

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO
UO INFRASTRUTTURE SUD**

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO

STUDIO ACUSTICO

Relazione Generale Studio Vibrazionale

SCALA :

-

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

RS2S 00 D 78 RG IM0006 002 B

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	A. Corvaja	Ottobre 2017	A. Corvaja	Ottobre 2017	P. Carlesimo	Ottobre 2017		
B	Emissione CSLLPP	A. Corvaja	Gen 2018	A. Corvaja	Gen 2018	P. Carlesimo	Gen 2018		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

INDICE

1	<i>Premessa</i>	2
2	<i>Riferimenti legislativi</i>	3
2.1	ISO 2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni"	3
2.2	UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"	4
2.3	UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici",	5
3	<i>Valutazione degli impatti in fase di esercizio della linea ferroviaria</i>	9
3.1	Modello previsionale	9
3.2	Caratterizzazione della sorgente	10
3.3	Elaborazione dei dati rilevati	15
3.3.1.	Modalità di attenuazione con la distanza	15
3.3.2.	Caratterizzazione della sorgente	17
3.3.3.	Propagazione negli edifici	25
3.3.4.	Sintesi di input	30
3.4	Interazione Opera-Ambiente	33

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B	FOGLIO 2 di 34

1 PREMESSA

Il presente documento contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale prodotto dalla realizzazione del progetto relativo alla realizzazione del raddoppio della tratta Giampilieri-Fiumefreddo, inquadrato nella direttrice Messina-Catania-Palermo, in particolare nel raddoppio della linea sul collegamento fra Messina e Catania.

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI

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

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

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

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

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

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

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

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

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

Valori di soglia di vibrazione relativi al disturbo alle persone (UNI 9614)

Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente, a_w e L_w . Quest'ultimo, espresso in dB, è definito come $L_w = 20 \log_{10} (a_w / 10^{-6} \text{ ms}^{-2})$. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse z

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B	FOGLIO 5 di 34

prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 4 e 1 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed una attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi x e y prevede un'attenuazione nulla tra 1 e 2 Hz e una attenuazione di 6 dB per ottava tra 2 e 80 Hz. La banda di frequenza 1-80 Hz deve essere limitata da un filtro passabanda con una pendenza asintotica di 12 dB per ottava. Nel caso la postura del soggetto esposto non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti. In alternativa, i rilievi su ogni asse vanno effettuati utilizzando in successione i filtri sopraindicati; ai fini della valutazione del disturbo verrà considerato il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza più elevato. Nell'Appendice della norma UNI 9614, che non costituisce parte integrante della norma, si indica che la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante deve essere svolta confrontando i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, o i corrispondenti livelli più elevati riscontrati sui tre assi, con una serie di valori limite riportati nei prospetti II e III. Quando i valori o i livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto. Nel caso di vibrazioni di tipo impulsivo è necessario misurare il livello di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale livello deve essere successivamente diminuito di 3 dB al fine di stimare il corrispondente livello efficace. I limiti possono essere adottati se il numero di eventi impulsivi giornalieri non è superiore a 3. Nel caso si manifestino più di 3 eventi impulsivi giornalieri i limiti fissati per le abitazioni, gli uffici e le fabbriche vanno diminuiti in base al numero di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per un fattore correttivo F. Nessuna riduzione può essere applicata per le aree critiche. Nel caso di impulsi di durata inferiore a 1 s si deve porre $F = 1.7 \cdot N^{-0.5}$. Per impulsi di durata maggiore si deve porre $F = 1.7 \cdot N^{-0.5} \cdot t^{-k}$, con $k = 1.22$ per pavimenti in calcestruzzo e $k = 0.32$ per pavimenti in legno. Qualora i limiti così calcolati risultassero inferiori ai limiti previsti per le vibrazioni di livello stazionario, dovranno essere adottati questi ultimi valori.

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

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 e in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3. La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B	FOGLIO 6 di 34

strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime. La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio, tuttavia le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio. L'Appendice A della UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Nell'ambito di questa classificazione, un sistema dinamico è costituito dal terreno e dallo strato di base (magrone) sul quale si trovano le fondazioni oltre che la struttura medesima dell'edificio.

Le strutture comprese nella classificazione riguardano:

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

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

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

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

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

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

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

- *Danno di soglia*: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazioni di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata, con frequenze maggiori di 4 Hz e velocità di vibrazione di 4-50 mm/s, e per vibrazioni continue, con velocità 2-5 mm/s.
- *Danno minore*: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni. Possono verificarsi per

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B	FOGLIO 8 di 34

vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz nel campo di velocità vibrazionale compreso tra 20÷100 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 3÷10 mm/s.

- *Danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale compresa tra 20÷200 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.*

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA

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

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

Nel caso specifico il territorio interessato dal progetto è di tipo rurale, caratterizzato da un'alternanza di aree incolte, residenze sparse e strutture del produttivo industriale e artigianale. La tipologia edilizia è costituita per le residenze da fabbricati generalmente fino a 4 piani fuori terra in parte con struttura in muratura e in parte con struttura in c.a.

I terreni affioranti interessati dal tracciato di progetto sono sia di rocciosi (ammassi rocciosi addensati - Tipo 1; ammassi rocciosi mediamente addensati – Tipo 2), sia depositi fluvio-marini – Tipo 3.

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

3.1 Modello previsionale

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

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

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

Il livello di vibrazione in corrispondenza di un ricettore ad una distanza "x" dalla sede ferroviaria è pari al livello alla distanza di riferimento " x_0 ", diminuito della somma delle attenuazioni che si verificano nel terreno tra x_0 e x:

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

Il livello di base $L(x_0)$ è generalmente ricavato da misure sperimentali svolte in adiacenza alle linee ferroviarie a distanze comprese tra 5 m e 25 m.

3.2 Caratterizzazione della sorgente

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

a) Materiale rotabile:

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

b) Armamento

- massa della rotaia
- rigidità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

- smorzamenti
- masse
- coefficienti di difettosità

I dati utilizzati per la caratterizzazione della sorgente si riferiscono ad una campagna di rilevamenti eseguita lungo l'attuale linea in esercizio, in via Appiano nella frazione di Mazzeo del comune di Taormina, in sede di Progetto Preliminare. La strumentazione è stata posizionata in corrispondenza del corpo ferroviario e le quattro postazioni sono state individuate al fine di calcolare la funzione di trasferimento dalla sorgente al piede del ricettore e, poi ancora, all'interno del ricettore sia al primo, sia all'ultimo solaio utile calpestabile.

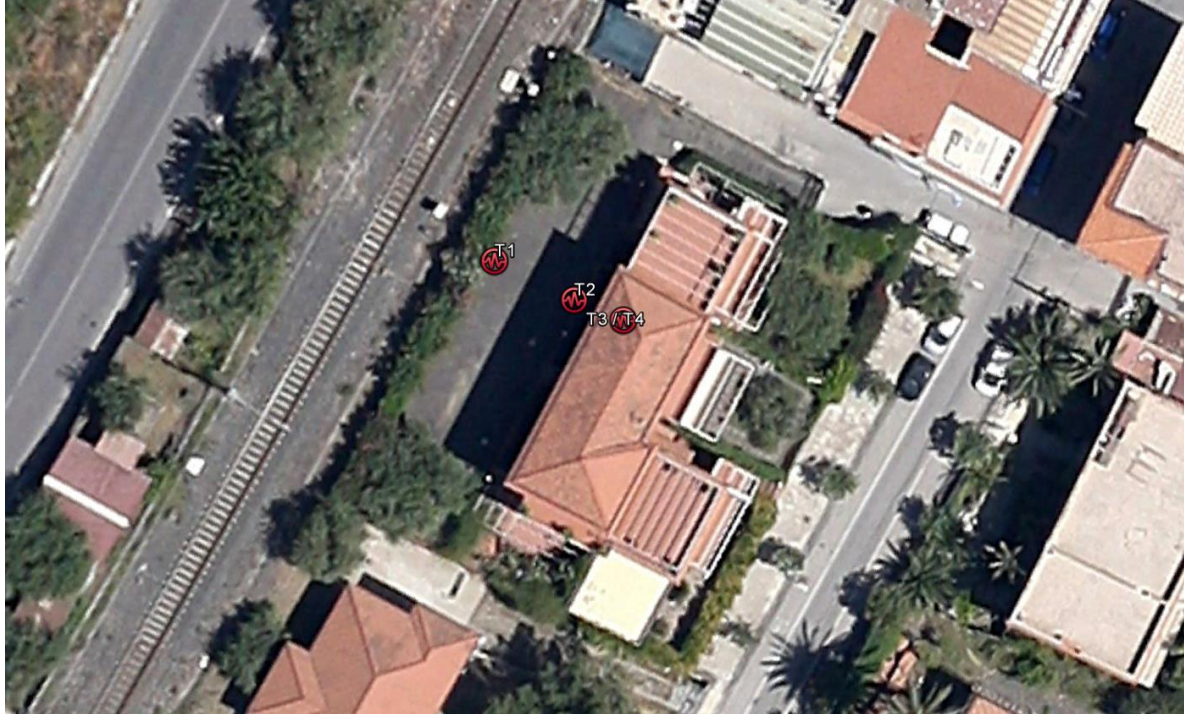
I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito, secondo il quadro sinottico sotto riportato.

Numero di treni rilevato durante la misura		
Tipologia treni	Periodo Diurno	Periodo Notturno
Intercity	6	1
Merci	7	2
Regionali	10	-
Regionali – Met	22	2
Totale transiti	45	5

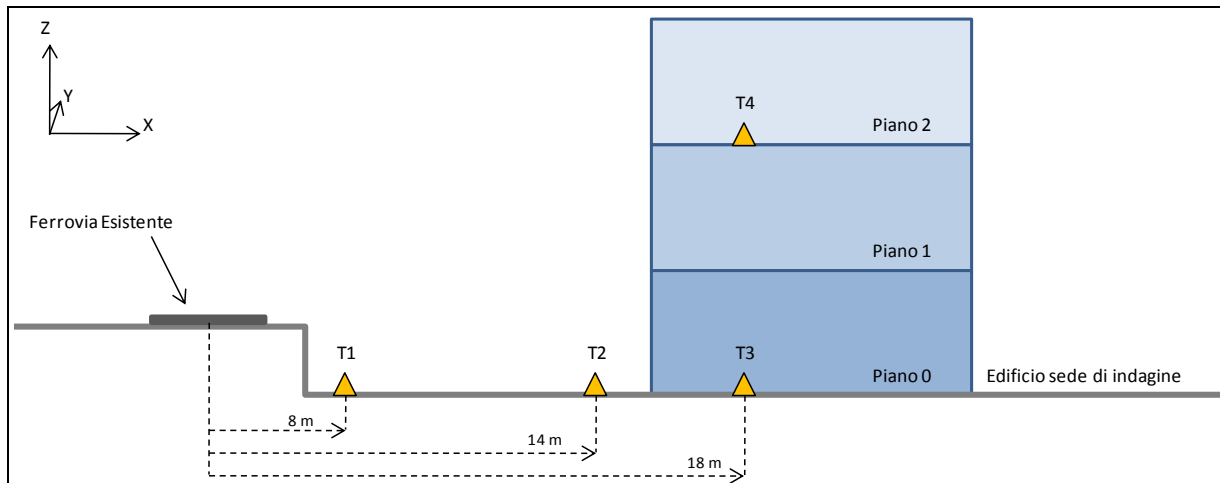
L'indagine vibrazionale è costituita da 4 terne accelerometriche con rilievo contemporaneo, così posizionate:

- all'esterno dell'edificio oggetto di indagine in prossimità dei binari (Terna1);
- al piede dell'edificio (Terna 2);
- al piano terra dell'edificio (Terna 3);
- al piano terzo f.t. (Terna 4).

Si rappresenta di seguito lo stralcio dell'ubicazione delle postazioni.



Stralcio planimetrico della sezione di misura



Schema della sezione di misura

In riferimento al dettaglio dei valori riportato all'interno del report di misura (elaborato "Caratterizzazione delle vibrazioni ante operam (misure in situ)" – cod.RS2S00D78RHIM0006002A, nel presente paragrafo si sintetizzano i principali parametri, tra cui:

- Limiti di riferimento adottati per gli assi x-y e l'asse z (UNI 9614 – Prospetti II e III).
- Valore medio diurno delle accelerazioni rilevate presso le 4 postazioni di misura, espresso in mm/s^2 e decibel.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

- Valore medio notturno delle accelerazioni rilevate presso le 4 postazioni di misura, espresso in mm/s^2 e decibel.
- Valore massimo relativo agli intervalli orari diurni delle accelerazioni rilevate presso le 4 postazioni di misura, espresso in mm/s^2 e decibel.
- Valore massimo relativo agli intervalli orari notturni delle accelerazioni rilevate presso le 4 postazioni di misura, espresso in mm/s^2 e decibel.
- Valori di accelerazione complessiva lineari di transiti rappresentativi di ogni tipologia di treno su tutte le 4 terne di misura e per tutti gli assi di riferimento.
- Valori di accelerazione complessiva ponderati in frequenza secondo la pesatura di assi combinati (UNI 9614) di transiti rappresentativi di ogni tipologia di treno su tutte le 4 terne di misura e per tutti gli assi di riferimento.
-

TERNA 1 – VALORI RILEVATI										
Periodo	Limite (Assi x-y)		Valori Asse X		Valori Asse Y		Valori Asse Z			
			[weight ax-comb]		[weight ax-comb]		Limite (Asse z)		[weight ax-comb]	
	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB
MED _{DIU}	7,1	77,0	0,739	57,4	0,458	53,2	7,1	77,0	1,011	60,1
MED _{NOT}	5,0	74,0	0,772	57,8	0,525	54,4	5,0	74,0	1,146	61,2
MAX _{DIU}	7,1	77,0	1,140	61,1	0,838	58,5	7,1	77,0	1,573	63,9
MAX _{NOT}	5,0	74,0	1,287	62,2	0,965	59,7	5,0	74,0	1,866	65,4

Sintesi dei valori diurni-notturni rilevati presso la Terna 1 (limiti in riferimento alla postura non nota)

TERNA 2 – VALORI RILEVATI										
Periodo	Limite (Assi x-y)		Valori Asse X		Valori Asse Y		Valori Asse Z			
			[weight ax-comb]		[weight ax-comb]		Limite (Asse z)		[weight ax-comb]	
	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB
MED _{DIU}	7,1	77,0	0,559	55,0	0,372	51,4	7,1	77,0	0,741	57,4
MED _{NOT}	5,0	74,0	0,516	54,3	0,360	51,1	5,0	74,0	0,739	57,4
MAX _{DIU}	7,1	77,0	0,772	57,8	0,550	54,8	7,1	77,0	1,122	61,0
MAX _{NOT}	5,0	74,0	0,740	57,4	0,538	54,6	5,0	74,0	1,157	61,3

Sintesi dei valori diurni-notturni rilevati presso la Terna 2 (limiti in riferimento alla postura non nota)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

TERNA 3 – VALORI RILEVATI											
Periodo	Limite (Assi x-y)		Valori Asse X		Valori Asse Y		Valori Asse Z				
			[weight ax-comb]		[weight ax-comb]		Limite (Asse z)		[weight ax-comb]		
	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	
MED _{DIU}	7,1	77,0	0,361	51,1	0,335	50,5	7,1	77,0	0,232	47,3	
MED _{NOT}	5,0	74,0	0,329	50,3	0,333	50,4	5,0	74,0	0,269	48,6	
MAX _{DIU}	7,1	77,0	0,513	54,2	0,417	52,4	7,1	77,0	0,290	49,2	
MAX _{NOT}	5,0	74,0	0,437	52,8	0,439	52,9	5,0	74,0	0,619	55,8	

Sintesi dei valori diurni-notturni rilevati presso la Terna 3 (limiti in riferimento alla postura non nota)

TERNA 4 – VALORI RILEVATI											
Periodo	Limite (Assi x-y)		Valori Asse X		Valori Asse Y		Valori Asse Z				
			[weight ax-comb]		[weight ax-comb]		Limite (Asse z)		[weight ax-comb]		
	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	mm/s 2	dB	
MED _{DIU}	7,1	77,0	0,293	49,3	0,283	49,0	7,1	77,0	0,266	48,5	
MED _{NOT}	5,0	74,0	0,284	49,1	0,275	48,8	5,0	74,0	0,266	48,5	
MAX _{DIU}	7,1	77,0	0,473	53,5	0,459	53,2	7,1	77,0	0,360	51,1	
MAX _{NOT}	5,0	74,0	0,332	50,4	0,299	49,5	5,0	74,0	0,299	49,5	

Sintesi dei valori diurni-notturni rilevati presso la Terna 4 (limiti in riferimento alla postura non nota)

TIPO TRENO	Valori 4 Terne Asse X				Valori 4 Terne Asse Y				Valori 4 Terne Asse Z			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
I.C.	100,3	96,2	82,9	77,2	97,0	92,9	82,9	77,2	103,7	102,7	82,9	77,2
MERCI	94,1	92,4	77,1	63,0	91,9	89,0	74,5	62,7	99,6	96,7	88,1	79,9
REG	94,9	91,9	75,3	73,9	92,8	89,2	73,7	72,8	100,6	97,4	86,0	83,5
REG-MET	96,8	93,6	78,5	74,1	94,0	89,2	75,3	74,2	103,4	99,8	88,5	83,7

Accelerazione complessiva lineare di transiti rappresentativi di ogni tipologia di treno

TIPO TRENO	Valori 4 Terne Asse X				Valori 4 Terne Asse Y				Valori 4 Terne Asse Z			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
I.C.	82,3	79,5	71,8	62,8	78,7	74,4	67,7	62,0	85,0	83,2	74,5	72,1
MERCI	78,6	77,0	64,9	54,9	74,6	71,5	61,2	53,7	81,6	79,1	70,8	71,8
REG	77,9	75,6	64,8	60,0	74,9	71,2	61,0	57,8	82,6	79,2	68,0	73,7
REG-MET	80,0	77,1	67,0	59,9	76,5	71,3	61,6	58,9	85,5	81,3	70,3	69,2

Accelerazione complessiva pesata (assi combinati) di transiti rappresentativi di ogni tipologia di treno

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

3.3 Elaborazione dei dati rilevati

3.3.1. Modalità di attenuazione con la distanza

Il linea generale le vibrazioni, nel loro percorso verso il recettore, vengono attenuate per diffusione geometrica e per dissipazione di energia nel terreno.

- Nelle tratte in rilevato le onde di corpo si trasmettono con fronti d'onda semicilindrici e sono dunque caratterizzate da attenuazione di tipo geometrico. Tuttavia in queste tratte la vibrazione viene trasmessa prevalentemente come onde di superficie che, per loro natura, non risultano caratterizzate da attenuazione geometrica. Ne consegue che in questi tratti la riduzione dell'energia immessa dal transito ferroviario avviene quasi esclusivamente ad opera della dissipazione nel terreno.
- Nei tratti in trincea le onde di corpo si trasmettono in maniera analoga a quelle in rilevato. In questo caso però le onde di corpo risultano più importanti in relazione al percorso ferrovia - ricettore a scapito di quelle superficiali. Ne consegue che in questi tratti la riduzione dell'energia immessa dal transito ferroviario è da attribuire sia a diffusione geometrica che alla dissipazione nel terreno.
- Per i tratti in galleria, la presenza dell'opera infrastrutturale determina una riduzione della «dose» di vibrazione trasmessa al suolo sia per una maggior distribuzione dei carichi lungo il tracciato sia, soprattutto, per la presenza della massa della stessa opera. Inoltre la trasmissione della vibrazione avviene quasi esclusivamente per onde di corpo che si propagano per fronti cilindrici. Ne consegue che in questi tratti la riduzione dell'energia immessa dal transito ferroviario è da attribuire sia alla diffusione geometrica che alla dissipazione nel terreno.
- Per le tratte in viadotto si è in presenza di una riduzione dell'entità dei carichi dinamici trasmessi al suolo dalle fondazioni del viadotto in relazione all'effetto filtro connesso con le prime frequenze proprie dell'impalcato che risultano estremamente ridotte. Inoltre va considerato che, poiché l'immissione della vibrazione nel terreno avviene tramite i plinti di fondazione del viadotto, il tipo di sorgente non è più da considerare lineare (come invece nel caso di rilevato, trincea e galleria) ma puntiforme. Ne consegue che la trasmissione delle onde di corpo avviene per fronti d'onda emisferici con maggiori attenuazioni di tipo geometrico rispetto ai fronti d'onda cilindrici. Inoltre anche la trasmissione delle onde superficiali avviene per fronti d'onda circolari ed è quindi soggetta a riduzioni di tipo geometrico al contrario degli altri casi menzionati.

In riferimento alla natura del terreno presente nell'area di indagine, si sono osservate 3 macro tipologie di unità geologiche rappresentative di una crescente rigidità dell'ammasso roccioso in funzione del livello di addensamento dello stesso.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

Ai fini vibrazionali, tale classificazione è utile ad individuare la capacità del terreno a “deformarsi” in corrispondenza della sollecitazione al passaggio di un convoglio ferroviario e, quindi, a costituire uno smorzamento più o meno accentuato delle accelerazioni.

Le indagini vibrazionali che sono state condotte hanno avuto l’obiettivo di verificare le specificità del contesto in cui si inserisce il progetto: le postazioni di misura sono state ubicate in un’area di confine tra tipologie 2 e 3, ovvero, tra ammassi rocciosi mediamente addensati e depositi fluvio-marini mediamente addensati.

A fini cautelativi di calcolo, si considerano i terreni interessati dalle misure del tipo maggiormente sfavorevole, ovvero del tipo 3 (depositi fluvio-marini mediamente addensati) in cui le sollecitazioni vibrazionali subiscono un maggiore smorzamento.

Introdotti i concetti validi a livello generale, l’analisi dei dati rilevati sul campo evidenzia che rispetto ad una distanza quasi doppia tra la terna al piede del rilevato e la terna al piede dell’edificio, i valori di accelerazione subiscono una riduzione media di circa 3 decibel sui tre assi.

Tale modalità di attenuazione dell’onda vibratoria con la distanza può ritenersi rappresentativa in prima approssimazione di tutte le tipologie infrastrutturali (rilevato, trincea, galleria) fatta eccezione per la tipologia viadotto.

Nei casi di tipologia in viadotto, essendo come sopra detto il fronte d’onda sferico anziché cilindrico, la modalità di attenuazione può ritenersi doppia rispetto alla precedente; si può considerare, cioè, una riduzione dell’accelerazione pari a 6 decibel ogni raddoppio di distanza.

Quanto sopra detto è valido per terreni, come detto, di tipo 3 in cui le accelerazioni subiscono un maggiore smorzamento. Nel caso in cui le tipologie di terreno differiscano, anche sulla base di esperienze analoghe, si stima la seguente attenuazione per ogni raddoppio di distanza dalla sorgente (si vedano anche i paragrafi successivi di dettaglio dei valori rilevati):

Attenuazioni in decibel al raddoppio della distanza dalla sorgente		
Tipo di terreno	Infrastruttura in rilevato/galleria	Infrastruttura in viadotto
1	2,0	4,0
2	2,5	5,0
3	3,0	6,0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

3.3.2. Caratterizzazione della sorgente

Per quanto riguarda la sorgente vibratoria rappresentata dal transito dei convogli ferroviari, si considera come livello di accelerazione di riferimento quello corrispondente alla distanza presso la quale è stata posizionata la Terna 1, cioè, a circa 8 metri dall'asse del binario.

A partire da questa distanza quindi vale la legge di propagazione nel terreno descritta al precedente paragrafo. Ma, nel campo compreso tra l'asse del binario e gli 8 metri di riferimento, i parametri cambiano in ragione di:

- Tipologia di convoglio
- Velocità di transito
- Tipologia di infrastruttura

Per quanto riguarda **la tipologia e la velocità del convoglio**, ai fini di una rappresentazione delle modalità con cui si stima possano variare i parametri si fa riferimento ai risultati della Terna accelerometrica che subisce minori alterazioni del segnale, ovvero la Terna 1, quella più vicina ai binari. L'analisi dei dati rilevati sul campo, riportata nel dettaglio nell'allegato "Report di misura", evidenzia che:

- In riferimento alla tipologia del convoglio, osservando i grafici seguenti, le accelerazioni sembrano seguire una legge in funzione della massa. I dati rilevati di maggiore entità risultano quelli relativi ai treni merci e, a seguire, gli inter-city. I treni regionali e ancor più i treni metropolitani, per quanto caratterizzati da velocità inferiori, evidenziano minori sollecitazioni, mediamente di circa 5 decibel inferiori ai treni delle categorie maggiori.
- In riferimento alla velocità, l'analisi dei grafici riportati nel seguito evidenzia che le accelerazioni subiscono una variazione differenziata in ragione della tipologia di treno e degli assi di riferimento. In particolare, con il supporto della funzione che regola l'andamento della serie di dati, si possono evincere le variazioni in decibel in ragione del raddoppio di velocità distinguendo l'asse z e il piano x-y.
 - Per la tipologia Inter City, le variazioni in funzione della velocità sono minime e raggiungono un massimo di 1 decibel per ogni raddoppio sia per l'asse z, sia per il piano x-y.
 - Per la tipologia Merci, le variazioni di accelerazioni sono più marcate e raggiungono valori di +3 dB e + 4 dB al raddoppio della velocità, rispettivamente per il piano x-y e per l'asse z.
 - Per la tipologia Regionali, le variazioni di accelerazioni si attestano su valori di +2 dB e + 1,5 dB al raddoppio della velocità, rispettivamente per il piano x-y e per l'asse z.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

- Per la tipologia Metropolitani, infine, le variazioni di accelerazioni si attestano su valori di +2 dB al raddoppio della velocità, sia per l'asse z, sia per il piano x-y.

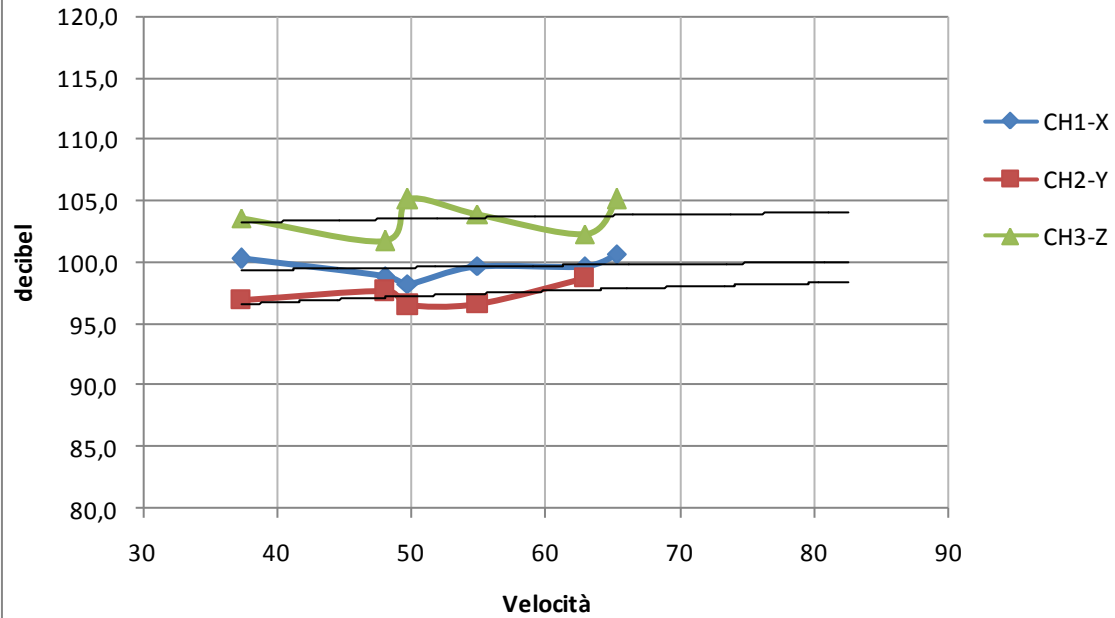
Alla luce di quanto sopra detto e considerando il programma di esercizio con le relative velocità di "linea", si evincono i valori di emissione della sorgente per le tipologie di treno previste.

Fase 2 – Transiti in linea		Valori in decibel di accelerazione	
Tipologia Treno	Velocità di progetto [km/h]	Piano x-y	Asse z
Inter City	180	101,0	105,0
Merci	140	100,0	105,0
Regionali	160	101,0	103,0
Regionali – Met	160	102,0	105,0

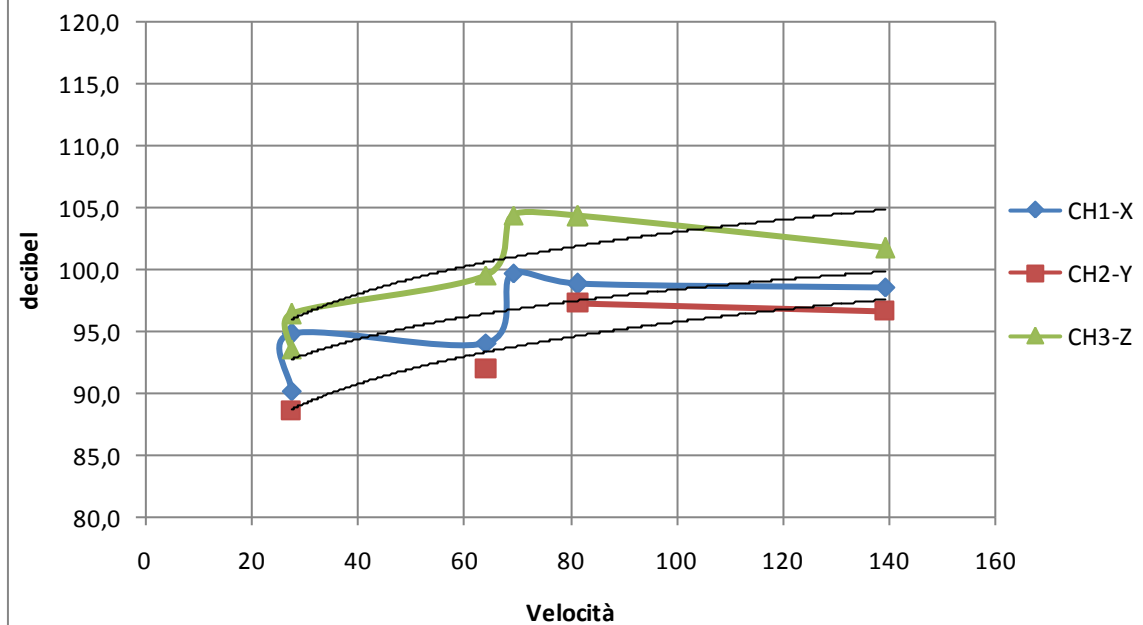
Per quanto riguarda la situazione specifica della Fase 1, di diramazione Taormina, i valori di emissione della sorgente per le tipologie di treno previste sono:

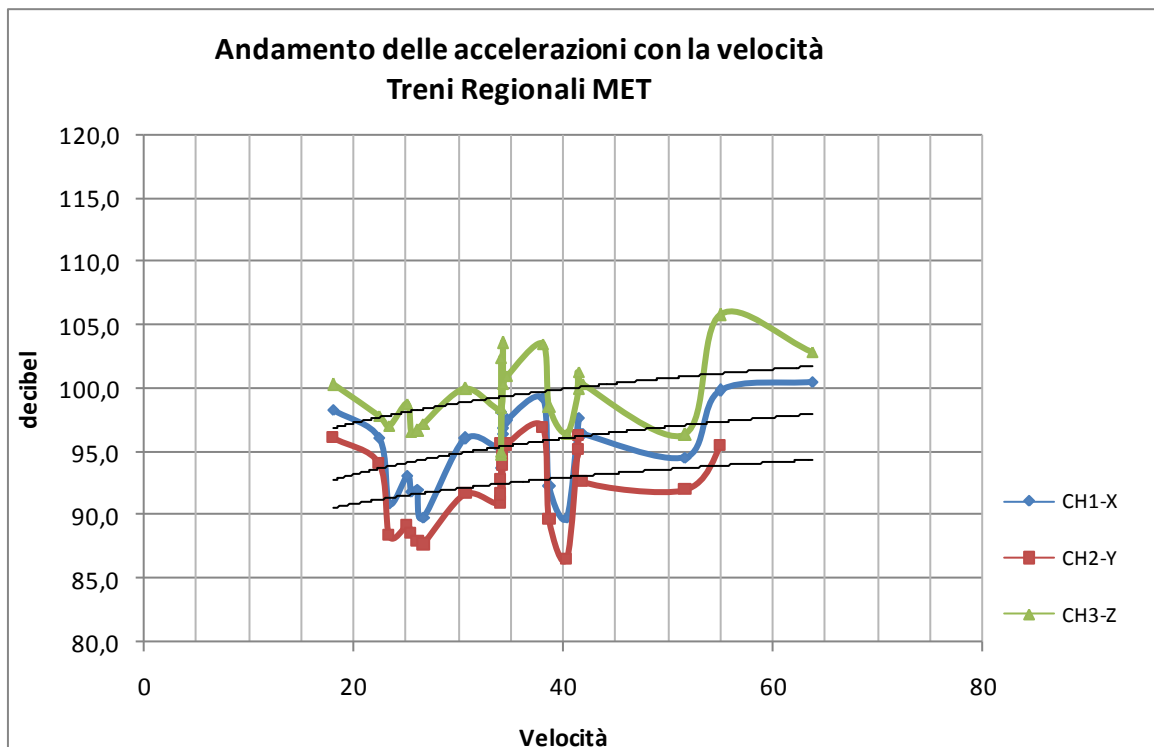
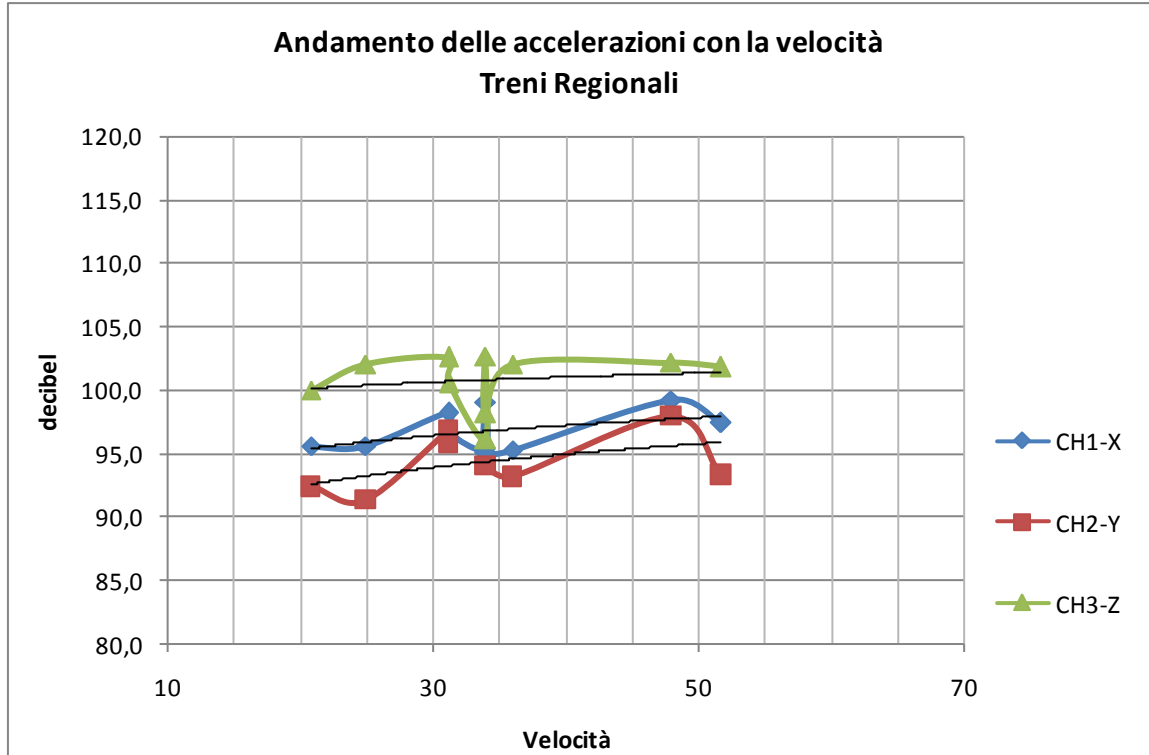
Fase 1 – Diramazione Taormina		Valori in decibel di accelerazione	
Tipologia Treno	Velocità di progetto [km/h]	Piano x-y	Asse z
Inter City	60	99,5	103,5
Merci	60	96,0	100,0
Regionali	60	98,5	101,5
Regionali – Met	60	97,5	101,5

**Andamento delle accelerazioni con la velocità
Treni I.C.**



**Andamento delle accelerazioni con la velocità
Treni Mercati**





 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO</p>				
<p>STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale</p>	<p>PROGETTO RS2S</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>DOCUMENTO D78 RG IM0006 002</p>	<p>REV B</p>	<p>FOGLIO 21 di 34</p>

Per quanto riguarda la **tipologia di infrastruttura**, si considera come livello di riferimento l'emissione corrispondente alla tipologia interessata dalle misure, cioè "Rilevato". Per le altre tipologie di infrastruttura, per le ragioni dette al precedente paragrafo, l'emissione vibrazionale alla distanza di riferimento (8 metri), in prima approssimazione è considerata:

Trincea: Analoga al rilevato

Galleria: Sulla base di studi effettuati (cfr. figura seguente) sulle modalità di propagazione delle onde vibrazionali in corrispondenza di interazione fondazione - terreno, si osserva che, per strutture di tipo "massivo", cioè per strutture costituite da una grande massa come può essere una galleria o un viadotto, la perdita di accoppiamento può variare da 5 a 15 decibel in funzione della frequenza.

Nel nostro caso, si considera un valore medio di attenuazione delle accelerazioni indotte dal sistema "galleria" pari a 10 decibel per tutto il campo di frequenze analizzato.

Viadotto: Analoga alla galleria

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

- Diramazione Taormina: tipologia Inter City, alla velocità di 60 km/h. Valore complessivo di 99,5 decibel sul piano x-y- e 103,5 decibel sull'asse z.

- Tipologia di infrastruttura. Si utilizza la seguente impostazione:
 - Rilevato. Come da distinzione al punto precedente.
 - Trincea. Come rilevato.
 - Galleria. Come rilevato, ma ridotte di 10 decibel.
 - Viadotto. Come galleria.

Di seguito si riportano delle tabelle di sintesi dei valori di accelerazione da assegnare alla sorgente.

VALORI RILEVATO / TRINCEA			VALORI GALLERIA / VIADOTTO		
FREQUENZA	ASSE X-Y	ASSE Z	FREQUENZA	ASSE X-Y	ASSE Z
1Hz	21,8	17,1	1Hz	11,8	7,1
1.25Hz	27,1	21,5	1.25Hz	17,1	11,5
1.6Hz	24,3	20,9	1.6Hz	14,3	10,9
2Hz	25,1	22,3	2Hz	15,1	12,3
2.5Hz	25,0	27,5	2.5Hz	15,0	17,5
3.15Hz	22,6	28,6	3.15Hz	12,6	18,6
4Hz	27,8	31,2	4Hz	17,8	21,2
5Hz	31,6	34,4	5Hz	21,6	24,4
6.3Hz	39,3	38,1	6.3Hz	29,3	28,1
8Hz	53,6	44,1	8Hz	43,6	34,1
10Hz	64,0	55,4	10Hz	54,0	45,4
12.5Hz	74,3	59,1	12.5Hz	64,3	49,1
16Hz	79,4	70,2	16Hz	69,4	60,2
20Hz	87,3	78,2	20Hz	77,3	68,2
25Hz	85,4	81,7	25Hz	75,4	71,7

VALORI RILEVATO / TRINCEA			VALORI GALLERIA / VIADOTTO		
FREQUENZA	ASSE X-Y	ASSE Z	FREQUENZA	ASSE X-Y	ASSE Z
31.5Hz	87,5	92,9	31.5Hz	77,5	82,9
40Hz	92,3	98,8	40Hz	82,3	88,8
50Hz	94,8	100,4	50Hz	84,8	90,4
63Hz	94,4	99,1	63Hz	84,4	89,1
80Hz	95,5	94,0	80Hz	85,5	84,0
SUM(LIN)(dB)	101,0	105,0	SUM(LIN)(dB)	91,0	95,0

Accelerazione alla sorgente tratti in Linea. Treno I.C., velocità 180 km/h (a 8m dal binario)

VALORI RILEVATO / TRINCEA			VALORI GALLERIA / VIADOTTO		
FREQUENZA	ASSE X-Y	ASSE Z	FREQUENZA	ASSE X-Y	ASSE Z
1Hz	20,3	15,6	1Hz	10,3	5,6
1.25Hz	25,6	20,0	1.25Hz	15,6	10,0
1.6Hz	22,8	19,4	1.6Hz	12,8	9,4
2Hz	23,6	20,8	2Hz	13,6	10,8
2.5Hz	23,5	26,0	2.5Hz	13,5	16,0
3.15Hz	21,1	27,1	3.15Hz	11,1	17,1
4Hz	26,3	29,7	4Hz	16,3	19,7
5Hz	30,1	32,9	5Hz	20,1	22,9
6.3Hz	37,8	36,6	6.3Hz	27,8	26,6
8Hz	52,1	42,6	8Hz	42,1	32,6
10Hz	62,5	53,9	10Hz	52,5	43,9
12.5Hz	72,8	57,6	12.5Hz	62,8	47,6
16Hz	77,9	68,7	16Hz	67,9	58,7
20Hz	85,8	76,7	20Hz	75,8	66,7

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

VALORI RILEVATO / TRINCEA			VALORI GALLERIA / VIADOTTO		
FREQUENZA	ASSE X-Y	ASSE Z	FREQUENZA	ASSE X-Y	ASSE Z
25Hz	83,9	80,2	25Hz	73,9	70,2
31.5Hz	86,0	91,4	31.5Hz	76,0	81,4
40Hz	90,8	97,3	40Hz	80,8	87,3
50Hz	93,3	98,9	50Hz	83,3	88,9
63Hz	92,9	97,6	63Hz	82,9	87,6
80Hz	94,0	92,5	80Hz	84,0	82,5
SUM(LIN)(dB)	99,5	103,5	SUM(LIN)(dB)	89,5	93,5

Accelerazione alla sorgente dir. Taormina. Treno I.C. velocità 60 km/h (a 8m dal binario)

Si osserva anche che nel caso di infrastruttura in galleria si assumono i valori indicati nelle precedenti tabelle fino ad una copertura massima di 20 metri.

3.3.3. Propagazione negli edifici

Quando il fronte d'onda delle vibrazioni incontra le fondazioni dell'edificio, interagisce con esse trasmettendo il moto vibratorio alla struttura dell'edificio che, a sua volta, la distribuisce agli altri elementi edili, quali pareti, solai, ecc.

La trasmissione dal terreno alla struttura dell'edificio si traduce normalmente in una perdita di energia che cresce con la massa dell'edificio. A meno di fenomeni di risonanza (soprattutto alle frequenze più basse) degli elementi dell'edificio, le accelerazioni trasmesse dal transito dei convogli ferroviari diminuiscono di intensità procedendo, dal piano terra all'ultimo piano, all'interno della struttura edilizia.

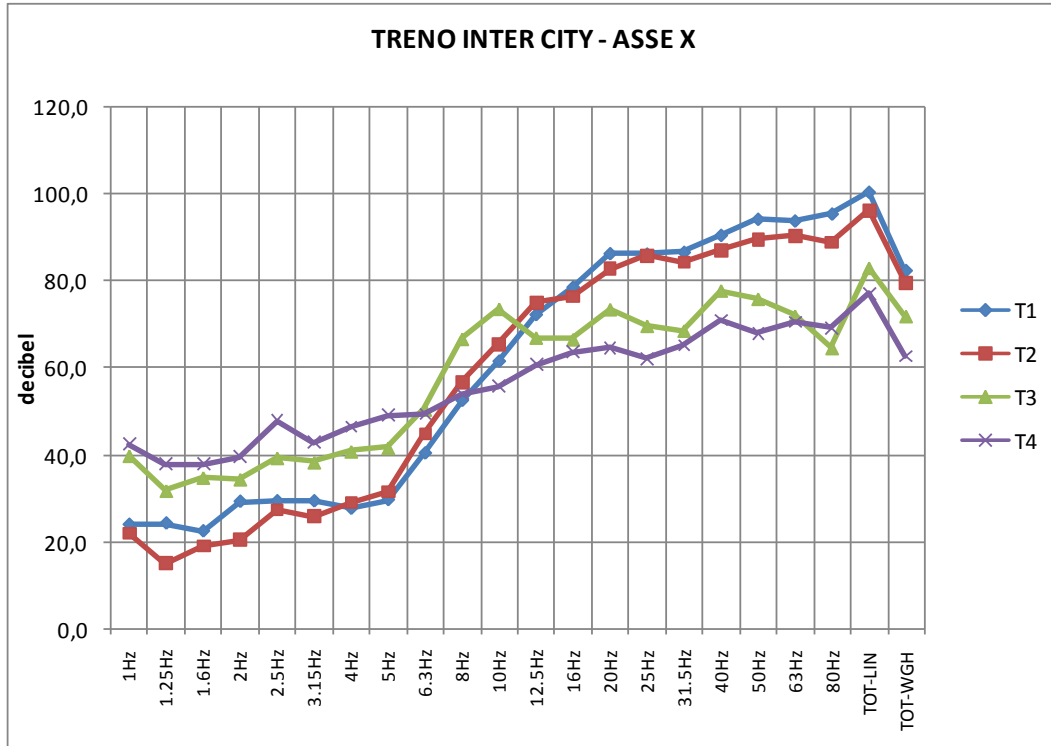
La perdita di energia iniziale per accoppiamento suolo-fondazioni può avere un'entità variabile in funzione della tipologia strutturale fondazionale, mentre la perdita di energia tra i diversi piani dell'edificio può variare anch'essa in ragione della struttura e della dimensione degli elementi edili, i quali come detto possono creare anche delle amplificazioni per fenomeni di risonanza.

In riferimento all'edificio oggetto di indagine, di seguito si riporta una tabella e dei grafici di sintesi in cui sono rappresentate le accelerazioni sui tre assi su tutto il campo di frequenze interessato. I valori sono relativi alle 4 terne di misura e sono utili ad individuare la funzione di trasferimento in

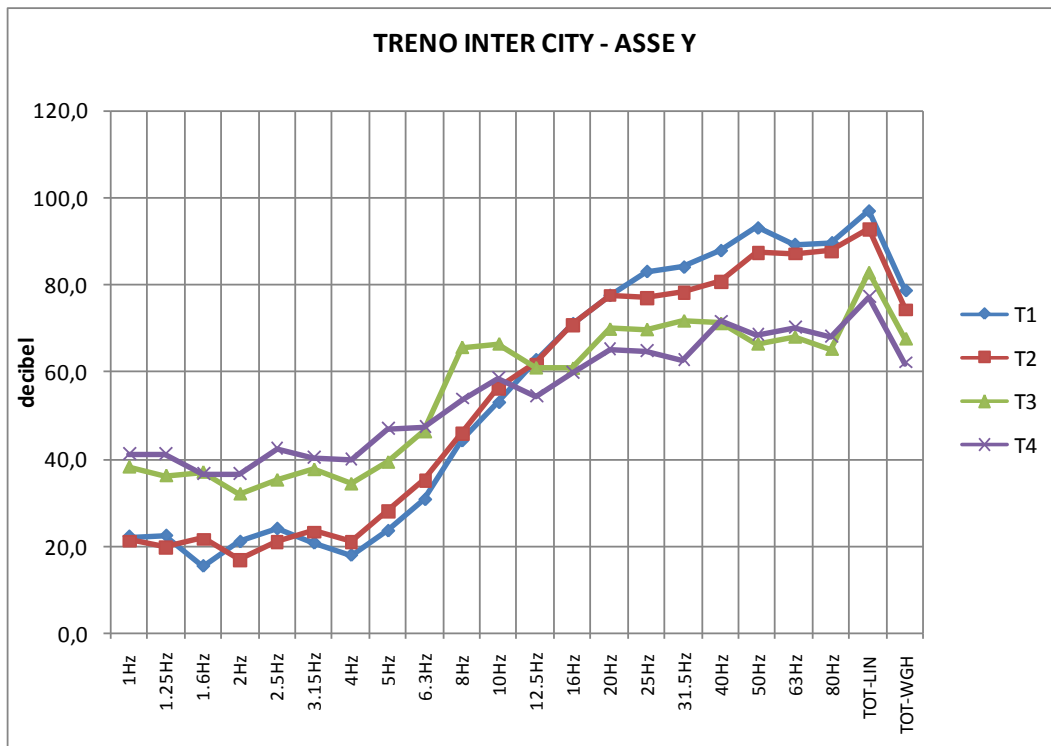
relazione all'accoppiamento suolo-fondazioni (Terna 2 – Terna 3) e al passaggio dal piano fondazioni ai piani superiori (Terna 3 – Terna 4).

HZ	X			Y			Z		
	T1-T2	T2-T3	T3-T4	T1-T2	T2-T3	T3-T4	T1-T2	T2-T3	T3-T4
1Hz	6,1	-16,9	-3,6	0,3	-16,2	-2,1	0,4	-15,1	-27,2
1.25Hz	7,7	-16,2	-6,3	1,4	-15,6	-4,3	0,0	-12,2	-27,8
1.6Hz	4,6	-15,7	-3,0	-2,1	-14,8	-0,5	1,3	-12,1	-26,7
2Hz	3,3	-13,1	-5,5	1,1	-14,4	-4,6	0,0	-8,5	-26,9
2.5Hz	0,8	-12,4	-8,3	0,4	-14,5	-6,2	-2,5	-7,5	-25,4
3.15Hz	-0,1	-11,7	-4,2	-1,8	-14,1	-2,6	-1,9	-6,6	-24,3
4Hz	-2,9	-10,9	-5,9	-2,2	-13,3	-5,1	-4,1	-4,9	-22,3
5Hz	-3,9	-9,5	-7,8	-4,4	-12,3	-6,7	-4,8	-3,6	-19,7
6.3Hz	-4,4	-8,0	0,6	-5,1	-9,8	-1,1	-3,5	-1,7	-17,5
8Hz	-3,8	-10,7	10,7	-1,5	-18,6	10,3	-3,4	0,4	-13,2
10Hz	-4,3	-5,9	15,0	-3,0	-8,0	6,9	-2,3	2,0	-6,3
12.5Hz	-2,2	6,0	8,4	-1,4	2,3	7,1	-2,9	2,6	-0,1
16Hz	0,6	11,2	5,7	-0,4	8,5	4,4	-3,6	5,1	4,4
20Hz	3,7	13,5	7,1	1,2	10,7	4,5	-2,9	7,7	7,4
25Hz	2,6	15,1	8,0	4,4	10,0	6,1	-0,7	8,3	10,1
31.5Hz	1,6	17,5	6,7	5,0	9,6	9,5	4,3	8,6	15,1
40Hz	2,0	13,3	7,7	6,7	10,6	4,1	3,8	11,6	15,7
50Hz	2,8	16,0	8,4	5,8	20,7	0,8	3,1	11,4	13,8
63Hz	2,1	20,0	3,7	1,6	19,8	2,1	3,8	6,6	14,8
80Hz	6,6	22,2	-0,9	0,5	22,1	0,7	-1,5	18,9	3,3
TOT-LIN	3,0	15,1	6,4	3,9	13,5	4,9	2,7	12,8	5,3
TOT-WGH	2,4	10,2	7,7	4,1	9,2	4,8	3,0	9,8	-0,8

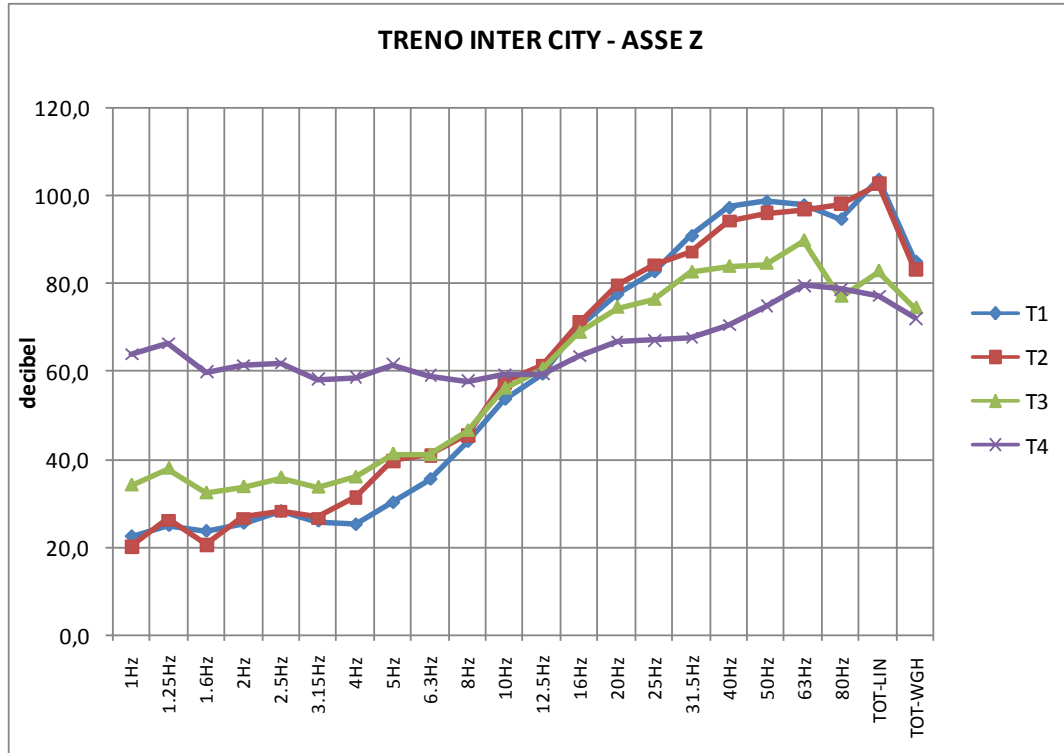
Media delle differenze dei livelli di accelerazione registrati sulle 4 Terne di misura



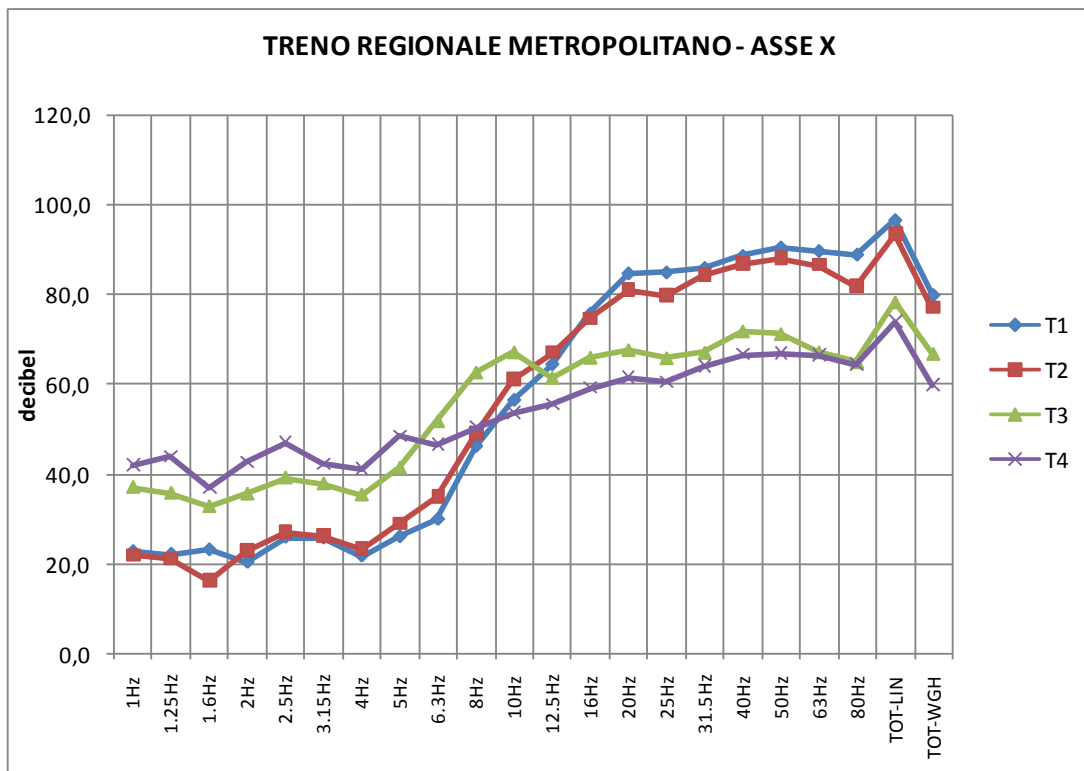
Analisi in frequenza dei valori rilevati



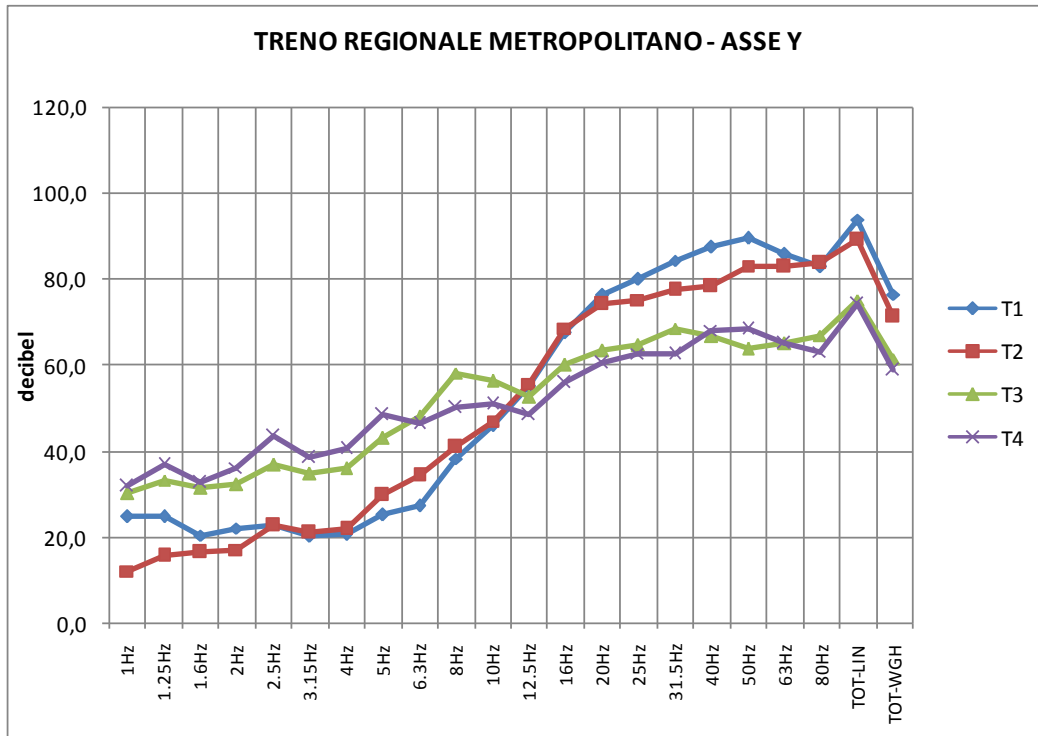
Analisi in frequenza dei valori rilevati



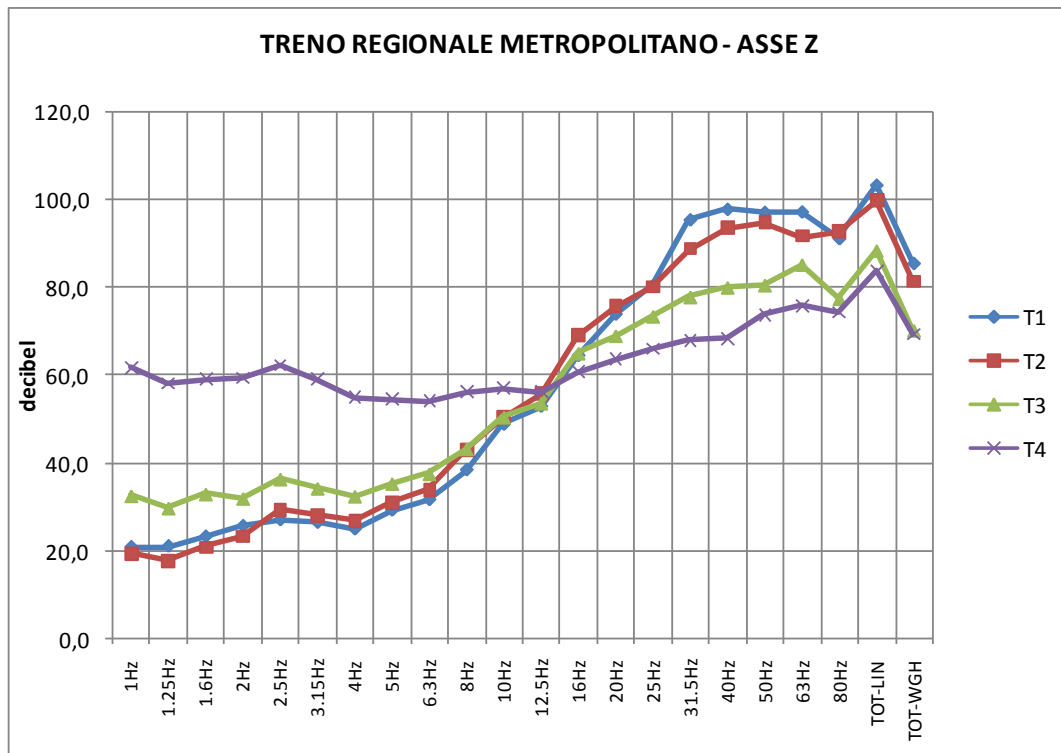
Analisi in frequenza dei valori rilevati



Analisi in frequenza dei valori rilevati



Analisi in frequenza dei valori rilevati



Analisi in frequenza dei valori rilevati

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

I livelli vibrazionali alle diverse frequenze evidenziano un andamento sostanzialmente analogo per i due assi sul piano orizzontale (assi x-y). Rispetto alle Terne 1 e 2 i valori della postazione più lontana dalla ferrovia risultano mediamente più bassi ad eccezione del campo centrale di frequenza in cui si registra un leggero innalzamento, probabilmente dovuto a fattori locali; comunque, si osserva che il valore complessivo della Terna 2 è mediamente di circa 3 decibel inferiore a quello registrato nella Terna 1.

Sempre in riferimento al piano x-y, si osserva che l'accoppiamento suolo-fondazioni (Terna 3) determina una perdita di energia complessivamente di circa 15 decibel (valori lineari), ovvero di circa 10 decibel (valori pesati come assi combinati). Tale diminuzione si concentra prevalentemente nelle frequenze medio-alte, mentre in quelle più basse si registra un lieve innalzamento rispetto alla Terna 2, probabilmente dovuto a fenomeni di risonanza della struttura.

Per quanto riguarda il passaggio dal piano terra ai piani superiori, anche in questo caso si osserva una perdita di energia (Terna 4), complessivamente di circa 5-7 decibel (sia come valori lineari, sia come valori pesati) distribuita prevalentemente sulle frequenze medio-alte.

In riferimento all'asse z, l'andamento generale è complessivamente analogo ai precedenti, ma rispetto a questi si differenzia soprattutto nel trasferimento della vibrazione dal piano terra ai piani superiori, dove si registra un incremento delle accelerazioni nel campo di frequenze compreso tra 1hz e 10hz, probabilmente dovuto a fenomeni locali di risonanza della struttura dell'edificio. Si osserva in questo caso che il valore complessivo di perdite di energia è di circa 5 decibel come valore lineare, mentre si individua un'inversione di tendenza come valore pesato agli assi combinati con circa -1 decibel.

3.3.4. Sintesi di input

Ai fini del presente studio si richiede l'individuazione di funzioni logiche di rappresentazione del fenomeno vibratorio al passaggio dei convogli ferroviari, dalla sorgente di emissione agli edifici ricettori. Tali fenomeni devono essere regolati da condizioni medie per essere associabili a tutte le situazioni ed eventualmente corretti localmente laddove se ne ravvisi la necessità.

Fatte salve quindi le specificità locali del terreno e/o delle strutture edilizie (probabili fenomeni di risonanza, ecc.) registrate durante le misure e tenendo conto degli obiettivi delle normative prese a riferimento (in particolare, delle soglie di disturbo che riguardano il valore complessivo delle accelerazioni eventualmente ponderato in frequenza), ai fini del presente studio di impatto sulla base di quanto sopra esposto e dettagliato, vengono individuate le seguenti caratteristiche di input del lavoro che saranno tra loro combinate in ragione delle diverse condizioni locali di tipologia infrastruttura, terreno e ricettori.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

RILEVATO / TRINCEA	SORGENTE TRATTI IN LINEA – VELOCITÀ 180 KM/H	
	Valori Complessivi Lineari	Valori Complessivi Ponderati
Assi X-Y	101,0	83,1
Asse Z	105,0	86,5

Accelerazione alla sorgente [dB] tratti in Linea. Dato a 8m dal binario in Rilevato

RILEVATO / TRINCEA	SORGENTE INTERCONNESSIONE LETOJANNI – VELOCITÀ 60 KM/H	
	Valori Complessivi Lineari	Valori Complessivi Ponderati
Assi X-Y	99,5	81,6
Asse Z	103,5	85,0

Accelerazione alla sorgente [dB] Diramazione Taormina. Dato a 8m dal binario in Rilevato

GALLERIA / VIADOTTO	SORGENTE TRATTI IN LINEA – VELOCITÀ 180 KM/H	
	Valori Complessivi Lineari	Valori Complessivi Ponderati
Assi X-Y	91,0	73,1
Asse Z	95,0	76,5

Accelerazione alla sorgente [dB] tratti in Linea. Dato a 8m dal binario in Galleria

GALLERIA / VIADOTTO	SORGENTE INTERCONNESSIONE LETOJANNI – VELOCITÀ 60 KM/H	
	Valori Complessivi Lineari	Valori Complessivi Ponderati
Assi X-Y	89,5	71,6
Asse Z	93,5	75,0

Accelerazione alla sorgente [dB] Diramazione Taormina. Dato a 8m dal binario in Galleria

TERRENO TIPO 1	ATTENUAZIONE DELLE ACCELERAZIONI NEL TERRENO	
	Assi X-Y	Asse Z
Rilevato / Galleria	2,0	2,0
Viadotto	4,0	4,0

Attenuazione [dB] al raddoppio della distanza. Ammassi rocciosi addensati

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

TERRENO	ATTENUAZIONE DELLE ACCELERAZIONI NEL TERRENO	
TIPO 2	Assi X-Y	Asse Z
Rilevato / Galleria	2,5	2,5
Viadotto	5,0	5,0

Attenuazione [dB] al raddoppio della distanza. Ammassi rocciosi mediamente addensati

TERRENO	ATTENUAZIONE DELLE ACCELERAZIONI NEL TERRENO	
TIPO 3	Assi X-Y	Asse Z
Rilevato / Galleria	3,0	3,0
Viadotto	6,0	6,0

Attenuazione [dB] al raddoppio della distanza. Depositi fluvio-marini

EDIFICI	ATTENUAZIONE PER ACCOPPIAMENTO SUOLO-FONDAZIONI	
MEDIO PICCOLI	Valori Complessivi Lineari	Valori Complessivi Ponderati
Assi X-Y	10	8
Asse Z	10	8

Attenuazione [dB] per accoppiamento suolo-fondazioni. Edifici ≤ 3 piani f.t.

EDIFICI	ATTENUAZIONE PER ACCOPPIAMENTO SUOLO-FONDAZIONI	
MEDIO GRANDI	Valori Complessivi Lineari	Valori Complessivi Ponderati
Assi X-Y	15	10
Asse Z	15	10

Attenuazione [dB] per accoppiamento suolo-fondazioni. Edifici > 3 piani f.t.

TUTTI GLI EDIFICI	ATTENUAZIONE INTERPIANO	
	Valori Complessivi Lineari	Valori Complessivi Ponderati
Assi X-Y	5	2
Asse Z	5	1

Attenuazione [dB] per Interpiano

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
	STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B

3.4 Interazione Opera-Ambiente

La “potenzialità” dell’interferenza vibrazionale si relaziona alle porzioni di territorio nelle quali sono ubicati uno o più ricettori che, per vicinanza alla linea ferroviaria in progetto, potrebbero essere interessati da fenomeni vibratori “disturbanti” per la popolazione in essi residente. In particolare in tali ricettori potrebbero verificarsi valori dell’accelerazione ponderata in frequenza superiori ai limiti segnalati dalla norma UNI 9614.

Il termine “potenziale” evidenzia il concetto che l’interferenza può essere riscontrata o meno in ragione della variabilità di alcuni parametri che rispondono a leggi stabilite in base alla campagna di misure, e a studi ed esperienze analoghe. Tenendo conto dei livelli di specificità locali indotti nelle misurazioni in sito, nella definizione dell’interferenza vibrazionale vi sono dei margini di incertezza e che l’effettiva criticità di un ricettore potrà essere verificata solo quando sarà costruita la linea ferroviaria e sarà possibile realizzare rilievi ad hoc.

La definizione di area “potenzialmente” critica, comunque, permette di focalizzare l’attenzione a quelle situazioni d’interferenza ricettore-ferrovia più importanti e significative.

Le aree potenzialmente critiche sono delle fasce di territorio a ridosso della linea ferroviaria di determinata ampiezza (distanza critica) in ragione delle caratteristiche emissive e di contesto in generale. Data l’assenza della linea ferroviaria di progetto in molti tratti del tracciato la definizione delle “distanze critiche” avviene sia con il supporto delle indagini vibrometriche descritte nei precedenti paragrafi, sia con il supporto di indagini ed analisi numeriche effettuate su altre tratte ferroviarie esistenti, ma di analoghe caratteristiche rispetto a quella di progetto.

Sulla base, quindi, di quanto dettagliato nel presente testo, ma considerando un certo margine di tolleranza per le approssimazioni che sono state assunte nei calcoli e nelle elaborazioni dei dati rilevati dalle misure, nonché prescindendo dalla risposta strutturale di ogni singolo edificio non valutabile a priori, si stima una distanza minima di interferenza dall’asse ferroviario di (1):

in caso di infrastruttura in rilevato/trincea, nei tratti in linea:

30 metri per terreni di classe 3

35 metri per terreni di classe 2

50 metri per terreni di classe 1

¹ Nel calcolo della distanza minima si considera come input della ferrovia in linea il valore massimo dei tre assi di rilievo che, nel caso specifico, è l’asse Z con circa 87 decibel e una perdita di energia per accoppiamento suolo-fondazioni di circa 7,5 dB. I limiti adottati sono relativi agli assi combinati, ovvero alla postura non nota, secondo cui si confronta il valore massimo dei tre assi rilevati con i valori soglia riferiti agli assi X-Y, cioè 74 dB notturni per le residenze e simili.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO RADDOPPIO GIAMPILIERI-FIUMEFREDDO				
STUDIO VIBRAZIONALE Relazione Generale	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	DOCUMENTO D78 RG IM0006 002	REV B	FOGLIO 34 di 34

in caso di infrastruttura in galleria nei tratti in linea, tenendo conto della perdita di energia per accoppiamento suolo-fondazioni, le accelerazioni risultano inferiori ai limiti adottati già alla distanza di riferimento di 8 metri. A favore di sicurezza, comunque, considerando anche che in caso di coperture ridotte l'estradosso della galleria può risultare più vicino alle fondazioni dell'edificio rispetto alla situazione di rilevato e considerando anche che normalmente la galleria si trova fondata in terreni rigidi, si stima una distanza minima di interferenza di 15 metri dall'asse del binario fino ad una copertura di circa 20 metri;

in caso di infrastruttura in viadotto, tenendo conto, sia delle attenuazioni indotte per assorbimento della stessa struttura, sia delle diverse modalità di propagazione dell'onda vibratoria nel terreno (fronte d'onda sferico anziché cilindrico), e considerando anche che normalmente il viadotto si trova fondato in terreni sciolti o mediamente addensati (superamento di corsi d'acqua e/o vallecicole), si stima a favore di sicurezza una distanza minima di interferenza di 10 metri dall'asse del binario per terreni di classe 3 e di 15 metri dall'asse del binario per terreni di classe 2.

Nel caso della diramazione di Taormina, la distanza di potenziale interferenza risulta di circa 25 metri, essendo il terreno tutto di tipo 3 e la sorgente di un'entità leggermente inferiore in quanto i treni assumono velocità inferiori.

Per una agevole individuazione planimetrica delle suddette fasce di interferenza si rimanda agli elaborati "Planimetrie di localizzazione aree critiche vibrazioni", cod. RS2S01D78N5IM0006001A e RS2S02D78N5IM0006001A÷3A.