

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO ALTERNATIVE AI SITI DI DEPOSITO

(Richieste CTVA del 22/12/2011 Prot. CTVA/2011/4534 e del 16/03/2012 Prot. CTVA/2012/1012)

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A.
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A.
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L.
SACYR S.A.U.
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE

 <p>IL PROGETTISTA Dott. Ing. D. Spoglianti Ordine Ing. Milano n°A 20953</p>	<p>IL CONTRAENTE GENERALE PROJECT MANAGER (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale Ing. G. Fiammenghi</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato Dott. P.Ciucci</p>
 <p>Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ing. Milano n° 15408</p>	<p>Firmato digitalmente ai sensi dell' "Art.21 del D.Lgs. 82/2005"</p>		

<p><i>Unità Funzionale</i> <i>Tipo di sistema</i> <i>Raggruppamento di opere/attività</i> <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> <i>Titolo del documento</i></p>	<p>GENERALE AMBIENTE STUDIO D'IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE - VIBRAZIONI RELAZIONE GENERALE</p>	<p>AMV0485_F0</p>
---	---	-------------------

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	G	V	G	A	M	I	A	Q	3	0	0	0	0	0	0	1	3	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	31/05/2012	Emissione finale	A. CALEGARI	M. SALOMONE	D.SPOGLIANTI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

INDICE

INDICE	3
Premessa	5
1 Quadro di riferimento normativo.....	7
1.1 Introduzione.....	7
1.2 Esposizione umana alle vibrazioni.....	7
1.2.1 Norma ISO2631/2.....	7
1.2.2 Norma UNI 9614.....	11
1.2.3 Norma UNI 11048.....	13
1.3 Danni agli edifici	14
1.3.1 Norma UNI 9916.....	14
1.3.2 Valori di riferimento indicati dalle DIN 4150 e BS 7385	16
1.4 Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni (ISO/TS 10811-2:2000).....	21
2 Quadro di riferimento ambientale	25
2.1 Schedatura dei ricettori.....	25
2.1.1 Versante Calabria.....	27
2.1.2 Versante Sicilia.....	27
2.2 Geolitologia	29
2.2.1 Versante Calabria.....	29
2.3 Screening vibrazionale	34
2.3.1 Misure SIA.....	34
2.3.2 Misure SIA 2002	40
2.4 Sensibilità ambientale.....	41
3 Quadro di riferimento previsionale	43
3.1 Fase di costruzione	43
3.1.1 Problematiche vibrazionali	43
3.1.2 Il modello previsionale	44
3.1.2.1 Attenuazione per dissipazione interna del terreno.....	45
3.1.2.2 Attenuazione dovuta a ostacoli o discontinuità del terreno	47
3.1.2.3 Propagazione all'interno dell'edificio	48
3.1.2.4 Rumore solido.....	52
3.1.2.5 Risposta dei serramenti al rumore a bassa frequenza.....	53

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

3.1.3	Emissioni di riferimento.....	55
3.1.3.1	Macchine e attrezzature di cantiere.....	55
3.1.3.2	Scavo con TBM.....	64
3.1.3.3	Scavo in tradizionale.....	71
3.1.4	Impatti sulla popolazione: evidenze di campo.....	71
3.1.5	Previsioni di impatto.....	73
3.1.5.1	Versante Sicilia.....	74
3.1.5.2	Versante Calabria.....	77
3.1.6	Interventi di mitigazione.....	79
3.2	Impatto ferroviario in fase di esercizio.....	80
3.2.1	Introduzione.....	80
3.2.2	Emissioni di riferimento.....	81
3.2.3	Previsioni di impatto.....	87
3.2.3.1	Versante Calabria.....	88
3.2.3.2	Versante Sicilia.....	89
3.2.4	Interventi di mitigazione: aspetti generali.....	94
3.2.4.1	Tappetini sotto ballast.....	94
3.2.4.2	Manutenzione del contatto ruota-rotaia.....	96
3.2.5	Interventi di mitigazione previsti.....	98
3.2.5.1	Versante Calabria.....	98
3.2.5.2	Versante Sicilia.....	98
3.3	Impatto stradale in fase di esercizio.....	100
4	Punti di attenzione per il PMA.....	102
5	Conclusioni.....	105
6	Bibliografia.....	107

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito</p>		
<p align="center">RELAZIONE GENERALE</p>		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

Premessa

La presente relazione illustra lo studio vibrazionale predisposto per le opere di attraversamento dello Stretto di Messina territorialmente appartenenti alla Calabria e alla Sicilia, con riferimento all'impatto della fase di costruzione e di esercizio.

La trattazione degli impatti vibrazionali in fase di costruzione ha esaminato con particolare approfondimento gli scavi delle gallerie delle infrastrutture stradali e ferroviarie di collegamento al Ponte. Le interazioni con i ricettori sono in questo caso sostanzialmente determinate dalla tecnica di scavo, prevista con TBM per le gallerie ferroviarie lato Sicilia e in tradizionale per tutte le restanti gallerie stradali e ferroviarie. Le verifiche sono state svolte all'interno di un ambito di potenziale interazione di estensione 100 m dall'asse dei tracciati, in corrispondenza di ricettori residenziali localizzati in condizioni di massima esposizione e di ricettori sensibili.

Per quanto riguarda la fase di esercizio le verifiche di impatto hanno focalizzato l'attenzione sui tracciati ferroviari in galleria, l'unica tipologia d'opera che determina lungo il tracciato situazioni di potenziale impatto significativo. Per i tracciati stradali il fenomeno viene descritto e documentato in relazione all'assenza di energia sui campi di frequenza di interesse.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito</p>		
<p align="center">RELAZIONE GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 31/05/2012</p>

1 Quadro di riferimento normativo

1.1 Introduzione

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 e del danno in edifici interessati da fenomeni vibrazionali.

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".

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 vengono richiamate le norme DIN 4150 e BS 7385. Nel mese di Aprile 2004 è stata pubblicata la norma UNI9916:2004 in revisione della norma UNI9916:1991. La norma già nella versione del 1991 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.

1.2 Esposizione umana alle vibrazioni

1.2.1 Norma ISO2631/2

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 arms definito come:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

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

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 (i valori numerici delle curve base sono riportati in Tabella 1.1 e in Figura 1.2). L'Annex A della ISO 2631-2 (che non rappresenta peraltro parte integrante della norma) fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni; in pratica sono riportati i fattori di moltiplicazione da applicare alle curve base delle accelerazioni e delle velocità al variare del periodo di riferimento (giorno e notte), del tipo di vibrazione (vibrazioni continue o intermittenti, vibrazioni transitorie) e del tipo di insediamento (ospedali, laboratori di precisione, residenze, uffici, industrie); i valori dei fattori di moltiplicazione sono indicati in Tabella 1.2.

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	
	AMV0485_F0.doc	F0	31/05/2012	

Frequenza [Hz]	Accelerazione in $m/s^2 \cdot 10^{-3}$		
	Asse Z	Assi X-Y	Assi combinati
1	10.00	3.60	3.60
1.25	8.90	3.60	3.60
1.6	8.00	3.60	3.60
2	7.00	3.60	3.60
2.5	6.30	4.51	3.72
3.15	5.70	5.68	3.87
4	5.00	7.21	4.07
5	5.00	9.02	4.30
6.3	5.00	11.40	4.60
8	5.00	14.40	5.00
10	6.30	18.00	6.30
12.5	7.81	22.50	7.80
16	10.00	28.90	10.00
20	12.50	36.10	12.50
25	15.60	45.10	15.60
31.5	19.70	56.80	19.70
40	25.00	72.10	25.00
50	31.30	90.20	31.30
63	39.40	114.00	39.40
80	50.00	144.00	50.00

Tabella 1.1 Valori numerici per le curve di ponderazione

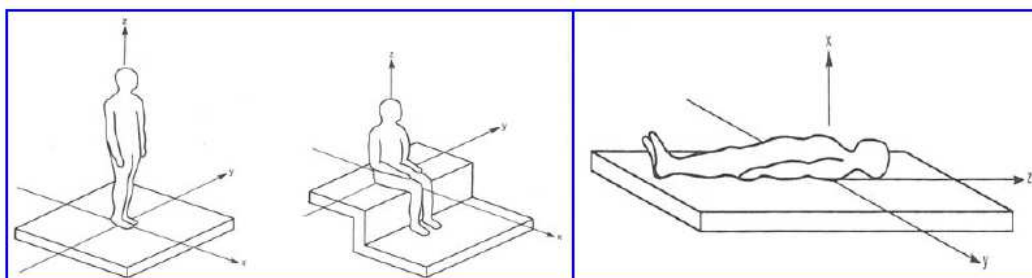


Figura 1.1 Rappresentazione delle tre componenti in funzione della posizione del corpo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

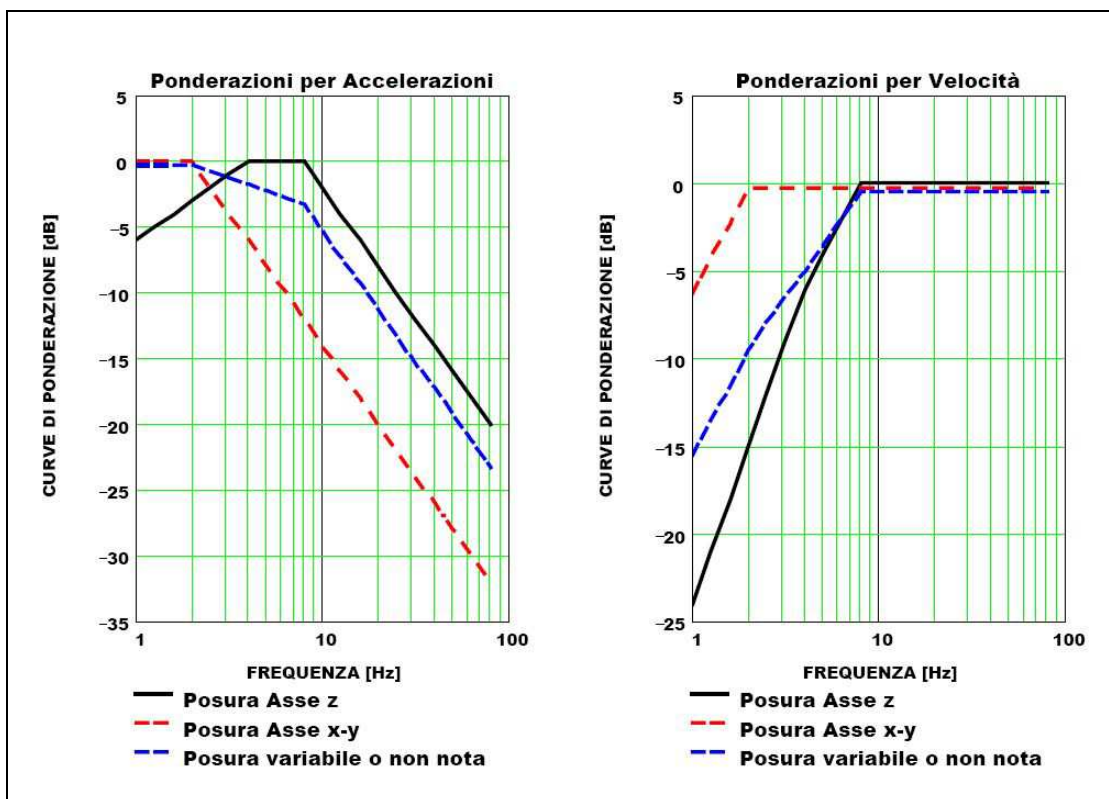


Figura 1.2 Curve di ponderazione (ISO) per le vibrazioni lungo gli assi verticali, orizzontali e per postura non nota per le frequenze da 1 Hz a 80 Hz

Destinazione d'uso	Periodo	vibrazioni continue intermittenti	vibrazioni transitorie
Luoghi di lavoro critici (camere operatorie, laboratori di precisione, teatri, ecc.)	Giorno	1	1
	Notte		
Edifici residenziali	Giorno	2÷4	30÷90
	Notte	1.4	1.4÷20
Uffici	Giorno	4	60÷128
	Notte		
Luoghi di lavoro	Giorno	8	90÷128
	Notte		

Tabella 1.2 Fattori di moltiplicazione delle curve base (ISO 2631-2 Annex A)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

1.2.2 Norma UNI 9614

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

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

Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse z prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 4 e 1 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed una attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi x e y prevede una 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 (Tabella 1.3 e Tabella 1.4).

Quando i valori o i livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

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 (Tabella 1.5) 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.

DESTINAZIONE D'USO	a_w [m/s ²]	L_w [dB]
Aree critiche	5.0×10^{-3}	74
Abitazioni (Notte)	7.0×10^{-3}	77
Abitazioni (Giorno)	10.0×10^{-3}	80
Uffici	20.0×10^{-3}	86
Fabbriche	40.0×10^{-3}	92

Tabella 1.3 Limite UNI 9614 delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, di livello costante e non costante, validi per l'asse Z

DESTINAZIONE D'USO	a_w [m/s ²]	L_w [dB]
Aree critiche	3.6×10^{-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 1.4 Limite UNI 9614 delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, di livello costante e non costante, validi per gli assi X-Y

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

DESTINAZIONE D'USO	aw (Z) [m/s ²]	aw (X-Y) [m/s ²]
Aree critiche	5.0 × 10 ⁻³	3.6×10 ⁻³
Abitazioni (Notte)	7.0 × 10 ⁻³	5.0×10 ⁻³
Abitazioni (Giorno)	0.30	0.22
Uffici	0.64	0.46
Fabbriche	0.64	0.46

Tabella 1.5 Limiti delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza in presenza di vibrazioni impulsive

1.2.3 Norma UNI 11048

La norma, sperimentale, definisce i metodi di misurazione delle vibrazioni e degli urti trasmessi agli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi, al fine di valutare il disturbo arrecato ai soggetti esposti. Essa affianca la UNI 9614. Nel progetto di norma non sono riportati valori limite o di accettabilità, che potranno essere individuati solo correlando i dati acquisiti con i nuovi metodi di misura suggeriti dalla norma con il grado di disturbo arrecato dalle vibrazioni.

L'intervallo di frequenza da esaminare è sostanzialmente compreso tra 1 Hz e 80 Hz. L'accelerazione deve essere ponderata mediante il filtro combinato Wm, la cui definizione matematica è riportata nell'Appendice A dell'ISO/DIS 2631-2:2001. Le caratteristiche di tale filtro non differiscono in modo sostanziale da quelle del filtro per postura non nota o variabile definito dalla UNI 9614.

I valori di accelerazione o i livelli di accelerazione ponderati in frequenza in linea (strumento dotato di filtro di ponderazione) o a posteriori (analizzatore di frequenza in tempo reale) devono essere rilevati impiegando la costante di tempo slow e intervallo di campionamento almeno pari a 0.1 s. Deve essere considerato il valore massimo raggiunto nel corso della misurazione MTVV, valore massimo del transiente delle vibrazioni. Tale metodo, definito dalla ISO 2631-1:1997, è denominato "running r.m.s.".

Per la valutazione delle vibrazioni si considerano il valore MTVV più elevato dei tre valori MTVV rilevati (se possibile simultaneamente) sui tre assi, ossia il valore massimo determinato sull'asse dominante (in genere quello verticale).

Le vibrazioni devono essere rilevate nel locale e nella posizione in cui risultano più elevate, in

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

genere nella stanza di lunghezza maggiore, al centro del pavimento.

Può essere necessario rilevare le vibrazioni nei locali più importanti (in termini di permanenza dei soggetti o di attività svolte), oppure nelle diverse stanze (per valutare la variabilità delle vibrazioni), oppure nei locali in cui il soggetto residente lamenta il disturbo maggiore.

La durata dei rilievi deve essere definita in funzione delle caratteristiche delle vibrazioni e della linea di misura e comunque non minore di 1 min.

1.3 **Danni agli edifici**

1.3.1 **Norma UNI 9916**

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 vengono richiamate le norme DIN 4150 e BS 7385. Nel mese di Aprile 2004 è stata pubblicata la norma UNI9916:2004 in revisione della norma UNI9916:1991. La norma già nella versione del 1991 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. Nella revisione del 2004 la norma si amplia in taluni aspetti descrittivi ed informativi relativi alle caratteristiche generali del fenomeno vibratorio, alle caratteristiche degli edifici rilevanti ai fini della valutazione della risposta, alla misurazione delle vibrazioni e al trattamento dei dati. E' stata invece rimossa l'Appendice relativa alla classificazione degli edifici secondo la resistenza meccanica alle vibrazioni, che teneva conto di fattori quali il tipo di costruzione, il tipo di fondazione, il tipo di terreno, ecc. L'appendice non costituiva in realtà parte integrante della norma, ma aveva carattere informativo.

Il confronto normativo permette inoltre di constatare alcune diversità negli intervalli di frequenza caratteristici delle sorgenti di vibrazioni, come evidenziato nella Tabella 1.6.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

Sorgente di vibrazioni	Gamma di frequenza [Hz]	
	UNI9916: 1991	UNI9916: 2004
Traffico (su strada e su rotaia)	Da 1 a 80	Da 1 a 300
Esplosioni	Da 1 a 300	Da 1 a 300
Battitura di pali	Da 1 a 100	Da 1 a 100
Demolizioni (caduta edificio)	-	Da 1 a 20
Macchine esterne all'edificio	Da 1 a 300	Da 1 a 300
Macchine interne all'edificio	Da 1 a 1000	Da 1 a 300
Attività umane (movimento di persone all'interno dell'edificio)	-	Da 0,1 a 100
Attività umane interessanti indirettamente l'edificio	Da 0,1 a 100	-
Attività umane interessanti direttamente l'edificio	Da 0,1 a 12	-
Vento	Da 0,1 a 10	Da 0,1 a 2

Tabella 1.6 Intervalli di frequenza caratteristici delle sorgenti di vibrazione

La revisione del 2004 amplia l'appendice informativa relativa ai valori di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni, che hanno carattere indicativo e non possono essere considerati come limiti assoluti di accettabilità o non accettabilità. In particolare vengono riportate le indicazioni essenziali delle DIN 4150 e BS 7385, della BS 5228-4 relativa agli effetti sugli edifici delle vibrazioni indotte dalla battitura di pali ed i valori della SN 640312, relativa alle vibrazioni provocate nelle costruzioni dallo scoppio di mine, dalle attività di cantiere e dal traffico su strada e ferroviario.

La normativa definisce come parametro di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni il massimo valore (o di picco) delle componenti delle velocità di vibrazione (V_x, V_y, V_z) definito come Peak Component Particle Velocity (p.c.p.v.):

$$V_{picco} = \max \left[\max (V_x), \max (V_y), \max (V_z) \right]$$

oppure il massimo valore (o di picco) del vettore velocità nel suo complesso istante per istante definito come Peak Particle Velocity (p.p.v.),

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito</p>		
<p align="center">RELAZIONE GENERALE</p>	<p><i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 31/05/2012</p>	

$$V_{picco} = \max \left[\sqrt{V_x^2(t) + V_y^2(t) + V_z^2(t)} \right]$$

valutati alla fondazione (basamento) e sui solai ai vari piani.

Nell'Appendice D della norma vengono pertanto riportati i valori di riferimento per la p.p.v. e le p.c.p.v. indicati dalle sopra citate norme, differenziati per le varie tipologie di edifici e per la natura della vibrazione (continua o transitoria).

In generale, i valori di riferimento indicati sono quelli al di sotto dei quali, salvo casi particolari, è ragionevole presumere che non si abbiano danni; si specifica inoltre che il superamento dei limiti indicati non implica necessariamente il verificarsi del danno, ma è un segnale di necessità di indagini più approfondite.

Il danno a cui la norma fa riferimento è di tipo architettonico, secondo le seguenti definizioni.

Danno di tipo architettonico (o di soglia): Effetto residuo delle vibrazioni che determina alterazione estetica o funzionale dell'edificio senza compromettere la stabilità strutturale o la sicurezza degli occupanti. Il danno architettonico si presenta in molti casi con la formazione o l'accrescimento di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o sulle superfici intonacate o nei giunti di malta delle costruzioni in mattoni.

Danno maggiore: Effetto che si presenta con formazione di fessure più marcate, distacco a caduta di gesso o pezzi di intonaco fino al danneggiamento di elementi strutturali (per esempio fessure nei pilastri e nella travature, aperture dei giunti).

1.3.2 Valori di riferimento indicati dalle DIN 4150 e BS 7385

Entrambe fanno riferimento alla p.c.p.v. "peak component particle velocity". Nei casi in cui il valore di riferimento fornito dalle norme, con il quale la p.c.p.v. deve essere confrontata, varia con la frequenza, si rende necessaria l'individuazione delle frequenze dominanti.

I valori di riferimento indicati sono quelli al di sotto dei quali, salvo casi particolari, è ragionevole presumere che non vi sia danno; il superamento degli stessi non implica necessariamente il verificarsi del danno, ma un segnale della necessità di analisi più approfondite.

La **norma DIN 4150** considera tre classi di edifici (edifici industriali e simili, edifici residenziali e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

simili, altri edifici non industriali né residenziali da tutelare) e prevede la misurazione ed il controllo del livello di vibrazione sia in fondazione (per tutte e tre le componenti) che ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato per la componente orizzontale. Tali misurazioni forniscono un quadro della risposta globale dell'edificio; sono inoltre necessarie misurazioni relative alla risposta dei solai ai singoli piani, che possono essere limitate alla misurazione della componente verticale della velocità, registrata al centro del solaio.

I valori di riferimento sono distinti per vibrazioni di breve durata (cioè tali da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata) e per vibrazioni durature.

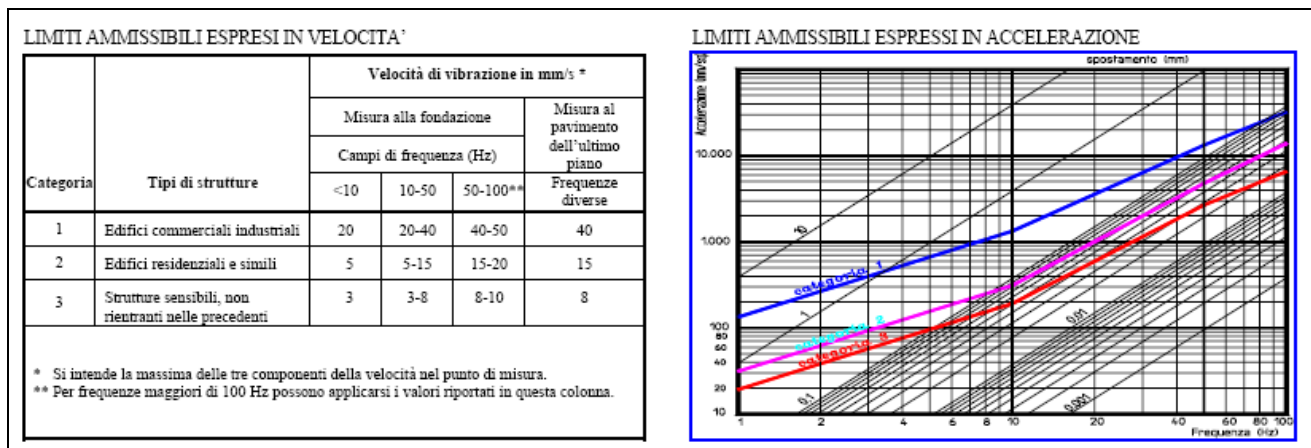


Figura 1.3 Valori di riferimento per la p.c.p.v. per vibrazioni di breve durata (DIN 4150)

I valori riportati nella Figura 1.3 sono relativi alle vibrazioni di breve durata e sono indicati per le misurazioni in fondazione e per la componente orizzontale della velocità ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato, mentre per la componente verticale dei singoli solai è suggerito un valore di 20 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici. Tale valore è indipendente dal contenuto in frequenza e può essere inferiore per la terza classe di edifici.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

Tabella 1.7 Valori di riferimento per la p.c.p.v. per vibrazioni durature (DIN 4150)

In presenza di vibrazioni continue che possano indurre fenomeni di fatica o amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata, i valori di riferimento sono quelli indicati nella Tabella 1.7. Questi valori per componenti orizzontali e indipendenti dal contenuto in frequenza, sono utilizzabili per tutti i piani e per le fondazioni; in generale risulterà più significativa la misurazione al piano alto, ma non sono da escludere controllo ai piani intermedi o in fondazione qualora di vi sia la possibilità di risonanza.

Per la componente verticale dei singoli solai, la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v. 10 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici. Tale valore è indipendente dal contenuto in frequenza e può essere inferiore per la terza classe di edifici, tanto che è frequente nella letteratura tecnica internazionale [L. DOMENICHINI, R.FERRO and F. LA TORRE 1999 Proceedings of the International Symposium on Environmental Impact of Road unevenness, Porto, 147-162. Vibrations produced by road traffic influence of road surface characteristics] l'impiego del valore di 1.0 mm/s anche per la componente verticale.

La norma **BS 7385, parte 2** tratta solo il caso di vibrazioni trasmesse dal terreno, i valori di riferimento sono relativi a misurazioni in fondazione e applicabili solo ad edifici bassi (fino a 3 piani). I valori riportati in Tabella 1.8, inoltre, riguardano vibrazioni transitorie che non danno luogo a risonanza nella struttura, nel qual caso devono essere ridotti del 50%.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Classe	Tipo di edificio	"Peak component particle velocity" nell'intervallo di frequenza dell'impulso predominante		
		Da 4 Hz a 15 Hz	Da 15 Hz a 40 Hz	Da 40 Hz a 250 Hz
1	Strutture a telaio o rinforzate. Edifici industriali e commerciali	50 mm/s		
2	Strutture non rinforzate. Edifici residenziali o piccoli edifici commerciali	Varia linearmente da 15 mm/s ($f=4$ Hz) fino a 20 mm/s ($f=15$ Hz)	Varia linearmente da 20 mm/s ($f=15$ Hz) fino a 50 mm/s ($f=40$ Hz)	50 mm/s
Nota 1 I valori indicati sono alla base dell'edificio. Nota 2 Per la classe 2, a frequenze minori di 4 Hz, non si deve superare uno spostamento massimo di 0,6 mm (da zero al picco).				

Tabella 1.8 Valori di riferimento per la p.c.p.v. per vibrazioni transitorie (BS 7385)

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.p.v. in mm/s		
		Fondazioni		
		Da 1 Hz fino a 10 Hz ^{*)}	Da 10 Hz fino a 50 Hz	Da 50 Hz fino a 100 Hz ^{*)}
A	Edifici residenziali costruiti a regola d'arte ed in buono stato di conservazione	5	10	20
B	Edifici costruiti per uso industriale e commerciale con struttura relativamente snella	10	20	40
C	Edifici massicci e rigidi costruiti per uso industriale e commerciale	15	30	60
^{*)} Indicazioni fornite per estrapolazione. I dati relativi all'installazione dei pali indicano che le frequenze di vibrazione prevalenti sono contenute nell'intervallo da 10 Hz a 50 Hz.				

Tabella 1.9 Valori di riferimento per la p.p.v. per vibrazioni transitorie (BS 5228)

La norma **BS 5228** riguarda il controllo delle vibrazioni nel caso di battitura di pali e ha come grandezza di riferimento la "peak particle velocity", cioè il picco nel tempo del modulo del vettore velocità, p.p.v., così come definito nella norma UNI9916:2004. La norma prescrive anche la misurazione delle vibrazioni ai piani alti dell'edificio.

I valori indicati in Tabella 1.9, al di sotto dei quali è ragionevole presumere che non si verifichi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

danno minore o “cosmetic” (cioè non strutturale), sono applicabili a tutti gli edifici ivi descritti nel caso di vibrazione transitoria; in caso di vibrazione continua i valori indicati devono essere ridotti del 50%.

La norma **SN 640312** riguarda le vibrazioni provocate nelle costruzioni dalle attività di macchine di cantiere, dal traffico su strada e ferroviario e dallo scoppio delle mine e considera come grandezza di riferimento la “peak particle velocity”. I valori di riferimento indicati in Tabella 1.10 sono forniti in funzione della frequenza dominante della vibrazione, determinata dall'analisi spettrale della componente del vettore velocità con ampiezza maggiore.

Classe	Tipo di costruzione	Esposizione	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.p.v. in mm/s		
			Posizioni di misura ^{*)}		
			Da 8 Hz fino a 30 Hz ^{*)}	Da 30 Hz fino a 60 Hz	Da 60 Hz fino a 150 Hz
A	Costruzioni molto poco sensibili (per esempio ponti, gallerie, fondazioni di macchine)	Occasionale Frequente Permanente	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C
B	Costruzioni poco sensibili (per esempio edifici industriali in cemento armato o metallici) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	Occasionale Frequente Permanente	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C
C	Costruzioni normalmente sensibili (per esempio edifici d'abitazione in muratura di cemento, cemento armato o mattoni, edifici amministrativi, scuole, ospedali, chiese in pietra naturale o mattoni intonacati) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	Occasionale Frequente Permanente	15 6 3	20 8 4	30 12 6
D	Costruzioni particolarmente sensibili (per esempio monumenti storici e soggetti a tutela) case con soffitti in gesso, edifici della classe C nuovi o ristrutturati di recente	Occasionale Frequente Permanente	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà
^{*)} Le posizioni di misura devono essere scelte sugli elementi rigidi della struttura portante o dove sono attesi i maggiori effetti delle vibrazioni.					

Tabella 1.10 Valori di riferimento per la p.p.v. (SN 640312)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

Siccome i dati di riferimento delle norme indicate sono espressi in termini di velocità vibratoria, è necessario, in caso di utilizzo di accelerometri, ricondurre le misure effettuate a questa grandezza cinematica mediante integrazione.

Nella norma UNI9916: 2004 è inserita un'Appendice informativa sui problemi legati alla determinazione della velocità e suggerita una possibile procedura per il rilievo e l'analisi di vibrazioni:

- Misurazione dell'accelerazione lungo i tre assi ortogonali.
- Integrazione delle componenti di accelerazione.
- Analisi spettrale della componente di velocità che risulta più severa in termini di am-piezza massima.
- Confronto dei valori di picco della velocità con i valori di riferimento, tenendo conto delle componenti in frequenza dominanti evidenziate dall'analisi spettrale.
- Se la differenza fra i due valori (di riferimento e misurato) è di almeno 10 dB, l'indagine si può ritenere conclusa. Altrimenti si procederà nel modo seguente:
- Analisi spettrale di ciascuna componente di velocità.
- Calcolo, per ogni istante, del modulo della somma vettoriale delle tre componenti di velocità e confronto con i valori di riferimento (BS 5228-4).

In alternativa si effettua il confronto, componente per componente, dei valori di picco della velocità con i valori di riferimento (DIN 4150 o BS 7385).

1.4 Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni (ISO/TS 10811-2:2000)

Le norme ISO 10811-1 e ISO 10811-2 descrivono le modalità di misura, valutazione e classificazione delle vibrazioni e degli urti a carico di edifici che accolgono equipaggiamenti sensibili.

In particolare la norma ISO/TS 10811-1 definisce un metodo per la classificazione degli urti e delle vibrazioni negli edifici a partire da misure. Il sistema di classificazione delle condizioni di vibrazioni ambientali rappresenta una linea guida per i progettisti, costruttori e utilizzatori di attrezzature sensibili agli urti e alle vibrazioni, e per i costruttori di immobili.

Vengono considerati gli urti e le vibrazioni che, da solai, tavoli, pareti, soffitti o dai sistemi di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

smorzamento, ecc., vengono trasmessi ad una attrezzatura sensibile. Le sorgenti possono essere classificate in tre tipologie:

- Sorgenti esterne, ad esempio il traffico stradale, ferroviario o aereo, i lavori di costruzione (realizzazione pali di fondazione, demolizioni, ecc.).
- Attrezzature e macchine per uso industriale collocate all'interno degli edifici, come ad esempio presse, martelli, attrezzature rotanti, movimentazione carroponi, ecc.
- Attività umane correlate all'utilizzo delle attrezzature sensibili, come ad esempio il calpestio su pavimenti, in particolare quelli galleggianti.

Il campo di frequenze di interesse è compreso tra 2 Hz e 200 Hz, anche se normalmente le frequenze dominanti si collocano al di sotto dei 100 Hz perchè rappresentano la risposta dell'edificio alle sollecitazioni dinamiche.

I criteri di velocità vibrazionale massima ammissibile per la strumentazione di precisione sono basati sul riconoscimento dei singoli eventi disturbanti determinati dalla singola sorgente. Questo è giustificato dal fatto che è molto poco probabile che due eventi di differente origine, anche se generati nello stesso istante temporale, possano essere coerenti in fase e quindi considerati additivi.

Generalmente i manuali operativi delle case costruttrici contengono informazioni dettagliate in merito ai livelli massimi ammissibili di vibrazione.

In assenza di informazioni più dettagliate la Tabella 1.11 e la Figura 1.4 forniscono gli orientamenti in merito ai criteri di protezione da applicare alle apparecchiature sensibili.

Le curve VC (Vibration Criteria) sono ampiamente utilizzate nelle aziende nel campo della microelettronica e attività simili. Le curve hanno un campo di velocità costante (in termini di valore r.m.s. in terze di ottava) da 8 Hz a 100 Hz. Al di sotto di 8 Hz le curve VC forniscono un valore di velocità costante.

I numeri contenuti in Tabella 1.11 sono applicabili per il campo frequenza in cui la velocità è costante. In accordo con la ISO/TS 10811-1 la velocità di picco corrispondente può essere stimata per forme d'onda sinusoidali e per vibrazioni casuali. In questo ultimo caso la stima è fornita per un tempo di esposizione di 10 minuti ed è riferita a due frequenze di terze d'ottava, la prima a 8 Hz e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

la seconda a 100 Hz.

Le classi di strumentazioni/apparecchiature sensibili associate alle curve A, B, C, D e E, ordinate per sensibilità decrescente, considerano valori di velocità di picco ammissibile fino a 50 $\mu\text{m/s}$ per microscopi ottici, bilance di precisione, bilance ottiche, ecc (curva A) e valori minimi pari a 3 $\mu\text{m/s}$ per i sistemi che richiedono una straordinaria stabilità dinamica, come ad esempio i sistemi di puntamento laser per le grandi distanze (Curva E).

VC curve	R.m.s. velocity $\mu\text{m/s}$	Peak velocity for sine waves mm/s	Peak velocity for random vibration (10 min) mm/s	
			8 Hz	100 Hz
A	50	0,071	0,22	0,25
B	25	0,035	0,11	0,12
C	12,5	0,018	0,056	0,062
D	6	0,0085	0,027	0,030
E	3	0,0042	0,013	0,015

Tabella 1.11 Velocità di picco per curve limite

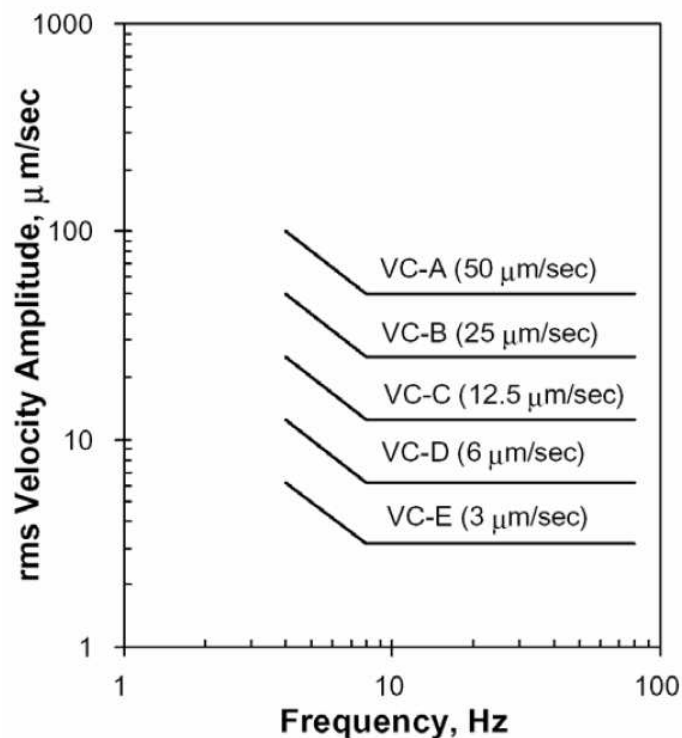


Figura 1.4 Curve limite Velocità di picco

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

2 Quadro di riferimento ambientale

2.1 Schedatura dei ricettori

Al fine di verificare le condizioni di esposizione alle vibrazioni in fase di costruzione è stato selezionato un campione di ricettori, tra quelli oggetto di censimento, prevalentemente compresi entro l'ambito di studio di 100 m dall'asse del tracciato. Le informazioni utilizzate sono state tratte dal censimento orientato alla verifica delle condizioni di subsidenza (censimento entro 50+50 m dall'asse delle galleria in progetto) e al censimento dei ricettori sensibili (100+100 m dall'asse delle infrastrutture e dei cantieri), integrato nelle aree all'aperto con il censimento realizzato per i ricettori esposti al rumore (250+250 m dal ciglio stradale o asse binario esterno con estensione fino a 500 m per i sensibili).

La selezione dei ricettori ha privilegiato gli edifici caratterizzati da condizioni di massima esposizione potenziale, localizzati a minima distanza dal fronte avanzamento lavori, e quelli riferiti a tipologie d'opera di tracciato in galleria. Le schede contengono le seguenti informazioni:

- codifica ricettore;
- indirizzo;
- numero di piani;
- numero piani interrati;
- altezza;
- orientamento del fronte principale;
- descrizione.

La destinazione d'uso dell'immobile è associata ad una delle seguenti categorie:

- residenziale;
- commerciale;
- residenziale ed attività commerciale;
- attività produttiva senza criticità;
- attività produttiva con criticità;
- uffici/terziario;
- edifici storici;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- scuole;
- ospedali e cliniche;
- musei, biblioteche, auditorium, teatri;
- chiese, luoghi di culto;
- studi dentistici e medici con attrezzature sensibili;
- attività produttive con attrezzature sensibili;
- altro.

Nel caso in cui il ricettore è potenzialmente critico per le vibrazioni, viene annotata la motivazione. In termini di struttura edilizia e di localizzazione del ricettore, la scheda riporta:

- tipologia strutturale (muratura, cemento armato, acciaio);
- stato di conservazione (buono, medio, cattivo);
- progressiva tracciato;
- distanza e dislivello dall'infrastruttura;
- localizzazione geografica;
- fotografia.

Rispetto all'inserimento del ricettore nel contesto urbanizzato vengono precisati:

- urbanizzazione periferica;
- urbanizzazione centrale;
- area naturale;
- area industriale;
- area nuova costruzione;
- altro.

In ultimo, la scheda fornisce l'identificazione qualitativa delle sorgenti vibrazionali presenti sul territorio:

- traffico ferroviario;
- traffico stradale;
- macchine/impianti interni edificio;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- macchine/impianti esterni edificio;
- lavorazioni industriali pesanti;
- altro.

Le schede ricettori sono contenute nell'elaborato "Allegato – Schedatura dei ricettori"

Gli edifici storici o caratterizzati da un cattivo stato di conservazione possono essere potenzialmente più vulnerabili se soggetti ad azioni dinamiche, fatta salva la necessità di verificare di caso in caso la reale sussistenza di debolezze strutturali (lesioni, cedimenti fondali, ecc.) o di fattori limitanti la capacità di rispondere a sollecitazioni esterne in modo opportuno, senza che da ciò derivino danni maggiori o minori.

2.1.1 Versante Calabria

Le schede ricettori hanno complessivamente riguardato 15 edifici residenziali o assimilabili. Le attività di censimento non hanno fatto emergere la presenza di ricettori ad alta sensibilità alle vibrazioni. Non sono presenti edifici storici.

In relazione allo stato di conservazione il censimento svolto per la fascia di 50+50 m destinato alle verifiche di subsidenza fornisce una prima evidenza in merito a edifici residenziali abitati, in muratura o cemento armato, per i quali i sopralluoghi hanno evidenziato la presenza di "lesioni gravi e diffuse" o "gravi e localizzate". Si tratta in particolare dei ricettori:

VSG669

VSG714

VSG716

2.1.2 Versante Sicilia

Le schede ricettori hanno complessivamente riguardato 161 edifici di cui 153 classificabili come abitazioni, 5 uffici, 1 fabbrica, 2 ricettori critici. Le attività di censimento hanno fatto emergere la presenza di un Laboratorio di analisi cliniche di via Pietro Castelli 8 (Figura 2.1). L'Ospedale Papardo (Figura 2.2) a distanza minima di 140 m dal binario più vicino e l'Ospedale Piemonte, a più di 200 m, non sono interferiti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> <i>AMV0485_F0.doc</i>		<i>Rev</i> <i>F0</i>
				<i>Data</i> <i>31/05/2012</i>



Figura 2.1 Laboratorio analisi cliniche



Figura 2.2 Ospedale Papardo

In relazione allo stato di conservazione il censimento svolto per la fascia di 50+50 m destinato alle verifiche di subsidenza fornisce una prima evidenza in merito a edifici residenziali abitati, in muratura o cemento armato, per i quali i sopralluoghi hanno evidenziato la presenza di “lesioni gravi e diffuse” o “gravi e localizzate”. Si tratta in particolare dei ricettori:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

ME1618

ME1870

ME1057

ME1505

2.2 Geolitologia

Le informazioni sulle caratteristiche geolitologiche sono state tratte dagli studi specialistici relativi alla caratterizzazione geotecnica. Nell'ambito della progettazione definitiva delle opere connesse ai collegamenti infrastrutturali, ferroviari e stradali, lato Calabria e lato Sicilia, è stata eseguita una campagna di indagini integrative, finalizzata all'approfondimento delle caratteristiche geologiche, geostrutturali e geotecniche, e, in particolare, alla definizione di una caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica in corrispondenza delle singole opere d'arte: gallerie, viadotti, scatolari, rilevati e scavi in trincea.

2.2.1 Versante Calabria

In Tabella 2.1÷ Tabella 2.4 e relative figure associate, è riassunta per tratte omogenee identificate da una progressiva chilometrica di inizio e fine, la geolitologia assunta a base delle valutazioni previsionali per il tracciato ferroviario. In Tabella 2.5÷Tabella 2.8 si riassumo le informazioni per le rampe stradali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Pk inizio	Pk fine	Geolitologia	Note
0+100	1+050	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.	A partire da 0+700 depositi marini terrazzati in copertura
1+050	1+450	Sabbie e ghiaie. Segue conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.	
1+450	1+650	Depositi marini terrazzati. sabbie e ghiaie. conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.	
1+650	2+100	Depositi marini terrazzati. sabbie e ghiaie, plutoniti granitoidi.	
2+100	2+200	Depositi marini terrazzati, sabbie e ghiaie, marne sabbiose, plutoniti granitoidi.	Termine intervento SdM

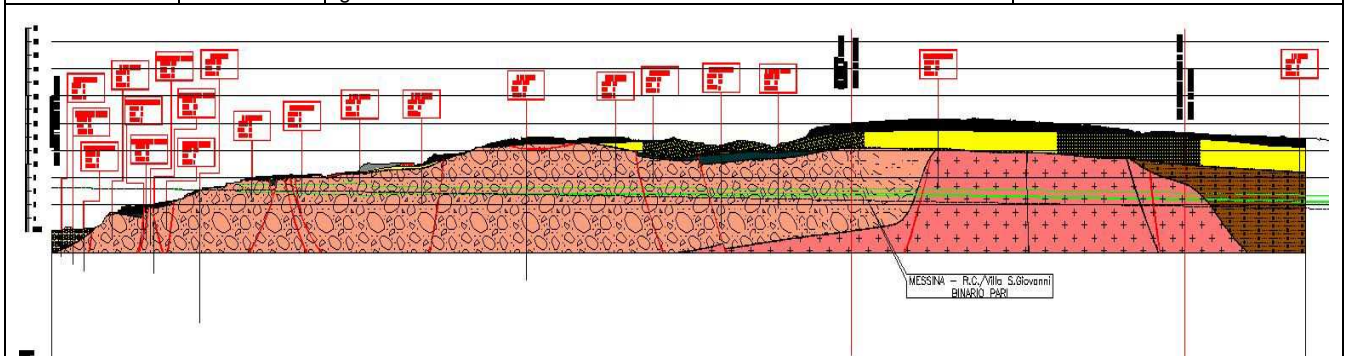


Tabella 2.1 Sintesi geolitologia Ramo 1

Pk inizio	Pk fine	Geolitologia	Note
0+100	1+000	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.	Nella parte superiore livelli di ridotta potenza di depositi marini terrazzati e sabbie e ghiaie.
1+000	1+175	Depositi marini terrazzati. sabbie e ghiaie. conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.	
1+175	1+500	Depositi marini terrazzati. sabbie e ghiaie. Segue un livello di marne e calcari marnosi poggianti su conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.	
1+500	1+600	Depositi marini terrazzati. sabbie e ghiaie. Segue un livello di marne e calcari marnosi poggianti su conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.	
1+600	2+125	Depositi marini terrazzati, sabbie e ghiaie, plutoniti granitoidi.	
2+125	2+200	Depositi marini terrazzati, sabbie e ghiaie, marne sabbiose, plutoniti granitoidi.	Termine intervento SdM

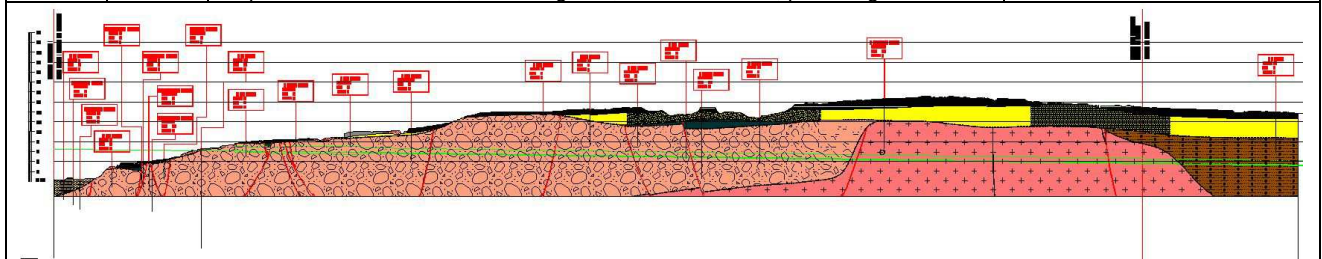


Tabella 2.2 Sintesi geolitologia Ramo 2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

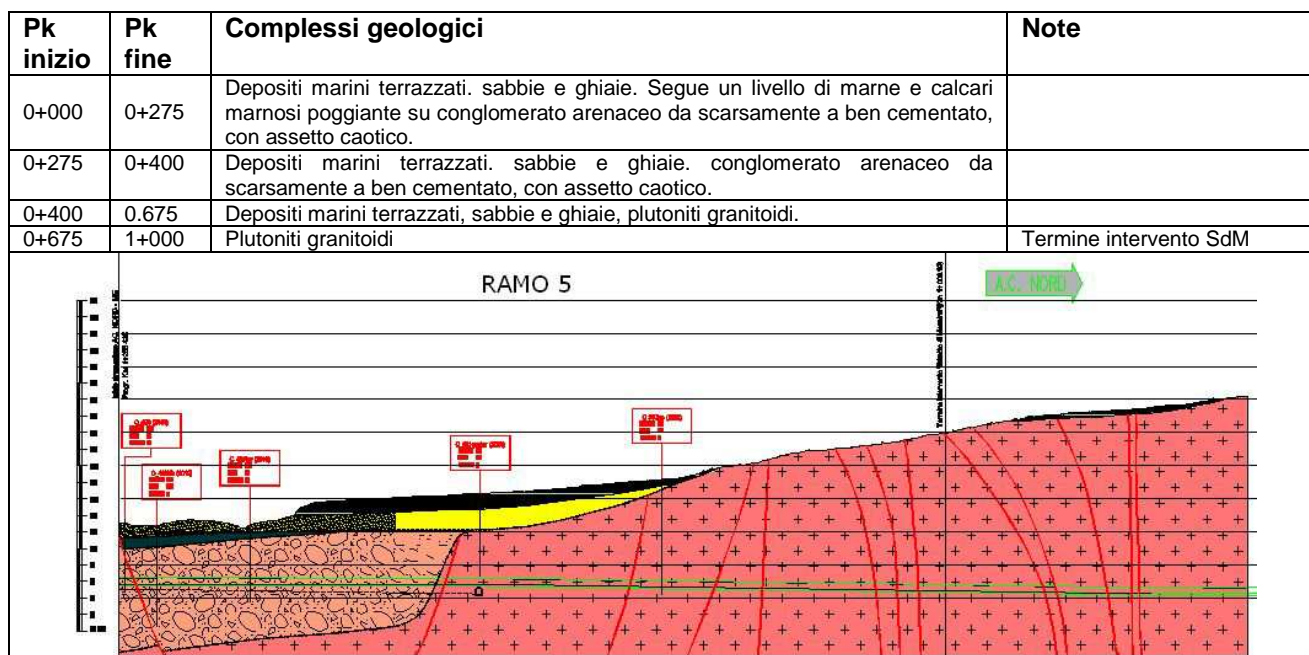


Tabella 2.3 Sintesi geolitologia Ramo 5

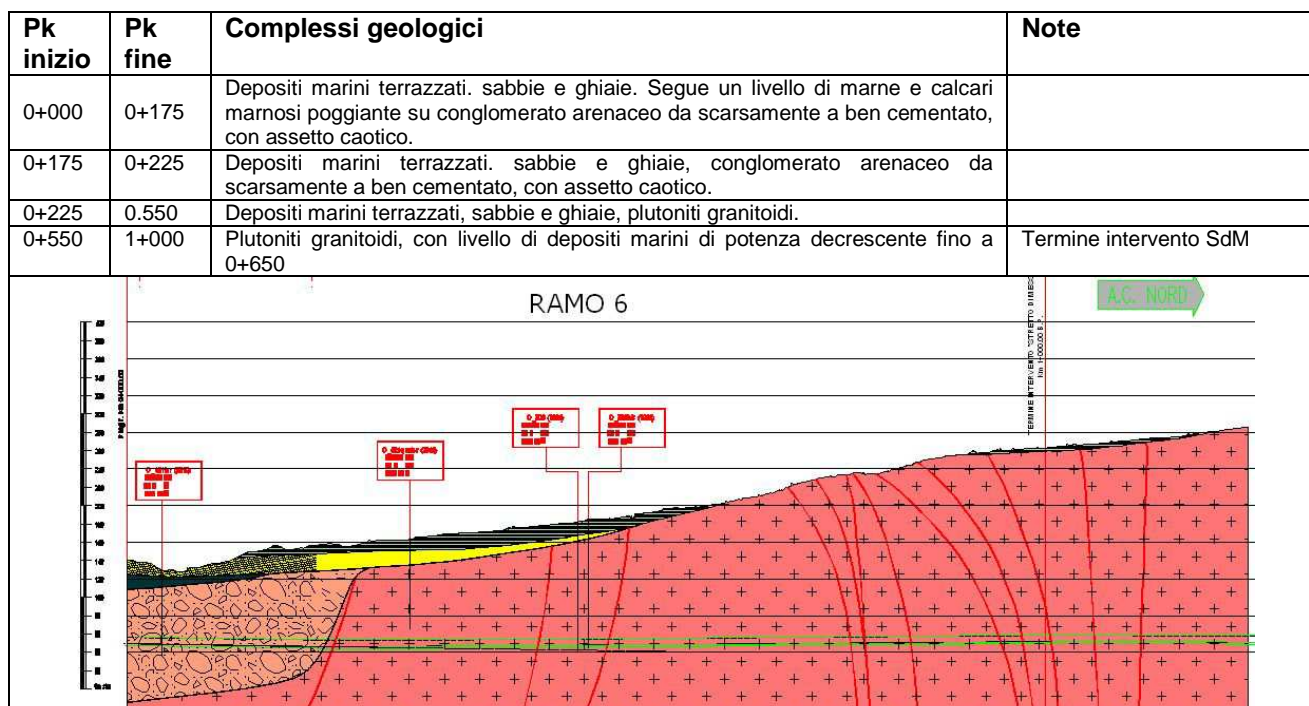


Tabella 2.4 Sintesi geolitologia Ramo 6

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Pk inizio	Pk fine	Complessi geologici	Note
0	0+531	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	
0+531	0+580	1. Depositi poco coesivi eterometrici e poligenici 2. Sabbie e ghiaie clasto-sostenute poco cementate poco stratificate. 3. Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	
0+580	0+969	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	Fino a 0+645 sabbie e ghiaie clasto-sostenute poco cementate poco stratificate in copertura
0+969	1+227	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	Fino a 1+055 sabbie e ghiaie clasto-sostenute poco cementate poco stratificate in copertura
1+227	1+750	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	Fino a 1+339 marne e calcari marnosi in copertura
1+750	2+173	Plutoniti granitoidi	Da 2+059 conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico in copertura
2+173	2+336.79	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	

Tabella 2.5 Sintesi geolitologia Rampa A

Pk inizio	Pk fine	Geolitologia	Note
0+064	0+645	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	Da 0+272 a 0+380 sabbie e ghiaie clasto-sostenute poco cementate poco stratificate in copertura
0+645	1+021	Sabbie e ghiaie clasto-sostenute poco cementate poco stratificate. Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	Fino a 0+695 sabbie e ghiaie clasto-sostenute poco cementate poco stratificate in copertura
1+021	1+039	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	
1+039	1+300	Sabbie e ghiaie clasto-sostenute poco cementate poco stratificate.	

Tabella 2.6 Sintesi geolitologia Rampa B

Pk inizio	Pk fine	Geolitologia	Note
0+284	0+335	Depositi coesivi a grana fine	
0+335	1+138	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	
1+138	1+220	Plutoniti granitoidi	
1+220	2+800	Depositi coesivi a grana fine – ghiaie eterometriche e sabbie limose – sabbie, limi e ghiaie in matrice sabbiosa	

Tabella 2.7 Sintesi geolitologia Rampa C

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Pk inizio	Pk fine	Geolitologia	Note
0+000	0+040	Depositi coesivi a grana fine	
0+040	0+975	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	
0+975	1+143	Marne e calcari marnosi	A partire da 1+048 fino a 1+083 sabbie e ghiaie in copertura
1+143	1+367	Conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico	
1+367	1+700..	Sabbie e ghiaie	

Tabella 2.8 Sintesi geolitologia Rampa D

A titolo esemplificativo la Figura 2.3 riporta uno stralcio del profilo geolitologico da km 13+800 a km 16+200 utilizzato per l'acquisizione delle informazioni. La Tabella 2.9 riassume per tratti omogenei, identificati da una progressiva di inizio e fine, la geolitologia assunta a base delle valutazioni previsionali del tracciato ferroviario. In analogia la Tabella 2.10 sintetizza le informazioni per il tracciato stradale.

Pk inizio	Pk fine	Geolitologia	Note
0+600	8+200	Alluvioni terrazzate e terrazzi marini, sabbie e ghiaie con matrice siltosa e livelli di ciotoli	Depositi alluvionali in copertura
8+200	9+950	Marne e calcari marnosi, calcari evaporiti brecciati, argille con clasti di gesso e gessareniti	Strati superficiali alluvionali di varia potenza
9+950	10+150	Conglomerati e arenarie; sabbie limi e argille limose con torba	Depositi alluvionali in copertura
10+250	10+700	Marne e calcari marnosi, calcari evaporiti brecciati, argille con clasti di gesso e gessareniti e sottostanti conglomerati e arenarie	
10+700	11+050	Depositi alluvionali e sottostanti marne e calcari marnosi, calcari evaporiti brecciati, argille con clasti di gesso e gessareniti	
11+050	11+600	Copertura di sedimenti sabbioso ghiaioso e sottostante marne e calcari marnosi, calcari evaporiti brecciati, argille con clasti di gesso e gessareniti	
11+600	13+150	Complesso argilloso-sabbioso conglomeratico	Copertura di sedimenti sabbioso ghiaioso
11+900	13+150	Complesso argilloso-sabbioso conglomeratico	Locali coperture alluvionali
13+150	13+600	Gneiss	Copertura detritica
13+600	13+900	Depositi alluvionali	
13+900	14+600	Gneiss (metamorfiti dell'unità dell'Aspromonte)	Sedimenti sabbioso ghiaioso in copertura
14+600	14+950	Depositi alluvionali	
14+950	15+400	Sedimenti sabbioso ghiaioso	
15+400	15+900	Depositi alluvionali	
15+900	16+200	Sedimenti sabbioso ghiaioso e Alluvioni terrazzate, sabbie e ghiaie, con matrice siltosa	Alluvioni terrazzate, sabbie e ghiaie, con matrice siltosa
16+200	16+450	Depositi alluvionali	
16+450	17+000	Complesso argilloso-sabbioso conglomeratico	Conglomerati e arenarie Sabbie, limi e argille limose con torba
17+000	17+400	Sedimenti sabbioso ghiaioso poggiati su Complesso argilloso-sabbioso conglomerato	

Tabella 2.9 Sintesi geolitologia lungo il tracciato ferroviario

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

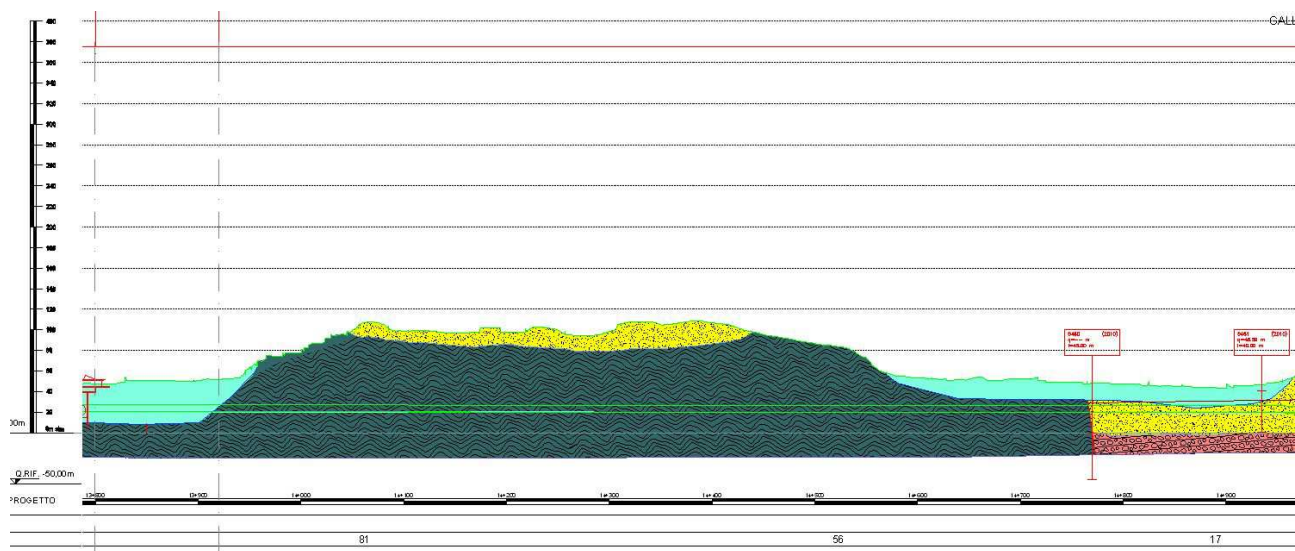


Figura 2.3 Profilo da km 13+800 a km 16+200

Pk inizio	Pk fine	Geolitologia	Note
0+000	0+589	Depositi alluvionali recenti e attuali , depositi di piana litorale	
0+589	8+360	Ghiaie e sabbie di Messina	
8+360	8+670	Ghiaie e sabbie di Messina / Formazione di S. Pier Niceto	
8+670	9+825	Formazione di S. Pier Niceto	
9+825	10+015	Gruppo della serie gessoso solfifera (calcare – argille con lenti di gesso)	
10+015	10+222	Depositi alluvionali recenti e attuali	
10+222	10+300	Deposito di versante e coltre eluvio –colluviale (deposito incoerente di materiale spigoloso in matrice argillosa)	
10+300	10+435	Calcare evaporitico e poi gessi e argille gessose	
10+435	10+617	Formazione di S. Pier Niceto	
10+617	10+880	Argille gessose/ Formazione di S. Pier Niceto	
10+880	11+255	Formazione di S. Pier Niceto	

Tabella 2.10 Geolitologia collegamenti stradali

2.3 Screening vibrazionale

2.3.1 Misure SIA

Le misure sono state svolte in 13 punti, 12 lato Sicilia e 1 lato Calabria, nel periodo 25-26 ottobre 2010 applicando una procedura tecnico-operativa di misura basata su campionamenti mobili a meno della postazione fissa S-V12, in prossimità della linea ferroviaria di Contesse, dove è stata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

svolta una misura in continuo.

Le misure riguardano 7 ricettori residenziali e assimilabili, 4 ricettori scolastici e 2 ricettori ad alta sensibilità, l'Ospedale Papardo e un Laboratorio di Analisi. La Tabella 2.11 riassume i punti di misura.

N.	LOCALIZZAZIONE	CODICE
1	S.E.S. e S.M.S. "Granatari" - SP43 n°11 - Messina	S-V01
2	Ospedale Papardo - Via Torrente Papardo - Messina	S-V02
3	Edifici residenziali - Strada Panoramica dello Stretto	S-V03
4	Facoltà di Farmacia - Località ANNUNZIATA	S-V04
5	Chiesa SS. MARIA ANNUNZIATA - Viale Annunziata	S-V05
6	Laboratorio Analisi - Via Castelli - Messina	S-V06
7	Chiesa del S.S. REDENTORE - Via Noviziato	S-V07
8	Chiesa - Via Santa Marta	S-V08
9	Scuola D.D.S. NICHOLAS GREEN - Via 37 D Loc. Gazzi Fondo Fucile	S-V09
10	Scuola Elementare NINO FERRAU - Via A. di Anfuso - MESSINA	S-V10
11	Edifici residenziali - Via Contessa ang. Via Calispera	S-V11
12	Edificio residenziale / Capannone - Località Contesse	S-V12
13	Edifici residenziali - Via Nazionale, 157 – Villa S. G.	C-V01

Tabella 2.11

Le misure di "screening" svolte con tecnica e strumentazione mobile hanno avuto lo scopo di verificare l'intensità dei fenomeni vibrazionali in prossimità della sorgente.

Strumentazione utilizzata

Le attività di monitoraggio sono state svolte con analizzatore Tablet PC portatile in allestimento fisso per il punto S-V12 e in allestimento mobile per tutti gli altri (Figura 2.4). La strumentazione installata è composta da:

- Tablet PC Hewlett-Packard Compaq tc4200.
- Scheda di acquisizione dati National Instruments NI-9233 a 4 canali.
- Massetto metallico per il fissaggio degli accelerometri.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- Terna accelerometrica costituita da 3 accelerometri monoassiali Wilcoxon Research – Low Frequency Accelerometer 799LF.
- Calibratore BRUEL & KJAER 4294.



Figura 2.4

Riferimenti normativi

La normativa e le disposizioni tecniche seguite nello svolgimento delle attività di monitoraggio delle vibrazioni sono:

- UNI 9614 - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo
- ISO 2631-2 - Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo - Parte 2: Vibrazioni continue ed indotte da urti negli edifici
- UNI 9670 - Risposta degli individui alle vibrazioni - Apparecchiature di misura
- UNI ISO 5805 - Vibrazioni meccaniche e urti riguardanti l'uomo - Vocabolario
- ISO 5347 - Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni e di urti
- ISO 5348 - Vibrazioni meccaniche ed urti - Montaggio meccanico degli accelerometri
- IEC 184 - Metodi per specificare le caratteristiche dei trasduttori elettromeccanici per la misura di vibrazioni ed urti
- IEC 222 - Metodi per specificare le caratteristiche degli apparecchi ausiliari per la misura di vibrazioni ed urti
- IEC 225 - Filtri in banda di ottava, 1/2 di ottava e 1/3 di ottava usati nell'analisi di suoni e vibrazioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

Risultati

Le schede di misura e di analisi, riportate nell'elaborato "Allegato – Schedatura screening vibrazionale", contengono il dettaglio dei risultati conseguiti dalle attività di monitoraggio. La Tabella 2.12 riassume per ogni punto la sorgente responsabile delle vibrazioni, il livello asse Z ponderato UNI9614, il valore limite UNI8614.

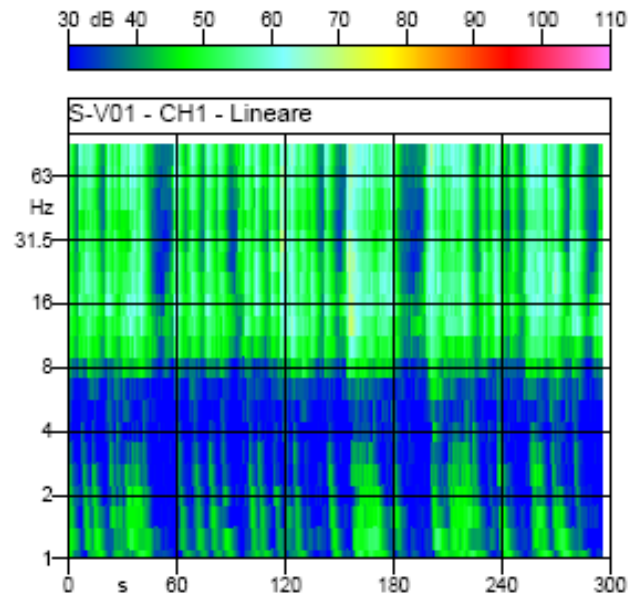
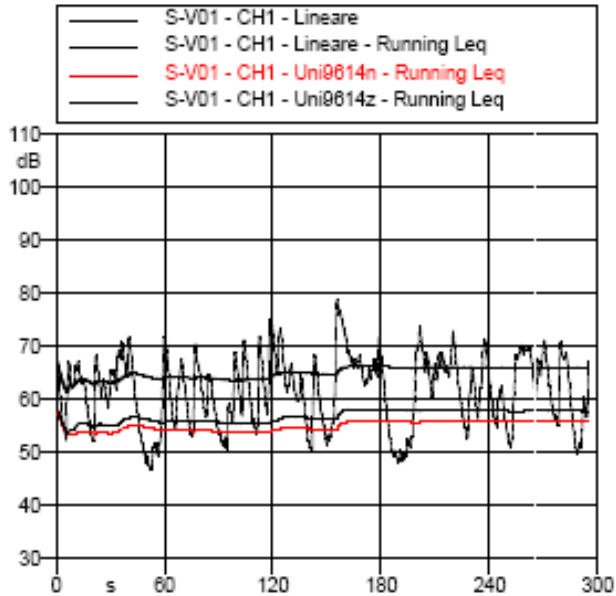
La Figura 2.5 riporta, a titolo di esempio di una misura in presenza di sorgente stradale, l'analisi svolta in S-V01 e, in particolare, il decorso temporale "running Leq" della registrazione asse Z in lineare e pesatura UNI9614 assi combinati e asse Z, lo spettrogramma, lo spettro del Leq di accelerazione in lineare, pesato assi combinati e asse Z relativo al tempo di misura, le tabelle numeriche di riepilogo dei livelli nel campo di frequenza tra 1 Hz e 80 Hz. In analogia la Figura 2.6 contiene il rilievo di un transito ferroviario relativo alla postazione fissa S-V12.

N.	LOCALIZZAZIONE	Sorgente	Lw UNI9614Z dB	Limite UNI9614Z dB
S-V01	Scuola	Stradale	57,8	77
S-V02	Ospedale	Stradale	48,0	71
S-V03	Residenza	Stradale	48,6	74-77
S-V04	Scuola	Stradale	43,1	77
S-V05	Chiesa	Stradale	49,1	77
S-V06	Laboratorio Analisi	Stradale	44,7	
S-V07	Chiesa	Stradale	42,3	77
S-V08	Chiesa	Stradale	50,4	77
S-V09	Scuola	Stradale	42,9	77
S-V10	Scuola	Stradale	45,7	77
S-V11	Residenza	Stradale	47,2	74-77
S-V12	Residenza	Ferroviaria	68,9-86,0	74-77
C-V01	Residenza	Stradale	44,8	74-77

Tabella 2.12

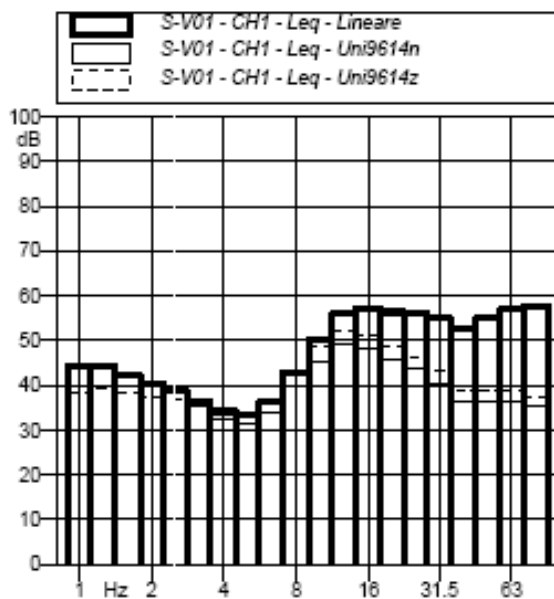
I risultati ben evidenziano che le emissioni stradali sono trascurabili rispetto a quelle ferroviarie e che i problemi di disturbo vibrazionale e di superamento dei limiti coinvolgono esclusivamente i corridoi ferroviari.

Time history - Livello accelerazione r.m.s. (dB rif. 10⁻⁶ m/s²)



$L_{LINEARE} = 65.9 \text{ dB}$ $L_{UNI9614N} = 55.8 \text{ dB}$ $L_{UNI9614Z} = 57.8 \text{ dB}$

Spettro livello accelerazione r.m.s. (dB rif. 10⁻⁶ m/s²)



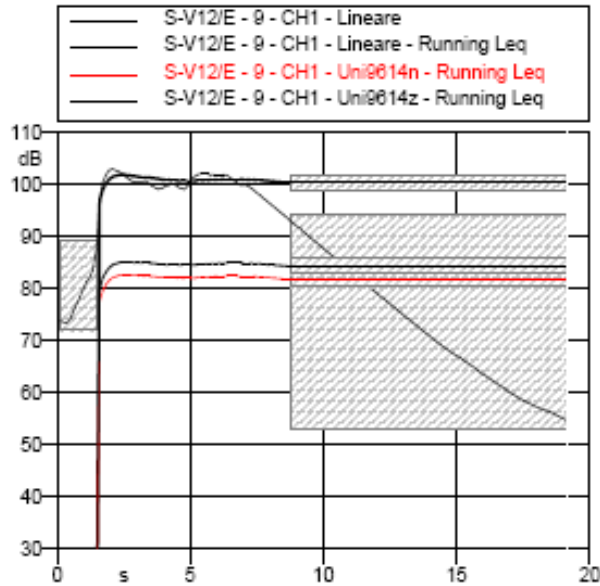
S-V01 CH1 - Leq Lineare					
Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
1	44.3	5	33.4	25	56.3
1.3	44.5	6.3	36.3	31.5	55.1
1.6	42.5	8	42.8	40	52.7
2	40.4	10	50.1	50	55.0
2.5	39.0	12.5	56.0	63	56.9
3.2	36.3	16	57.1	80	57.7
4	34.2	20	56.4		

S-V01 CH1 - Leq Uni9614n					
Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
1	44.3	5	31.4	25	43.7
1.3	44.5	6.3	33.8	31.5	40.5
1.6	42.5	8	39.7	40	36.2
2	40.4	10	45.2	50	36.5
2.5	38.6	12.5	49.2	63	36.5
3.2	35.3	16	48.4	80	35.3
4	32.7	20	45.7		

S-V01 CH1 - Leq Uni9614z					
Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
1	38.2	5	33.4	25	46.4
1.3	39.4	6.3	36.3	31.5	43.1
1.6	38.3	8	42.7	40	38.7
2	37.2	10	48.5	50	39.0
2.5	36.9	12.5	52.2	63	38.8
3.2	35.2	16	51.4	80	37.6
4	34.0	20	48.6		

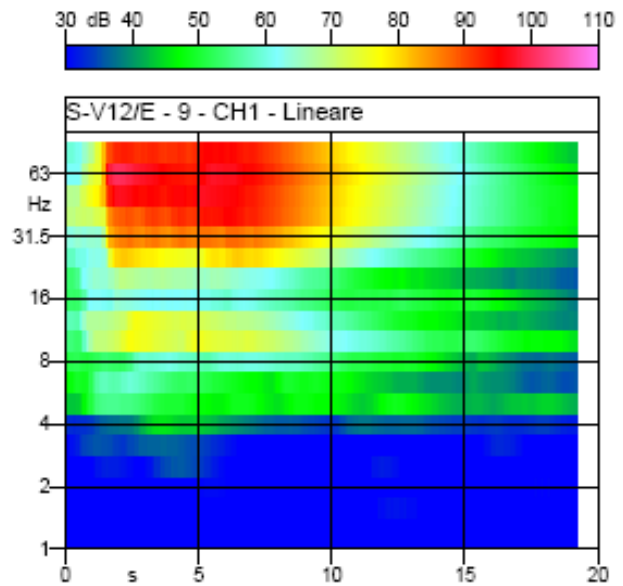
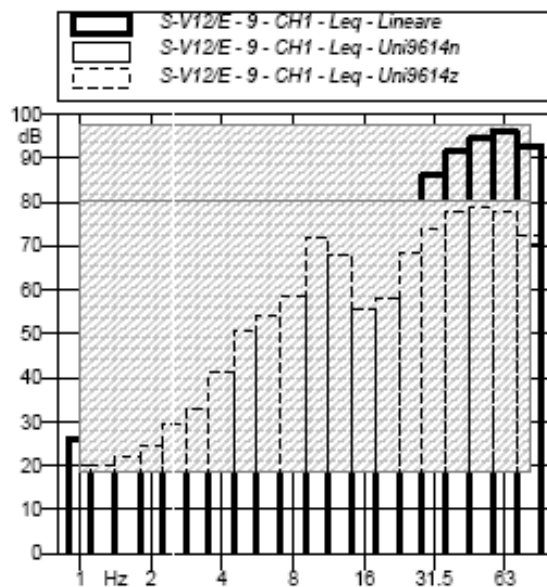
Figura 2.5 Traffico stradale in SV01

Time history - Livello accelerazione r.m.s. (dB rif. 10-6 m/s²)



$L_{LINEARE} = 100.3 \text{ dB}$ $L_{UNI9614n} = 81.8 \text{ dB}$ $L_{UNI9614z} = 84.3 \text{ dB}$

Spettro livello accelerazione r.m.s. (dB rif. 10-6 m/s²)



S-V12/E - 9 CH1 - Leq Lineare			
Hz	dB	Hz	dB
1	26.3 (*)	5	50.8 (*)
1.3	25.4 (*)	6.3	54.1 (*)
1.6	26.1 (*)	8	58.6 (*)
2	27.6 (*)	10	73.5 (*)
2.5	31.7 (*)	12.5	71.8 (*)
3.2	33.8 (*)	16	61.2 (*)
4	41.6 (*)	20	65.9 (*)

S-V12/E - 9 CH1 - Leq Uni9614n			
Hz	dB	Hz	dB
1	26.3 (*)	5	48.8 (*)
1.3	25.4 (*)	6.3	51.6 (*)
1.6	26.1 (*)	8	55.5 (*)
2	27.6 (*)	10	68.6 (*)
2.5	31.3 (*)	12.5	65.0 (*)
3.2	32.8 (*)	16	52.5 (*)
4	40.1 (*)	20	55.2 (*)

S-V12/E - 9 CH1 - Leq Uni9614z			
Hz	dB	Hz	dB
1	20.2 (*)	5	50.8 (*)
1.3	20.3 (*)	6.3	54.1 (*)
1.6	21.9 (*)	8	58.5 (*)
2	24.4 (*)	10	71.9 (*)
2.5	29.8 (*)	12.5	68.0 (*)
3.2	32.7 (*)	16	55.5 (*)
4	41.4 (*)	20	58.1 (*)

Figura 2.6 Transito convoglio ferroviario in S-V12

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

2.3.2 Misure SIA 2002

Le misure sono state svolte in 10 punti, 6 lato Sicilia e 4 lato Calabria, nel periodo 8 – 11 settembre 2002 applicando una procedura tecnico-operativa e di analisi dei dati finalizzata alla valutazione delle vibrazioni (continue od intermittenti) immesse negli edifici ad opera di sorgenti di eccitazione attualmente presenti sul territorio ai sensi delle norme UNI 9614 ed ISO 2631-2.

La localizzazione delle postazioni di monitoraggio è riportata in Tabella 2.13 ed ha riguardato 8 edifici residenziali, 1 scuola e 1 ospedale.

N.	LOCALIZZAZIONE	CODICE
1	Ed. residenziale – Via Comunale, Loc. Sperone - Messina	S-V1
2	Ospedale Papardo, Loc. Sperone - Messina	S-V2
3	Ed. residenziale, Loc. Pace - Messina	S-V3
4	Scuola “E. Vittorini” – Via del Fante - Messina	S-V4
5	Ed. residenziale – Via San Bernardo – Messina	S-V5
6	Ed. residenziale – Via S. Cecilia – Messina	S-V6
7	Ed. residenziale – Via delle Grazie - Villa San Giovanni (RC)	C-V1
8	Ed. residenziale – Via Nazionale 29 - Villa San Giovanni (RC)	C-V2
9	Ed. residenziale – Loc. Piale - Villa San Giovanni (RC)	C-V3
10	Ed. residenziale – V. Belvedere, Porticello – Villa San Giovanni (RC)	C-V4

Tabella 2.13

Le sorgenti di vibrazioni indagate sul versante Sicilia sono di origine stradale: i livelli misurati al basamento dell'edificio sono decisamente bassi e comunque inferiori alla soglia di sensibilità umana e quindi conformi ai limiti previsti dalla normativa tecnica di riferimento.

Sul versante Calabria sono state individuate due sorgenti di vibrazioni, di origine stradale e ferroviaria. I livelli di accelerazione più elevati sono associati ai punti lungo la linea ferroviaria, in particolare al punto C-V1 a circa 10 m dal binario con tipologia d'opera in viadotto. I valori misurati in questo punto sono pari a 75.9 dB lungo asse Z e a 76.1 dB lungo asse X. La Tabella 2.14 riassume i livelli rilevati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

PUNTO	LOCALIZZAZIONE	L _{wz} UNI9614 [dB]	L _{wx} UNI9614 [dB]
S-V1	Ed. residenziale – Via Comunale, Loc. Sperone - Messina	58.7	49.4
S-V2	Ospedale Papardo, Loc. Sperone - Messina	46.6	51.2
S-V3	Ed. residenziale, Loc. Pace - Messina	55.1	55.0
S-V4	Scuola "E. Vittorini" – Via del Fante - Messina	42.2	41.8
S-V5	Ed. residenziale – Via San Bernardo – Messina	48.1	42.7
S-V6	Ed. residenziale – Via S. Cecilia – Messina	45.4	39.7
C-V1	Ed. residenziale – Via delle Grazie - Villa San Giovanni (RC) /FERROVIA	75.9	76.1
C-V2	Ed. residenziale – Via Nazionale 29 - Villa San Giovanni (RC)	47.5	45.1
C-V3	Ed. residenziale – Loc. Piale - Villa San Giovanni (RC)	46.9	45.1
C-V4	Ed. residenziale – V. Belvedere, Porticello – Villa San Giovanni (RC)	51.3	52.0

Tabella 2.14 Sintesi rilievi SIA 2002

2.4 Sensibilità ambientale

La sensibilità del territorio alle vibrazioni è correlata alla destinazione d'uso dei fabbricati e alle attività svolte. La UNI 9614 e la ISO 2631-2 definiscono a tal riguardo una scala gerarchica per sensibilità decrescente così composta:

- Aree critiche (camere operatorie, laboratori di precisione, teatri, ecc.).
- Abitazioni (periodo notturno 22-7).
- Abitazioni (periodo notturno 7-22) e edifici assimilabili anche ad uso saltuario (chiese).
- Uffici e, in generale, fabbricati ad uso diurno non residenziali o assimilabili alle residenze.
- Fabbriche.

La trasmissività, o velocità di propagazione delle onde nel terreno, dipende dal modulo elastico e dalla densità del mezzo. In base alle informazioni geolitologiche tratte dagli studi specialistici del P.D. è stata composta una classifica di trasmissività a tre livelli così composta:

- Alta (roccia compatta, calcari evaporitici, scisti cristallini), $v > 3000$ m/s
- Media (argille, terreni argillosi, arenarie argillose), $v 1000 \div 2000$ m/s
- Bassa (depositi alluvionali, sabbie e ghiaie di Messina, sabbia, limo, ghiaia, loess) $v < 1000$ m/s

La correlazione tra questi due parametri, espressa in forma matriciale in Tabella 2.15, ha infine

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

permesso l'associazione agli edifici compresi all'interno dell'ambito di studio di un livello di sensibilità rappresentato da un buffer circolare di ampiezza crescente al crescere della sensibilità.

TRAMISSIVITA'	DESTINAZIONI D'USO UNI 9614				
	Aree critiche	Abitazioni	Uffici	Fabbriche	Altro
Alta					
Media					
Bassa					

SENSIBILITA'	Molto Alta	Alta	Media	Bassa	M. Bassa
--------------	------------	------	-------	-------	----------

Tabella 2.15

Le tavole di sensibilità ambientale in scala 1:10.000 redatte per il territorio lato Calabria e Sicilia interessato dalle opere in progetto sono contenute negli elaborati grafici "Carta di sintesi della sensibilità alle vibrazioni".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

3 Quadro di riferimento previsionale

3.1 Fase di costruzione

3.1.1 Problematiche vibrazionali

I problemi di vibrazioni in fase di costruzione delle infrastrutture stradali e ferroviarie possono derivare da emissione dirette di vibrazioni nel corso delle lavorazioni e da emissione di rumore a bassa frequenza, in relazione ai fattori causali e agli effetti riassunti, in termini generali, in Tabella 3.1.

PROBLEMATICHE	PRINCIPALI FATTORI CAUSALI	EFFETTI POTENZIALI
EMMISSIONE VIBRAZIONI	Scavo della galleria con mezzi meccanici o TBM	Vibrazioni trasmesse dal terreno agli elementi strutturali degli edifici, con emissione di rumore per via solida
	Demolizioni strutture esistenti in c.a. con martelli pneumatici, martelloni o altro	
	Infissione pali o scavo pali di fondazione con metodi a percussione, consolidamenti	
	Compattazione sottofondi rilevati con vibrocompattatori, rulli vibranti, ecc.	
	Vibrovagli per separazione sabbia-ghiaia da fanghi bentonitici (scavo paratie) e impianti di frantumazione inerti	
EMMISSIONE RUMORE A BASSA FREQUENZA	Traffico di cantiere	Vibrazione elementi strutturali (vetri, suppellettili) con emissione di rumore in corrispondenza delle frequenze di risonanza
	Macchine operatrici nell'area di cantiere	

Tabella 3.1 Problematiche vibrazionali in fase di costruzione

I problemi di disturbo, anche in assenza di superamento dei limiti di legge, sono di importanza variabile in relazione alla tecnica costruttiva e generalmente più frequenti quando le lavorazioni sono estese al periodo notturno, come è il caso delle gallerie stradali e ferroviarie. Agli effetti vibrazionali sugli immobili si somma, e talvolta costituisce la componente di reale disturbo, la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

trasmissione di rumore aereo per via solida che è soggetta ai limiti differenziali indicati dal DPCM 14.11.1997.

Gli scavi delle gallerie con frese scudate, come quelle previste per le gallerie ferroviarie, rappresentano lo stato dell'arte in termini di minimizzazione dell'impatto vibrazionale e garantiscono il minimo disturbo rispetto alla popolazione esposta, anche se in presenza di coperture di limitata potenza. Viceversa, gli scavi con mezzi meccanici (martellone pneumatico, ecc.) sono associati a emissioni significativamente superiori e richiedono le opportune accortezze gestionali. Significative, e spesso disturbanti, le lavorazioni svolte con macchine operatrici a breve distanza dai ricettori, quali ad esempio quelle necessarie per il consolidamento degli edifici prossimi a fronti di scavo, realizzazione di jet grouting o micropali. Le attività svolte con martelli pneumatici per la demolizione di cordoli, la scapitozzatura di pali e testa paratie, ecc. possono introdurre nel terreno di fondazione dell'edificio elevati livelli energetici di vibrazioni. Non in tutte le situazioni è possibile ridurre l'intensità e la necessità delle lavorazioni e le azioni attuabili rientrano di fatto nella gestione ambientale di cantiere.

Lo studio esamina prioritariamente il disturbo ai sensi della UNI 9614 e non tanto il danno ai sensi della UNI 9916. Le problematiche del danno competono all'Impresa esecutrice dei lavori che dovrà adottare tutte le preventive attenzioni tecniche o operative al fine di evitare che i lavori di costruzione possano determinare la formazione di danni minori (fessurazioni agli intonaci, crepe, ecc.).

3.1.2 Il modello previsionale

Il livello di vibrazione in corrispondenza di un ricettore ad una distanza "x" dal fronte di scavo di una galleria o dal punto in cui opera una attrezzatura di cantiere è pari al livello alla distanza di riferimento "x0", diminuito della somma delle attenuazioni che si verificano nel terreno tra x0 e x:

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

Il livello di base $L(x_0)$ è generalmente ricavato da misure sperimentali a distanze comprese tra 5 m e 25 m. Le componenti di attenuazione e amplificazione delle vibrazioni all'interno del terreno e sull'edificio, introdotte nel modello di calcolo come valori medi, riguardano:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- attenuazione per dissipazione interna del terreno;
- attenuazione geometrica, in relazione al tipo di sorgente e di onda;
- attenuazione dovuta a ostacoli o discontinuità del terreno;
- attenuazione dovuta all'accoppiamento terreno-fondazione;
- attenuazione dovuta alla propagazione in direzione verticale nel corpo dell'edificio;
- amplificazione determinata dai solai.

Viene nel seguito descritta la metodologia di calcolo.

3.1.2.1 Attenuazione per dissipazione interna del terreno

L'attenuazione di un campo vibrazionale al variare della distanza da una sorgente vibratoria all'interno di un mezzo solido (terreno) è principalmente funzione dell'effetto combinato dell'attenuazione geometrica e della dissipazione interna del terreno. L'attenuazione geometrica è legata al fenomeno di propagazione dell'energia vibratoria entro volumi di terreno che aumentano all'aumentare della distanza dalla sorgente. In un mezzo omogeneo essa è legata sia alla geometria della sorgente (puntuale, lineare, etc.), sia alle caratteristiche del dominio sede dei fenomeni propagatori (presenza di frontiere, discontinuità, etc.).

L'attenuazione per dissipazione del terreno è legata alle caratteristiche dissipative del mezzo all'interno del quale avviene la propagazione di energia vibratoria, in questo caso il deposito di terreno. Il problema propagatorio si risolve mediante una funzione di trasferimento che esprime per ogni frequenza, il rapporto tra l'ampiezza di vibrazione al piede del ricettore in condizioni di campo libero e l'ampiezza dello spettro di carico alla sorgente. Vale la seguente equazione:

$$A(d,f)=A(d_0,f)\cdot(d_0/d)^n e^{-(2\pi f\eta c)/(d-d_0)}$$

in cui:

- η fattore di perdita del terreno,
- c velocità di propagazione in m/s,
- f frequenza in Hz,
- d distanza in m,
- d_0 distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione.

L'esponente n varia a seconda del tipo di onda e di sorgente di vibrazioni, come indicato nella

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

Tabella 3.2. Nel caso di sorgenti di vibrazione correlate ad attività di cantiere, considerando prevalente il contributo di una sorgente superficiale puntiforme, si assumerà un valore di $n = 0.5$.

Localizzazione della sorgente	Tipo di sorgente	Onde indotte	n
Superficie	Puntuale	Onde di pressione	2.0
		Onde di superficie	0.5
	Linea	Onde di pressione	1.0
		Onde di superficie	0
Profonda	Puntuale	Onde di pressione	1.0
	Lineare	Onde di pressione	0.5

Tabella 3.2

Per quanto riguarda il termine esponenziale, esso rappresenta i fenomeni di dissipazione di energia meccanica in calore, che risulta dipendente dalla frequenza, dalle caratteristiche meccaniche del materiale (e dunque dalla velocità di propagazione) e dal fattore di perdita del mezzo. Si nota che le alte frequenze si estinguono dopo un breve percorso, mentre le frequenze più basse si propagano a distanze maggiori. Il rapporto η/c dipende dal particolare tipo di terreno considerato, e tende a diminuire al crescere del livello di compattamento del 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 in Tabella 3.3.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

TIPO DI TERRENO	DENSITA' [t/m ³]	VELOCITA' DI PROPAGAZIONE [m/s]	FATTORE 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
Molasse (1)	2.25	1075	0.05
Sabbie e ghiaie di Messina	2.00	834	0.05
Scisti cristallini (2)	2.25	3000	0.05
Depositi alluvionali	1.83	527	0.05
Calcari evaporitici	2.25	3350	0.05

- (1) Molasse: arenarie poco cementate con stratificazioni non sempre ben definite. Possono essere associati conglomerati, peliti, marne.
- (2) Scisti cristallini: rocce metamorfiche scistose originatesi per metamorfismo generale di basso e medio grado, ricche di cristalli lamellari (miche, cloriti, talco ecc.) o aciculari e fibrosi (epidoti, anfiboli, pirosseni ecc.)

Tabella 3.3

3.1.2.2 Attenuazione dovuta a ostacoli o discontinuità del terreno

Un ulteriore fenomeno di cui si deve tener conto è quello che sorge se nel terreno si hanno superfici di separazione fra strati con diversa impedenza meccanica: una quota di energia viene riflessa da tali superfici di discontinuità e non viene quindi percepita al di là di esse. In particolare, se l'eccitazione avviene al di sotto dello strato superficiale sovraconsolidato, l'interfaccia fra esso ed il terreno incoerente sottostante riduce l'ampiezza delle vibrazioni che riescono ad attraversare tale interfaccia. Il fattore che esprime tale attenuazione, sempre minore di 1, è legato al rapporto fra le impedenze dei due strati (si rammenta che l'impedenza è data dal prodotto fra la velocità di propagazione delle onde di taglio e la densità del materiale). Esso è espresso dalla seguente relazione:

$$F_r = \frac{1 + \frac{\rho_2 \cdot c_2}{\rho_1 \cdot c_1}}{2}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

in cui il pedice 1 si riferisce al materiale con impedenza più bassa dei due. Bisogna tener presente che in questo studio questo fenomeno non è tenuto in considerazione, anche a favore di una maggiore cautela nell'interpretazione dei dati delle simulazioni.

3.1.2.3 Propagazione all'interno dell'edificio

Il modello di propagazione sopra illustrato si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, supposto omogeneo ed isotropo. Bisogna tener conto che in corrispondenza dei ricettori del segnale vibrazionale, l'eventuale disturbo indotto dalla sorgente vibrazionale è percepito dalle persone sia in termini di moto delle superfici di contatto del corpo umano con l'edificio stesso (vibrazione vera e propria), sia in termini di pressione sonora generata dal moto delle superfici di orizzontamento e dalle pareti verticali. Di conseguenza, risulta importante valutare le modalità di propagazione delle vibrazioni dall'esterno dell'edificio al suo interno. A tale scopo, è utile suddividere il problema complessivo della risposta alle vibrazioni degli edifici in tre fenomeni (Figura 3.1):

- accoppiamento terreno - fondazioni;
- propagazione lungo la struttura verticale (portante e secondaria);
- effetto degli orizzontamenti

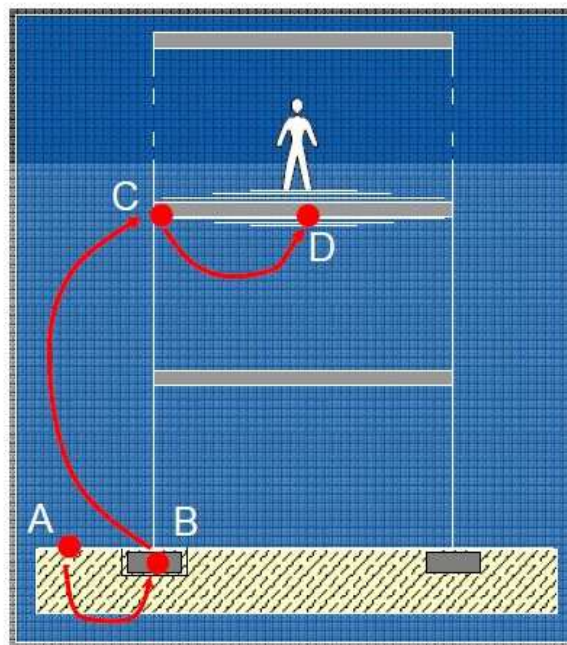


Figura 3.1 Schematizzazione propagazione terreno-edificio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

L'accoppiamento tra suolo e fondazioni (A-B) induce generalmente un termine dissipativo nel segnale vibrazionale, configurandosi come un fenomeno favorevole al contenimento dell'impatto vibrazionale. L'entità dell'attenuazione (difficilmente valutabile numericamente) dipende dalla tipologia fondazionale (dirette o profonde). In particolare, la valutazione dell'attenuazione deve essere effettuata in termini spettrali facendo riferimento, ad esempio, a curve empiriche.

Per edifici con struttura portante verticale in muratura, in relazione alla maggiore massa, è messa in conto una maggiore attenuazione pari a 2 dB. Per edifici con struttura portante in acciaio, è messa in conto una riduzione di attenuazione pari a 2 dB. La nuvola di punti costituita dalle curve di letteratura consente di definire un andamento cautelativo da adottarsi nel presente progetto, sintetizzabile attraverso l'adozione delle loro medie per edifici in C.A. ed edifici in muratura, per 4 classi di fondazioni come di seguito raggruppate:

- a) edifici in CA, con numero di piani fuori terra superiore a 2
- b) edifici in CA, con numero di piani fuori terra inferiore a 2
- c) edifici in muratura, con numero di piani fuori terra superiore a 2
- d) edifici in muratura, con numero di piani fuori terra inferiore a 2

In Figura 3.2 sono riportate le curve di attenuazione per le differenti tipologie strutturali, adottate nel modello previsionale per la stima dei livelli di vibrazione all'interno dei ricettori critici. Per gli edifici nei quali il piano di verifica dei livelli vibrazionali è realizzato a contatto con il terreno, senza interposizione di un solaio portante, (sostanzialmente le sole chiese di costruzione non recente), non è stata considerata l'attenuazione a livello delle fondazioni, trascurando anche l'attenuazione dovuta alla struttura verticale e l'amplificazione delle piastre di piano

A partire dal segnale in ingresso nell'edificio, a valle dell'effetto indotto sul segnale stesso dall'accoppiamento terreno-fondazione, le vibrazioni indotte sollecitano due elementi strutturali in grado di modificarle ulteriormente: la struttura di sostegno verticale nella propagazione da piano a piano (B-C) e gli orizzontamenti composti dai solai di piano (C-D).

I due fenomeni comportano due effetti generalmente contrari, il primo di attenuazione ed il secondo di amplificazione, su intervalli di frequenza tuttavia diversi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

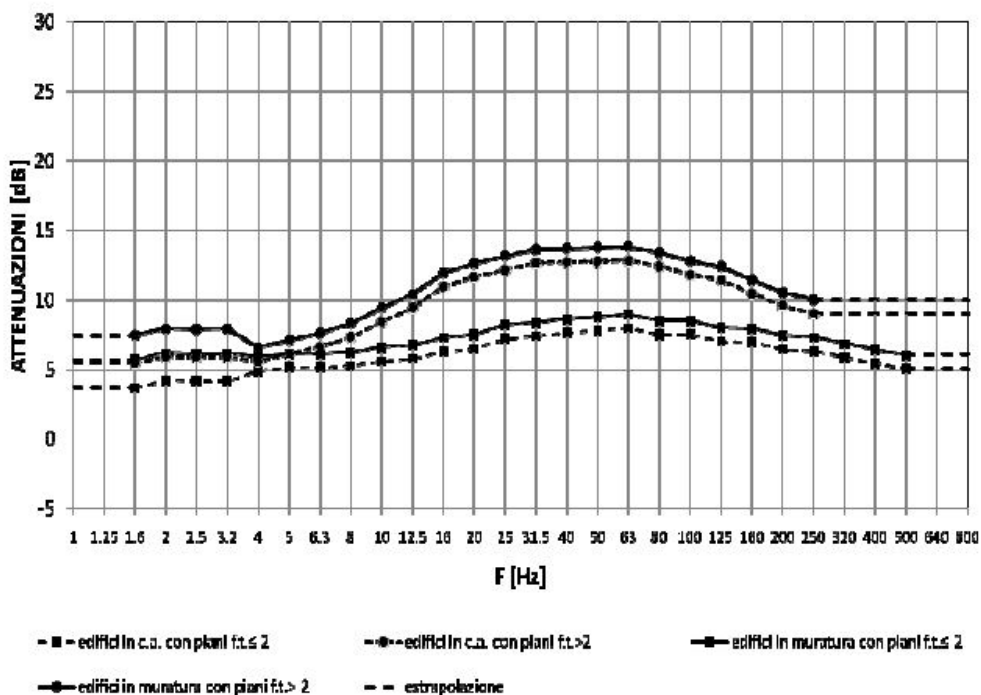


Figura 3.2

Il segnale vibratorio, successivamente al suo “ingresso” nell’edificio, si propaga in direzione verticale modificandosi in funzione della risposta strutturale dell’edificio stesso, comprendendo in questa non solo la struttura portante, ma anche elementi secondari quali i tamponamenti. Cautelativamente, si è considerato, nella valutazione di impatto vibrazionale, ininfluente l’effetto della struttura verticale fino alla frequenza di 30 Hz, con una attenuazione pari a 4 dB per le frequenze superiori (Figura 3.3).

Infine la vibrazione che si propaga nella struttura portante dell’edificio fino al solaio in cui si svolgono le attività umane rispetto alle quali si valuta il raggiungimento della soglia di disturbo, viene ad essere amplificata per effetto della flessibilità dei solai, in funzione della loro luce e del materiale con cui sono realizzati.

La risonanza delle strutture orizzontali può causare un’amplificazione delle vibrazioni nel campo di frequenze compreso tra 10÷30 Hz. Gli intervalli di frequenza possono contenere il picco dello spettro di vibrazione indotto dalla sorgente, portando a risonanze in grado di generare disturbo (Figura 3.4). Nel presente studio si è assunto un valore medio per la luce dei solai pari a 5m.

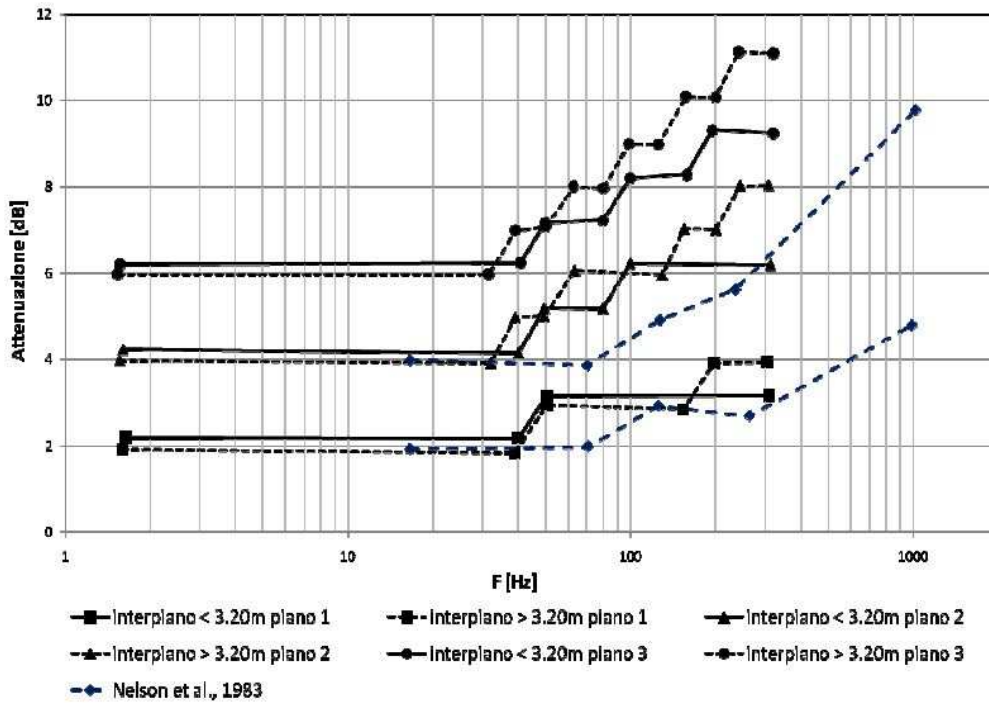


Figura 3.3

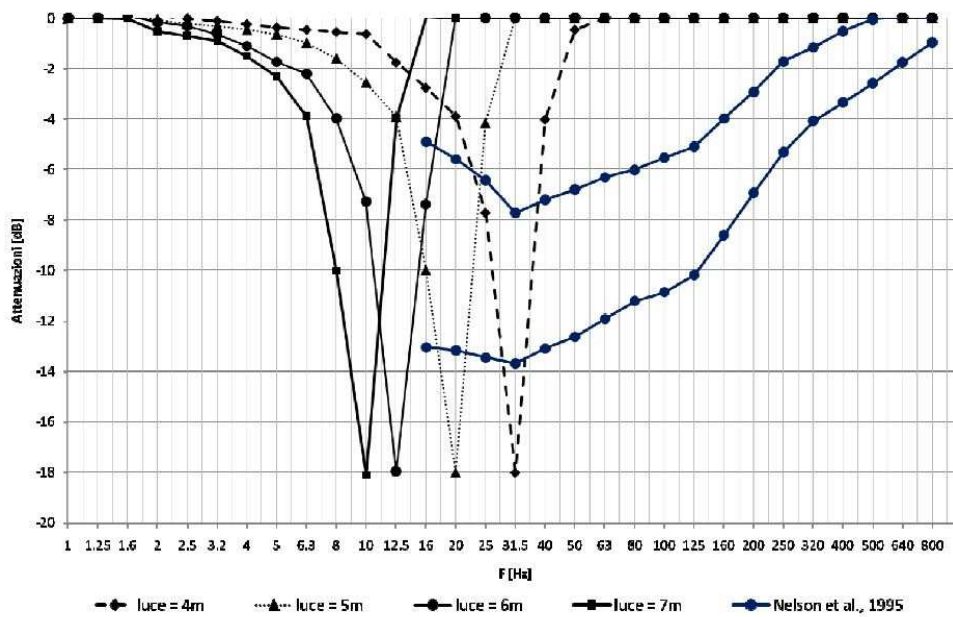


Figura 3.4

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito					
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">31/05/2012</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	31/05/2012
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	31/05/2012						

3.1.2.4 Rumore solido

Il rumore solido all'interno degli edifici è il risultato delle onde di pressione acustica irradiate dalle superfici della stanza (pareti, pavimento e soffitto) in vibrazione. La stima del rumore solido indotto viene generalmente effettuata attraverso relazioni empiriche calibrate su dati di bibliografia, osservazioni sperimentali dirette o condotte in situazioni analoghe. Tali relazioni esprimono il livello di rumore solido in funzione del livello vibratorio in termini di accelerazione o velocità e prendono generalmente la forma:

$$L_p(f_j) = L_a(f_j) - 20 \log(f_j) + K$$

dove:

- f_j è la frequenza j -esima dello spettro in 1/3 di ottava;
- $L_p(f_j)$ livello di pressione sonora in dB alla frequenza f_j in Hz;
- $L_a(f_j)$ livello di accelerazione in dB alla frequenza f_j ;
- K una costante espressa in dB, funzione delle condizioni locali (ampiezza della stanza, coefficienti di riflessione e assorbimento delle superfici ecc.) da determinarsi sulla base dei dati sperimentali.

Il livello di rumore solido ottenuto dalla relazione sopra riportata, per poter essere confrontato con i limiti di normativa, deve essere ponderato secondo le curve di percezione (curva A).

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

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

dove:

- L_p : livello di pressione sonora in dB (0 dB = 20 μ Pa)
- L_a : livello di vibrazione di accelerazione all'orizzontamento in dB
- f : frequenza per bande a terzi di ottava in Hz

La norma NT ACOU 033, che definisce i criteri di misura in laboratorio dell'efficienza di radiazione di un divisorio, riporta una formula approssimata analoga a quella precedentemente indicata:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

$$L_p = L_a - 20 \cdot \log(f) + 17,2$$

La relazione fornisce valori attesi che vanno interpretati tenendo presente la natura della formulazione stessa, che ovviamente non può tenere conto delle specifiche caratteristiche di ogni distinto locale (alfa di sabine medio, la presenza di finestrate di notevole ampiezza, ecc.).

Inoltre occorre considerare che la presenza di componenti vibratorie particolarmente basse (10-30 Hz) potrebbe introdurre anche altre sorgenti di rumore connesse con fenomeni di micro-urti tra oggetti nel locale quali stoviglie e suppellettili non particolarmente stabili.

Da ultimo si sottolinea che la relazione precedente si riferisce ai livelli sonori indotti negli edifici come effetto delle vibrazioni originate dalla sorgente considerata. Pertanto i livelli acustici globali rilevabili all'interno degli edifici, che sono ovviamente influenzati da altre sorgenti di rumore, possono differire significativamente dai valori stimati.

Il livello di rumore solido è da confrontare con il rumore di fondo minimo presente nell'edificio (di notte con finestre chiuse) per valutare il differenziale tra tali livelli sonori.

3.1.2.5 Risposta dei serramenti al rumore a bassa frequenza

Le emissioni di rumore a bassa frequenza sono tipicamente determinate dai motori diesel delle macchine di cantiere e dei gruppi elettrogeni. In specifiche situazioni la propagazione può riguardare onde stazionarie a bassa e bassissima frequenza che sono in grado di immettersi nello spazio abitativo e di determinare fenomeni vibro-acustici nei serramenti.

Il comportamento vibro-acustico di un serramento esterno è strettamente legato a quello della lastra di vetro di cui è costituito. A riguardo la Norma UNI 7170-73 introduce due grandezze: la frequenza di risonanza naturale f_n e la frequenza di coincidenza f_c .

La frequenza di risonanza naturale f_n si colloca in genere alle basse frequenze (1÷200 Hz) e si verifica quando un suono di pari frequenza incide perpendicolarmente al piano della lastra, con conseguente vibrazione della stessa. Nel caso di vetri piani la frequenza di risonanza è definita dalla seguente espressione:

$$f_n = \frac{(p^2 + q^2)}{S} \frac{\pi h}{4} \sqrt{\frac{E}{3\rho(1 - \varepsilon^2)}} \quad [\text{Hz}]$$

dove:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- S superficie della lastra [m²],
 h spessore della lastra [m],
 E modulo di elasticità [Kg/m²],
 r densità [Kg/m³],
 □ coefficiente di Poisson,
 p, q numeri interi che rappresentano il modo di vibrazione (per il modo fondamentale di vibrazione assumono il valore unitario).

Nel caso di vetri classici ($E = 72 \text{ GN/m}^2$, $r = 2500 \text{ Kg/m}^3$, $e = 0,22$), la frequenza di risonanza naturale può essere così determinata:

$$f_n = (p^2 + q^2) \frac{5000h}{S} \quad [\text{Hz}]$$

In presenza di vetri doppi si considerano due frequenze naturali di risonanza: quella legata al pannello nel suo complesso (lastra+intercapedine+lastra) e quella legata all'intercapedine d'aria stesso. Nel caso di vetri classici, tali frequenze sono rispettivamente così definite:

$$f_n = 840 (p^2 + q^2) \sqrt{\frac{1}{100d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad [\text{Hz}]$$

$$f_n = \frac{nc}{2d} \quad [\text{Hz}]$$

- d spessore dell'intercapedine d'aria [m],
 m1 massa areica della prima lastra [Kg/m²],
 m2 massa areica della seconda lastra [Kg/m²],
 c velocità del suono di 344 [m/s],
 p, q e n indicano numeri interi che rappresentano il modo di vibrazione.

La frequenza di coincidenza f_n si colloca in genere alle frequenze medio-alte (oltre 2 KHz). Essa è legata all'omonimo fenomeno, il quale si verifica quando la lunghezza d'onda di un'onda sonora incidente coincide con la proiezione della lunghezza d'onda delle vibrazioni flessionali della lastra lungo la direzione di propagazione delle onde sonore. Anche tale fenomeno è accompagnato da vibrazione della lastra. A differenza della frequenza di risonanza, la frequenza di coincidenza non dipende dalla superficie ma è funzione della densità, del modulo elastico e delle spessore dei

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

materiali impiegati. Nel caso di vetri classici tale grandezza è così definita:

$$f_c = \frac{12}{h} \quad [\text{Hz}]$$

dove h è lo spessore della lastra [m].

Sulla base di tali premesse è logico prevedere che il fenomeno vibratorio dei vetri possa sussistere come conseguenza di natura acustica contestuale alle immissioni sonore di alcune macchine operatrici caratterizzate da livelli di pressione sonora energeticamente significativi alle basse frequenze (escavatori, betoniere, kelly, ecc.), qualora le onde sonore possiedano frequenze coincidenti con le frequenze naturali dei vetri e qualora il fenomeno sia di durata tale da eccitare i vetri. I riscontri sperimentali suggeriscono particolari attenzioni ai gruppi elettrogeni perchè la presenza di tubi di scappamento alti (richiesti per una migliore diffusione in atmosfera dei fumi) può determinare l'immissione di onde stazionari a bassissima frequenza. In queste condizioni è verosimile che i vetri entrino in risonanza, vibrino ed emettano all'interno del locale un rumore avente le medesime frequenze. Trattandosi di basse frequenze, la sensazione sonora conseguente è un "rombo".

3.1.3 Emissioni di riferimento

3.1.3.1 Macchine e attrezzature di cantiere

Le emissioni di vibrazione in fase di costruzione sono ampiamente variabili in relazione al tipo di attrezzatura/macchina operatrice impiegata, al contesto di utilizzazione e all'operatore. Nel presente studio sono stati utilizzati sia dati di fonte bibliografica sia dati direttamente acquisiti nel corso di misure svolte in cantieri di grandi opere realizzate in Italia.

Per quanto riguarda i dati bibliografici, è stato in particolare utilizzato il volume L.H. Watkins - "Environmental impact of roads and traffic" - Appl. Science Publ., che alle pagine 231-241 riporta una serie di dati sperimentali sull'emissione di vibrazioni da parte di svariati tipi di macchine da cantiere, utilizzate nelle costruzioni stradali e ferroviarie. Da tale raccolta di dati sono stati estratti gli spettri di emissione delle macchine riportate nella Tabella 3.4. La Figura 3.5 e la Figura 3.6 riportano gli spettri di emissione tra 1 Hz e 80 Hz per alcune delle sorgenti contenute in tabella, misurati alla distanza indicata dalla sorgente, con sovrapposta la curva limite di percettibilità secondo UNI 9614. In Tabella 3.5 si riportano invece alcuni dati sperimentali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Macchina/Attrezzatura	Distanza	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1 Camion da cantiere	10	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0.12	0.15	0.29	0.5	1.67	1.85	2.5	6	5.5	5.2	4
2 Camion ribaltabile	10	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0.23	0.41	0.5	0.6	1.1	2.99	9	3.9	3.3	4	10	8
3 Rullo compattatore vibrante	10	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8	0.7	0.8	1.1	1	2	1.55	6	29	3	1	1.6	2
4 Rullo compattatore (non vibrante)	10	0	0	0	1.6	1.7	2	0.85	5.8	11	18	20	40	20	4	12	7	3.7	3.7	5	4
5 Pala gommata carica	10	0	0	0	0.41	0.41	0.41	0.48	0.52	0.50	0.76	1.10	1.25	2	3	17	17	7.8	15	14	7.8
6 Pala gommata scarica	20	0	0	0	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.4	1.2	0.9	1.75	1.26	2	5.2	2.6	1.6	1.6	1.5	2
7 Ruspa cingolata piccola	10	0	0	0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.4	1.6	3.2	4.2	8	6	18	24	16	10	9	6	5.5

Tabella 3.4 Spettri di accelerazione in mm/s² (Dati letteratura)

Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	
Scapitozzatura – distanza di riferimento 2 m																					
dB	58.1	55.3	61.9	67.2	62.1	49.2	48.6	47.2	50.4	49.5	58.3	48.0	55.1	67.8	66.8	88.5	81.3	102.4	116.8	106.2	
Perforazioni con sonde – distanza di riferimento 3 m																					
dB	77.1	62.2	74.6	74.5	76.9	66.4	63.3	62.6	70.9	75.3	83.7	81.8	92.0	84.8	89.1	99.6	96.0	109.2	101.6	107.9	
Compattazione – distanza di riferimento 2 m																					
dB	74.9	77.5	75.8	75.0	76.2	77.8	76.3	76.7	77.7	79.2	81.9	96.2	91.0	82.6	96.1	90.6	104.0	97.4	97.6	96.1	

Tabella 3.5 Spettri di accelerazione in dB (Dati sperimentali)

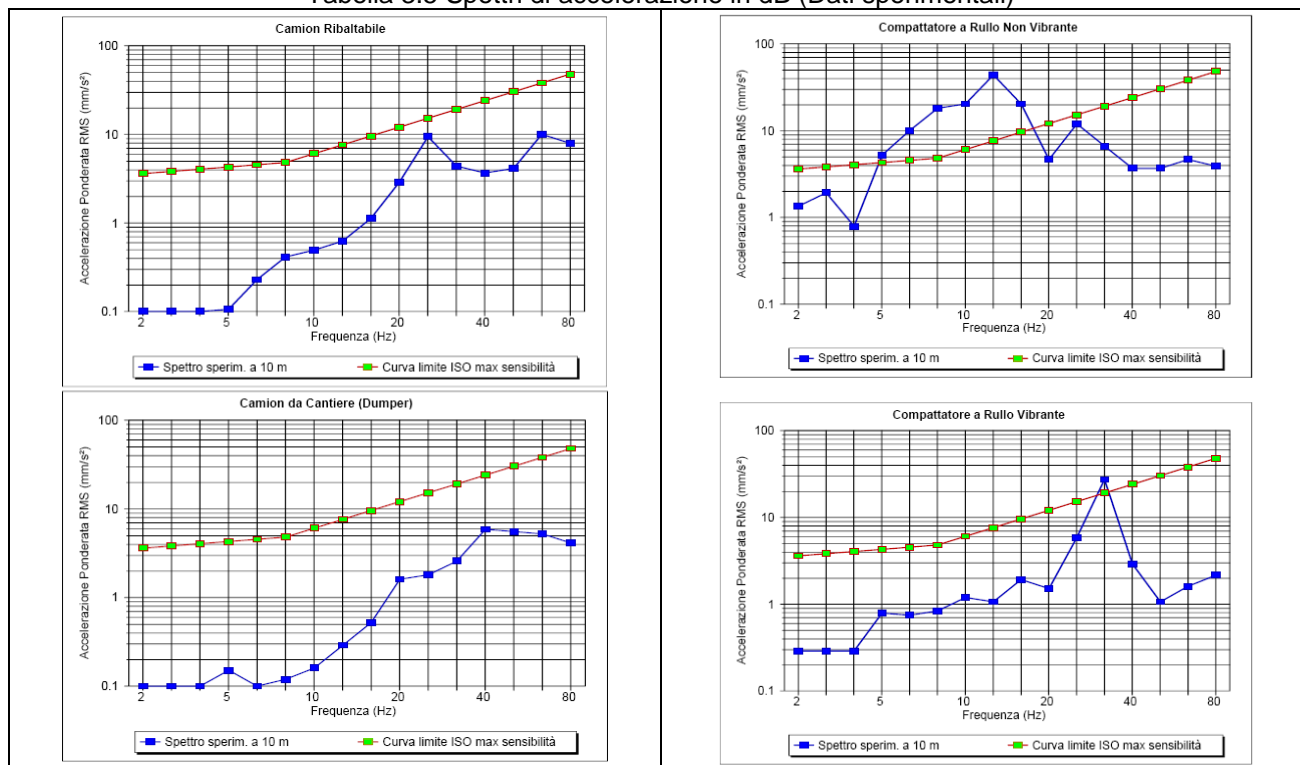


Figura 3.5 Spettri di accelerazione

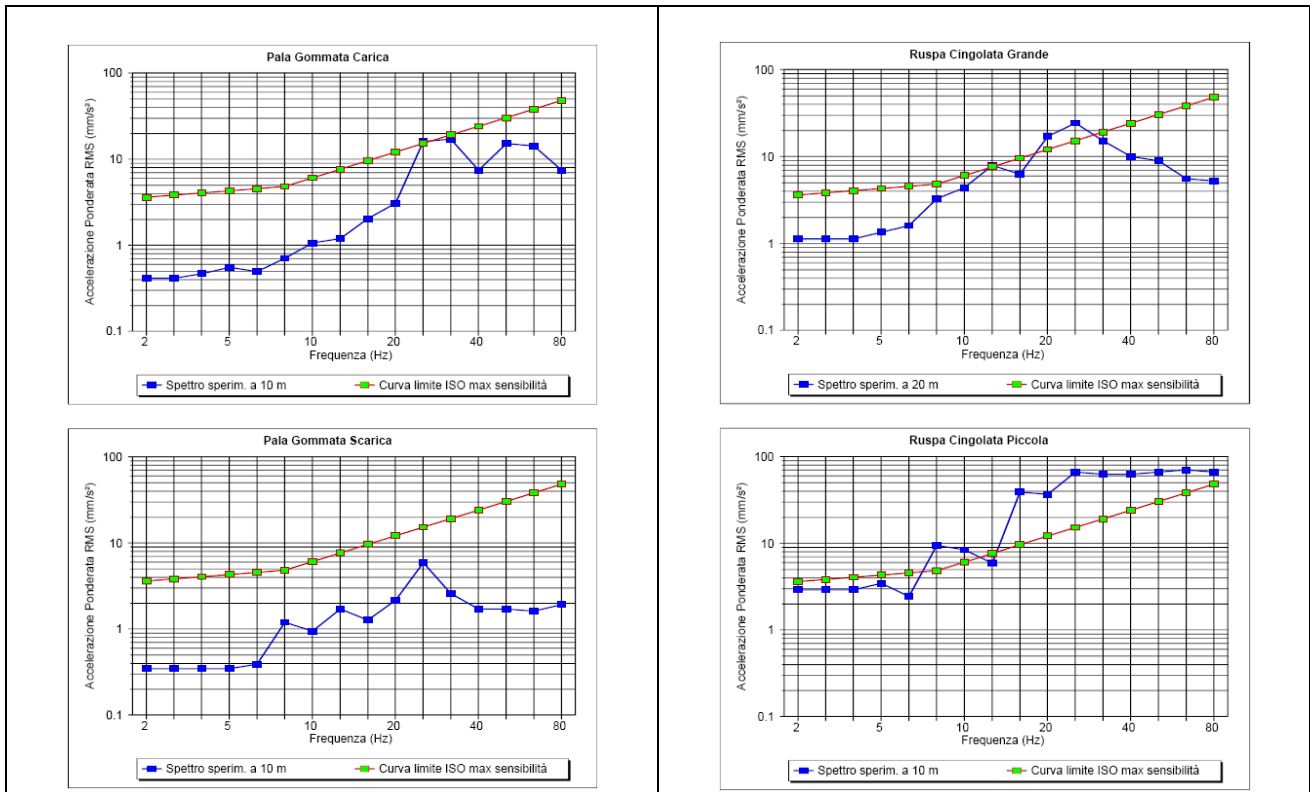


Figura 3.6 Spettri di accelerazione

Le attività necessarie per la realizzazione delle stazioni della linea ferroviaria sul versante della Sicilia prevedono l'impiego di idrofresa per lo scavo delle paratie e di un gruppo dissabbiatore per il trattamento del fluido di perforazione.

Per gli scavi con idrofresa (Figura 3.7) il cui utensile di scavo è a rotazione, non sono in generale rilevabili vibrazioni significative in termini di disturbo per gli abitanti, a meno di eventi isolati riconducibili all'attraversamento di livelli geologici cementati o consolidati.

Il dissabbiatore (Figura 3.8) è dotato di pompe per il ricircolo dei fanghi localizzate generalmente in corrispondenza del basamento e contiene nella parte superiore i vibrovagli destinati al materiale fine e alla ghiaia. I vibrovagli sono dotati di smorzatori a molla che attuano una efficace azione di contenimento delle vibrazioni trasmesse al basamento e da qui al terreno e agli edifici circostanti.

La Figura 3.9 evidenzia i rilievi di vibrazione svolti su basamento di dissabbiatore in esercizio e lo spettro di accelerazione equivalente e massimo rilevato. La massima energia è localizzata nel campo compreso tra 16-63 Hz e include pertanto le frequenze tipiche di risonanza dei solai di civile abitazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

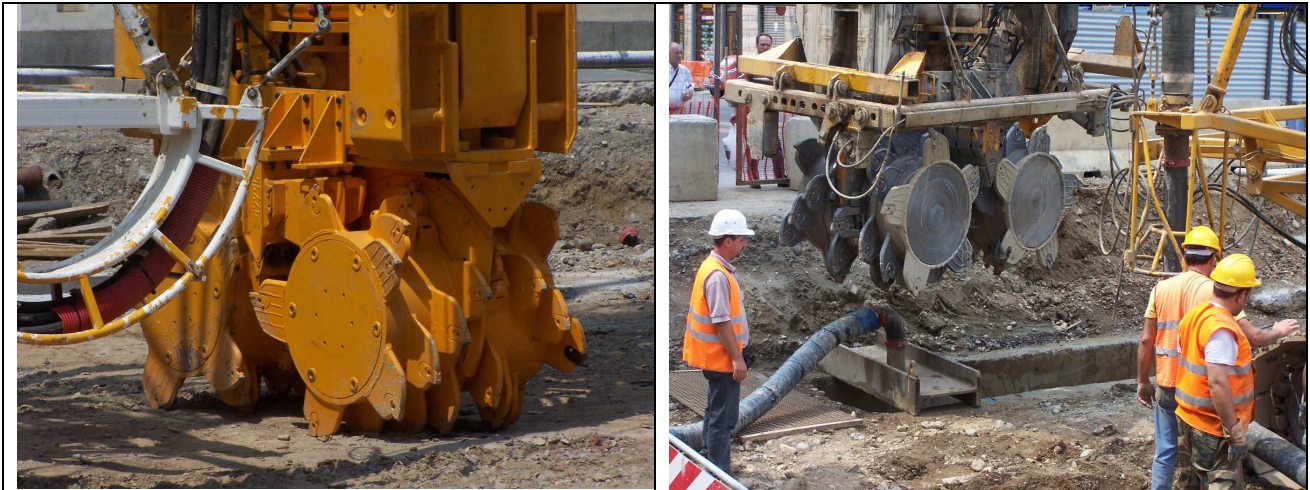


Figura 3.7 Idrofresa per scavo paratie di stazione

I casi in cui queste vibrazioni possono determinare disturbo ai residenti o alle attività prossime all'installazione sono rari. Per prudenza, in particolare per le installazioni nelle aree di cantiere delle stazioni SS1, SS2 e SS3 più vicine alle case, il basamento può essere gettato su uno strato in sabbia e possono essere aggiunti opportuni smorzatori alla base delle colonne di sostegno dell'impianto.

Infine, la Figura 3.10 riporta le emissioni di vibrazioni determinate dalla fase di massimo impatto vibrazionale che si incontra nella realizzazione di una stazione, consistente nella fase di scapitozzatura della testa delle paratie. Sono attività che nelle aree urbane vengono generalmente svolte anche a pochi metri dai fronti edificati (5-10 m).

A 2.5 m di distanza dalla lavorazione vengono raggiunti livelli di accelerazione sull'evento prossimi a 100 dB e velocità di picco dell'ordine di 1.9 mm/s che in ambiente abitativo, pur considerando le attenuazioni dovute alla distanza e al disaccoppiamento delle fondazioni, possono risultare superiori ai valori limite UNI9614 degli ambienti industriali.

In presenza di situazioni di rischio segnalate dai testimoniali di stato, ad esempio in merito a stati fessurativi e lesioni pregresse determinate da debolezze strutturali, o nei casi di fabbricati a minima distanza dai lavori, la demolizione con attrezzi impattivi può essere sostituita con attrezzi fresanti o altri sistemi analoghi di minore impatto.



Figura 3.8 Vibrovagli dissabbiatore

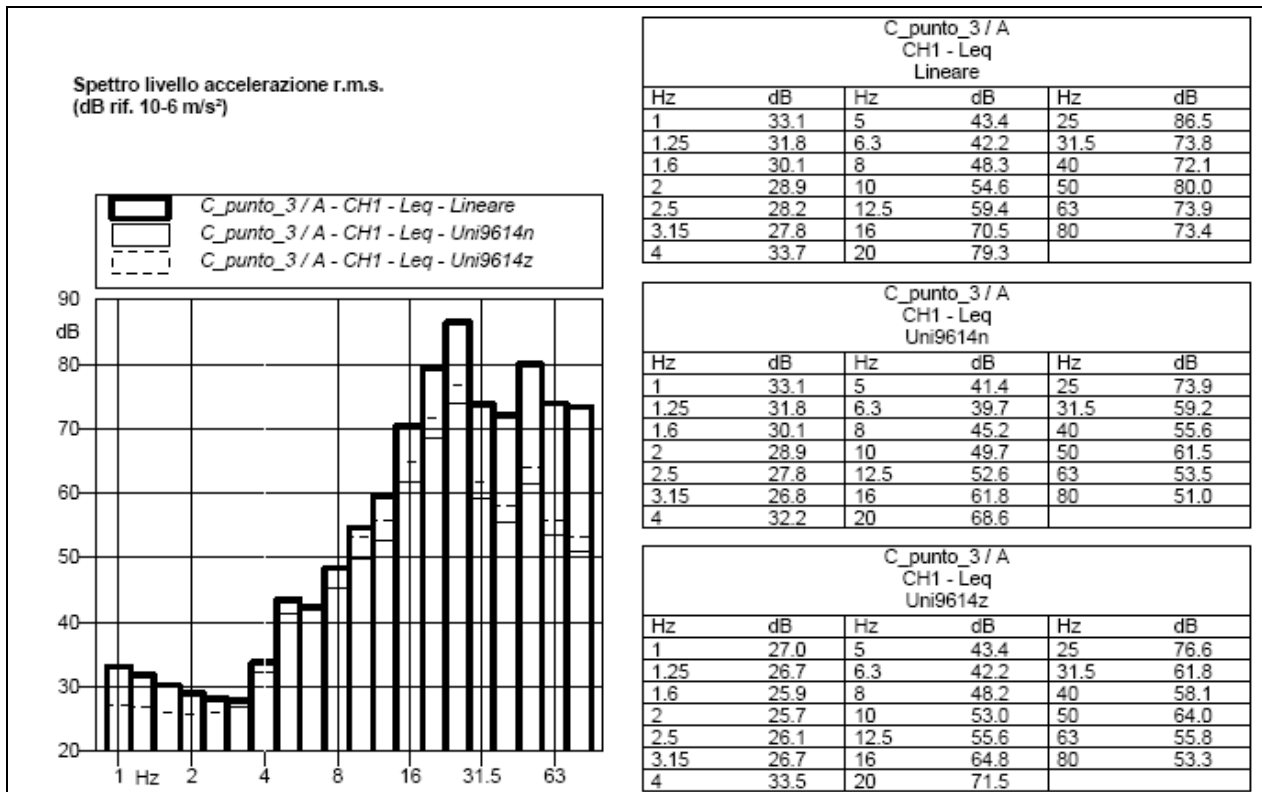


Figura 3.9 Spettro di accelerazione dissabbiatore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> <i>AMV0485_F0.doc</i>		<i>Rev</i> <i>F0</i>
				<i>Data</i> <i>31/05/2012</i>

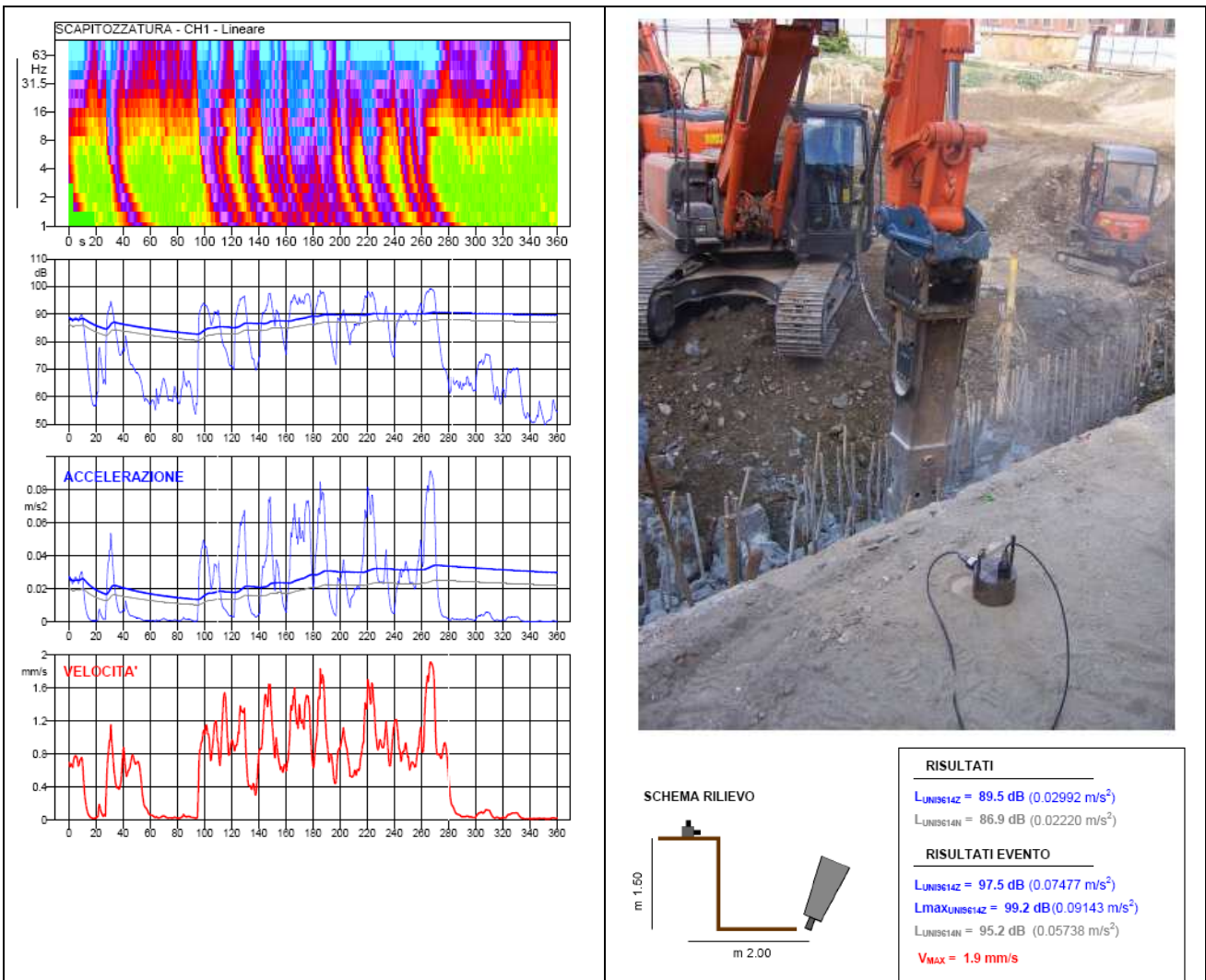


Figura 3.10 Scapitozzatura paratie

Per le tre fasi di lavorazione dalle quali possono derivare immissioni vibrazionali significative in termini di disturbo in prossimità delle aree di cantiere e lungo i fronti avanzamento lavori:

- perforazioni con sonde;
- scapitozzatura;
- compattazione sottofondo stradale e ferroviario.

a partire dagli spettri di emissione riportati in Tabella 3.5 e sulla base del modello previsionale precedentemente descritto (paragrafo 3.1.2), sono stati calcolati i decadimenti dei livelli di impatto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

in funzione della distanza.

La stima del livello di vibrazione immesso nell'edificio in funzione della distanza della fondazione dalla sorgente ha considerato cautelativamente valori minimi di perdita di accoppiamento terreno-fondazione (edifici in c.a.). Il livello di accelerazione stimato ponderato per posture non note, è stato confrontato con il limite di disturbo indicato dalla normativa di riferimento UNI9614 per le abitazioni di giorno e per le aree critiche, nell'ipotesi che le lavorazioni siano limitate al periodo diurno. In caso di attività nel periodo notturno il limite da considerare sarà inferiore di 3 dB.

In particolare, in merito alla lavorazione di perforazione con sonde, si stimano livelli di accelerazione oggettivamente disturbanti per le persone per distanze fondazione-sorgente fino a 15 m nel caso di abitazioni e a 20 m per le aree critiche (Figura 3.11).

La fase di lavorazione relativa alle demolizioni/scapitozzature di strutture in cemento armato determina livelli di accelerazione oggettivamente disturbanti per le persone per distanze fondazione-sorgente fino a 5 m nel caso di abitazioni e a poco meno di 10 m per le aree critiche (Figura 3.12).

Le attività che necessitano invece l'impiego di rulli per la compattazione dei sottofondi stradali o ferroviari determinano livelli di impatto significativi e disturbanti fino a 20 m per le abitazioni, risultando pertanto una lavorazione critica per tutto l'ambito di studio (Figura 3.13).

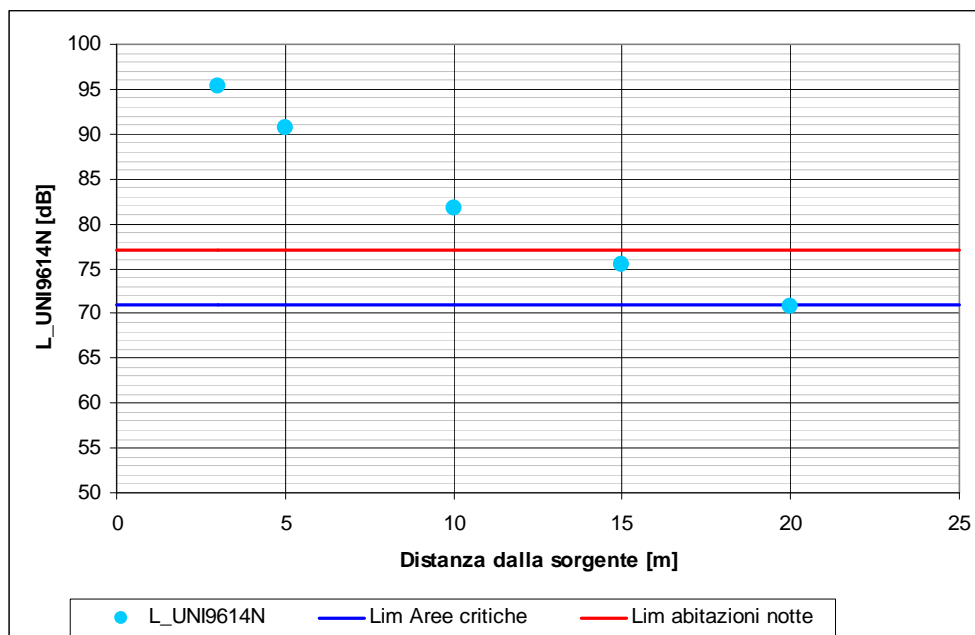


Figura 3.11 PERFORAZIONE CON SONDE - Decremento dei livelli di disturbo in funzione della distanza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

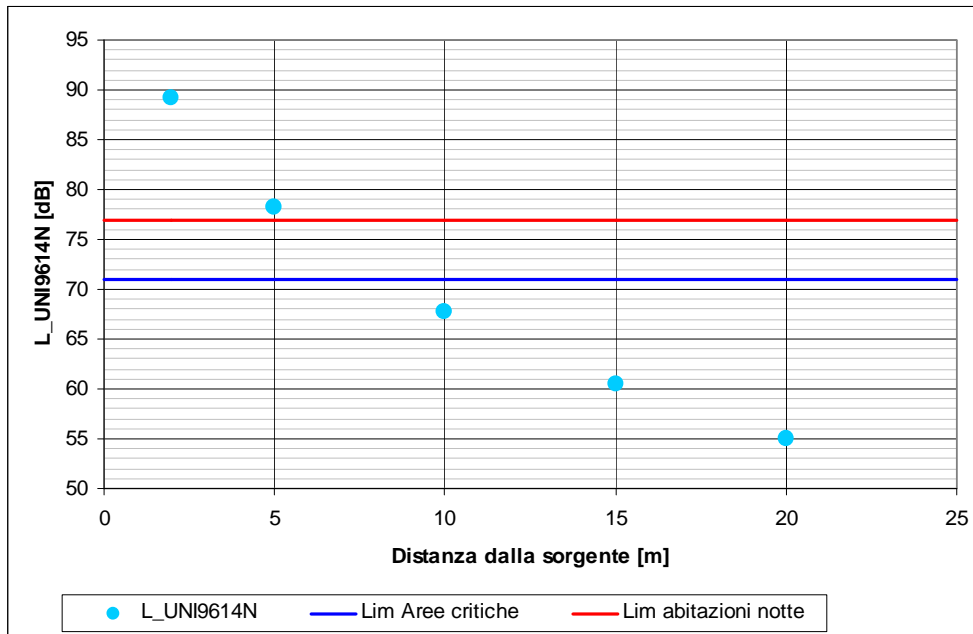


Figura 3.12 SCAPITIZZATURA - Decremento dei livelli di disturbo in funzione della distanza

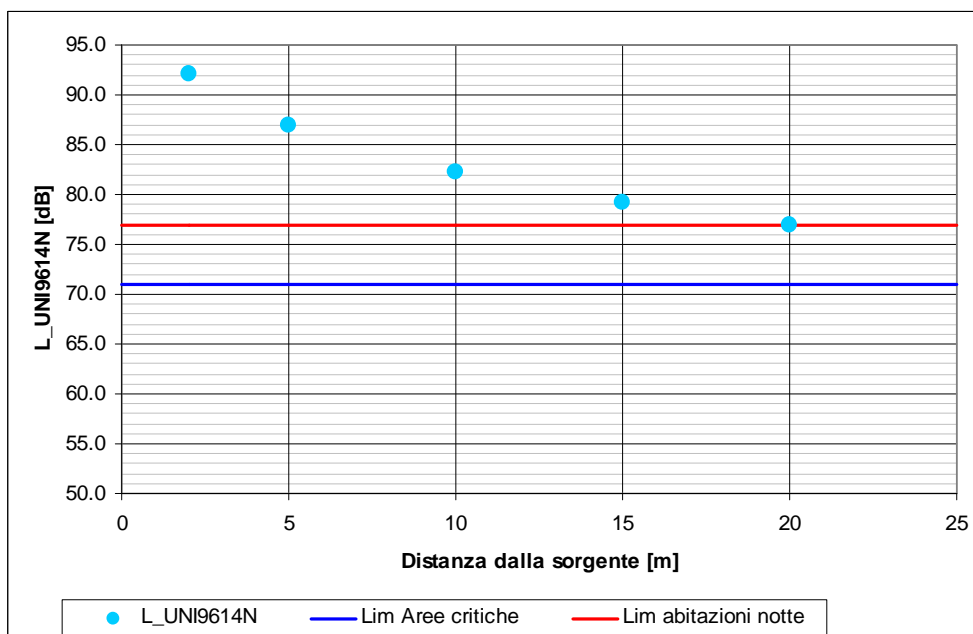


Figura 3.13 COMPATTAZIONE - Decremento dei livelli di disturbo in funzione della distanza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

In relazione alle immissioni di rumore all'interno delle abitazioni per trasmissione solida, occorre far riferimento al DPCM 14.11.97, art. 4, sul rispetto del limite differenziale in ambiente abitativo:

1. I valori limite differenziali di immissione, definiti all'art. 2, comma 3, lettera b), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, sono: 5 dB per il periodo diurno e 3 dB per il periodo notturno, all'interno degli ambienti abitativi. Tali valori non si applicano nelle aree classificate nella classe VI della tabella A allegata al presente decreto.
2. Le disposizioni di cui al comma precedente non si applicano nei seguenti casi, in quanto ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile:

a) se il rumore misurato a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;

b) se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.

Considerando che le lavorazioni relative a perforazioni, demolizioni e compattazione sottofondi verranno svolte esclusivamente in periodo diurno, fatta salva la possibilità di richiedere deroga al comune, le vibrazioni determinate dalle attività di cantiere non devono generare immissioni di rumore solido superiori a 35 dBA a finestre chiuse nel periodo diurno.

Nella Tabella 3.6 è indicata la distanza dalla sorgente oltre la quale il livello di rumore solido stimato in ambiente abitativo può essere considerato trascurabile. E' immediato constatare che in concomitanza di livelli di vibrazione disturbanti per le persone siano presenti anche livelli di rumore in ambiente abitativo non trascurabili.

Lavorazione	Distanza limite [m]	Limite DPCM 14.11.97 [dBA]
MICROPALI	16	35
DEMOLIZIONI	12	35
COMPATTAZIONE	14	35

Tabella 3.6 Distanza sorgente-ricettore oltre la quale il rumore solido è inferiore a 35 dBA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

3.1.3.2 Scavo con TBM

TBM, acronimo di *Tunnel Boring Machine*, è il nome di un sistema di attrezzature speciali con il quale si opera una meccanizzazione completa delle operazioni di scavo e di rivestimento delle gallerie: ciò consente di avere un approccio costruttivo “industriale” che garantisce elevati livelli di sicurezza e produttività, unitamente al minimo impatto in superficie sia in termini di opere civili che in termini di inquinamento vibro-acustico. Con questa tecnologia si può lavorare in vari tipi di terreno o roccia ed operare con un livello di sicurezza accettabile anche sotto falda.

Una generica TBM (Figura 3.14) è sostanzialmente costituita da:

- una parte anteriore scudata (shield), sulla quale sono posizionati la testa rotante con gli utensili di scavo, il sistema di estrazione dello smarino, un sistema di montaggio conci e sensori vari.
- una parte posteriore (back-up) che corre su un binario di servizio e contiene una serie di impianti e servizi necessari al funzionamento della macchina stessa;
- un sistema per lo smaltimento dello smarino in superficie (normalmente un nastro trasportatore).

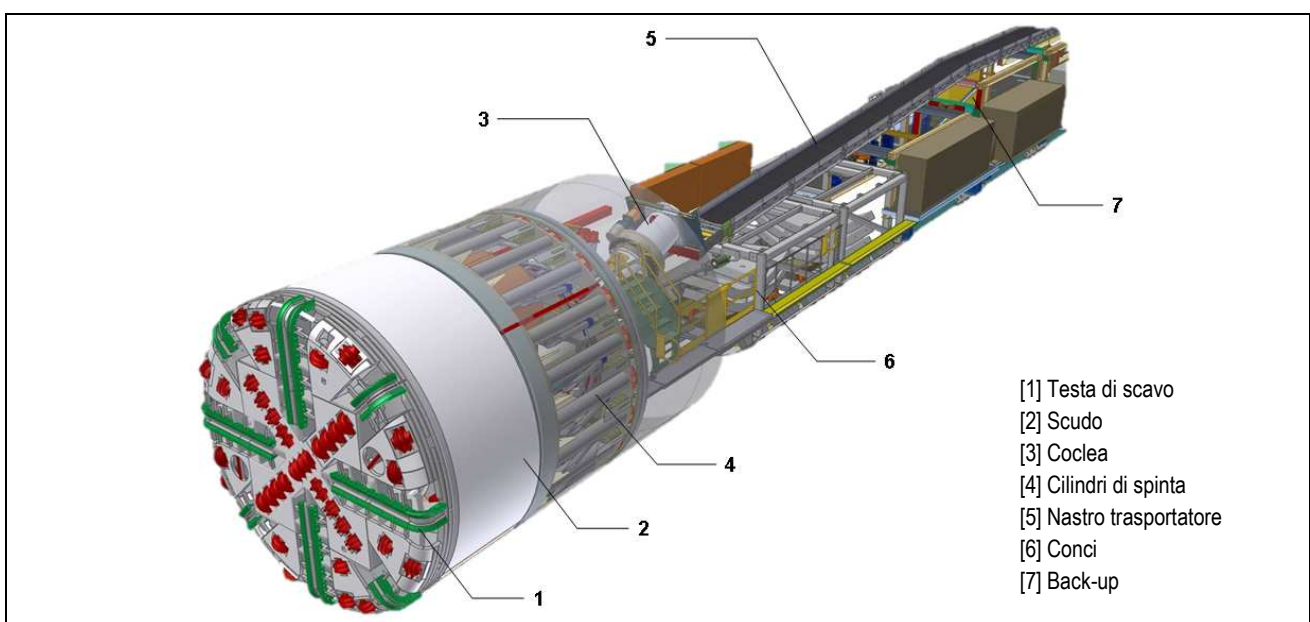


Figura 3.14 Schema generale di una TBM

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

Il principio che regola il funzionamento di una TBM a pressione di terra bilanciata (EPB) consiste nel contrastare la spinta del fronte di scavo mediante la reazione idrostatica esercitata dal terreno scavato stesso. Allentato dal fronte mediante gli utensili montati sulla testa fresante, il terreno va a riempire la camera di pressione, azionata dai cilindri di spinta, e ne riceve la pressione sufficiente per supportare il fronte di scavo. Il terreno viene poi estratto in maniera controllata dalla camera di pressione mediante una coclea e successivamente allontanato fino all'area di stoccaggio provvisorio ubicata nel cantiere stazione mediante nastro trasportatore.

Le macchine EPB più recenti possono avanzare con due diverse modalità, a fronte chiuso e a fronte aperto. La modalità a fronte chiuso consiste nel riempire completamente la camera anteriore utilizzando il terreno scavato per controbilanciare la pressione del fronte e regimentare l'ingresso delle acque in galleria. L'avanzamento a fronte aperto consiste invece nel procedere con la camera di pressione solo parzialmente riempita di materiale e dunque non viene messa in pressione: questo è un vantaggio dal punto di vista della velocità di avanzamento ma è praticabile solo in rocce stabili ed in assenza di infiltrazioni d'acqua.

Con l'avanzamento a fronte chiuso è possibile esercitare una pressione continua e modulabile al fronte minimizzando l'impatto, in termini tensionali, sull'ammasso circostante. Tale risultato è raggiungibile anche grazie all'immediata posa in opera dei conci di rivestimento in prossimità del fronte di scavo. I conci sono elementi prefabbricati in calcestruzzo, eventualmente fibrorinforzati, che vengono assemblati nella zona posteriore dello scudo e, una volta montati, oltre a diventare elementi di rivestimento definitivo forniscono contrasto ai cilindri di spinta per il ciclo produttivo successivo.

In modalità a fronte chiuso, il controllo della pressione del terreno nella camera di pressione è fondamentale per ottenere un avanzamento ottimale e si esercita agendo su diversi parametri di scavo, tra cui principalmente velocità di avanzamento e condizionamento del terreno. La velocità di avanzamento si regola agendo sulla spinta dei cilindri e sulle velocità di rotazione della testa e della coclea. L'iniezione di schiume e polimeri nel terreno serve a ridurre la permeabilità e a renderlo plastico e lavorabile, al fine di evitare collassi del fronte, minimizzare l'usura degli utensili di taglio e delle parti rotanti e conseguentemente ottimizzare le operazioni di manutenzione. Altrettanto importante è verificare che il volume dello smarino sia sempre uguale al volume teorico di scavo, per prevenire detensionamenti al fronte che potrebbero generare pericolosi collassi in

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

superficie (cosiddetti “fornelli”).

Per definire lo spettro sorgente della TBM che verrà utilizzata negli scavi delle gallerie ferroviarie lato Sicilia sono stati utilizzati i dati rilevati nel corso di indagini sperimentali svolte nell’ambito del PMA dei lavori di costruzione di gallerie a Torino (metropolitana Linea 1) e Bologna (INodo AV).

Caso studio Torino

La galleria di Torino è stata realizzata con una macchina EPB del diametro di 7750 mm, ad una profondità media (nella tratta considerata) di circa 13 metri dal piano di campagna ed attraverso formazioni ghiaiose e sabbiose con gradi di addensamento e cementazione eterogenei.

I dati di accelerazione sono stati rilevati con accelerometri Wilcoxon 799LF associati ad un convertitore A/D NI USB-9233 (frequenza di campionamento di 2000 Hz e filtro passa-basso a 300 Hz). I dati registrati sono stati elaborati con analisi spettrale in bande di 1/3 ottava da 1 a 80 Hz, per ottenere i livelli delle accelerazioni e, per integrazione del segnale, le velocità di picco. Il contenuto in frequenza del segnale ha mostrato un andamento generalmente costante ed il funzionamento della TBM è risultato particolarmente evidente nel campo delle frequenze da 20 a 40 Hz. Tra le componenti della sollecitazione, la più importante è risultata sempre generalmente quella verticale, seguita da quella longitudinale (parallela all’asse scavo) ed infine quella trasversale. Il rapporto segnale-rumore si è mantenuto costantemente su valori superiori a 10 dB.

Lo spettro utilizzato quale sorgente è stato ricavato per regressione numerica dai valori di accelerazione rilevati in superficie, in particolare i livelli medi degli spettri per bande in terzi di ottava integrati su una costante di tempo di 2,5 s,

Come già illustrato nei capitoli precedenti, per calcolare l’attenuazione geometrica e materiale si è impiegato il modello di Kim e Lee , la cui equazione di base è:

$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^n \cdot e^{\frac{-2\pi f \eta (d-d_0)}{c}}$$

in cui η è il fattore di perdita del terreno, d la distanza in metri dalla sorgente, d_0 la distanza di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

riferimento a cui è nota l'accelerazione a_0 , f la frequenza e c la velocità delle onde P. Come ipotesi iniziale, si è considerata la sorgente come puntuale e collocata in profondità. Per il fattore di perdita η si è tenuto conto dei valori proposti da Ungar e Bender è stato assunto il valore di 0,05. Non è stato considerato il caso di terreni stratificati, né la presenza di disomogeneità di vario genere che possono ostacolare o favorire la propagazione delle vibrazioni.

Il modello, con queste ipotesi di base, si è dimostrato sufficientemente in grado di approssimare la risposta del terreno in termini di attenuazione, in modo efficace fino a distanze di 30 metri. Di fatto, questa legge di propagazione mostra una più rapida attenuazione con la distanza. La Figura 3.15 successiva riporta un confronto tra uno spettro in superficie misurato ed uno calcolato applicando la relazione sopracitata.

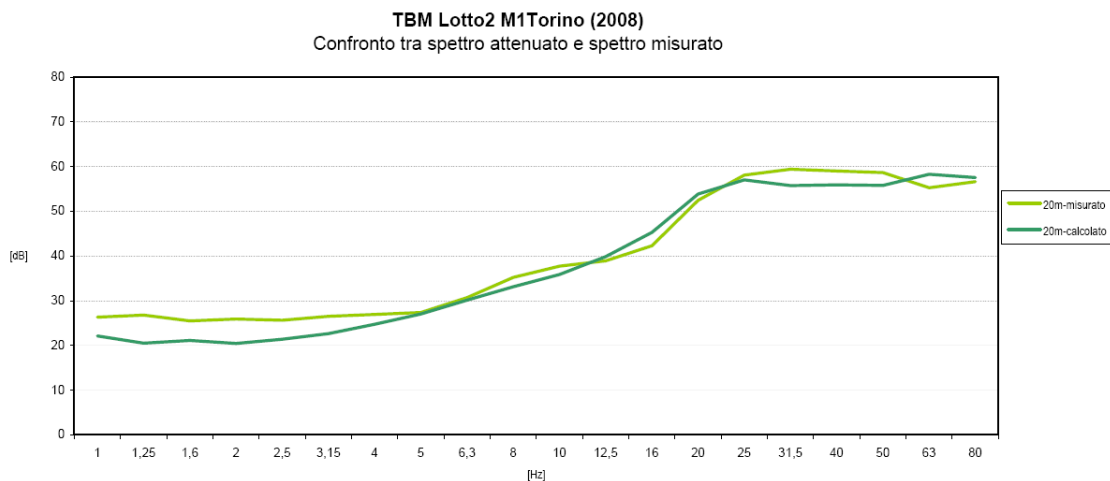


Figura 3.15 Confronto spettro misurato-attenuato mediante l'equazione proposta da Kim e Lee

La Figura 3.16 riporta due registrazioni "tipo", espresse tramite diagrammi di frequenza/velocità di vibrazione sulle 24 ore di misura, in cui sono indicati i valori della distanza tra la progressiva del fronte di scavo a fine giornata e quella di installazione del vibrometro (stimata approssimativamente sulla base della posizione dell'edificio rispetto al tracciato del tunnel) e dalla velocità media giornaliera della fresa TBM nella data della misura. L'analisi delle oltre 850'000 acquisizioni vibrometriche effettuate durante lo scavo della galleria di linea non ha posto in evidenza alcuna correlazione tra le vibrazioni registrate sugli edifici ed il passaggio della fresa TBM. Dall'osservazione delle misure giornaliere si evince inoltre come i valori di picco delle velocità di vibrazione siano generalmente inferiori alle soglie di rischio più cautelative previste dalla normativa vigente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> <i>AMV0485_F0.doc</i>		<i>Rev</i> <i>F0</i>
		<i>Alternative ai siti di deposito</i>		
				<i>Data</i> <i>31/05/2012</i>

Specifiche misure hanno inoltre riguardano un edificio a 3 piani interrati sottopassato dalla linea metropolitana e in particolare il 3° solaio interrato a - 5 m circa dal tetto dello scavo della TBM svolto con fresca scudata caratterizzata da rotazioni della fresa di 2 giri al minuto (0,033 Hz). Le misure sono state svolte con vibrofono triassiale ed hanno riguardato la fase di avvicinamento e di allontanamento della TBM all'edificio.

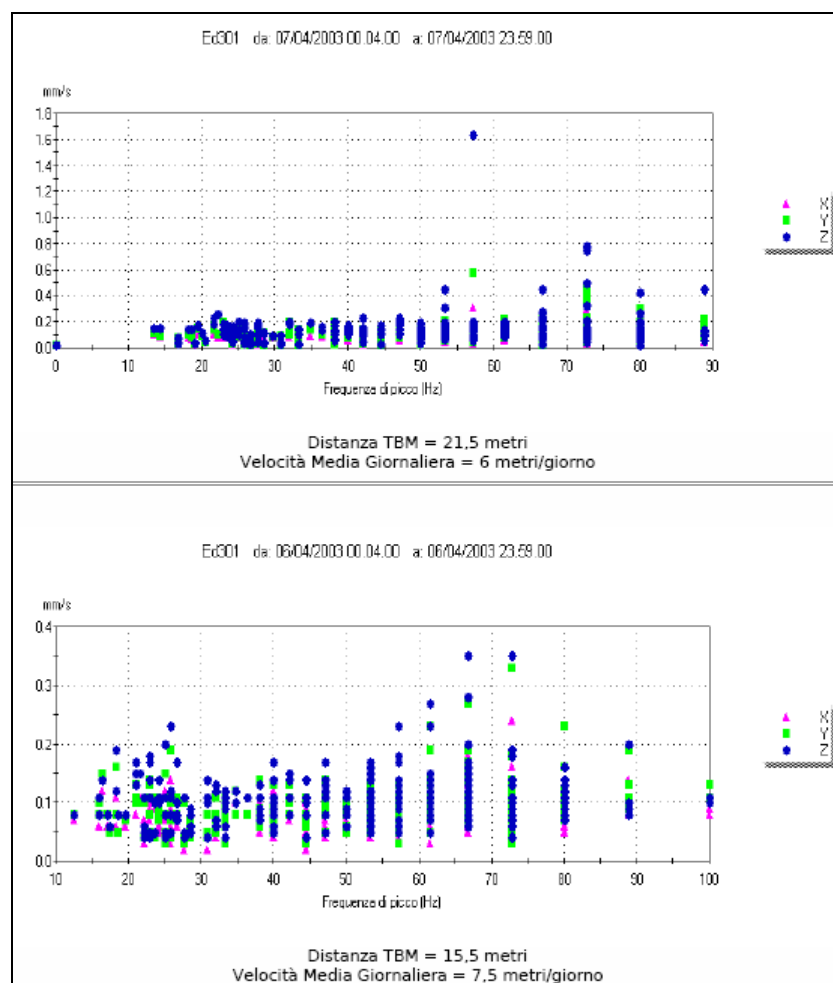


Figura 3.16 Registros "tipo" espresse tramite diagrammi di frequenza/velocità di vibrazione sulle 24 ore di misura, in relazione con l'avanzamento del fronte di scavo

L'analisi dei rilievi (Figura 3.17) ha evidenziato che:

- la componente verticale di velocità V_z (massimo 0,2 mm/s) è minore delle componenti orizzontale V_x e V_y (massimo 0,3 mm/s);

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

- le velocità di picco sono 200 volte inferiori a tutte le frequenze indicate dalla DIN 4150 come valori limite per le strutture più delicate.
- le velocità massima di vibrazione diminuiscono in funzione della distanza dal fronte di scavo secondo leggi di decadimento relativamente semplici.

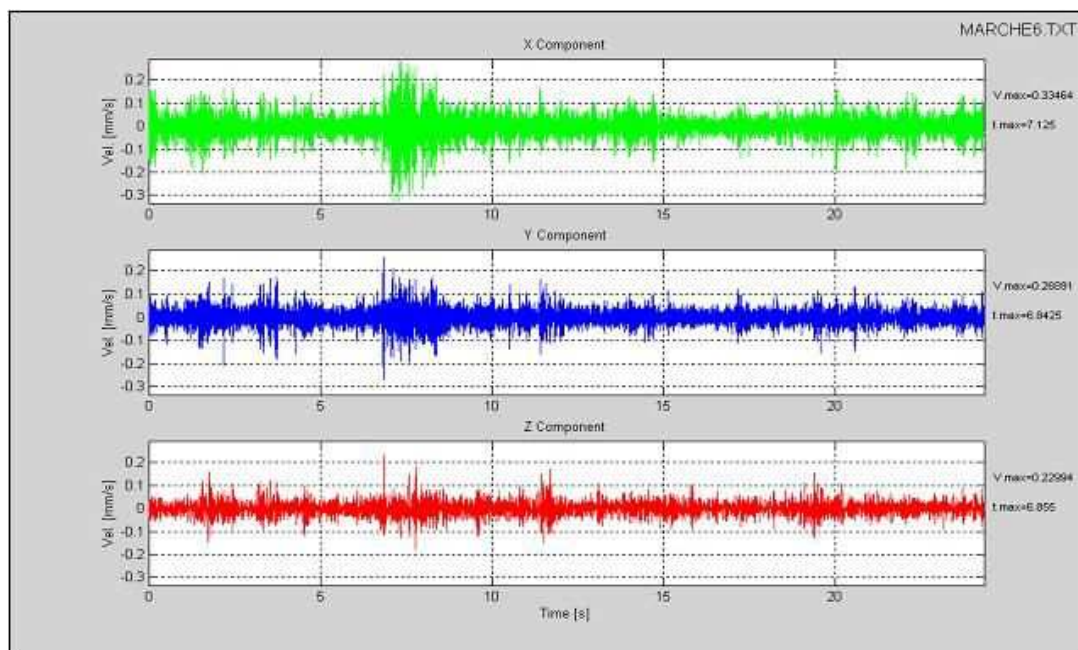


Figura 3.17 Risultati analisi dei rilievi per la realizzazione della metropolitana di Torino durante le fasi di avvicinamento e allontanamento della TBM dall'edificio

Caso studio Bologna

Lo scavo della gallerie a foro cieco con TBM ha riguardato la realizzazione del passante ferroviario AV di Bologna. Nell'ambito del piano di monitoraggio ambientale che ha accompagnato la realizzazione dell'opera sono state svolte nel corso del 2005 specifiche misure di vibrazioni in corrispondenza di 8 ricettori interessati dal fronte avanzamento lavori.

La Figura 3.18 e Figura 3.19 riportano rispettivamente gli spettri dei livelli di accelerazione in corrispondenza dei ricettori, a distanze comprese tra 9-35 m dal fronte di scavo, e gli spettri dei livelli di accelerazione all'emissione determinati per regressione dalle misure di campo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> <i>AMV0485_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>31/05/2012</i>
Alternative ai siti di deposito				

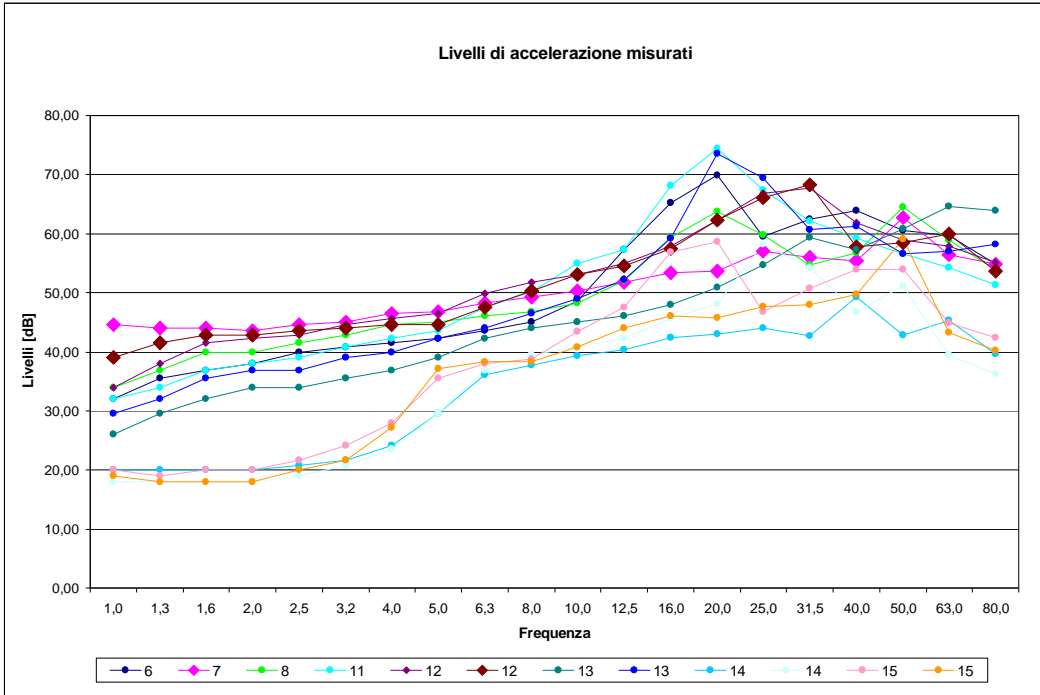


Figura 3.18 Spettro dei livelli di accelerazione misurati in corrispondenza dei ricettori in dB

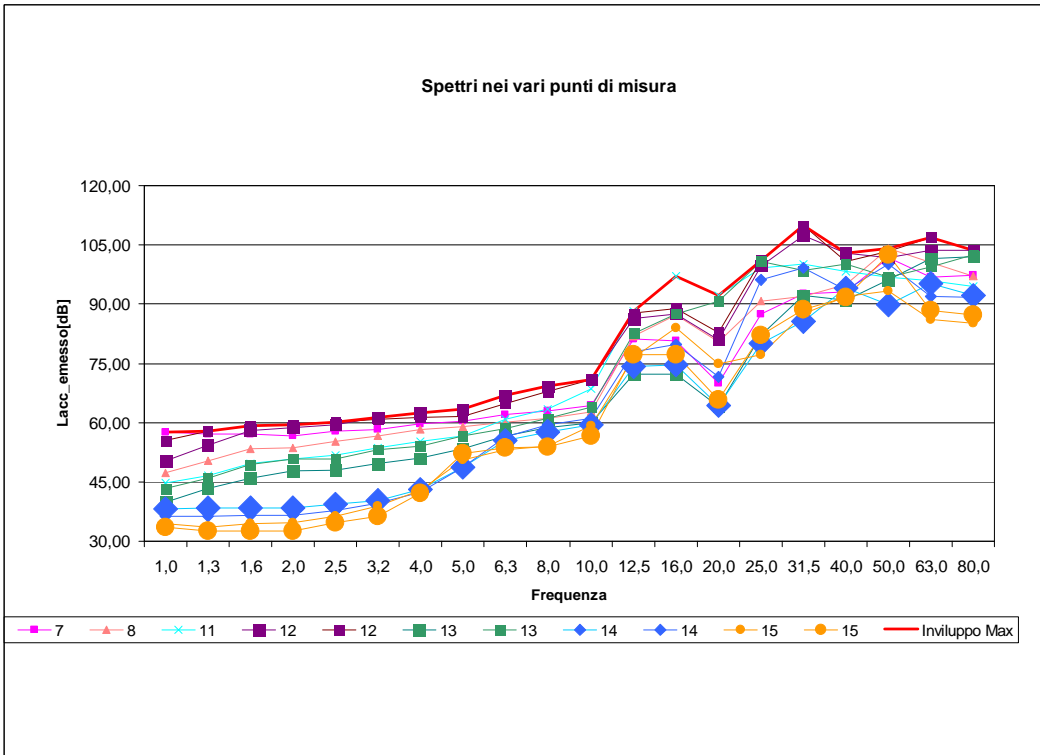


Figura 3.19 Spettro dei livelli di emissione in dB a 5 m

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

3.1.3.3 Scavo in tradizionale

Per tutte le gallerie scavate in tradizionale lato Sicilia e lato Calabria le previsioni di impatto sono state svolte considerando uno spettro sperimentale acquisito nell'ambito del monitoraggio degli scavi delle gallerie della AV Bologna-Firenze (Figura 3.20). I rilievi sono riferiti ad una distanza di 5 m dal fronte di scavo in roccia con martello idraulico HITACHI Mod H 50, con regime di funzionamento 400-900 colpi/minuto. Tali valori, trasposti alla geolitologia delle gallerie dei collegamenti al Ponte sullo Stretto, sono prudenziali per le tratte scavate in materiali caratterizzati da minori densità.

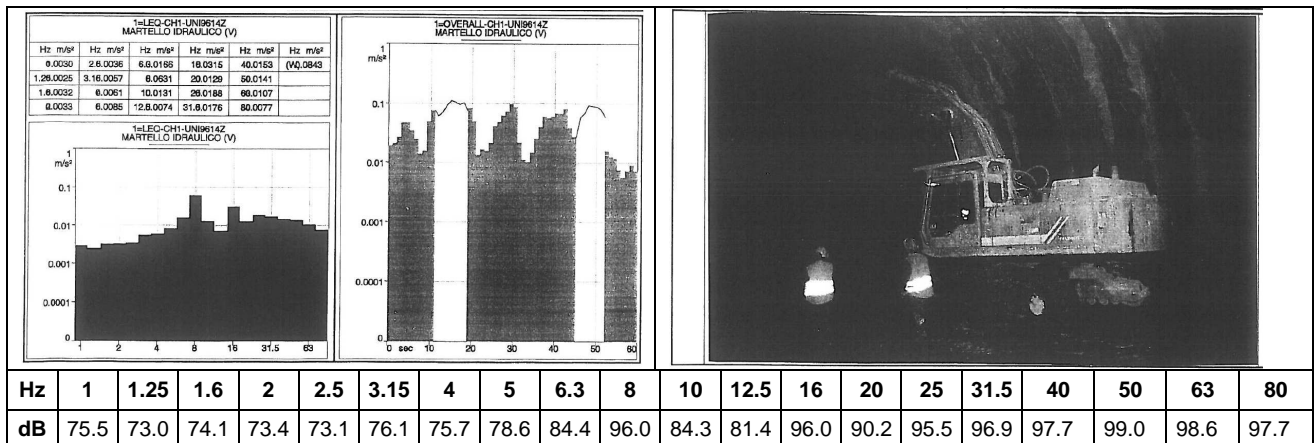


Figura 3.20

3.1.4 Impatti sulla popolazione: evidenze di campo

Le tipologie d'opera dei collegamenti stradali e ferroviari lato Calabria e Sicilia propongono azioni di progetto dominate dagli scavi delle gallerie in naturale. Le restanti opere, pur rilevanti, svolte all'aperto, intervengono con aree di interazione di minore ampiezza e, nel caso delle stazioni della linea ferroviaria lato Sicilia, strettamente limitate al contesto locale.

L'esperienza di monitoraggio su lavori di costruzione simili ha portato all'attenzione le seguenti problematiche di interazione con la popolazione:

- nessun effetto significativo lungo gallerie scavate con TBM anche a distanze di 20-25 m dal fronte di scavo. I soggetti più sensibili avvertono occasionalmente, in periodo notturno, un debole innalzamento di livello alle basse frequenze;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- effetti significativi lungo gallerie scavate con metodi tradizionali, in particolare in rocce e materiali densi, estesi a coperture anche superiori a 100 m. La trasmissione al ricettore delle vibrazioni e del rumore solido interviene con livelli soggettivamente identificabili: le attività di scavo possono causare vibrazioni dei vetri, delle suppellettili, caduta di piccoli oggetti, ecc. e possono manifestarsi uditivamente in modo differenziato da locale a locale all'interno dell'abitazione in relazione alle frequenze proprie di risonanza degli elementi strutturali. Sono rilevabili livelli di rumore in ambiente abitativo di 30-35 dBA con punte, in condizioni critiche, anche superiori a 40 dBA. E' "normale" il superamento del limite differenziale. La Figura 3.21 mostra gli esiti di un rilievo in ambiente abitativo a circa 50 m dal fronte in cui si raggiunge un Leq sull'evento di 35 dBA e livelli massimi di 43 dBA nella fase di scavo del ribasso della galleria con martellone. Questi livelli possono disturbare il sonno. Le categorie di esposizione a rischio coinvolgono tutte le professionalità che svolgono lavori che richiedono la massima concentrazione (chirurghi, ecc.).
- Effetti soggettivamente rilevabili, ma gestibili nell'ambito delle comuni pratiche della gestione ambientale per tutte le attività di costruzione in periodo diurno prossime ai ricettori, quali ad esempio gli scavi, i consolidamenti o le scapitozzature delle paratie di stazione. In questo caso le categorie a rischio sono rappresentate dalle persone che fanno turni lavorativi in periodo notturno o soggetti che, a causa delle condizioni psico fisiche e di salute, amplificano il disagio. Quando emergono questi casi è importante attivare percorsi di "compliance" e di mitigazione mirati sullo specifico caso.

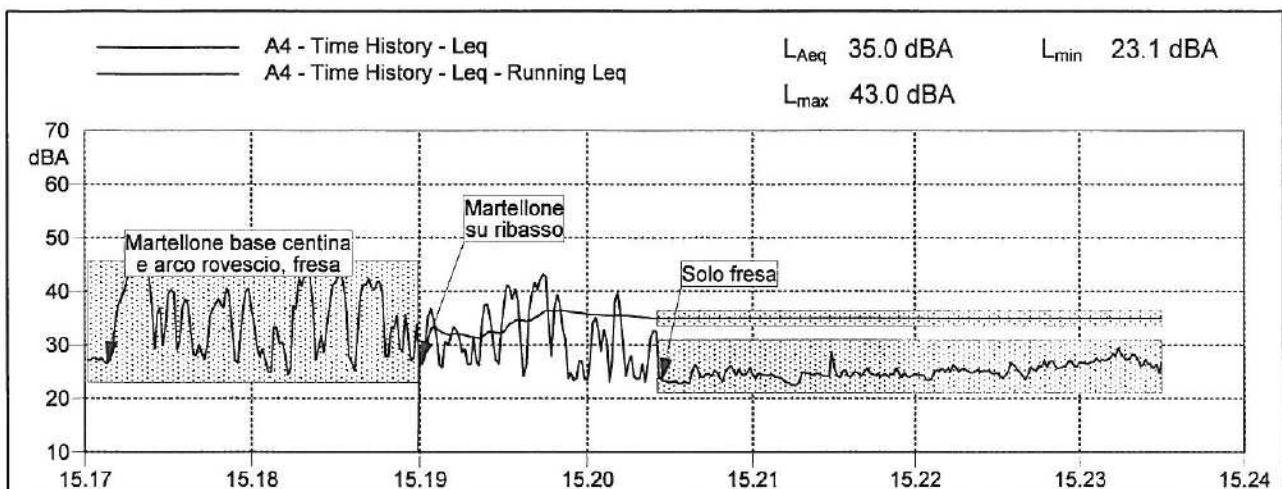


Figura 3.21

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

3.1.5 Previsioni di impatto

L'azione di progetto predominante, in termini di coinvolgimento territoriale e di generazione di vibrazioni in fase di cantiere, riguarda la realizzazione degli scavi in galleria realizzati con metodi tradizionali e con TBM. Le lavorazioni nelle aree dei cantieri industriali e lungo i FAL per le tipologie d'opera viadotto, trincea, rilevato determinano impatti minori e gestibili, nei confronti dei ricettori, nell'ambito delle procedure di gestione ambientale dei cantieri. Sulla base di quanto esposto in precedenza (paragrafo 3.1.3.1) in relazione al decadimento delle sorgenti vibrazionali più significative in funzione della distanza, si segnala la presenza essenzialmente di un ricettore i cui livelli di impatto potranno essere oggettivamente disturbanti, per quanto limitatamente alla durata della lavorazione in prossimità dell'edificio. Di questo ricettore non è stata realizzata una scheda specifica di impatto, ma se ne riporta nel seguito la foto identificativa e alcune informazioni fornite dal censimento.

I valori previsionali di vibrazione lungo i FAL galleria sono stati stimati puntualmente in corrispondenza di ricettori scelti in base ad un criterio di minima distanza dalle sorgenti di emissione, minima copertura rispetto alla calotta delle gallerie, sensibilità strutturale alle vibrazioni, sensibilità in relazione alle attività svolte (ospedali, laboratori, ecc.). Le schede di sintesi dei ricettori sono contenute nell'elaborato "Allegato - Schedatura verifiche di impatto".

I ricettori oggetto di verifica vibrazionale sono inoltre stati riportati nelle tavole "Calabria-Loc. e tipizzaz. ricettori in aree di interf. corridoi infrastr e cantieri" e "Sicilia-Loc. e tipizzaz. ricettori in aree di interf. corridoi infrastr e cantieri".

La schedatura di previsione di impatto contiene, per ogni ricettore (identificato da codice e indirizzo), le seguenti informazioni:

- a) Tipologia sorgente di emissione considerata nei calcoli
- b) Geolitologia
- c) Sintesi caratteristiche edificio
- d) Previsione di impatto vibrazionale

Gli aspetti geolitologici sono brevemente descritti considerando gli strati di terreno interposti tra il ricettore e la sorgente di vibrazioni. Le caratteristiche dell'edificio sono così organizzate:

- Progressiva chilometrica del ricettore rispetto al tracciato stradale o ferroviario

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- Distanza orizzontale dalla sorgente all'edificio (distanza minima)
- Distanza verticale della sorgente rispetto al piano campagna
- Destinazione d'uso del ricettore
- Numero di piani fuori terra
- Numero di piani interrati
- Tipologia di struttura
- Stato di conservazione
- Note

La previsione di impatto sono sintetizzate tramite lo spettro di accelerazione in dB asse Z tra 1 Hz e 80 Hz e sono relative al primo orizzontamento. Al grafico seguono:

- Limite UNI 9614 assi combinati.
- Valore equivalente di accelerazione calcolato.
- Interventi di mitigazione, qualora previsti.

3.1.5.1 Versante Sicilia

Scavo gallerie ferroviarie

Le verifiche dei livelli di vibrazione prodotti in fase di scavo delle gallerie a foro cieco con TBM sono state svolte in corrispondenza di un campione composto da 161 ricettori. L'analisi previsionale è stata svolta utilizzando lo spettro di accelerazione massimo derivato dal monitoraggio vibrazionale del passante AV di Bologna. Per tre ricettori, ME1038, ME1022 e ME1002 sono stati stimati livelli di vibrazione superiori alla soglia di sensibilità e, limitatamente a ME1002 (Viale Italia), a distanza di circa 13 m dal fronte di scavo, un livello superiore al limite UNI9614 in periodo notturno (74.9 dB).

In generale, i livelli di impatto sono anche inferiori alla soglia di sensibilità umana (71 dB). Evidenziamo in particolare stime molto basse su alcuni edifici segnalati per la presenza di lesioni o diffuse, edifici non oggetto di specifiche valutazioni previsionali ma adiacenti ad altri sul quale è stato previsto un punto di verifica. In particolare i ricettori ME1618 (si veda il punto di verifica ME1624), ME1870 (punto di verifica ME1871), ME1057 (punto di verifica ME1055), infine l'edificio 1505 (punto di verifica ME1500), documentati in Figura 3.22 e in Figura 3.23.

Si confermano pertanto analiticamente le evidenze sperimentali tratte da casi analoghi, e cioè il basso impatto degli scavi con TBM.



ME1618

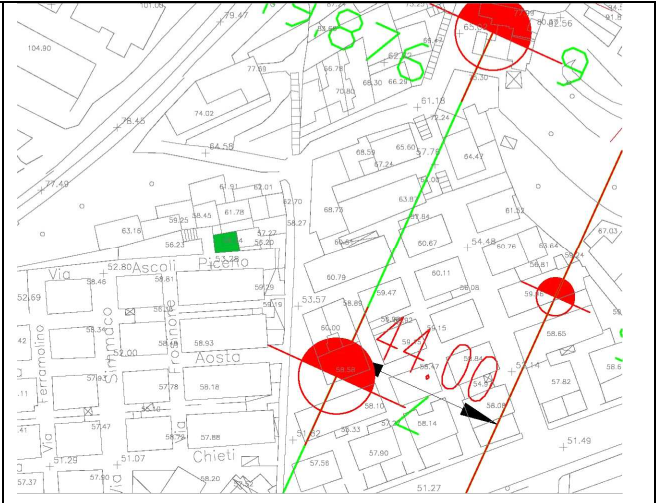
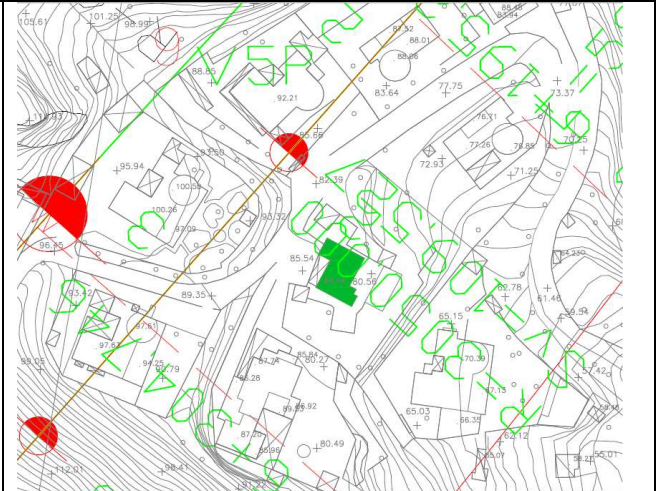


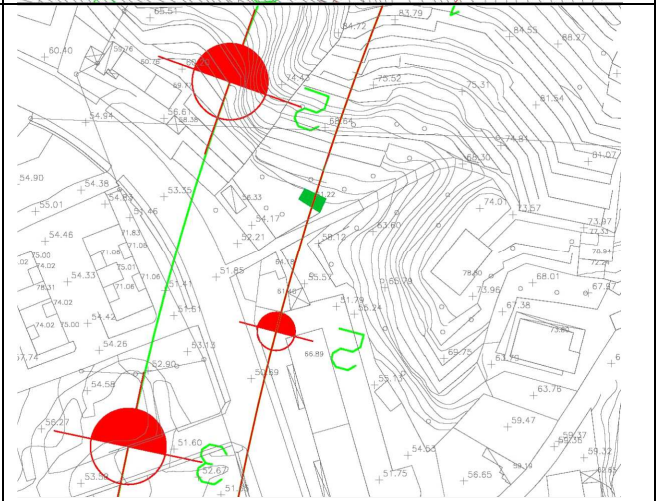
Figura 3.22



ME1870



ME1057



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012



Figura 3.23

Scavo gallerie stradali

Le stime previsionali evidenziano per il campione di ricettori caratterizzati dalle condizioni di massima esposizione, livelli di vibrazione compresi tra 63-81 dB. I valori superiori ai limiti UNI9614 si verificano sia in fase di attraversamento delle geolitologie sabbia e ghiaia di Messina sia dei calcari. Gli impatti maggiori, superiori o uguali a 77 dB, riguardano i ricettori ME389, ME386, ME429, ME832, ME878, ME1134. I livelli di rumore solido raggiungono in pochi casi valori superiori a 25 dBA con un massimo di 28 dBA.

Fronte avanzamento lavori

Gli edifici interessati dal fronte avanzamento lavori di tratte in superficie, in corrispondenza di rilevati, viadotti e trincee, sono localizzati a distanze superiori a quelle alle quali si possono verificare livelli di impatto oggettivamente disturbanti per la popolazione residente esposta. Fa eccezione l'edificio residenziale ME219 Figura 3.24, a minima distanza dai lavori sito in corrispondenza della trincea T01 in località Faro, su cui si potranno rilevare livelli di impatto oggettivamente disturbanti.

Non sono stati tuttavia segnalati edifici "critici" in relazione alla destinazione d'uso o allo stato di conservazione o alla sensibilità delle fondazioni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> <i>AMV0485_F0.doc</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Rev</i></th> <th><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>F0</i></td> <td><i>31/05/2012</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	<i>F0</i>	<i>31/05/2012</i>
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
<i>F0</i>	<i>31/05/2012</i>						

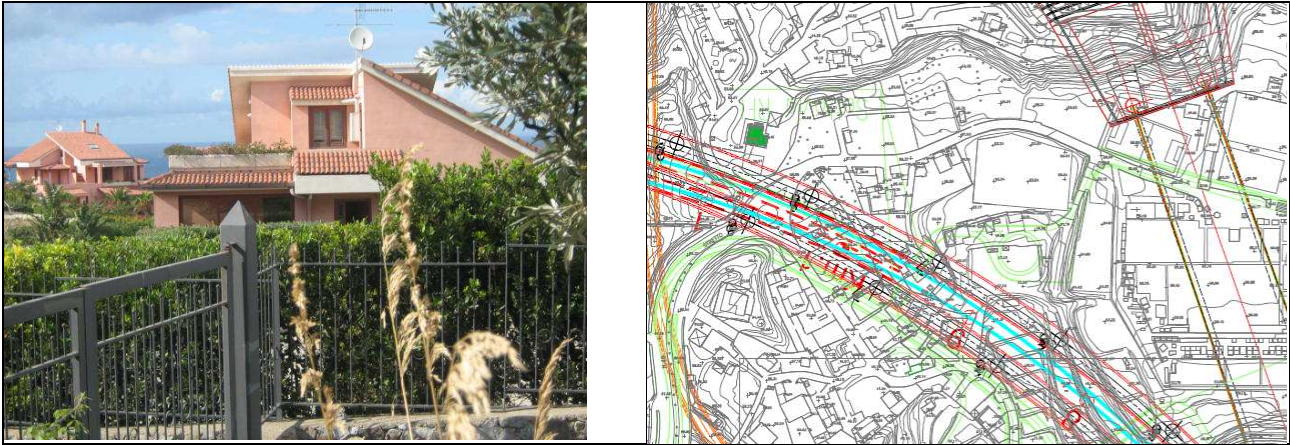


Figura 3.24 Ricettore 429

3.1.5.2 Versante Calabria

Scavo gallerie ferroviarie

Le stime previsionali evidenziano, per il campione di ricettori caratterizzati dalle condizioni di massima esposizione, livelli di vibrazione compresi tra 67-71 dB. I valori si mantengono inferiori alla soglia di percezione a causa delle significative distanze tra il fronte di scavo e gli edifici. I livelli di rumore solido raggiungono valori massimi di 16 dBA, inferiori al limite di applicabilità del limite differenziale. Lungo la Galleria G01 in località Campo Calabro segnaliamo la presenza di un edificio caratterizzato da lesioni, il ricettore VSG669 contiguo all'edificio VSG668, in corrispondenza del quale è stato stimato un livello di vibrazione in fase di scavo pari a 68.8 dB. Questo ricettore può essere un punto di controllo per il PMA o di attenzione per l'Impresa.



Figura 3.25 Ricettore VSG669

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RELAZIONE GENERALE		Alternative ai siti di deposito	
<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

Scavo gallerie stradali

Le stime previsionali evidenziano per il campione di ricettori caratterizzati dalle condizioni di massima esposizione, livelli di vibrazione compresi tra 74-79 dB. La geolitologia interessata (calcari) e le distanze contenute tra fronte di scavo e basamento degli edifici, determina superamenti del limite UNI9614 in periodo notturno (74 dB) in tutti i punti di controllo.

In questo range di impatto rientrano anche i ricettori VSG714 e VSG716 (Figura 3.26), localizzati lungo la Galleria naturale Campanella della Rampa D di progetto, nelle vicinanze del punto di verifica vibrazionale VSG721, sul quale è stimato un livello di impatto pari a 74.8 dB a una distanza orizzontale dalla galleria di circa 40 m. L'impatto di 79 dB riguarda il ricettore VSG86. I livelli di rumore solido sono compresi tra 21-27 dBA e superano 25 dBA, limite di applicabilità del limite differenziale in periodo notturno, solo nel ricettore VSG86.

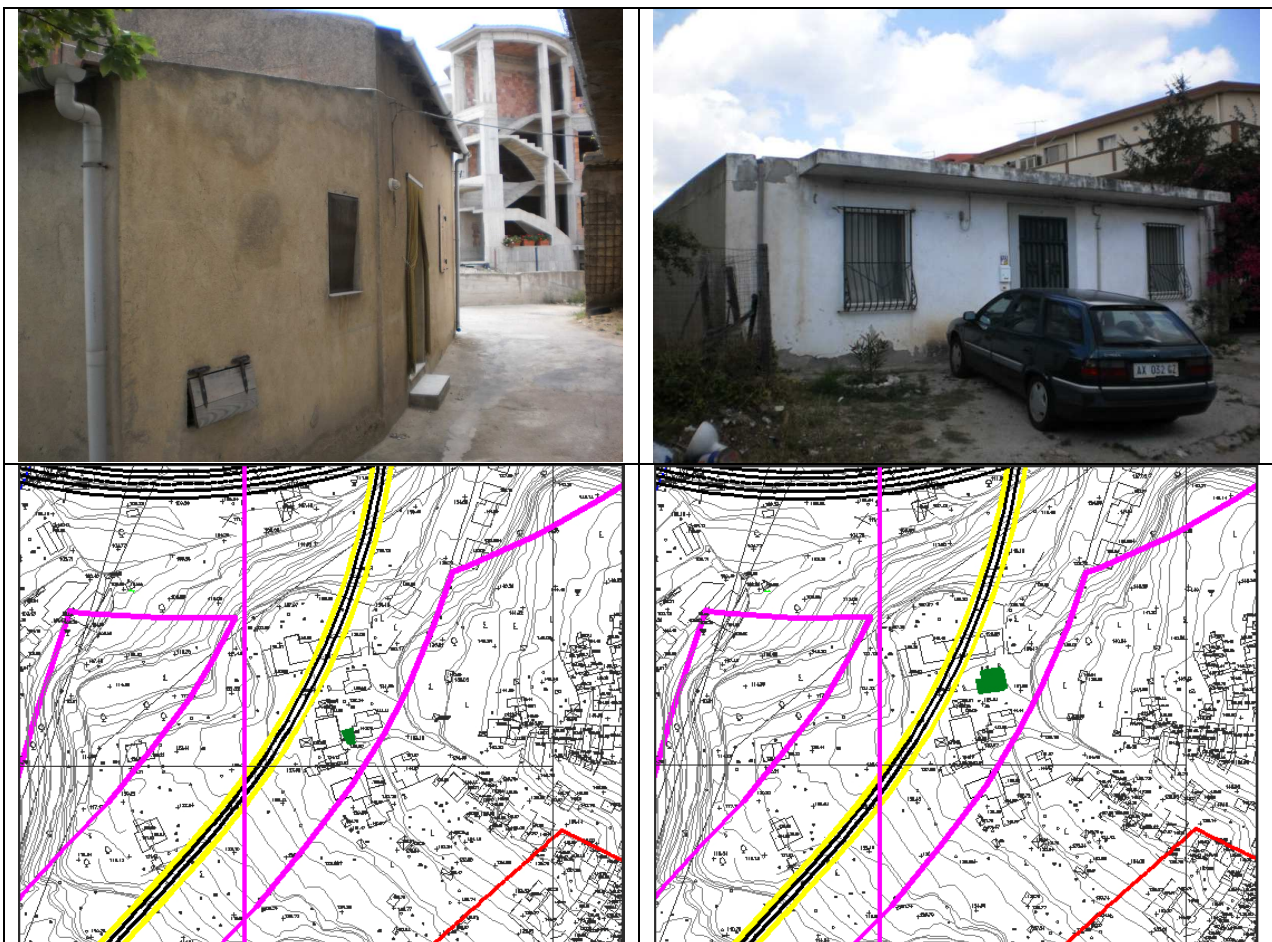


Figura 3.26 Ricettori VSG714 (a sx) -VSG716 (a dx)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

Fronte avanzamento lavori

I ricettori a minima distanza dalle lavorazioni sono localizzati a distanza superiore a 30 m e vengono pertanto ad essere interessati da livelli vibrazionali superiori alla soglia di sensibilità ma inferiori al valore limite indicato come oggettivamente disturbante per la popolazione residente. Non sono inoltre presenti edifici storico monumentali o edifici “critici” in relazione alla destinazione d’uso o allo stato di conservazione.

3.1.6 Interventi di mitigazione

La tecnica di scavo TBM che verrà impiegata per lo scavo delle gallerie ferroviarie lato Sicilia è quella che fornisce, tra le possibili alternative, la garanzia di minimizzare le emissioni di vibrazioni e l’impatto sui ricettori. Non è in pratica ipotizzabile una tecnica di scavo alternativa di minore impatto vibrazionale sul territorio urbano attraversato. I livelli di vibrazione stimati per il campione di ricettori esaminati, potranno risultare in alcuni casi superiori alla soglia di sensibilità umana e ai valori limite indicati dalla UNI9614N. L’impatto massimo e il relativo disturbo ha tuttavia una breve durata, di poche settimane, e decade rapidamente all’allontanarsi del fronte di scavo.

Per gli scavi delle gallerie ferroviarie lato Calabria con tecnica tradizionale è stato verificato che i livelli di vibrazione indotti non determinano problemi di rispetto dei valori limite UNI9614.

Viceversa, per le gallerie stradali lato Sicilia e Calabria, la tecnica di scavo tradizionale con martellone determina negli edifici più esposti livelli vibrazionali superiori ai limiti UNI9614. E’ stato altresì verificato che i livelli di rumore solido determinati dalle vibrazioni degli orizzontamenti potranno risultare, nei casi più critici e limitatamente al periodo notturno, superiori a 25 dBA, valore limite notturno in ambiente abitativo applicabile per la verifica del criterio differenziale.

Gli interventi di mitigazione applicabili sono riferibili alle seguenti possibilità operative:

- Avisare la popolazione residente del possibile disturbo transitorio, in anticipo sull’avvicinamento del fronte d’avanzamento al ricettore e Inserire nel PMA questi ricettori come presidi in cui svolgere le misure in fase.
- Utilizzare attrezzature caratterizzate da minori emissioni di vibrazioni (martelli pneumatici a potenza regolabile, sistemi a rotazione quali ad esempio frese puntuali anziché a percussione).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

3.2 Impatto ferroviario in fase di esercizio

3.2.1 Introduzione

Il passaggio di un convoglio ferroviario o tranviario su un binario dotato di armamento tradizionale (rotaie continue saldate, traversine in CLS, ballast) è fonte di emissione di vibrazioni nel terreno circostante, che si propagano agli edifici situati entro distanze dipendenti dalla natura del terreno stesso e dai livelli di vibrazione indotti sul solido ferroviario.

L'origine fisica del fenomeno vibratorio è la stessa che causa l'emissione primaria di rumore, ed in particolare il contatto ruota-rotaia: piccole imperfezioni superficiali delle superfici causano improvvise variazioni delle forze di contatto, che a loro volta causano il moto vibratorio della rotaia stessa. L'eccitazione è principalmente in senso verticale, ma nel corso della propagazione nel terreno e dell'interazione con gli edifici possono svilupparsi rilevanti componenti di movimento anche in senso orizzontale.

Lo spettro delle forze di eccitazione è tipicamente a banda larga. Esso si applica però a strutture dotate di specifiche frequenze di risonanza, per cui alla base della struttura della linea ferroviaria si rileva generalmente uno spettro tipico di accelerazione che presenta un picco abbastanza pronunciato a circa 50 e 80 Hz e valori bassi a frequenze inferiori ai 20 Hz, ovvero alle frequenze ove la sensibilità umana è maggiore.

Dal punto di vista degli indicatori di controllo delle vibrazioni la lunghezza del convoglio (e quindi il numero di carrozze, ovvero la sua composizione) non ha rilevanza così come il numero dei treni che transitano nel periodo diurno o notturno. Il programma di esercizio non sposta quindi i termini del problema e la valutazione dell'impatto vibrazionale viene di fatto svolta considerando unicamente lo spettro di accelerazione del singolo evento, operando una opportuna ponderazione spettrale sulla base delle norme tecniche applicabili.

Il calcolo previsionale esamina la propagazione delle vibrazioni tra sorgente e ricevitore, considerando le caratteristiche di smorzamento del terreno e i fenomeni primari di amplificazione e attenuazione all'interno dell'edificio.

La verifica positiva dei limiti normativi applicabili al disturbo da vibrazioni (UNI 9614), che nel caso di ricettori sensibili è basata sulla soglia di percezione delle vibrazioni, $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ (74 dB) per l'asse verticale e $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ (71 dB) per gli assi orizzontali X-Y, garantisce l'assenza di danni. I valori di soglia per i danni minori o estetici (microfessurazioni) sono infatti molto superiori alla soglia di percezione umana.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

3.2.2 Emissioni di riferimento

I dati di input utilizzati al fine della valutazione dei livelli di impatto in fase di esercizio nelle tratte in rilevato derivano dagli spettri forniti dalle “Linee Guida per l’elaborazione dei progetti vibrazionali delle tratte e dei nodi A.V.”, relativi a rilievi di vibrazioni raccolte sullo stradello a 3.0 m di distanza dal binario per il transito di convogli AV ETR 500 alla velocità di 230 km/h, ETR 450 alla velocità di 230 km/h, E402 alla velocità di 170 km/h. Queste informazioni sono state integrate con dati sperimentali e bibliografici. In particolare nel caso di tracciato in galleria naturale i livelli di vibrazione assunti come riferimento sono forniti dalla letteratura tecnica e sono misurati sulla parete di una galleria di spessore 75 cm. In tabella è riportato anche lo spettro medio alla velocità di riferimento di 120 km/h relativo al transito di treni merci su viadotto, ricavato a seguito di campagne di rilievi sperimentali effettuati su tratte nazionali e di transiti ETR500 su sede ferroviaria non AV (ETR500*).

La Tabella 3.7 riassume i dati di base e l’inviluppo dei livelli di emissione alla velocità di 100 km/h. A partire da questi valori sono state applicate le normalizzazioni per considerare la velocità prevista per l’esercizio ferroviario e lo spessore complessivo della calotta della galleria di 85 cm lato Calabria e di 40 cm lato Sicilia. Lo spessore della galleria lato Sicilia scavata con TBM, assunto prudenzialmente pari a 40 cm, considera lo spessore dei conci che compongono gli anelli della galleria e lo strato di calcestruzzo iniettato necessario per colmare i vuoti che si creano in fase di scavo e minimizzare i fenomeni di subsidenza dei fabbricati.

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 da 10 a 20 volte il logaritmo in base dieci in funzione delle variazioni nella velocità del treno, ossia:

$$L \cong L_0 + [10 \div 20] \times \log \left[\frac{V}{V_0} \right]$$

dove:

- L e L₀: livelli di vibrazione in decibel
- V e V₀: rispettive velocità di transito dei treni

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito</p>		
<p align="center">RELAZIONE GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 31/05/2012</p>

Questo significa che al raddoppiare della velocità di transito corrisponde un incremento da 3 a 6 dB nei livelli di vibrazione. Il parametro in oggetto - sulla base dei dati disponibili - viene ritenuto non dipendente dalla frequenza. I valori assunti come riferimento, derivando da misure effettuate allo stradello, quantificano i fenomeni dinamici di interazione tra il veicolo ferroviario e l'armamento mettendo in conto le caratteristiche del veicolo, le caratteristiche dell'armamento e le caratteristiche dell'alterazione nel contatto ruota-rotaia in relazione alla velocità di transito.

Le tratte in rilevato e a raso, poco presenti nel tracciato in progetto costituiscono la condizione infrastrutturale più critica per quanto riguarda la trasmissione delle vibrazioni all'ambiente circostante all'infrastruttura ferroviaria.

Frequenza [Hz]	Livelli di vibrazione in dB						
	ETR 500	ETR 450	E402	ETR 500(+)	INVILUPPO	MERCI VIADOTTO	GALLERIA
1.0						22.3	-
1.25						30.9	-
1.6	45.0	70.0	40.1	37.3	41.4	32.0	-
2.0	45.0	70.0	43.1	41.3	43.0	48.2	-
2.5	45.0	74.1	44.9	47.3	49.0	64.7	-
3.2	45.0	70.1	47.0	45.6	47.3	60.0	-
4.0	53.5	70.0	49.5	42.0	49.9	67.4	-
5.0	55.0	71.5	56.7	46.5	54.4	72.3	-
6.3	64.2	64.8	54.8	49.4	60.6	70.0	-
8.0	67.8	73.1	57.2	51.0	64.2	71.4	-
10.0	66.7	76.2	60.9	57.2	63.1	75.7	-
12.5	70.2	73.1	65.4	58.8	69.5	72.1	66.0
16.0	85.7	67.5	71.0	66.0	82.1	74.8	67.0
20.0	88.1	71.7	71.6	72.2	84.5	79.8	67.0
25.0	88.4	77.4	61.5	78.6	84.8	89.2	73.0
31.5	82.5	91.6	67.6	86.4	88.1	86.2	80.0
40.0	83.7	84.3	71.1	94.9	96.6	88.3	89.0
50.0	82.3	102.2	63.2	99.6	101.3	87.8	95.0
63.0	88.2	102.2	71.5	103.2	104.9	83.1	94.0
80.0	77.3	101.5	80.3	97.1	98.8	81.5	93.0
Livelli globali lineari	94.9	112.9	82.5	106.0	110.8	94.9	101.3
Distanza	3.0 m	3.0 m	3.0 m	3.0 m	3.0 m	10.5 m	Parete Gall
Note	230 Km/h	230 Km/h	170 Km/h	82 Km/h	100 Km/h	120 Km/h	Parete di 75 cm, 70 Km/h

Tabella 3.7 Emissioni di riferimento

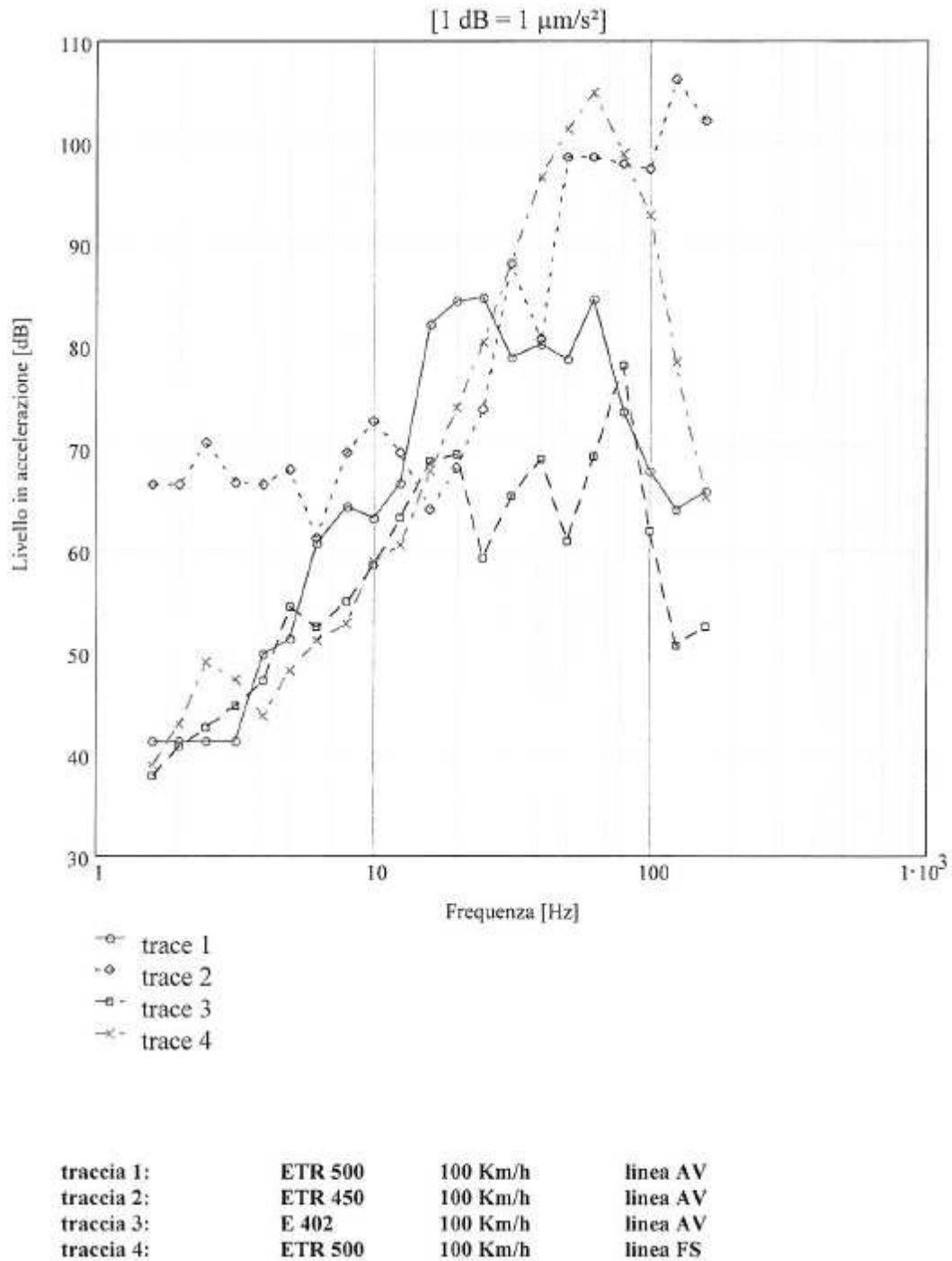


Figura 3.27 - Emissioni su rilevato normalizzate alla velocità di 100 km/h

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

La valutazione dell’impatto vibrazionale lungo le tratte in rilevato deve tenere conto dell’effetto della diversa altezza del corpo ferroviario, facendo riferimento a dati di attenuazione ricavati sulla base della curva sperimentale di attenuazione tra il piede del rilevato e lo stradello. Tale curva è stata elaborata a seguito di registrazioni raccolte nel corso di una campagna di misure svolte sulla linea storica MI-BO relativamente ad un rilevato di altezza pari a 3,5 m (Figura 3.28). A partire da tale curva sperimentale, sono state estrapolate alcune curve di attenuazione per rilevati di differente altezza sulla base di considerazioni di analisi dimensionale. I valori di attenuazione sono relativi alla tipologia standard di materiale utilizzato nei rilevati ferroviari.

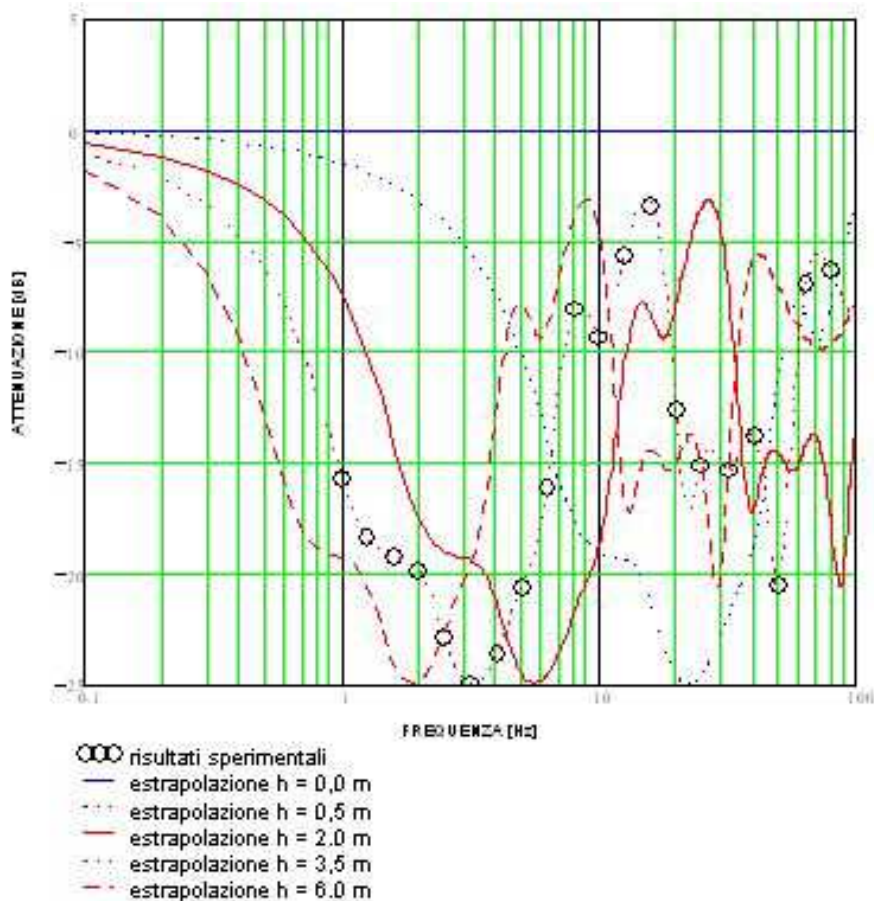


Figura 3.28 Curve di attenuazione delle vibrazioni per tipologia d’opera ferroviaria in rilevato

Per le tratte 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 per la presenza della massa della stessa opera. Inoltre si prevede una quota maggiore delle onde

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

di corpo (caratterizzate da maggior attenuazione geometrica) rispetto a quelle di superficie (caratterizzate da minor attenuazione geometrica) rispetto al caso di rilevato, in relazione ad un coinvolgimento maggiore degli strati del suolo a maggior profondità.

Nel caso delle tratte in galleria naturale, lo spessore delle pareti dell'infrastruttura deve essere debitamente valutato in quanto i disturbi vibrazionali negli edifici decrescono all'incrementare della massa dell'infrastruttura per unità di lunghezza ed in particolare secondo la relazione empirica seguente:

$$L \cong L_0 - \Delta_p \times \log \left[\frac{S}{S_0} \right]$$

dove:

L e L₀: livelli di vibrazione in decibel

S e S₀: rispettivi spessori medi, ove lo spessore di riferimento S₀ è 40 cm

Δ_p: esprime l'efficienza di schermatura delle vibrazioni e viene assunto pari a 56 per gallerie naturali, 28 per gallerie artificiali e a 20 per paratie e muri di sostegno relativo a trincee.

La formula è applicabile per spessori compresi tra 40 cm e 125 cm. Per spessori fino ai 40 cm si ritiene che l'effetto di attenuazione delle pareti sia trascurabile. Tale formula comporta, nel caso di gallerie naturali, una riduzione di circa 16 ÷ 18 dB per un raddoppio dello spessore medio dell'infrastruttura e, nel caso di trincea, circa 8 ÷ 9 dB; il margine di approssimazione è da ritenersi dell'ordine di 3 ÷ 4 dB.

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. Tali frequenze risultano, per i viadotti moderni in calcestruzzo precompressi di luci importanti, pari a circa 3,5 ÷ 8,1 Hz per i primi tre modi fondamentali.

Inoltre va considerato che il tipo di sorgente non è da considerare lineare (come invece nel caso di rilevato) ma puntiforme e quindi soggetta a maggiori attenuazioni di tipo geometrico delle onde di trasmissione delle vibrazioni nel suolo. Va infine considerato che le vibrazioni vengono trasmesse al suolo attraverso fondazioni la cui profondità interviene a definire una maggior quota delle onde di corpo rispetto a quelle di superficie.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

Gli spettri di emissione utilizzati per le verifiche previsionali nelle tratte in galleria sono in sintesi riportati in Tabella 3.8.

Hz	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
Lato Sicilia - Spettro di emissione alla velocità massima di 130 Km/h per spessore della galleria pari a 40 cm									
dB	86.7	87.7	87.7	93.7	100.7	109.7	115.7	114.7	113.7
Lato Calabria - Spettro di emissione alla velocità massima di 120 Km/h per spessore della galleria pari a 85 cm									
dB	67.6	68.6	68.6	74.6	81.6	90.6	96.6	95.6	94.6

Tabella 3.8 Spettri di emissione sulla parete delle gallerie ferroviarie alla velocità massima di progetto e per lo spessore della calotta prevista.

3.2.3 Previsioni di impatto

I valori previsionali stimati in corrispondenza dei ricettori oggetto di verifica, scelti in base ad un criterio di minima distanza dalle sorgenti di emissione, minima copertura rispetto alla calotta delle gallerie, sensibilità strutturale alle vibrazioni, sensibilità in relazione alle attività svolte (scuole,...) sono contenuti nelle schede di sintesi dell'elaborato "Allegato - Schedatura verifiche di impatto". La schedatura di previsione di impatto contiene, per ogni ricettore (identificato da codice e indirizzo), le seguenti informazioni:

- a) Tipologia sorgente di emissione considerata nei calcoli
- b) Geolitologia
- c) Sintesi caratteristiche edificio
- d) Previsione di impatto vibrazionale

Gli aspetti geolitologici sono brevemente descritti considerando gli strati di terreno interposti tra il ricettore e la sorgente di vibrazioni. Le caratteristiche dell'edificio sono così organizzate:

- Progressiva chilometrica del ricettore rispetto al tracciato stradale o ferroviario
- Distanza orizzontale dalla sorgente all'edificio (distanza minima)
- Distanza verticale della sorgente rispetto al piano campagna
- Destinazione d'uso del ricettore
- Numero di piani fuori terra
- Numero di piani interrati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- Tipologia di struttura
- Stato di conservazione
- Note

Le previsioni di impatto sono sintetizzate tramite lo spettro di accelerazione in dB asse Z tra 1 Hz e 80 Hz e sono relative al primo orizzontamento. Al grafico seguono:

- Limite UNI 9614 assi combinati.
- Valore equivalente di accelerazione calcolato.
- Interventi di mitigazione, qualora previsti.

Considerando le due geolitologie caratterizzanti la massima/minima trasmissibilità delle vibrazioni, rappresentate rispettivamente da substrati cristallini granitoidi e depositi alluvionali, la Figura 3.29 riporta il profilo di decadimento delle vibrazioni trasmesse dalla galleria ferroviaria al variare della distanza dal ricettore.

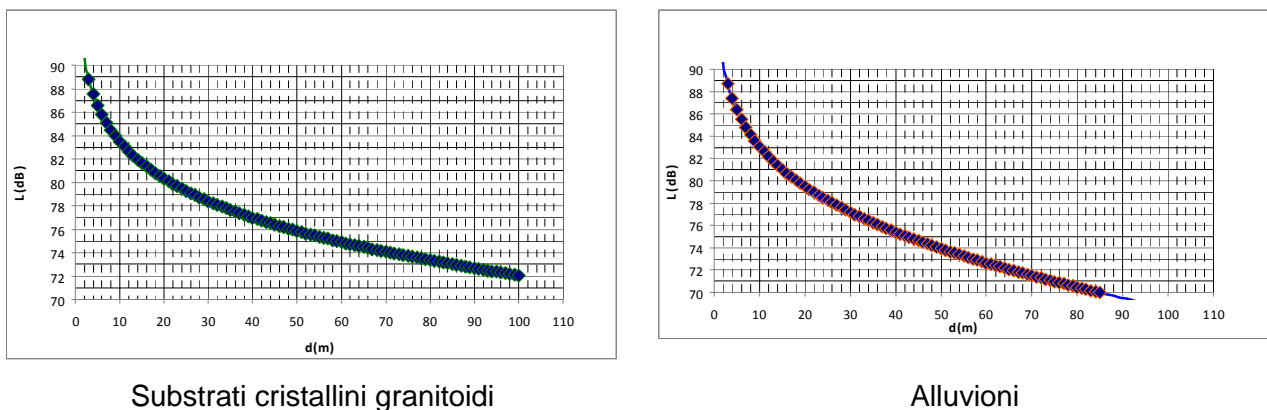


Figura 3.29

3.2.3.1 Versante Calabria

La Tabella 3.9 contiene la sintesi dei ricettori per i quali è stata condotta la verifica, scelti tra quelli potenzialmente caratterizzati da condizioni di impatto critiche e da possibili superamenti dei limiti indicati dalla UNI9614. Complessivamente si tratta di 14 ricettori, ad uso residenziale abitativo o assimilabile, tra cui l'Asilo Nido di Via XXIII Agosto (VSG73) e l'hotel Ristorante Panorama (VSG736).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
		RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0

In tutti questi ricettori i livelli di vibrazione risultano ampiamente inferiori ai limiti UNI9614 e il rumore solido in dBA stimato per il singolo transito, estremamente contenuto, non determina problemi di disturbo.

RICETTORE	Destinazione d'uso	Pk [km]	N. piani	L _{Limite}	L ₉₆₁₄ [dB]	Rumore [dBA]
VSG74	Abitazioni (scuola)	0+950	1	77-74	51	19
VSG668	Abitazioni	1+020	2	77-74	48	16
VSG529	Abitazioni	1+050	1	77-74	51	18
VSG730	Abitazioni	1+250	4	77-74	51	19
VSG63	Abitazioni	0+900	3	77-74	52	20
VSG542	Abitazioni	0+850	2	77-74	52	21
VSG73	Abitazioni (scuola)	0+950	1	77-74	49	16
VSG736	Ristorante-Albergo	0+850	2	77-74	51	19
VSG536	Abitazioni	1+150	2	77-74	47	14
VSG723	Abitazioni	1+200	4	77-74	48	14
VSG484	Abitazioni	0+200	5	77-74	52	21
VSG784	Abitazioni	0+300	3	77-74	51	19
VSG481	Abitazioni	0+100	1	77-74	51	19

Tabella 3.9 Verifiche impatto sui ricettori



Asilo nido Via XXIII Agosto



Asilo nido Via XXIII Agosto

3.2.3.2 Versante Sicilia

La Tabella 3.10 contiene la sintesi dei ricettori critici, ovvero delle situazioni in cui si evidenziano

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito</p>		
<p align="center">RELAZIONE GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 31/05/2012</p>

dei superamenti dei limiti indicati dalla UNI9614. Complessivamente si tratta di 92 ricettori, 91 ad uso abitativo o assimilabile e 1 ricettore critico: il laboratorio di analisi cliniche in via Pietro Castelli 8. Gli esuberanti massimi sono dell'ordine di 6-8 dB di accelerazione.

Ai sensi del DPR459/98 i limiti in ambiente abitativo sul periodo di riferimento 6-22 o 22-6 sono pari a 45 dBA per le scuole nel periodo diurno, a 40 dBA per le abitazioni nel periodo notturno e a 35 dBA nel periodo notturno per le case di cura, di riposo, ospedali. L'esercizio ferroviario sull'opera in progetto prevede il seguente numero di transiti suddivisi per periodo di riferimento:

Periodo diurno

- 74 Treni Locali
- 24 Treni a Lunga Percorrenza
- 0 Treni Merci

Periodo notturno

- 0 Treni Locali
- 12 Treni a Lunga Percorrenza
- 46 Treni Merci

Considerando cautelativamente un livello equivalente di transito pari a 51 dBA, il più alto tra i livelli stimati riportati in Tabella 3.11, il numero di treni previsti ed una composizione di 23 carri (22 vetture + 1 locomotore) per i treni merci, di 10 vetture + 2 locomotrici per i treni a Lunga Percorrenza e di 4 carri per i treni Locali, si stima sul periodo di riferimento notturno un livello equivalente di 35 dBA e di 30 dBA sul periodo diurno.

La lunghezza di ciascun carro è stata assunta pari a 20,5 m per il locomotore e 26,1 m per la vettura.

In entrambi i casi, i livelli equivalenti sul periodo di riferimento 6-22 o 22-6 sono conformi ai limiti in ambiente abitativo sia per le abitazioni che per le case di cura, i riposo, ecc..

Gli interventi di mitigazione da dimensionare al fine di ridurre i livelli di accelerazione al di sotto dei limiti di riferimento ridurranno in ogni caso anche i livelli di rumore all'interno degli edifici al di sotto dei livelli massimi stimati, dando quindi maggiori garanzie di conseguimento degli obiettivi di legge in ambiente abitativo.

Nel caso della posa su piastra in calcestruzzo la riduzione delle vibrazioni è compresa tra 8 e 16

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito</p>		
<p align="center">RELAZIONE GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 31/05/2012</p>

dB per frequenze comprese nell'intervallo 40÷80 Hz (massime frequenze dello spettro di emissione in galleria), mentre nel caso della posa su sub-ballast si ottengono valori crescenti da 4 e 12 dB per frequenze comprese nell'intervallo 40÷110 Hz. Si veda a proposito la Figura 3-31.

A conforto dei risultati precedenti sono le prove condotte dall'Istituto Sperimentale FS su tratte ferroviarie in galleria evidenziano un abbattimento di -12 dB rispetto alle accelerazioni misurate sul paramento della galleria nelle zone non corredate da materassino smorzante, con spostamenti della traversa superiore e sollecitazioni sulla rotaia ampiamente tollerabili. Un abbattimento di tale entità consentirebbe di ridurre i livelli di rumore solido massimi di transito a valori inferiori o uguali a 40 dB.

Si può pertanto concludere che dal transito dei convogli nelle gallerie ferroviarie non deriveranno situazioni di disagio sonoro per gli abitanti e che i livelli in ambiente abitativo rispetteranno i limiti di legge nazionali.

RICETTORE	Destinazione d'uso	N. piani	L _{Limite}	L ₉₆₁₄ [dB]	Rumore [dBA]
ME1105	Abitazioni	1	77-74	74	42
ME1101	Abitazioni	4	77-74	78	47
ME1100	Abitazioni	4	77-74	78	47
ME1097	Abitazioni	3	77-74	78	47
ME1070	Abitazioni	4	77-74	77	46
ME1081	Abitazioni	4	77-74	78	47
ME1082	Abitazioni	4	77-74	78	47
ME1096	Abitazioni	5	77-74	78	47
ME1085	Abitazioni	5	77-74	77	46
ME1748	Abitazioni	2	77-74	78	47
ME1871	Abitazioni	2	77-74	72	39
ME1168	Abitazioni	1	77-74	79	48
ME969	Abitazioni	4	77-74	75	43
ME952	Abitazioni	3	77-74	75	43
ME943	Abitazioni	3	77-74	75	43
ME929	Abitazioni	3	77-74	77	46
ME927	Abitazioni	3	77-74	77	46
ME920	Abitazioni	3	77-74	76	45
ME919	Abitazioni	2	77-74	76	45
ME933	Abitazioni	3	77-74	77	46
ME912	Abitazioni	3	77-74	76	45
ME961	Abitazioni	3	77-74	77	46
ME980	Abitazioni	1	77-74	77	46
ME984	Abitazioni	1	77-74	79	48
ME989	Abitazioni	5	77-74	74	42
ME1934	Abitazioni	5	77-74	75	43
ME1921	Abitazioni	2	77-74	82	52
ME1931	Abitazioni	3	77-74	80	50
ME1919	Abitazioni	4	77-74	79	48
ME1906	Abitazioni	3	77-74	79	49
ME1912	Abitazioni	5	77-74	76	45
ME1917	Abitazioni	4	77-74	75	44
ME1535	Abitazioni	3	77-74	75	44
ME1485	Abitazioni	4	77-74	80	50
ME1500	Abitazioni	4	77-74	77	45
ME1496	Abitazioni	4	77-74	79	47
ME1472	Abitazioni	3	77-74	78	47
ME1474	Abitazioni	1	77-74	79	47
ME1519	Abitazioni	5	77-74	77	46
ME1522	Abitazioni	4	77-74	76	45
ME1525	Abitazioni	4	77-74	75	45
ME1528	Abitazioni	4	77-74	75	44
ME1731	Abitazioni	4	77-74	78	47
ME1725	Abitazioni	2	77-74	74	43
ME1805	Abitazioni	4	77-74	74	42
ME1798	Abitazioni	4	77-74	74	43
ME1795	Abitazioni	3	77-74	74	42
ME1823	Abitazioni	2	77-74	75	43
ME1225	Abitazioni	4	77-74	76	45
ME1212	Abitazioni	3	77-74	74	43

RICETTORE	Destinazione d'uso	N. piani	L _{Limite}	L ₉₆₁₄ [dB]	Rumore [dBA]
ME1197	Abitazioni	2	77-74	74	43
ME1066	Abitazioni	6	77-74	78	47
ME1038	Abitazioni	5	77-74	80	49
ME1039	Abitazioni	6	77-74	79	48
ME1008	Abitazioni	5	77-74	79	48
ME1007	Abitazioni	5	77-74	79	48
ME1022	Abitazioni	1	77-74	79	49
ME1002	Abitazioni	5	77-74	81	51
ME1003	Abitazioni	6	77-74	78	47
ME1005	Abitazioni	7	77-74	78	48
ME1713	Abitazioni	2	77-74	75	44
ME1592	Abitazioni	2	77-74	75	44
ME1624	Abitazioni	2	77-74	76	46
ME1342	Abitazioni	2	77-74	78	48
ME1374	Abitazioni	2	77-74	78	48
ME1311	Abitazioni	2	77-74	79	49
ME1333	Abitazioni	2	77-74	79	49
ME1312	Abitazioni	2	77-74	78	48
ME1346	Abitazioni	2	77-74	79	49
ME1451	Abitazioni	2	77-74	78	48
ME1436	Abitazioni	2	77-74	78	48
ME1437	Abitazioni	2	77-74	75	45
ME1443	Abitazioni	2	77-74	75	45
ME1848	Abitazioni	2	77-74	77	45
ME1858	Altro	2	77-74	74	42
ME1291	Abitazioni	4	77-74	74	40
ME1752	Abitazioni	3	77-74	74	41
ME1754	Abitazioni	3	77-74	74	41
ME1757	Abitazioni	3	77-74	74	41
ME1763	Abitazioni	2	77-74	74	41
ME1058	Abitazioni	6	77-74	74	41
ME1055	Abitazioni	3	77-74	75	42
ME881	Abitazioni	3	77-74	77	46
ME882	Abitazioni	1	77-74	77	46
ME883	Abitazioni	2	77-74	77	46
ME884	Abitazioni	2	77-74	76	44
ME979	Abitazioni	1	77-74	77	46
ME990	Abitazioni	4	77-74	77	46
ME1032	Abitazioni	2	77-74	77	46
ME1576	Abitazioni	1	77-74	74	43
ME1469	Abitazioni	1	77-74	76	46
ME1762	Abitazioni	1	77-74	74	41
ME1014	Aree critiche	1	71	78	48
ME2120	Abitazioni	5	77-74	75	43

Tabella 3.10 Sintesi ricettori critici

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012


3.2.4 Interventi di mitigazione: aspetti generali

3.2.4.1 Tappetini sotto ballast

La riduzione delle vibrazioni e del rumore solido può essere ottenuto con sistemi a massa flottante. La soluzione più semplice ed economica per la riduzione delle vibrazioni direttamente alla sorgente prevede l'impiego di materassini/stuoie sottoballast dello spessore di 15-40 mm in grado di realizzare un sistema flottante attraverso la massa della massicciata ferroviaria (della traversa e delle rotaie) e l'elasticità del sotto-ballast. Queste soluzioni sono adeguate per la riduzione del rumore solido ma possono dimostrare limiti relativamente al contenimento delle vibrazioni in quanto l'entità della massa flottante è condizionata dagli spessori del ballast che non possono essere incrementati oltre certi valori ragionevoli. In particolare nelle gallerie ferroviarie non ci sono significativi margini di aumento: la Figura 3.30 evidenzia la correlazione tra isolamento e pressione. I materassini elastomerici possono essere realizzati in:

- materiali elastomerici continui in lana di vetro, poliuretano espanso, mescole elastomeriche vulcanizzate, gomma cellulare espansa, gomma compatta estrusa,
- manufatti elastomerici in gomma e gomma/metallo,
- unità elasto-smorzanti realizzate da molle metalliche elicoidali e smorzanti a base di fluidi speciali.

L'intervento consente di migliorare in misura rilevante il comportamento vibro-acustico del tracciato e permette di conservare la geometria del binario e la qualità di marcia dei veicoli. L'irrigidimento dinamico gioca un ruolo importante per le soluzioni flottanti in quanto tali sistemi sono dimensionati cercando di ottimizzare il comportamento quasi-statico (cedimenti del piano del ferro) e dinamico dell'armamento (prima frequenza propria fondamentale). E' evidente che a parità di cedimento del piano del ferro la soluzione con il maggior irrigidimento dinamico è caratterizzata da prestazioni di isolamento delle vibrazioni inferiori rispetto a soluzioni con un irrigidimento dinamico trascurabile. L'inserimento del materassino sotto-ballast (ballast mat) può essere effettuato direttamente sul suolo compattato, o sull'eventuale sub-ballast, nel caso di linea in superficie, oppure può essere interposto tra massicciata ed arco rovescio come nel caso delle linee ferroviarie in galleria. Tuttavia la prima soluzione è generalmente meno efficace in quanto il modulo di taglio del terreno, in corrispondenza o vicino la superficie di appoggio, può assumere valori tali da rendere la rigidità del supporto paragonabile a quella del materassino, rendendo quest'ultimo inefficace

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012	

(Nelson T. J., 1996). Tale circostanza è stata evidenziata anche da Hanson C. E. et al. (2006) i quali hanno riportato i risultati di misure sperimentali relativi ad interventi effettuati negli USA, a Baltimore e Boston.

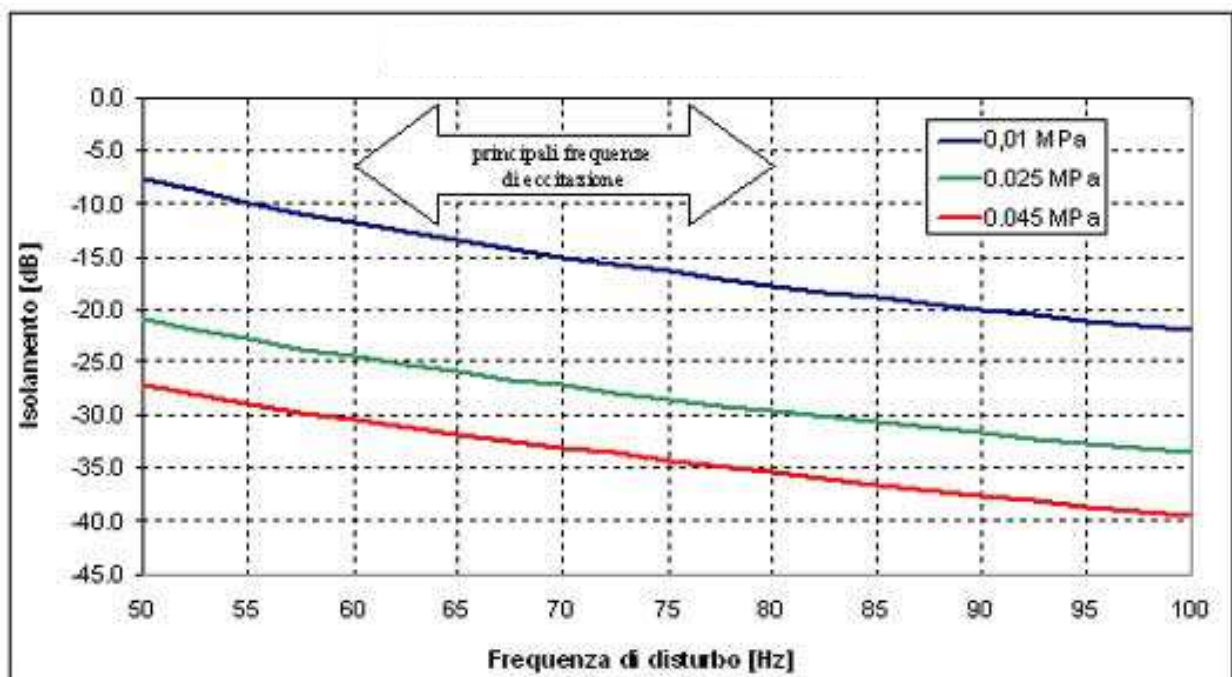


Figura 3.30 Curve di isolamento

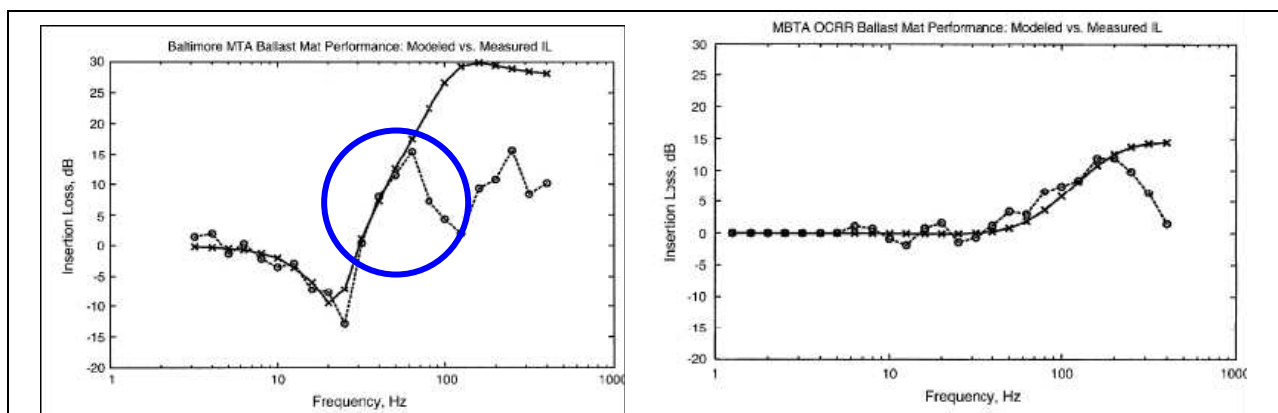


Figura 3.31 Efficacia dell'isolamento con materassino sotto-ballast, sperimentale (x) e numerico (o), nel caso di posa su basamento in calcestruzzo (sx) e sub-ballast in conglomerato bituminoso (dx) (Hanson C. E. et al., 2006)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

In Figura 3.31 si osserva che nel caso della posa su piastra in calcestruzzo la riduzione delle vibrazioni è compresa tra 8 e 16 dB per frequenze comprese nell'intervallo 40÷80 Hz (massime frequenze dello spettro di emissione in galleria), assumendo il valore maggiore proprio in corrispondenza di circa 63 Hz, mentre nel caso della posa su sub-ballast si ottengono valori crescenti da 4 e 12 dB per frequenze comprese nell'intervallo 40÷110 Hz.

A conforto dei risultati precedenti le prove condotte dall'Istituto Sperimentale FS su tratte ferroviarie in galleria evidenziano un abbattimento di -12 dB rispetto alle accelerazioni misurate sul paramento della galleria nelle zone non corredate da materassino smorzante, con spostamenti della traversa superiore e sollecitazioni sulla rotaia ampiamente tollerabili.

L'impiego di stuoie sottoballast con elevate prestazioni, caratterizzate da una idonea rigidità statica, rigidità dinamica e fattore di smorzamento) permette di ottenere degli isolamenti più alti di quelli precedentemente indicati. In sede di progetto esecutivo verrà dimensionato il tappetino sotto-ballast in relazione ai carichi statici e dinamici determinati dal transito dei convogli.

3.2.4.2 Manutenzione del contatto ruota-rotaia

Un aspetto molto importante nella gestione degli impatti vibrazionali in campo ferroviario è legato alla necessità di garantire un adeguato livello di manutenzione delle superfici di rotolamento di ruota e rotaia. Le irregolarità della ruota e della rotaia possono, infatti, incrementare i livelli vibrazionali neutralizzando gli effetti anche delle più efficaci misure di mitigazione.

I problemi legati al contatto ruota-rotaia e più in generale alla superficie di rotolamento riguardano azioni dinamiche fino a 1500 Hz. I più ricorrenti danneggiamenti superficiali delle ruote ferroviarie, che inducono i maggiori sovraccarichi dinamici, sono i cosiddetti "wheelflats" (sfaccettature) dovuti al bloccaggio delle ruote in frenatura. Col tempo questi difetti, di geometria iniziale ben definita (lunghezza tipica di 25-75 mm), possono essere attutiti dalle deformazioni plastiche indotte dal passaggio sotto carico delle sezioni modificate, dando luogo a errori di forma più attenuati ma di maggior estensione, ossia i "long wavelength wheelflats" (250-750 mm). Inoltre, sulla ruota sono spesso rilevate delle irregolarità (30-100 mm) simili alle tipiche "short wavelength corrugation" (usura ondulatoria corta) della rotaia (Bracciali A. et al., 1997).

I wheelflat possono, con rotaie difettose o indebolite da fori o saldature, provocare la rottura della rotaia. Le azioni impulsive generate si propagano oltre la rotaia e raggiungono le traverse, la massicciata (accelerandone il degrado), ed il terreno limitrofo. A causa delle wheelflat sono state misurate accelerazioni sulle rotaie fino a 700÷900 g e fino a 45 g sulla massicciata (Ahlbeck D. R.,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

1980).

La superficie di rotolamento della rotaia può essere soggetta a difetti di livellamento, i cui effetti, tutt'altro che trascurabili, sono definiti globalmente usura ondulatoria; si tratta di un difetto che consiste nella successione periodica o quasi periodica di avvallamenti e creste sulla superficie della rotaia che si ripetono con lunghezza d'onda caratteristica; in funzione di essa si definiscono tre tipi di usura ondulatoria: "corta, media e lunga". L'usura corta ha lunghezze d'onda di 3-10 cm e qualche centesimo di mm di ampiezza ed è presente essenzialmente nei rettili e nelle curve di grande raggio.

L'usura media è caratterizzata da lunghezze d'onda di 10-30 cm ed ampiezza di qualche centesimo di mm (0.3 mm circa), si manifesta nelle curve ed è tanto maggiore quanto più piccolo è il raggio. Infine, l'usura ondulatoria lunga è caratterizzata da una lunghezza d'onda che può variare da 1 a 3 metri, con una profondità media di 0.5 mm (difficilmente riconducibile al di sotto di 0.3 mm anche con specifici interventi), e si accompagna alla rotaia fin dalla sua fabbricazione (Alias J., 1986; Esveld C., 1989).

E' inoltre possibile trovare altre irregolarità della superficie di rotolamento della rotaia, come saldature irregolari, giunti, o come difetti da fatica della superficie di contatto ("squats" e "shells"), il cui effetto è simile a quello delle wheelflats.

Anche l'usura ondulatoria genera, al passaggio dei convogli ferroviari, delle vibrazioni che si propagano nella sovrastruttura e nei veicoli. Sono stati misurati livelli di accelerazione delle rotaie di 100 g e 10 g a seconda che l'usura ondulatoria fosse presente o meno. In alcuni casi la molatura della rotaia ha consentito di ridurre da 5 a 0.8 g l'accelerazione della cassa di una vettura e da 2.7 a 1.1 g quella della cassa di una locomotiva (Alias J., 1986), mentre secondo Wilson P. G. et al (1983) la presenza di irregolarità della ruota e della rotaia può incrementare le vibrazioni nel terreno di 10-15 dB. Ovviamente la lunghezza d'onda del difetto e la velocità del convoglio determinano la frequenza eccitatrice, mentre la profondità delle onde determina il livello degli sforzi e delle accelerazioni.

Nel caso in cui si possa accertare che eccessivi livelli vibrazionali indotti nel terreno siano riconducibili a problemi di irregolarità tra ruota e rotaia spesso la più efficace misura di controllo delle vibrazioni consiste proprio nell'attuare nuove procedure di manutenzione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

3.2.5 Interventi di mitigazione previsti

3.2.5.1 Versante Calabria

Le verifiche di impatto vibrazionale svolte per i ricettori interessati dai collegamenti ferroviari lato Calabria, nei limiti di competenza SdM, non richiedono interventi di mitigazione.

3.2.5.2 Versante Sicilia

Le previsioni di impatto evidenziano la necessità di migliorare in misura significativa il comportamento vibro-acustico di alcuni tratti del tracciato ferroviario. La posa di tappetini sotto ballast, le cui specifiche prestazionali dovranno essere dettagliatamente definite in occasione del progetto esecutivo in accordo alla UNI 11059:2003 "Elementi antivibranti - Materassini elastomerici per armamenti ferrotranviari - Indagini di qualifica e controllo delle caratteristiche meccaniche e delle prestazioni" , è prevista nelle tratte indicate in Tabella 3.11.

N.	Lato	Pk inizio [km]	Pk fine [km]	Lunghezza [m]
V0	P	2+350	2+750	400
V1	P	3+100	4+100	1000
V2	D	3+100	4+100	1000
V3	P	4+950	5+100	150
V4	D	4+950	5+100	150
V5	P	6+775	6+950	175
V6	D	6+775	6+950	175
V7	P	9+050	11+500	2450
V8	D	9+050	11+500	2450
V9	P	12+100	12+300	200
V10	D	12+100	12+300	200
V11	P	12+600	14+500	1900
V12	D	12+600	14+500	1900
V13	P	14+700	16+600	1900
V14	D	14+650	14+950	300
V15	D	15+200	16+600	1400
V16	D	16+825	17+050	225

Tabella 3.11 Localizzazione tappetini sotto ballast

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

L'estensione longitudinale minima L del dispositivo antivibrante è calcolabile considerando la distanza d_{limit} in metri alla quale il livello di accelerazione risulta uguale o inferiore al limite di riferimento UNI9614 relativo al ricettore oggetto di verifica e la distanza in metri $d_{\text{ricettore-linea}}$ tra il ricettore e il piano del ferro:

$$L = 2 \cdot \sqrt{(d_{\text{limit}}^2 - d_{\text{ricettore-linea}}^2)}$$

Considerando l'approssimazione del modello di calcolo, gli interventi di mitigazione sono stati previsti anche per i ricettori caratterizzati da livelli di impatto compresi tra 72-74 dB, in particolare nelle aree di intensa urbanizzazione.

Nel corso del Progetto Esecutivo sarà necessario disporre di maggiori informazioni riguardo le caratteristiche strutturali dei singoli ricettori interessati dagli interventi, raggruppati per classi dimensionali e tipologiche, al fine di individuare le frequenze naturali ottimali delle opere di mitigazione. L'efficacia di tali sistemi è infatti funzione della frequenza naturale degli stessi, la quale deve mantenersi inferiore alla frequenza minima da abbattere. Il grado di isolamento η offerto dipende infatti dal rapporto tra tali frequenze secondo la relazione:

$$\eta = \frac{\lambda^2 - 2}{\lambda^2 - 1} \cdot 100 (\%)$$

dove:

λ è il rapporto tra la minima frequenza da abbattere e la frequenza naturale del sistema antivibrante. L'attenuazione di un sistema antivibrante è funzione del grado di isolamento secondo la seguente espressione:

$$K = 20 \log_{10} (1 - \eta/100) \quad [\text{dB}]$$

Sarà inoltre necessario effettuare apposite prove sperimentali per la caratterizzazioni delle funzioni di trasferimento terreno-edificio, in particolare nelle aree in cui i profili geolitologici evidenziano una maggiore complessità stratigrafica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

3.3 Impatto stradale in fase di esercizio

E' noto che il traffico stradale e autostradale non rappresenta, a meno di situazioni locali "anomale", una sorgente vibrazionale significativa in termini di livello. Il rotolamento degli pneumatici su un manto stradale rugoso o liscio non genera energia sufficiente a far emergere problemi di rispetto normativo in corrispondenza dei ricettori.

Al fine di documentare tali affermazioni sono state svolte delle misure triassiali real time in prossimità di tracciati autostradali in esercizio, a 9 m di distanza dal ciglio della carreggiata autostradale (Figura 3.32 - Figura 3.33), annotando sulle schede di campo il passaggio dei mezzi pesanti al fine di permettere l'estrazione degli eventi.

Le attività di monitoraggio sono state svolte con strumentazione in allestimento mobile conforme IEC 184, IEC 222 e IEC 225 e modalità di acquisizione conforme UNI9614 e ISO 2631-2. Per l'acquisizione dei dati da tablet pc è stato utilizzato un software acquisizione dati National Instruments VI-Logger, che permette anche un collegamento real time con l'analizzatore, il calcolo dei livelli totali e la realizzazione di un output grafico e l'esportazione dei dati sul software N&V Works della Spectra s.r.l.

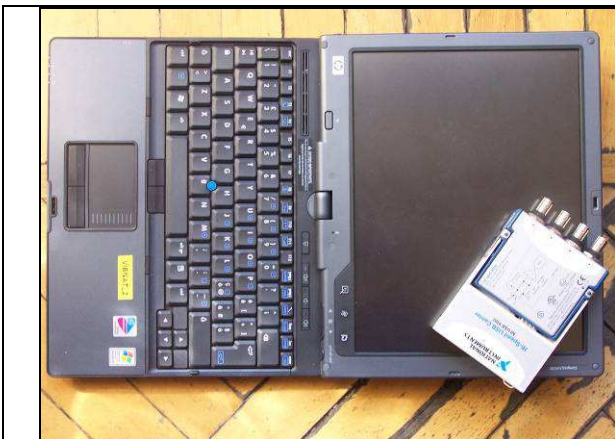


Figura 3.32 Tablet PC Hewlett-Packard Compaq



Figura 3.33 Massetto metallico con terna di accelerometri

La Figura 3.34 sx riporta il decorso temporale per l'asse Z e i relativi spettrogrammi dei livelli equivalenti e massimi di accelerazione tra 0-80 Hz.

L'analisi delle misure evidenzia che il transito caratterizzato dai massimi livelli è associato ad un

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> <i>AMV0485_F0.doc</i>		<i>Rev</i> <i>F0</i>
				<i>Data</i> <i>31/05/2012</i>

veicolo pesante per il quale è stato rilevato un livello equivalente di accelerazione asse Z pari a 54.5 dB e un livello massimo di 59.7 dB. Valori molto minori riguardano gli assi di propagazione orizzontale X e Y (Figura 3.34 dx).

La massima energia vibrazionale è concentrata nell'intervallo di frequenza 12.5-16 Hz, ben lontano dai valori di risonanza dei solai di civile abitazione tipicamente posizionati tra 40-50 Hz.

Per analogia con la piattaforma stradale in progetto e con il tipo di pavimentazione che verrà impiegata (asfalto drenante fonoassorbente) si può ritenere che non esistono preoccupazioni per l'impatto vibrazionale in esercizio. Ciò presuppone che il manto stradale, nel corso della vita dell'infrastruttura, venga sempre soggetto a piani di manutenzione programmata al fine di conservarne le caratteristiche di continuità e di fonoassorbenza, evitando pertanto la formazione di discontinuità, ammaloramenti, ormaie o quantaltro possa determinare la generazione di azioni dinamiche in grado di sollecitare il corpo stradale e il terreno sottostante, con conseguente propagazione laterale delle vibrazioni.

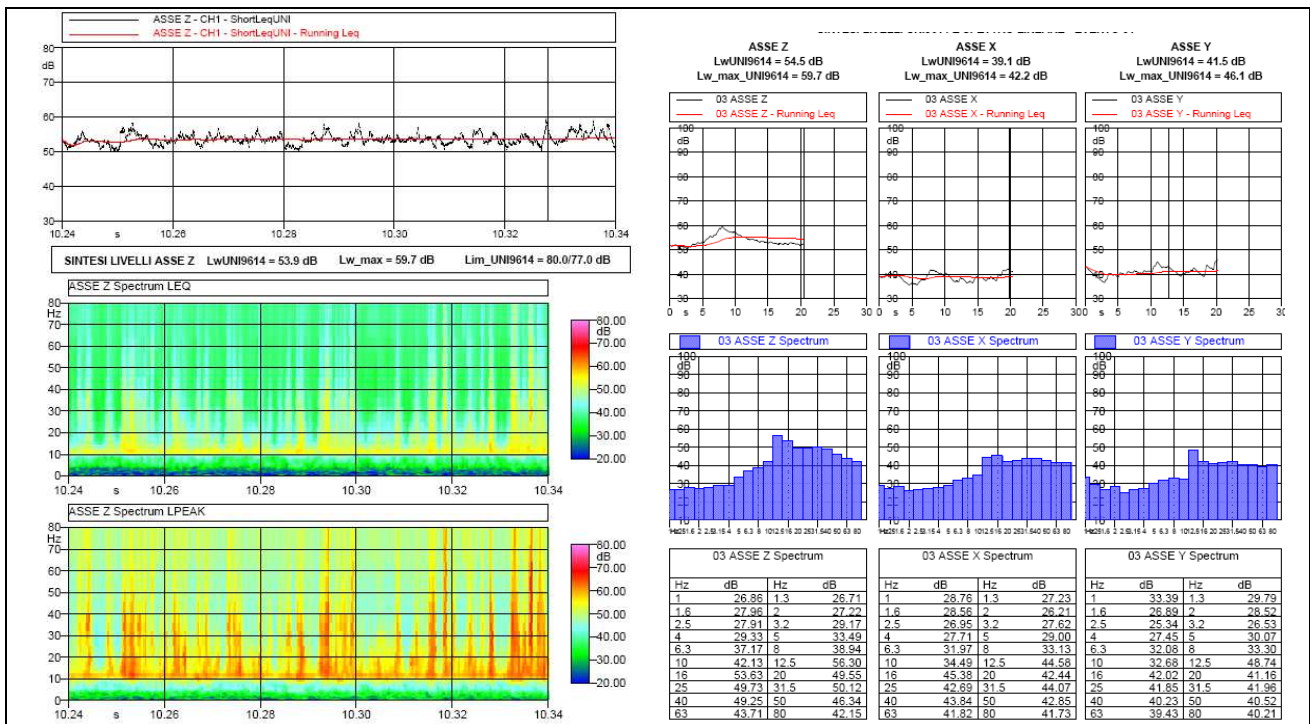


Figura 3.34 Misure sperimentali vibrazioni a bordo autostrada

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito	
RELAZIONE GENERALE	<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

4 Punti di attenzione per il PMA

Le valutazioni acustiche previsionali effettuate in fase di cantiere per le due infrastrutture stradale e ferroviaria e, in fase di esercizio, per quella ferroviaria, hanno consentito l'individuazione degli ambiti caratterizzati da livelli di impatto vibrazionale superiori ai valori indicati dalla normativa di riferimento e potenzialmente disturbanti per la popolazione esposta. Viene pertanto evidenziata la necessità di prevedere opportuni accorgimenti durante le lavorazioni e locali interventi di mitigazione tramite stuoie sottoballast sulla sorgente ferroviaria.

I principali punti di controllo da prevedere nel PMA sono, sul versante Sicilia:

- Ricettore ME219 versante Sicilia, situato in corrispondenza del tratto in trincea T01 in località Faro, direzione Messina, durante la fase di costruzione del tracciato stradale.
- Ricettori interessati dallo scavo della Galleria stradale Faro Superiore, in particolare il ricettore ME429.
- Ricettori interessati dallo scavo della Galleria stradale Le Fosse, in particolare si segnala la presenza di un edificio scolastico, ME1828.
- Ricettori in corrispondenza della galleria artificiale S. Agata a ovest della fermata Papardo, come la scuola ME882, a monitoraggio della fase di esercizio in presenza di interventi di mitigazione sotto ballast.
- Ricettori lungo la Galleria S. Cecilia, a monitoraggio della fase di esercizio in presenza di interventi di mitigazione sotto ballast, in particolare in prossimità delle fermate Annunziata ed Europa. Si segnalano in particolare alcuni ricettori evidenziati come edifici caratterizzati da presenza di lesioni:

- ME1618 a circa 25 m dalla fermata Europa
- ME1870, ricettore a circa 20 m dalla Galleria ferroviaria S. Cecilia
- ME1057, ricettore lungo la Galleria ferroviaria S. Cecilia nel tratto in curva prima della stazione di Contesse
- ME1505, a circa 25 m dalla Galleria ferroviaria S. Cecilia a ovest della fermata Annunziata
- ME1732, lungo la Galleria ferroviaria S. Cecilia tra la fermata Annunziata e la fermata Europa.

Sul versante Calabria:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

- Ricettori interessati dallo scavo della galleria stradale Piaie, in particolare l'edificio VSG86
- Ricettore lungo la galleria ferroviaria G01, in particolare sul RAMO da Messina, evidenziato come edificio caratterizzato da presenza di lesioni, VSG669
- Ricettori lungo la galleria stradale della Rampa D, evidenziati come edifici caratterizzati da presenza di lesioni, VSG714 e VSG716.

Tali indicazioni possono confluire nell'ambito del Piano di Monitoraggio Ambientale che accompagnerà la realizzazione delle opere, fatta salva la necessità di definire preliminarmente nel corso di sopralluoghi la fattibilità delle misure e di ottenere le autorizzazioni per l'accesso alle proprietà.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

5 Conclusioni

Le verifiche dei livelli di vibrazione prodotti in fase di scavo delle gallerie ferroviarie a foro cieco con TBM hanno evidenziato sul versante Sicilia, in corrispondenza di tre ricettori, livelli superiori alla soglia di sensibilità e, limitatamente a un ricettore molto vicino al fronte di scavo, un livello superiore al limite UNI9614 in periodo notturno. Queste situazioni di massimo impatto si collocano in ogni caso in una generalizzata condizione di conformità normativa e di livelli di impatto inferiori alla soglia di sensibilità umana (71 dB).

Per quanto riguarda l'impatto da scavo in tradizionale impiegato per le gallerie stradali, le verifiche svolte per i ricettori caratterizzati dalle condizioni di massima esposizione indicano livelli di vibrazione compresi tra 63-81 dB, in alcuni casi quindi superiori ai limiti normativi.

Gli edifici interessati dai lavori di realizzazione dei tratti in superficie, in corrispondenza dei tratti in rilevato, viadotto, trincea, ecc. sono nella quasi totalità localizzati a distanze superiori a quelle alle quali si possono verificare livelli di impatto oggettivamente disturbanti per la popolazione residente esposta.

Sul versante Calabria le stime previsionali durante lo scavo in tradizionale delle gallerie ferroviarie evidenziano, per il campione di ricettori caratterizzati dalle condizioni di massima esposizione, livelli di vibrazione inferiori alla soglia di percezione a causa delle significative distanze tra il fronte di scavo e gli edifici. I livelli di rumore solido raggiungono valori massimi di 16 dBA, inferiori al limite di applicabilità del limite differenziale.

Relativamente invece allo scavo delle gallerie stradali, le stime previsionali evidenziano, causa la geolitologia interessata (calcari) e le distanze contenute tra fronte di scavo e basamento degli edifici, superamenti del limite UNI9614 in periodo notturno (74 dB) in tutti i punti di controllo.

Gli edifici localizzati a minima distanza dalle aree di cantiere e dalle lavorazioni del fronte avanzamento lavori delle tratte fuori terra sono localizzati a distanze superiori a quelle potenzialmente "critiche" e sono pertanto esposti a livelli di vibrazioni inferiori al valore limite indicato dalla UNI9614 come oggettivamente disturbante per la popolazione residente nel periodo diurno.

Le verifiche di impatto vibrazionale svolte per la fase di esercizio in corrispondenza dei ricettori interessati dai collegamenti ferroviari lato Calabria, nei limiti di competenza SdM, non richiedono

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito</p>		
<p align="center">RELAZIONE GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 31/05/2012</p>

interventi di mitigazione, mentre sul versante Sicilia è stata evidenziata la necessità di migliorare in misura significativa la performance vibro-acustica di alcuni tratti del tracciato ferroviario prevedendo la posa di tappetini sotto ballast.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO Alternative ai siti di deposito		
RELAZIONE GENERALE		<i>Codice documento</i> AMV0485_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 31/05/2012

6 Bibliografia

1. UNI9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo", 1990
2. ISO2631-2 "Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2, 1989
3. UNI9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", 1991
4. F.BLENNEMANN, "Results from noise vibration research for urban railways", Inter-Noise85, pp. 621-624, 1985
5. F.A.LOOS, J.C. KRIJGSMAN, J.TEENSMA, "An industrial railway alongside a residential area: objectives, plans and limits in respect of noise and vibration; the sound sources and their levels; engineering and performance of technical measures", Inter-Noise81, pp.581-592, 1981
6. T.FUJIKAKE, "A prediction method for the propagation of ground vibration from railway trains", JSV 111, pp. 357-360, 1986
7. EWLAND, "Rapporteur's report, session 6: noise in elevated structures; vibration propagation; vibration isolation techniques", JSV 51, pp. 449-450, 1977
8. P.NELSON, "Transportation noise reference book", Butterworths, 1987
9. A.PERETTI, "Valutazione del disturbo da vibrazioni negli edifici", Convegno Internazionale Il rumore urbano e il governo del territorio, 1988
10. J.M.FIELDS, "Railway noise and vibration annoyance in residential areas, J.S.V. 1979, 66 (3) 445-448
11. ORE, "Vibrations transmises par le sol", Question D 151, Rapport N° 2, Utrecht, 1982
12. BARKAN D. D., Dynamic of Bases and Foundations, McGraw-Hill Book, New York, 1962
13. ROARK R. J., Formulas for Stress and Strains, McGraw-Hill Book, New York, 1982
14. NELSON P., Transportation Noise, Butterworths Ed., London, 1987
15. MASOERO M., CERAVOLO M., Le vibrazioni nel trasporto ferroviario, Rapporto PT-DE-FT 316, Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino, Torino, 1993
16. NELSON J. T., SAURENMANN H. J., State of the Art Review Prediction and Control of Groundborne Noise and Vibration from Rail Transit Trains, U.S. Departement of Transportation, Report N° UMTA-06-0049-83-4, 1983
17. SAURENMANN H. J., NELSON J. T., WILSON G. P., Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, U.S. Departement of Transportation, Report N° UMTA-MA-06-0099-82-1, 1982