tolleranza tale da rappresentare anche la variabilità dei parametri di input.

5.2 TRAFFICO DI ESERCIZIO

Il numero di transiti considerati per la valutazione previsionale del disturbo da vibrazioni si basa sul modello di esercizio futuro individuato nell'ambito del progetto. Nello specifico si prevedono:

- Per la linea Salerno - Battipaglia:
 - 66 treni regionali di cui 58 nel periodo diurno e 8 in quello notturno;

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 43 di 54

- 26 treni intercity di cui 19 nel periodo diurno e 7 in quello notturno;
- 11 treni alta velocità di cui 11 nel periodo diurno e 0 in quello notturno;
- 15 treni merci di cui 12 nel periodo diurno e 3 in quello notturno.
- Per la linea metropolitana di progetto:
 - 102 treni regionali di cui 96 nel periodo diurno e 6 in quello notturno.

Per quanto riguarda le velocità di percorrenza non sono stati applicati fattori di correzione ai livelli di accelerazione emissivi secondo le modalità indicate nei paragrafi precedenti essendo pressoché identiche a quelle rilevate durante le indagini sul campo.

5.3 LIVELLI COMPLESSIVI

5.3.1 Individuazione dei livelli di vibrazione

Le accelerazioni complessivamente prodotte dall'esercizio della linea ferroviaria di progetto sono fornite dall'applicazione dei valori emissivi rilevati sperimentalmente secondo il modello di esercizio e velocità di percorrenza previsti dal progetto. La valutazione è eseguita sia considerando il singolo transito nella condizione di massima emissione vibrazionale che l'intero modello di esercizio nell'arco delle 24 ore, differenziando le analisi tra periodo diurno e notturno e considerando i valori emissivi medi.

Per ciascuna condizione sono stati considerati i fattori di correzione per tener conto della velocità di percorrenza massima in funzione del tipo di treno e della differenza tra il livello vibrazionale nel terreno e quello all'interno dell'edificio che, nel caso specifico per le motivazioni dette nel capitolo precedente si stima essere cautelativamente di +5 dB.

5.3.2 Livello di emissione singolo transito

La determinazione del livello di emissione massima e la conseguente verifica della condizione di potenziale disturbo è limitata esclusivamente alla condizione più impattante, ovvero al transito di un singolo convoglio ferroviario alla velocità massima secondo la specifica tratta nel periodo notturno in virtù del limite di riferimento più basso (74 dB contro i 77 dB nel periodo diurno). Ciò nonostante, per completezza dello studio e delle analisi sviluppate si riporta nei grafici anche il confronto con il limite diurno.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 44 di 54

Tale analisi è stata limitata alla sola linea ferroviaria di progetto in quanto nuova sorgente emissiva in affiancamento alla linea esistente e caratterizzata da un proprio modello di esercizio con convogli di nuova generazione in composizione fissa, ovvero convogli ALe/ALn 501-ALe/ALn 502 soprannominati "Minuetto".

Tale tipologia di convoglio è caratterizzata da un peso ridotto (72 t complessive) e di conseguenza da una minor emissione vibrazionale, certamente inferiore a quella riferita alla composizione media dei treni regionali rilevata durante l'indagine in situ lungo la linea storica Salerno-Battipaglia (locomotiva E464 con massa 72 t e carrozze vicinali a piano ribassato ciascuna con peso di 42 t). Inoltre la nuova linea di progetto è caratterizzata da una tipologia di armamento di ultima generazione, in grado quindi di attenuare maggiormente l'emissione di vibrazionale indotta dal transito di un treno ferroviario rispetto alla linea storica.

Anche la velocità di percorrenza può assumersi inferiore stante la peculiarità della linea in progetto riferita ad un servizio di tipo metropolitano con una velocità media di percorrenza tra le due stazioni dell'ordine dei 60-70 km/h contro quella della linea storica variabile per tale tipologia di treni tra gli 80 e i 90 km/h sulla base dei valori desunti durante le indagini in situ.

Stante quanto premesso in questo caso l'analisi vibrazionale ha tenuto conto inoltre di alcuni fattori di attenuazione in virtù del minor contributo emissivo vibrazionale dato dalla diversa tipologia di convoglio ferroviario rispetto l'attuale, da una minor velocità di percorrenza, e dell'armamento della nuova linea ferroviaria. Riguardo il primo aspetto, il singolo transito di un convoglio è stato caratterizzato come il valore medio dei dati Lw rilevati durante le indagini in situ lungo la linea ferroviaria e associati alla tipologia REG. Tenendo conto di una minor velocità di percorrenza, i valori Lw dei treni regionali misurati lungo la linea storica, per i quali è stata rilevata una velocità variabile tra gli 80 e i 90 km/h, sono stati corretti secondo la metodologia indicata nel paragrafo 4.2.2 e quindi ridotti di circa 2-3 dB.

In riferimento invece alle caratteristiche dell'armamento ferroviario della nuova linea di progetto, differente rispetto alla linea storica e con prestazioni migliori anche in riferimento alla risposta vibrazionale durante il transito di un convoglio ferroviario, è stato considerato un fattore di attenuazione pari a circa 6 dB.

Sulla scorta delle considerazioni sopradette, i valori di riferimento rappresentativi del transito di un singolo convoglio metropolitano, e utilizzati per le analisi previsionali nel caso specifico, risultano essere i seguenti riportati in tabella. Questi come detto sono stati determinati a partire dai valori di Lw di media emissione dei treni REG rilevati durante le indagini in situ lungo la linea storica e considerando una attenuazione di circa 2-3 dB per effetto di una minor velocità di percorrenza e di circa 6 dB per effetto della tipologia di armamento ferroviario (nuova linea ferroviaria).

Posizione	Dist. da binario esterno	Lw,eq [dB] singolo transito – Metro salerno		
		Asse X	Asse Y	Asse Z
T1	10 m	72,8	71,5	70,9
T2	15 m	68,6	67,4	66,7
T3	20 m	65,6	63,8	63,7

(*) Treno REG di tipo "Minuetto" alla velocità di 70 km/h

Tabella 5-1 Livelli di accelerazione Lw,eq in dB riferiti al singolo transito di un convoglio REG di tipo "Minuetto" associato al MdE della linea Metro di Salerno stimato sulla scorta dei dati misurati nelle terne T1, T2 e T3 lungo gli assi X, Y e Z per i convogli REG e considerando i fattori di attenuazione peculiari della linea in studio

Ai valori di emissione rappresentativi del transito in questione si è tenuto conto della risposta degli edifici, ovvero di un fattore cautelativo di + 5dB. Questo è stato considerato assumendo un valore soglia del livello di vibrazione nel terreno di 72 dB nel periodo diurno (il limite è 77 dB) e 69 dB nel periodo notturno (essendo il limite di 74 dB).

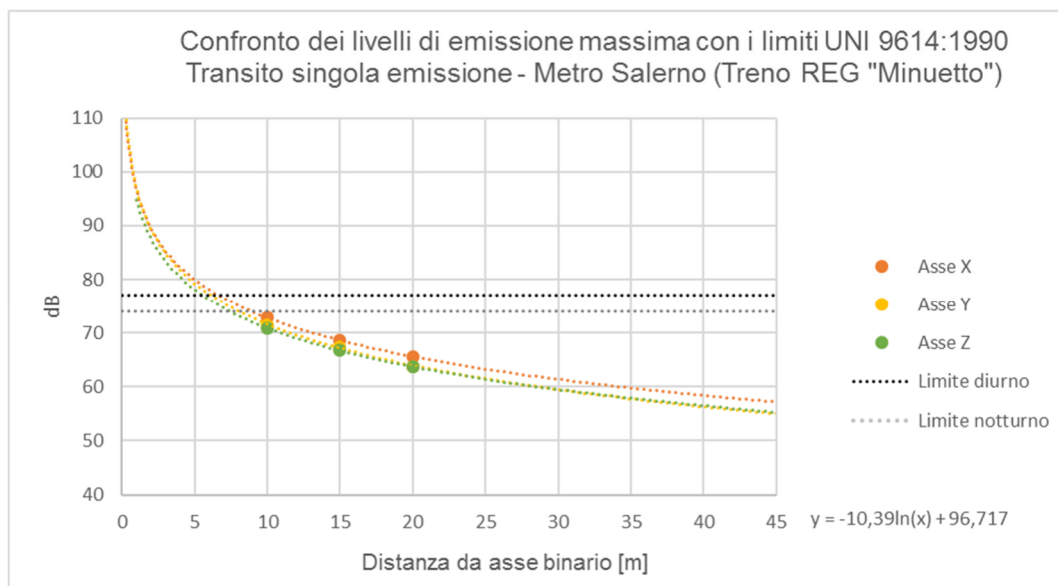


Figura 5-1 Confronto dei livelli di emissione massima con i limiti indicati dalla UNI 9614:1990 in funzione della distanza dall'asse del binario più esterno per la nuova linea ferroviaria Metro Salerno nella condizione di un singolo transito di un convoglio ferroviario di tipo "Minuetto"

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 46 di 54

Considerando quindi la condizione di disturbo da vibrazioni legata al transito di un singolo convoglio ferroviario lungo la linea di progetto oggetto di studio, dai dati stimati in corrispondenza dei punti T1, T2 e T3 e applicando la formula di attenuazione che ne deriva, si evince come il valore soglia dei 69 dB del livello di accelerazione nel terreno, rappresentativo di una condizione di raggiungimento del valore limite notturno dei 74 dB all'interno dell'edificio (incremento +5dB per la risposta alle vibrazioni nelle strutture), viene raggiunto ad una distanza dall'asse del binario di circa 14 m.

5.3.3 Livello di emissione complessivo

Per la determinazione dei livelli di emissione complessivi si è fatto riferimento invece all'intero modello di esercizio previsto nell'arco delle 24 ore, distinguendo il numero di transiti nel periodo diurno e notturno, e considerando i valori emissivi medi associati al singolo convoglio e desunti dall'analisi dei dati sperimentali rilevati dalle indagini sul campo. Anche in questo caso si è tenuto conto della risposta alle vibrazioni delle strutture (ipotizzate cautelativamente come un'amplificazione di + 5dB del livello di accelerazione nel terreno) assumendo un valore soglia inferiore del livello di accelerazione nel terreno pari a 72 dB nel periodo diurno (il limite è 77 dB) e 69 dB nel periodo notturno (essendo il limite di 74 dB).

Per tali analisi è stata considerata sia la linea di progetto della metropolitana di Salerno sia la linea storica Salerno-Battipaglia, andando ad analizzare gli specifici contributi e gli effetti di sovrapposizione indotti dall'esercizio delle due linee ferroviarie adiacenti.

In questo caso quindi le analisi previsionali tengono conto dei seguenti transiti ferroviari:

- Per la linea Salerno - Battipaglia:
 - 66 treni regionali di cui 58 nel periodo diurno e 8 in quello notturno;
 - 26 treni intercity di cui 19 nel periodo diurno e 7 in quello notturno;
 - 11 treni alta velocità di cui 11 nel periodo diurno e 0 in quello notturno;
 - 15 treni merci di cui 12 nel periodo diurno e 3 in quello notturno.
- Per la linea metropolitana di Salerno in progetto:
 - 102 treni regionali di cui 96 nel periodo diurno e 6 in quello notturno.

Per quanto riguarda le velocità di percorrenza non sono stati applicati fattori di correzione ai livelli di accelerazione emissivi secondo le modalità indicate nei paragrafi precedenti essendo pressoché identiche a quelle rilevate durante le indagini sul campo.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A

Il contributo energetico associato all'intero modello di esercizio è stato poi rapportato all'intero periodo diurno e notturno. Anche in questo caso le analisi sono state differenziate in funzione della tipologia di edificio applicando un fattore correttivo di +5 dB per tener conto della risposta delle strutture alle vibrazioni. Questo come detto è stato tenuto conto assumendo un valore soglia inferiore nelle analisi previsionali desunte dal modello considerato.

Lw,eq [dB] totale – media emissione – Linea Salerno-Battipaglia							
Posizione	Dist. da binario esterno	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturno		
		Asse X	Asse Y	Asse Z	Asse X	Asse Y	Asse Z
T1	10 m	66,8	65,4	64,8	62,9	61,4	61,0
T2	15 m	62,7	61,3	60,8	58,8	57,4	57,0
T3	20 m	59,4	57,6	57,8	55,3	53,8	54,0

Tabella 5-2 Livelli di accelerazione Lw,eq in dB nel periodo diurno e notturno lungo gli assi X, Y e Z complessivamente attesi secondo il programma di esercizio previsto considerando i valori emissivi medi per la tratta della linea storica Salerno-Battipaglia

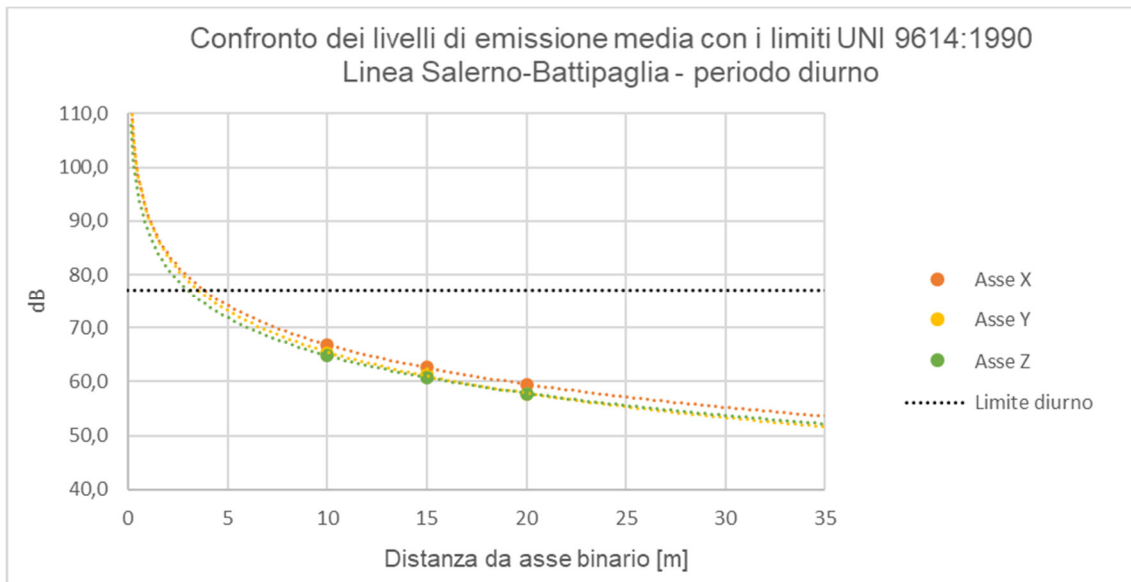


Figura 5-2 Confronto dei livelli di emissione complessiva con i limiti UNI 9614:1990 in funzione della distanza dall'asse del binario secondo il modello di esercizio previsto – Linea storica Salerno-Battipaglia - Periodo diurno

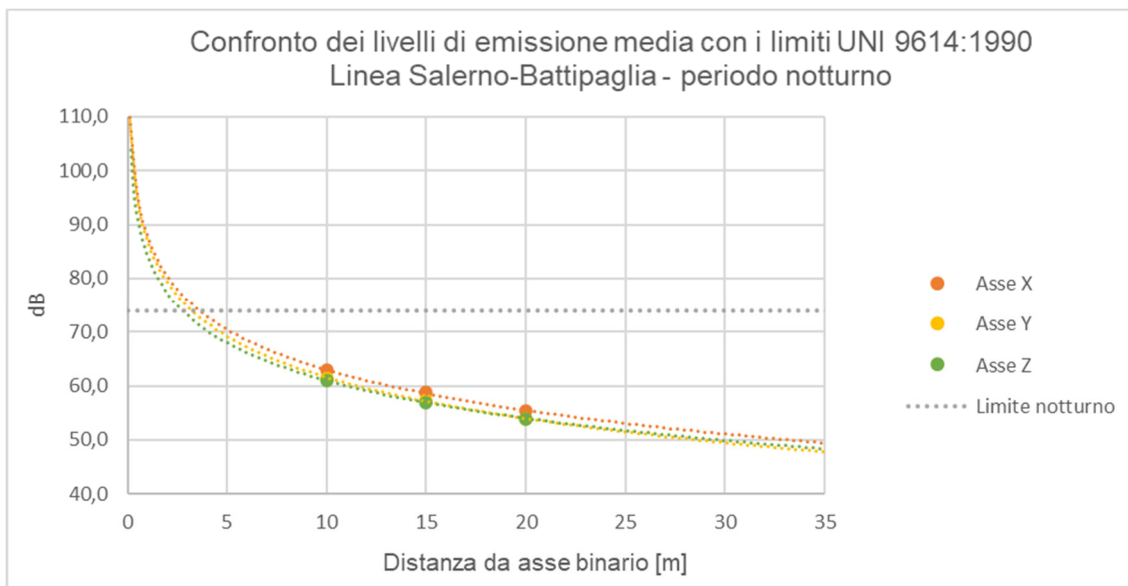


Figura 5-3 Confronto dei livelli di emissione complessiva con i limiti UNI 9614:1990 in funzione della distanza dal binario secondo il modello di esercizio previsto – Linea storica Salerno-Battipaglia - Periodo notturno

Lw,eq [dB] totale – media emissione – Linea metropolitana di Salerno							
Posizione	Dist. da binario esterno	Lw,eq [dB] Diurno			Lw,eq [dB] Notturmo		
		Asse X	Asse Y	Asse Z	Asse X	Asse Y	Asse Z
T1	10 m	62.3	61.2	63.4	57.9	56.8	58.9
T2	15 m	57.0	52.8	55.2	52.6	48.3	50.7
T3	20 m	47.0	40.5	42.9	42.6	36.0	38.4

Tabella 5-3 Livelli di accelerazione Lw,eq in dB nel periodo diurno e notturno lungo gli assi X, Y e Z complessivamente attesi secondo il programma di esercizio previsto considerando i valori emissivi medi per la tratta della linea metropolitana di Salerno in progetto

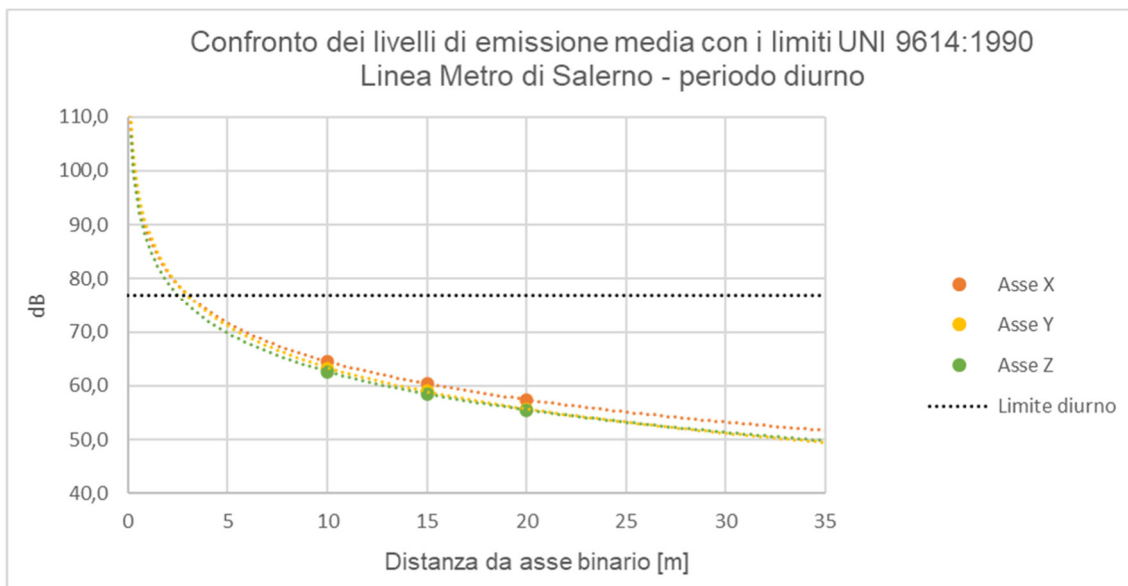


Figura 5-4 Confronto dei livelli di emissione complessiva con i limiti UNI 9614:1990 in funzione della distanza dall'asse del binario secondo il modello di esercizio previsto – Metro Salerno - Periodo diurno

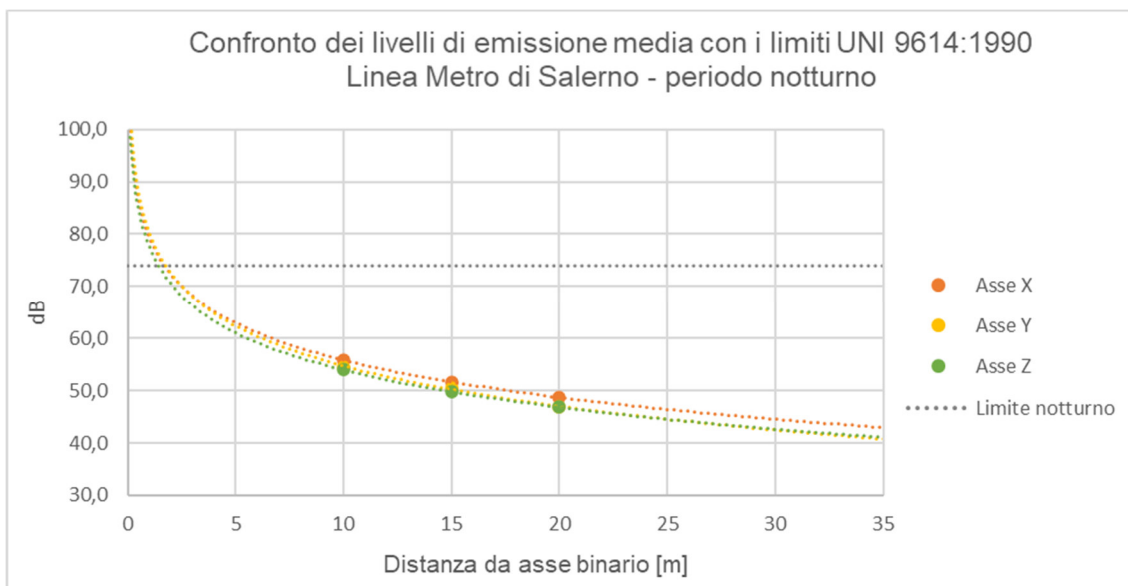


Figura 5-5 Confronto dei livelli di emissione complessiva con i limiti UNI 9614:1990 in funzione della distanza dal binario secondo il modello di esercizio previsto – Metro Salerno - Periodo notturno

Dall'applicazione del modello previsionale assunto e dai risultati riportati nei grafici precedenti si evince la distanza alla quale vengono raggiunti i valori di accelerazione soglia nel terreno rappresentativi di una potenziale condizione di disturbo all'interno degli edifici secondo i fattori cautelativi assunti di amplificazione all'interno delle strutture. Tali valori rappresentano le condizioni

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 50 di 54

di esposizione al disturbo da vibrazioni di origine ferroviaria indotte dall'intero contributo emissivo secondo il modello di esercizio previsto e rapportato ai due periodi temporali di riferimento (diurno e notturno) come individuati dalla normativa.

I risultati mettono in evidenza come tale condizione di disturbo sia stimata nelle aree prossime al binario più esterno delimitate dalle seguenti distanze:

- circa 6 metri dall'asse del binario più esterno nel caso della linea storica Salerno-Battipaglia nel periodo diurno e notturno;
- inferiore ai 5 metri dall'asse del binario nel caso della linea di progetto Metro di Salerno in entrambi i periodi temporali di riferimento.

In virtù dei valori di accelerazione calcolati e delle distanze soglia stimate si evince come la sovrapposizione degli effetti indotti dall'esercizio di entrambe le linee ferroviarie in affiancamento siano trascurabili. Dall'analisi territoriale e dal censimento dei ricettori eseguito nell'ambito dello studio acustico, non si evince la presenza di tratte critiche essendo tutti gli edifici residenziali posti ad una distanza maggiore di quella limite sia nel periodo diurno che notturno.

5.4 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE CRITICHE

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

In merito alla condizione di disturbo associata all'emissione di un singolo transito di un convoglio ferroviario, l'analisi è riferita alla sola linea ferroviaria di progetto e di nuova realizzazione (Metro Salerno) e limitata al solo periodo notturno in virtù di un livello di riferimento indicato dalla norma UNI 9614:1990 minore (74 dB). Per tali analisi lo studio è stato impostato considerando alcuni fattori di attenuazione connessi alle peculiarità della nuova linea ferroviaria (convogli "Minuetto" di nuova generazione, velocità media minore, nuovo armamento ferroviario) che sono stati applicati ai valori emissivi L_w rilevati durante le indagini in situ lungo la linea ferroviaria storica Salerno-Battipaglia. Dall'applicazione dell'algoritmo di calcolo si evince come l'area di potenziale disturbo sia costituita da una fascia di circa 13 m dall'asse del binario della nuova linea della metro di Salerno. Dalla planimetria del censimento ricettori dello studio acustico si evince una condizione di potenziale criticità per le seguenti tratte e per i seguenti ricettori:

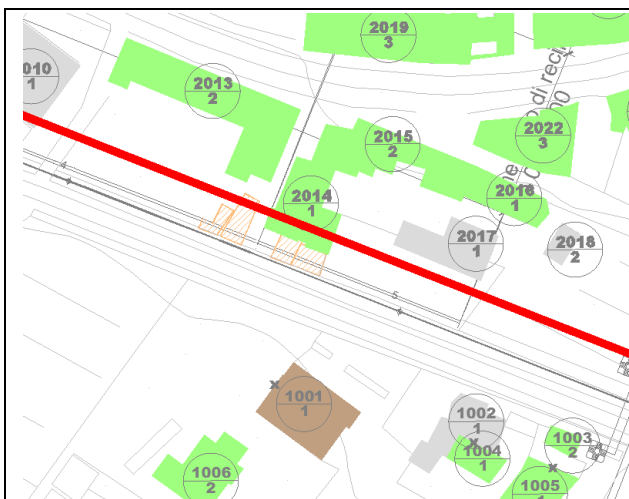
- Dalla pk 0+400 alla pk 0+500 per il ricettore residenziale 2014;

STUDIO VIBRAZIONALE

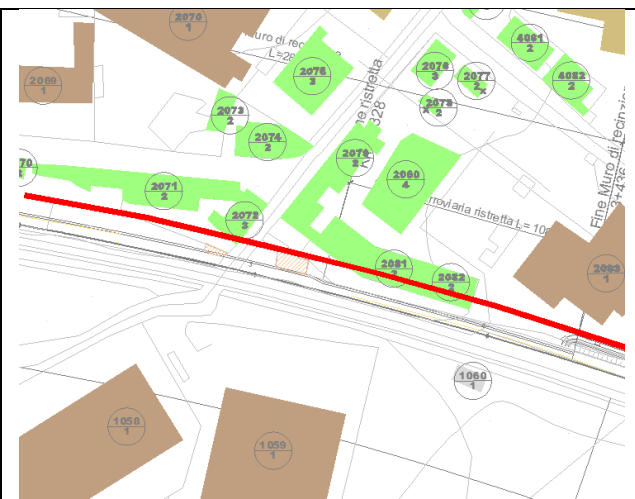
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00 E 22	RG	IM0004 003	A	51 di 54

- Dalla pk 3+200 alla pk 3+400 ovvero i ricettori residenziali, 2072, 2081 e 2082;
- Dalla pk 3+700 alla pk 4+000 ovvero i ricettori residenziali 2094, 2102 e 2103;
- Dalla pk 6+300 alla pk 6+400 ovvero i ricettori residenziali 2171 e 2176;
- Dalla pk 6+700 alla pk 6+800 ovvero i ricettori residenziali 2187 e 2189;
- Alla pk 7+600 ovvero il ricettore residenziale 2218;



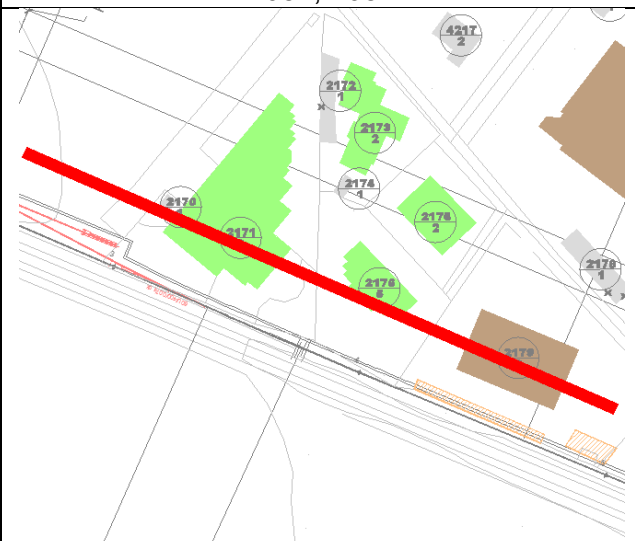
Tratta tra pk 0+400 e pk 0+500 – Ric. 2014



Tratta tra pk 3+200 e pk 3+400 – Ric. 2072, 2081, 2082



Tratta tra pk 3+700 e pk 4+000 – Ric. 2094, 2102 e 2103

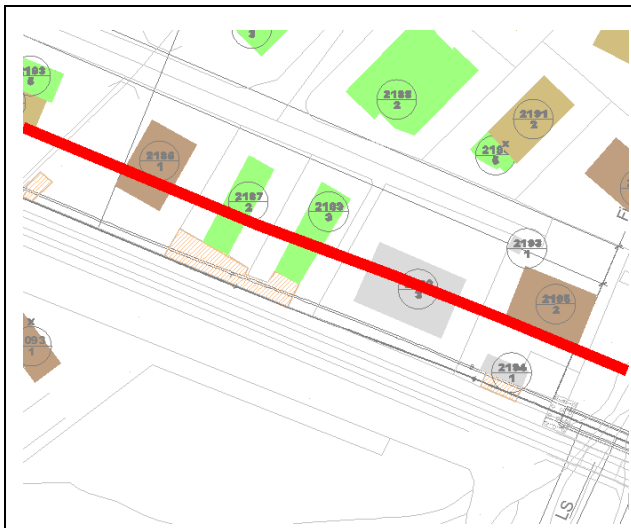


Tratta tra pk 6+300 a pk 6+400 – Ric. 2171 e 2176

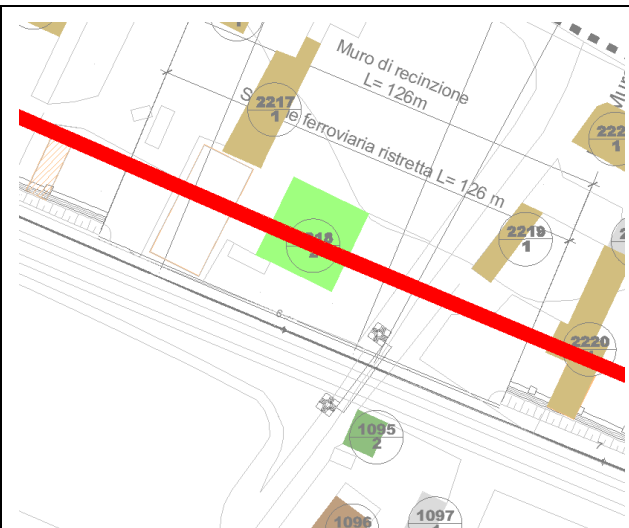
STUDIO VIBRAZIONALE

Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00 E 22	RG	IM0004 003	A	52 di 54



Tratta tra pk 6+700 a pk 6+800 – Ric. 2187 e 2189



Tratta in prossimità della pk 7+600 – Ric. 2218

Tali condizioni di criticità si eliminano nel momento in cui si tiene conto dell'intero contributo emissivo associato al modello di esercizio previsto rapportato all'intero periodo diurno e notturno. Tenendo conto infatti del numero complessivo di transiti ferroviari previsti secondo i valori emissivi medi riscontrati nelle indagini sperimentali distinti per tipologia di treno e rapportando i livelli di accelerazione complessiva all'intero periodo diurno e notturno, dall'applicazione del modello previsionale non si individuano infatti condizioni di criticità e quindi aree potenzialmente oggetto di disturbo da vibrazioni indotte dal traffico ferroviario lungo la nuova linea Metro Salerno in affiancamento alla linea storica Salerno-Battipaglia. La sovrapposizione degli effetti associati all'esercizio delle due linee in affiancamento è tale da non indurre incrementi dei livelli di accelerazione significativi e coinvolgere quindi edifici al disturbo da vibrazioni. Sulla base di quanto detto quindi non sono state individuate tratte critiche.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 53 di 54

6 CONCLUSIONI

Il presente studio ha avuto come scopo l'individuazione delle problematiche di propagazione delle vibrazioni indotte dal traffico ferroviario lungo la linea Salerno – Battipaglia nell'ambito del progetto di realizzazione della nuova tratta in affiancamento denominata Metro Salerno.

La verifica dei livelli vibrazionali indotti è stata eseguita rispetto ai valori assunti come riferimento per la valutazione del disturbo in corrispondenza degli edifici così come individuati dalla norma UNI 9614:1990 "*Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo*". Nello specifico le valutazioni hanno tenuto conto sia dello scenario di massimo disturbo associate al transito di un singolo convoglio ferroviario in condizioni di massima emissione sia dello scenario complessivo associato all'intero modello di esercizio nelle condizioni di emissioni medie nell'intero periodo diurno e notturno individuato dalla normativa di riferimento.

Il modello previsionale assunto per la stima dei livelli di accelerazione in corrispondenza della ferrovia si basa sull'individuazione di una legge di propagazione tarata in funzione di precedenti indagini sperimentali eseguite lungo la linea Salerno – Battipaglia in un contesto simile a quello in esame. Dall'analisi dei dati di accelerazione rilevati nel periodo di misura sono stati individuati i livelli di accelerazione in dB associati sia alla condizione di massima emissione indotta dal singolo transito sia alla condizione di media emissione ricavata dall'analisi statistica dell'intero numero di convogli campionati. Inoltre, dai livelli di accelerazione rilevati nelle due postazioni di misura è stata determinata la legge di propagazione delle onde vibrazionali nel terreno specifica al contesto territoriale in studio. Inoltre, in riferimento alla valutazione interna degli edifici è stato considerato un incremento dei livelli di emissione di +5 dB. Le caratteristiche degli edifici sono state individuate dal censimento dei ricettori eseguito nell'ambito dello studio acustico.

L'algoritmo di calcolo così definito è stato quindi applicato al modello di esercizio previsto per l'individuazione delle aree critiche, ovvero per i ricettori cui si stima un livello di accelerazione superiore a quello di riferimento previsto dalla norma UNI 9614:1990 (77 dB diurno, 74 dB notturno). La verifica è stata effettuata sia per lo scenario di massimo disturbo, ovvero per il periodo temporale limitato al transito del convoglio ferroviario critico, sia per lo scenario complessivo riferito all'intero modello di esercizio nell'arco temporale costituente il periodo diurno e notturno secondo la suddetta norma UNI.

Nella prima condizione, le analisi previsionali hanno evidenziato una condizione di criticità per 12 edifici residenziali, tutti posizionati contermini alla linea ferroviaria stessa, nel periodo notturno (condizione più critica dato il livello di riferimento inferiore). Tale condizione è limitata alla sola durata temporale associata al transito del convoglio ferroviario di massima emissione e pertanto

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO PROGETTO DEFINITIVO					
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione	COMMESSA NN1X	LOTTO 00 E 22	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM0004 003	REV. A	FOGLIO 54 di 54

rappresentativa di una condizione di massimo disturbo ma in un periodo temporale limitato alla sola durata del transito del convoglio (circa 30 secondi).

Nello studio è stata quindi considerata anche la condizione di disturbo complessivo determinando i livelli di accelerazione indotti dal modello di esercizio previsto e riferiti all'intero periodo temporale diurno e notturno. In tale condizione considerando i valori di emissione media determinati dall'analisi statistica dei campionamenti effettuati, emerge una condizione di pieno rispetto dei valori di accelerazione in corrispondenza degli edifici residenziali ubicati lungo la linea ferroviaria. In tale fase di studio le analisi hanno tenuto conto sia della linea metropolitana di progetto sia della linea storica Salerno-Battipaglia in adiacenza secondo i modelli di esercizio previsti per le due linee. In entrambi i casi non emerge la presenza di aree critiche, ovvero tratte della linea ferroviaria caratterizzate da edifici in prossimità dei binari con livelli di accelerazione superiori ai limiti indicati dalla norma UNI 9614:1990 (77 dB diurno, 74 dB notturno). Anche la sovrapposizione degli effetti associati all'esercizio delle due linee in affiancamento è tale da non indurre incrementi dei livelli di accelerazione significativi e coinvolgere quindi edifici al disturbo da vibrazioni.

In termini complessivi non sono state quindi individuate tratte critiche sia per il periodo diurno che notturno. Per quanto concerne quindi il disturbo da vibrazioni sugli edifici dalle analisi sviluppate e dai risultati ottenuti si evince la non necessità di interventi di mitigazione per il contenimento delle emissioni vibrazionali.