

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

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

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <p>IL PROGETTISTA</p>  <p>Dott. Ing. D. Spoglianti<br/>         Ordine Ingegneri<br/>         Milano<br/>         n° 20953</p> <p>Dott. Ing. E. Pagani<br/>         Ordine Ingegneri Milano<br/>         n° 15408</p>  | <p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager<br/>         (Ing. P.P. Marcheselli)</p> | <p>STRETTO DI MESSINA<br/>         Direttore Generale e<br/>         RUP Validazione<br/>         (Ing. G. Fiammenghi)</p> | <p>STRETTO DI MESSINA<br/>         Amministratore Delegato<br/>         (Dott. P. Ciucci)</p> |
|--|---|--|---|

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p><i>Unità Funzionale</i></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p> | <p>COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA<br/>         RILIEVI ACCERTAMENTI E INDAGINI IN CAMPO – INDAGINI AMBIENTALI<br/>         (STUDI DI SETTORE)<br/>         ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE<br/>         STUDIO SULLE VIBRAZIONI<br/>         RELAZIONE GENERALE</p> | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">AC0112_F0</div> |
|---|--|--|

|        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| CODICE | C | G | 0 | 7 | 0 | 0 | A | R | G | D | C | I | 7 | 0 | 0 | V | B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | F0 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

| REV | DATA       | DESCRIZIONE      | REDATTO    | VERIFICATO | APPROVATO    |
|-----|------------|------------------|------------|------------|--------------|
| F0  | 20/06/2011 | EMISSIONE FINALE | A.CALEGARI | M.SALOMONE | D.SPOGLIANTI |
|     |            |                  |            |            |              |
|     |            |                  |            |            |              |



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| INDICE.....  | 3  |
| Premessa.....  | 5  |
| 1 Il contesto giuridico e i valori limite applicabili .....                                | 7  |
| 1.1 Esposizione umana e danni agli edifici .....   | 7  |
| 1.1.1 Norma ISO2631/2 .....  | 7  |
| 1.1.2 Norma UNI 9614 .....   | 10 |
| 1.1.3 Norma UNI 11048 .....  | 12 |
| 1.1.4 Norma UNI 9916 .....   | 13 |
| 1.2 Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni (ISO/TS 10811-2:2000)..... | 20 |
| 2 Caratteristiche ambientali .....   | 23 |
| 2.1 Schedatura dei ricettori .....   | 23 |
| 2.2 Caratteristiche geolitologiche .....   | 25 |
| 3 Metodologia di previsione di impatto vibrazionale .....                                  | 29 |
| 3.1 Il modello previsionale.....   | 29 |
| 3.1.1 Attenuazione per dissipazione interna del terreno .....                              | 30 |
| 3.1.2 Attenuazione dovuta a ostacoli o discontinuità del terreno .....                     | 31 |
| 3.1.3 Propagazione all'interno dell'edificio .....   | 32 |
| 3.1.4 Rumore solido .....  | 36 |
| 3.2 Emissioni di riferimento .....   | 37 |
| 3.3 Previsioni di impatto .....  | 43 |
| 4 Interventi di mitigazione .....  | 47 |
| 5 Bibliografia .....   | 49 |

### ALLEGATO 1 – VERIFICHE DI IMPATTO VIBRAZIONALE



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## Premessa

Nel seguito vengono descritti il metodo ed i risultati dello studio di impatto vibrazionale dei collegamenti ferroviari di collegamento al Ponte sullo Stretto di Messina lato Calabria.

Lo scopo del presente lavoro è la stima dei livelli vibrazionali indotti dal transito dei convogli negli edifici soprastanti al tratto di tracciato in progetto. Identificati gli edifici impattati nell'intorno del tracciato, i livelli di vibrazione conseguenti alle attività di esercizio della linea, sono stati stimati mediante l'impiego di un modello previsionale basato su indicazioni di bibliografia. Tale modello effettua la stima dei livelli vibrazionali al piano terra degli edifici potenzialmente critici mediante la caratterizzazione della sorgente vibratoria, la presa in conto dell'attenuazione delle vibrazioni in campo libero e la valutazione degli effetti di attenuazione / amplificazione ai piani dei ricettori stessi. I livelli ottenuti vengono confrontati con i limiti di normativa per valutare l'effetto delle vibrazioni sugli individui e sulle attività lavorative. Secondo la metodologia sopra descritta, l'organizzazione del presente documento, è la seguente:

- Introduzione al problema vibratorio e all'impatto sulla popolazione;
- Individuazione dei limiti di normativa per la verifica dei livelli di vibrazione, con particolare riguardo agli effetti sulle persone ed edifici;
- descrizione del modello previsionale utilizzato nel calcolo;
- zonizzazione geolitologica del tracciato effettuata sulla base degli studi specialistici relativi alla caratterizzazione geotecnica.
- individuazione dei ricettori sensibili, sulla base del censimento effettuato.

L'Allegato 2 alla Relazione di "Studio sul rumore, sulle vibrazioni e impatto atmosfera" in fase di cantiere:

|        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|--------|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| CG0700 | P | RX | D | G | TC | CT | MI | 00 | 00 | 00 | 02 |
|--------|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|

contiene la schedatura dei ricettori in corrispondenza dei quali sono state svolte le verifiche di impatto.

Vengono nel seguito brevemente descritte le problematiche di impatto vibrazionale in fase di esercizio di una linea ferroviaria.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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 ricettore, 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.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 1 Il contesto giuridico e i valori limite applicabili

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.

### 1.1 Esposizione umana e danni agli edifici

#### 1.1.1 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  $a_{rms}$  definito come:

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



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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

| Frequenza<br>[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



|   |   |   |                           |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0  | <i>Rev</i><br>F0  | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

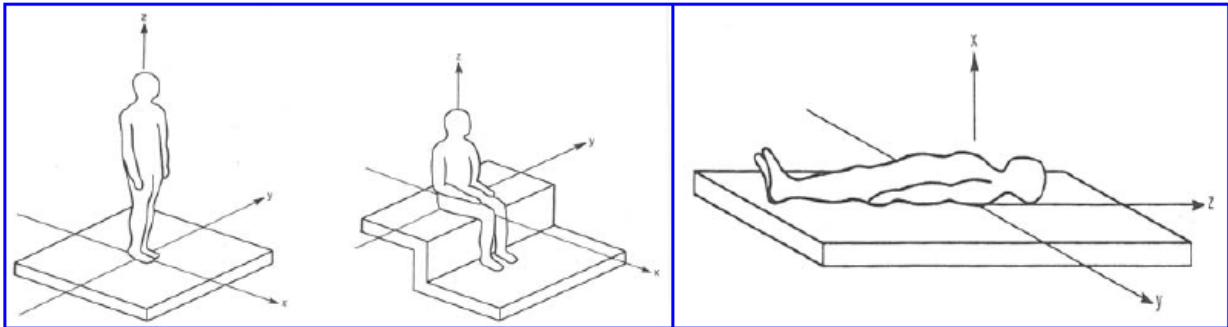


Figura 1.1 Rappresentazione delle tre componenti in funzione della posizione del corpo

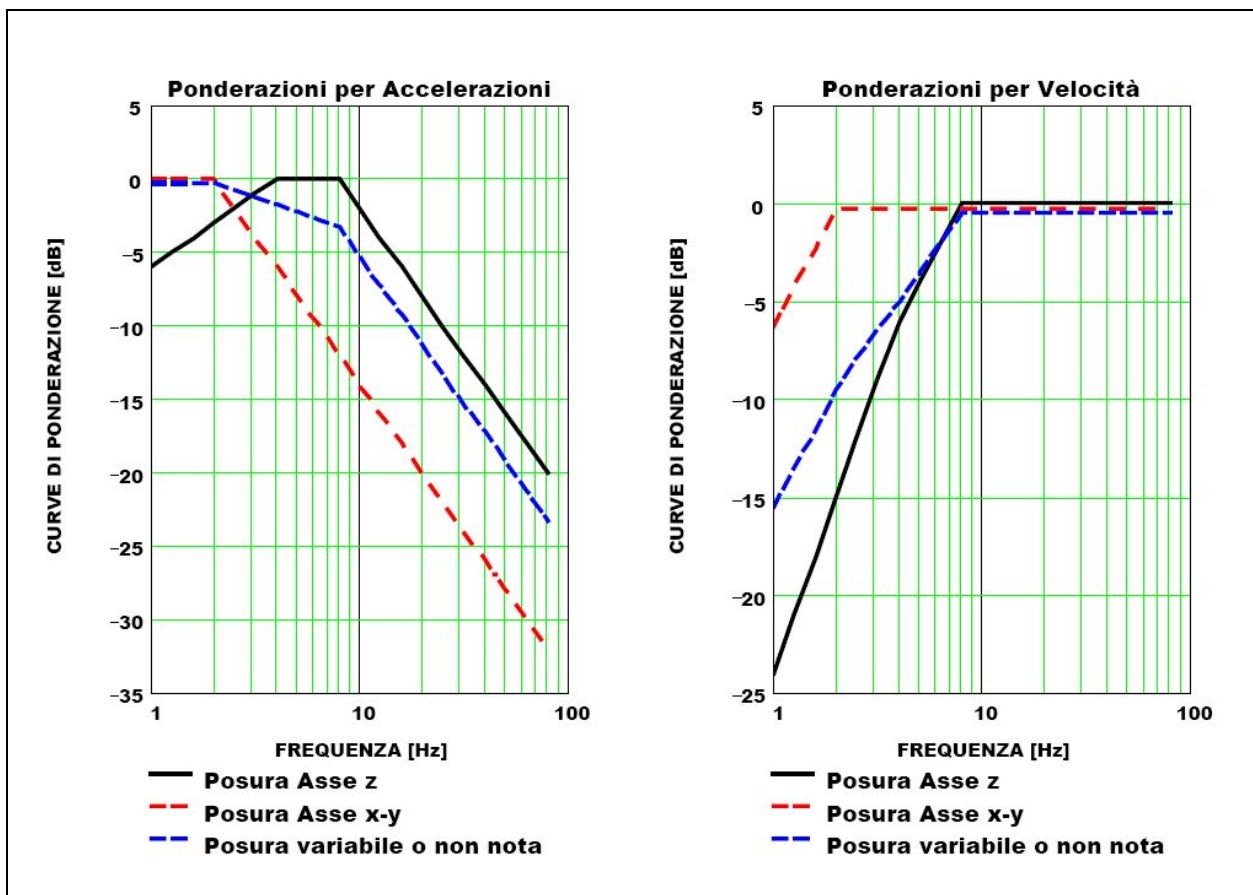


Figura 1.2 Curve di ponderazione (ISO) per le vibrazioni lungo gli assi verticali, orizzontali e per postura non nota per le frequenze da 1 Hz a 80 Hz

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| 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)

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.

### 1.1.2 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  $L_w = 20 \log_{10} (a_w / 10^{-6} \text{ ms}^{-2})$ .

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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.

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.

|   |   |   |                           |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0  | <i>Rev</i><br>F0  | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| <b>DESTINAZIONE D'USO</b> | <b><math>a_w</math> [m/s<sup>2</sup>]</b> | <b><math>L_w</math> [dB]</b> |
|---------------------------|---|------------------------------|
| Aree critiche             | $5.0 \times 10^{-3}$                      | 74                           |
| Abitazioni (Notte)        | $7.0 \times 10^{-3}$                      | 77                           |
| Abitazioni (Giorno)       | $10.0 \times 10^{-3}$                     | 80                           |
| Uffici                    | $20.0 \times 10^{-3}$                     | 86                           |
| Fabbriche                 | $40.0 \times 10^{-3}$                     | 92                           |

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

| <b>DESTINAZIONE D'USO</b> | <b><math>a_w</math> [m/s<sup>2</sup>]</b> | <b><math>L_w</math> [dB]</b> |
|---------------------------|---|------------------------------|
| Aree critiche             | $3.6 \times 10^{-3}$                      | 71                           |
| Abitazioni (Notte)        | $5.0 \times 10^{-3}$                      | 74                           |
| Abitazioni (Giorno)       | $7.2 \times 10^{-3}$                      | 77                           |
| Uffici                    | $14.4 \times 10^{-3}$                     | 83                           |
| Fabbriche                 | $28.8 \times 10^{-3}$                     | 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

| <b>DESTINAZIONE D'USO</b> | <b><math>a_w</math> (Z) [m/s<sup>2</sup>]</b> | <b><math>a_w</math> (X-Y) [m/s<sup>2</sup>]</b> |
|---------------------------|---|---|
| Aree critiche             | $5.0 \times 10^{-3}$                          | $3.6 \times 10^{-3}$                            |
| Abitazioni (Notte)        | $7.0 \times 10^{-3}$                          | $5.0 \times 10^{-3}$                            |
| 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

### 1.1.3 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

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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 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.

#### **1.1.4 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

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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).

| <b>Sorgente di vibrazioni</b>                                   | <b>Gamma di frequenza [Hz]</b> |               |
|---|--------------------------------|---------------|
|   | 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

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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.),

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



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).

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

**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 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.

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.

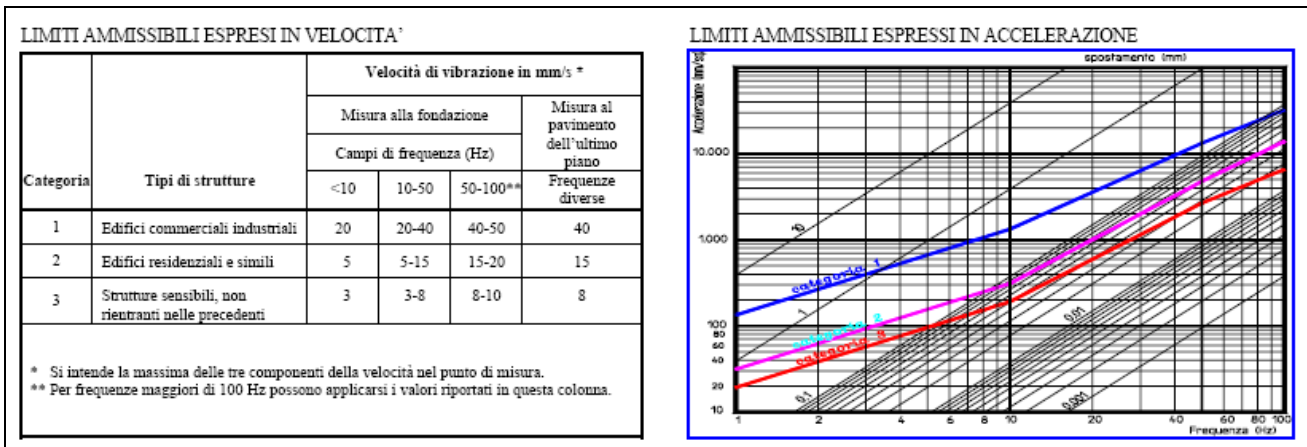


Figura 1.3 Valori di riferimento per la p.c.p.v. per vibrazioni di breve durata (DIN 4150)



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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.

| 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)

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 ;nevenness, 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%.

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.

|   |   |   |                                      |                  |
|---|---|---|--------------------------------------|------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                                      |                  |
|   |   | <b>RELAZIONE GENERALE</b>   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0 | <i>Rev</i><br>F0 |

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 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%.



| 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.<br>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 <sup>*)</sup>                                 | Da 10 Hz fino a 50 Hz | Da 50 Hz fino a 100 Hz <sup>*)</sup> |
| 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                                   |
| <sup>*)</sup> 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 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

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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 <sup>*)</sup>                                  |  |  |
|   |   |  | Da 8 Hz fino a 30 Hz <sup>*)</sup>                                 | 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<br>Frequente<br>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<br>Frequente<br>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<br>Frequente<br>Permanente | 15<br>6<br>3   | 20<br>8<br>4   | 30<br>12<br>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<br>Frequente<br>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)

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.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

- Integrazione delle componenti di accelerazione.
- Analisi spettrale della componente di velocità che risulta più severa in termini di ampiezza 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).

## **1.2 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 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.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

- 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 1.3.2/1 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 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 µm/s per microscopi ottici, bilance di precisione, bilance ottiche, ecc (curva A) e valori minimi pari a 3 µm/s per i sistemi che richiedono una straordinaria stabilità dinamica, come ad esempio i sistemi di puntamento laser per le grandi distanze (Curva E).

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |   |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i> <i>Data</i><br>F0 20/06/2011 |

| VC curve | R.m.s. velocity<br>$\mu\text{m/s}$ | Peak velocity for sine waves<br>mm/s | Peak velocity for random vibration (10 min)<br>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

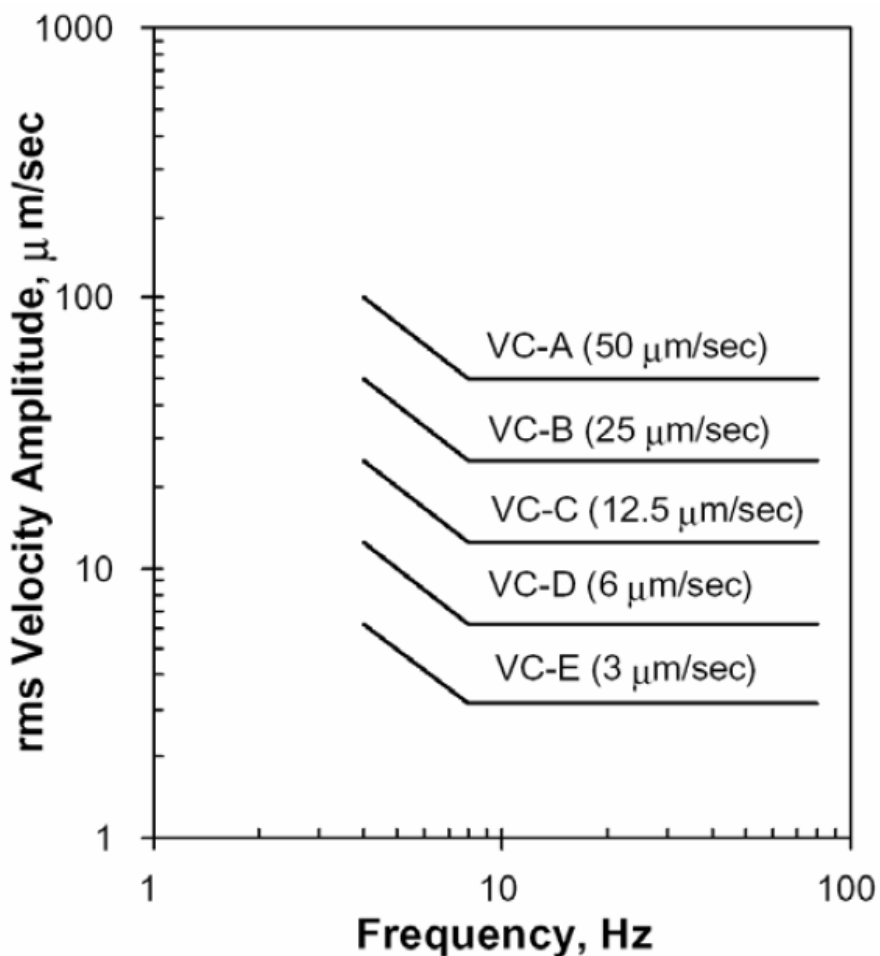


Figura 1.4 Curve limite Velocità di picco

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 2 Caratteristiche ambientali

### 2.1 Schedatura dei ricettori

Al fine di verificare le condizioni di esposizione alle vibrazioni in fase di esercizio 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 ma estendendo l'analisi anche a ricettori potenzialmente più vulnerabili a distanza maggiore. Le informazioni utilizzate sono relative al 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 ha considerato un campione di edifici rappresentativo delle condizioni di massima esposizione potenziale e altri edifici significativi. Le schede contengono:

- 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;
- scuole;
- ospedali e cliniche;

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

Le schede ricettori sono contenute nell'Allegato 2 alla Relazione di "Studio sul rumore, sulle vibrazioni e impatto atmosfera" in fase di cantiere: CG0700PRXDGTCTMI00000002, hanno complessivamente riguardato 15 edifici residenziali o assimilabili. Le attività di censimento non hanno fatto emergere la presenza di ricettori sensibili 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

## 2.2 Caratteristiche geolitologiche

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, ed, 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. In Figura 2.1 è riportata la legenda.

Nella Tabella 2.1, Tabella 2.2, Tabella 2.3, Tabella 2.4 e relative figure associate, è riassunta per tratte omogenee la geolitologia assunta a base delle valutazioni previsionali, identificate da una progressiva chilometrica di inizio e fine.

|   |   |   |                                      |                  |
|---|---|---|--------------------------------------|------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                                      |                  |
|   |   | <b>RELAZIONE GENERALE</b>   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0 | <i>Rev</i><br>F0 |

- 
**Riperto antropico.**  
(ATTUALE)
- 
**Depositi di versante.**  
Depositi poco coesivi, costituiti da materiale spigoloso, poligenico ed eterometrico con matrice a grana fine (a), localmente si presenta con grossi blocchi. In località Cape Ate di dentro si presenta con texture da medie a grossolane, subordinatamente fine, con laminazione incrociata e clinostратificato (b).  
(CIOCENE)
- 
**Depositi di piana costiera recenti ed attuali.**  
Ghiaie eterometriche e poligeniche, prevalentemente cristallino-metamorfiche e sabbie a grana da media a grossolana: sono presenti, intercalati, livelli e lenti di torba.  
(CIOCENE)
- 
**Eluvio-colluvio.**  
Limi, ghiaie e sabbie con matrice a grana fine e dasti cristallino-metamorfici prevalenti, da spigolosi a subarrotondati.  
(CIOCENE)
- 
**Depositi alluvionali.**  
Ghiaie eterometriche ad elementi cristallino-metamorfici ben arrotondati, frammisti a sabbie limose.  
(CIOCENE)
- 
**Depositi marini terrazzati** (distinguibili in più ordini gerarchici).  
Sabbie gialle e ocre, limi e ghiaie con ciottoli arrotondati ed appiattiti prevalentemente cristallini, in matrice sabbiosa. Costituiscono superfici terrazzate distribuite a diverse quote debolmente inclinate verso la linea di costa.  
(PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE)
- 
**Ghiaie e sabbie di Messina.**  
Sabbie e ghiaie grigio giallastre, con abbondante matrice. I clasti sono da subarrotondati ad appiattiti, spesso embricati. Sono presenti livelli e lenti di sabbie fini. Si presentano dinostратificati. Le facies sono attribuibili ad ambienti di tipo deltizio e/o conoidi sottomarina.  
(PLEISTOCENE MEDIO)
- 
**Calcarenti di San Corrado.**  
Calcarenti e calciruditi clastiche e bioclastiche, di colore giallo-bruno, a stratificazione incrociata con livelli sabbioso-limosi con macrofossili. A luoghi sono presenti, alla base, orizzonti di breccie cementate costituite da dasti spigolosi, cristallino-metamorfici, da centimetri a pluridecimetri in matrice calcifica microcristallina.  
(PLEISTOCENE INFERIORE)
- 
**Formazione di Le Masse.**  
Marme sabbiose biancastre massive in banchi spessi diversi metri, passanti verso l'alto ad alternanze di sabbie e calcarenti con abbondanti fossili.  
(PLIOCENE INFERIORE)
- 
**Trubi.**  
Marme e calcari marnosi bianco crema con intercalazioni di lenti sabbiose (a). Nella parte superiore sono presenti livelli calcarentici ricchi in fossili (b).  
(PLIOCENE INFERIORE)
- 
**Conglomerato di Pezzo.**  
Conglomerato a matrice arenacea, da scarsamente a ben cementato, a stratificazione poco distinta, con passaggi laterali a livelli arenacei e sabbie grossolane. Gli elementi costituenti sono esclusivamente di natura cristallino-metamorfica.  
(TORTONIANO SUPERIORE)
- 
**Substrato cristallino-metamorfico.**  
Basamento costituito da paragneiss e graniti (a) paragneiss biotitici passanti a micascisti, gneiss occhiadini e metagraniti con intercalazioni di quarziti e amfiboliti (b) plutoniti grigio-chiara a composizione granodioritica e leucocronozgranitica.  
(CARBONIFERO-PERMIANO)

Figura 2.1

| 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                                     |

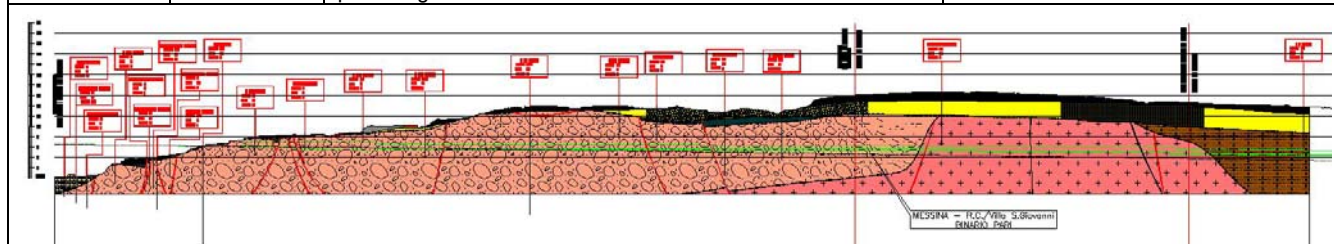


Tabella 2.1 Sintesi geolitologia Ramo 1

|   |   |   |                                      |                  |
|---|---|---|--------------------------------------|------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                                      |                  |
|   |   | <b>RELAZIONE GENERALE</b>   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0 | <i>Rev</i><br>F0 |

| 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  |

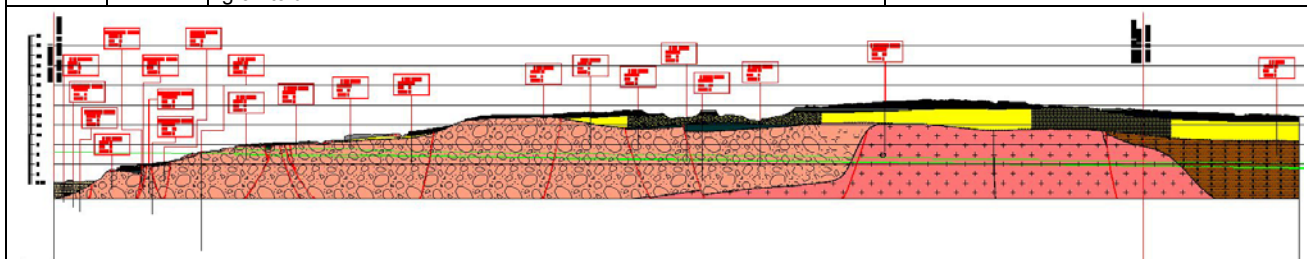


Tabella 2.2 Sintesi geolitologia Ramo 2

| Pk inizio | Pk fine | Complessi geologici  | Note                   |
|-----------|---------|--|------------------------|
| 0+000     | 0+275   | 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. |                        |
| 0+275     | 0+400   | Depositi marini terrazzati. sabbie e ghiaie. conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.  |                        |
| 0+400     | 0.675   | Depositi marini terrazzati, sabbie e ghiaie, plutoniti granitoidi.   |                        |
| 0+675     | 1+000   | Plutoniti granitoidi   | Termine intervento SdM |

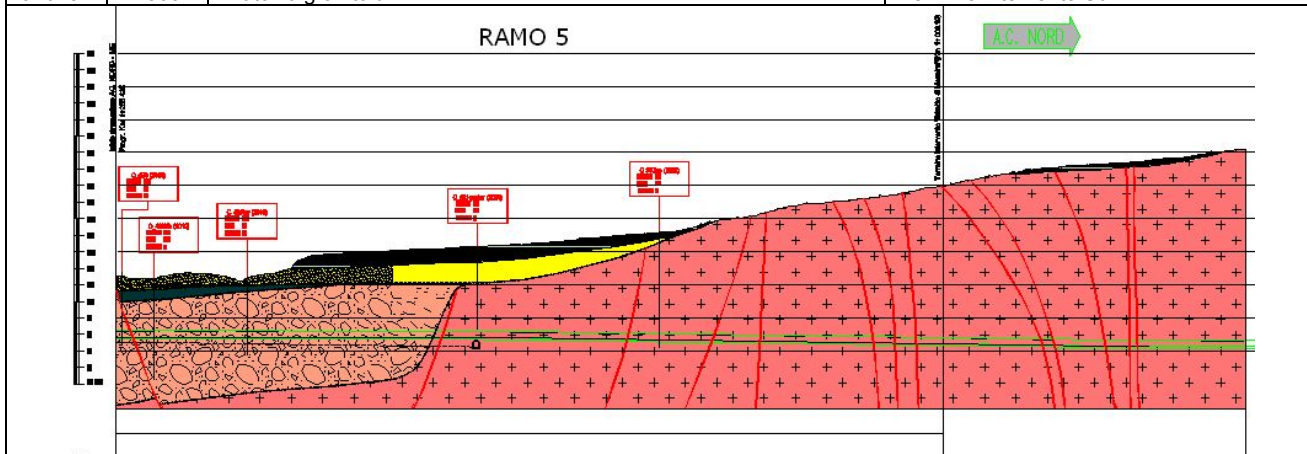


Tabella 2.3 Sintesi geolitologia Ramo 5

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| Pk inizio | Pk fine | Complessi geologici  | Note                   |
|-----------|---------|--|------------------------|
| 0+000     | 0+175   | 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. |                        |
| 0+175     | 0+225   | Depositi marini terrazzati. sabbie e ghiaie, conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico.  |                        |
| 0+225     | 0.550   | Depositi marini terrazzati, sabbie e ghiaie, plutoniti granitoidi.   |                        |
| 0+550     | 1+000   | Plutoniti granitoidi, con livello di depositi marini di potenza decrescente fino a 0+650   | Termine intervento SdM |

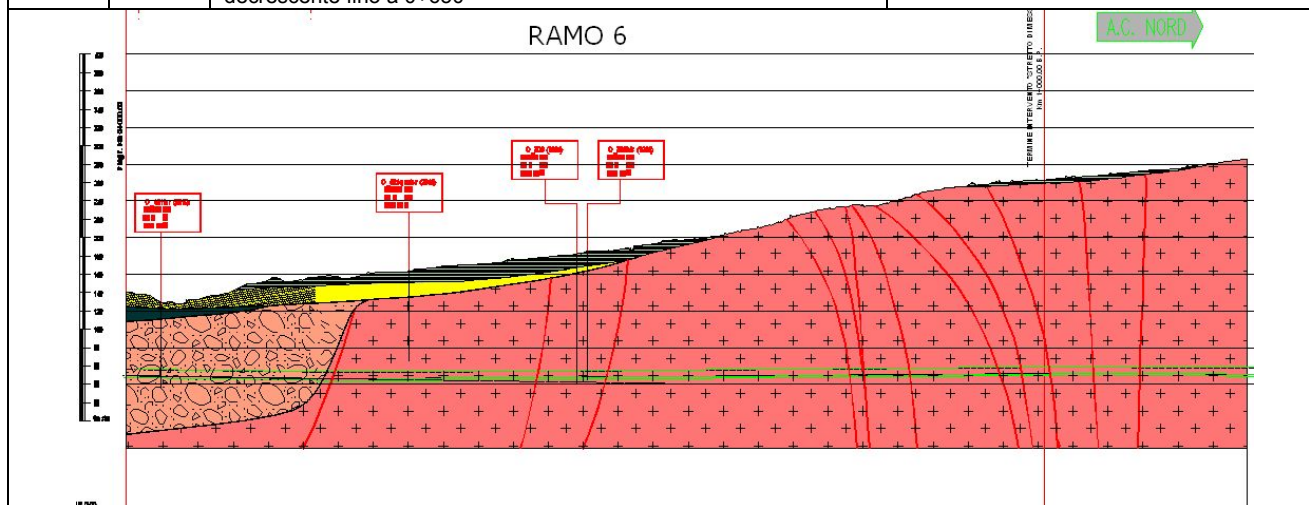


Tabella 2.4 Sintesi geolitologia Ramo 6

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

### 3 Metodologia di previsione di impatto vibrazionale

#### 3.1 Il modello previsionale



Il livello di vibrazione in corrispondenza di un ricettore ad una distanza "x" 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:

- 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.

Il modello di calcolo previsionale opera sulla sola componente in direzione verticale in quanto prevalente in relazione al fenomeno vibratorio in esame, in conseguenza sia del maggior livello di spettro generato sia della maggiore amplificazione strutturale da parte degli edifici (sono maggiori le amplificazioni dei solai per la componente verticale, rispetto alle amplificazioni in quota per le componenti orizzontali). Questo approccio è riconosciuto adeguato dalla letteratura tecnica in materia la quale fornisce criteri e regole di valutazione per la sola componente verticale (criteri e regole differenti dovrebbero essere messe in conto per l'esame di attenuazioni ed amplificazioni per le componenti longitudinali e trasversali). In particolare la letteratura tecnica ritiene che la componente verticale sia più importante rispetto alle altre due e che la sola componente verticale possa essere soggetta ad importanti amplificazioni connesse con le oscillazioni verticali degli orizzontamenti. Nei rilievi strumentali, in linea con queste considerazioni, in molti casi le misure vengono coerentemente raccolte per la sola componente verticale.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

### 3.1.1 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:

- $\eta$       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 Tabella 3.1. 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  $n = 0.5$ . 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  $\eta/c$  dipende dal particolare tipo di terreno considerato, e tende a diminuire al crescere del livello di compattamento del terreno.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| 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 3.1



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 3.2.

| TIPO DI TERRENO             | DENSITA'<br>[t/m <sup>3</sup> ] | VELOCITA' DI<br>PROPAGAZIONE<br>[m/s] | FATTORE<br>PERDITA $\eta$ |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 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                     | 2.25                            | 1075                                  | 0.05                      |
| Sabbie e ghiaie di Messina  | 2.00                            | 834                                   | 0.05                      |
| Scisti cristallini          | 2.25                            | 3000                                  | 0.05                      |
| Depositi alluvionali        | 1.83                            | 527                                   | 0.05                      |
| Calcarei evaporitici        | 2.25                            | 3350                                  | 0.05                      |

Tabella 3.2

### 3.1.2 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

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

relazione:

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

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.

### 3.1.3 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

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.



|   |   |   |                           |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0  | <i>Rev</i><br>F0  | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

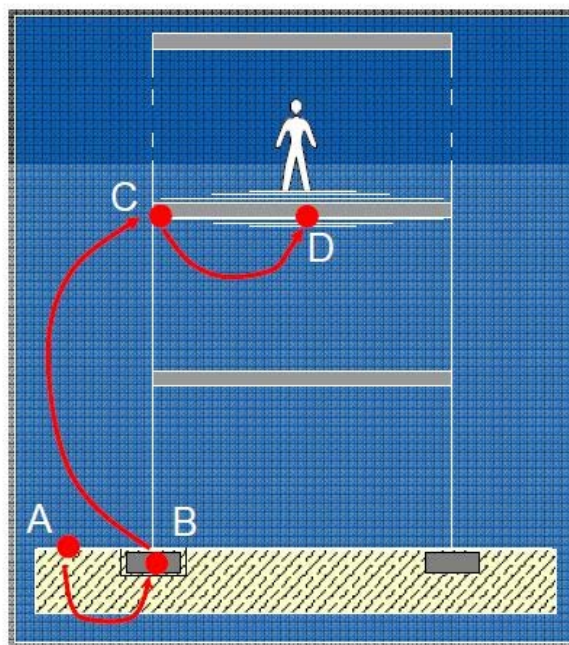




Figura 3.1 Schematizzazione propagazione terreno-edificio

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),

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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

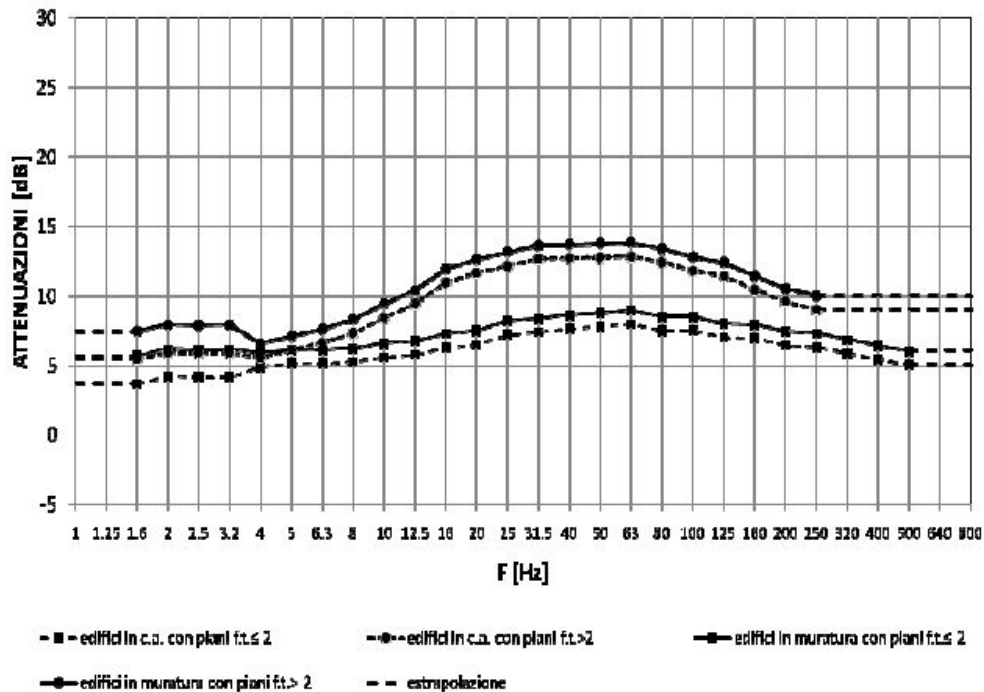


Figura 3.2

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.

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).

|   |   |   |                           |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0  | <i>Rev</i><br>F0  | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

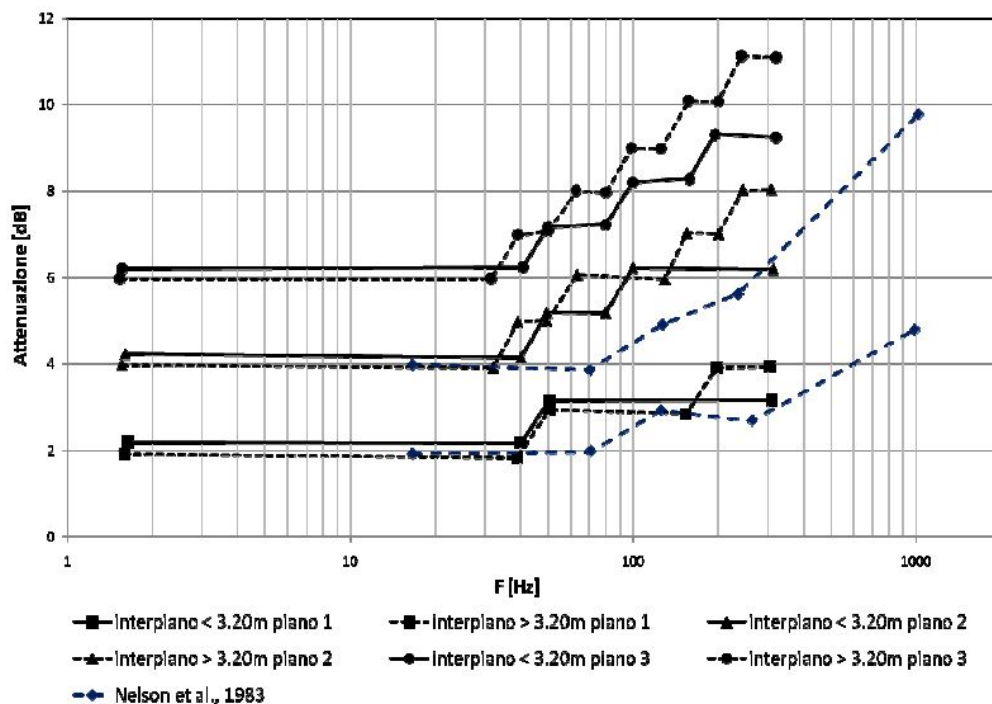


Figura 3.3

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.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

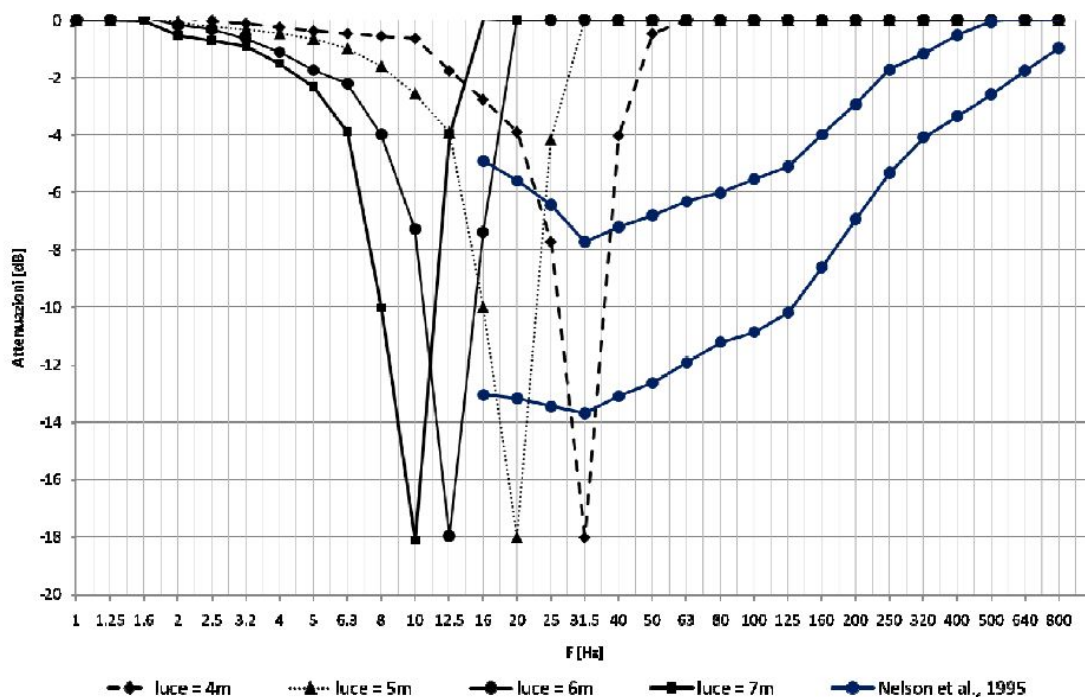


Figura 3.4

### 3.1.4 Rumore solido

Il rumore solido all'interno degli edifici è il risultato delle onde acustiche irradiate dalle superfici della stanza, includendo le pareti, i pavimenti, i soffitti e tutti gli altri elementi normalmente presenti quali finestre, porte, ecc.

La relazione tra le ampiezze di vibrazione delle superfici della stanza ed i livelli di pressione sonora all'interno della stanza stessa è ovviamente funzione del valore medio del coefficiente di assorbimento acustico che caratterizza le superfici, dalla dimensione e forma della stanza e della distribuzione del campo di vibrazione sulle superfici vibranti.

Studi basati su considerazioni teoriche 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:

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

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

dove:

Lp : livello di pressione sonora in dB (0 dB = 20  $\mu$ Pa)

La : 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:

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

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 finestre 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.

### **3.2 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

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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 3.3 riassume i dati di base e l'involuppo 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.

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 L<sub>0</sub>:           livelli di vibrazione in decibel  
V e V<sub>0</sub>:           rispettive velocità di transito dei treni

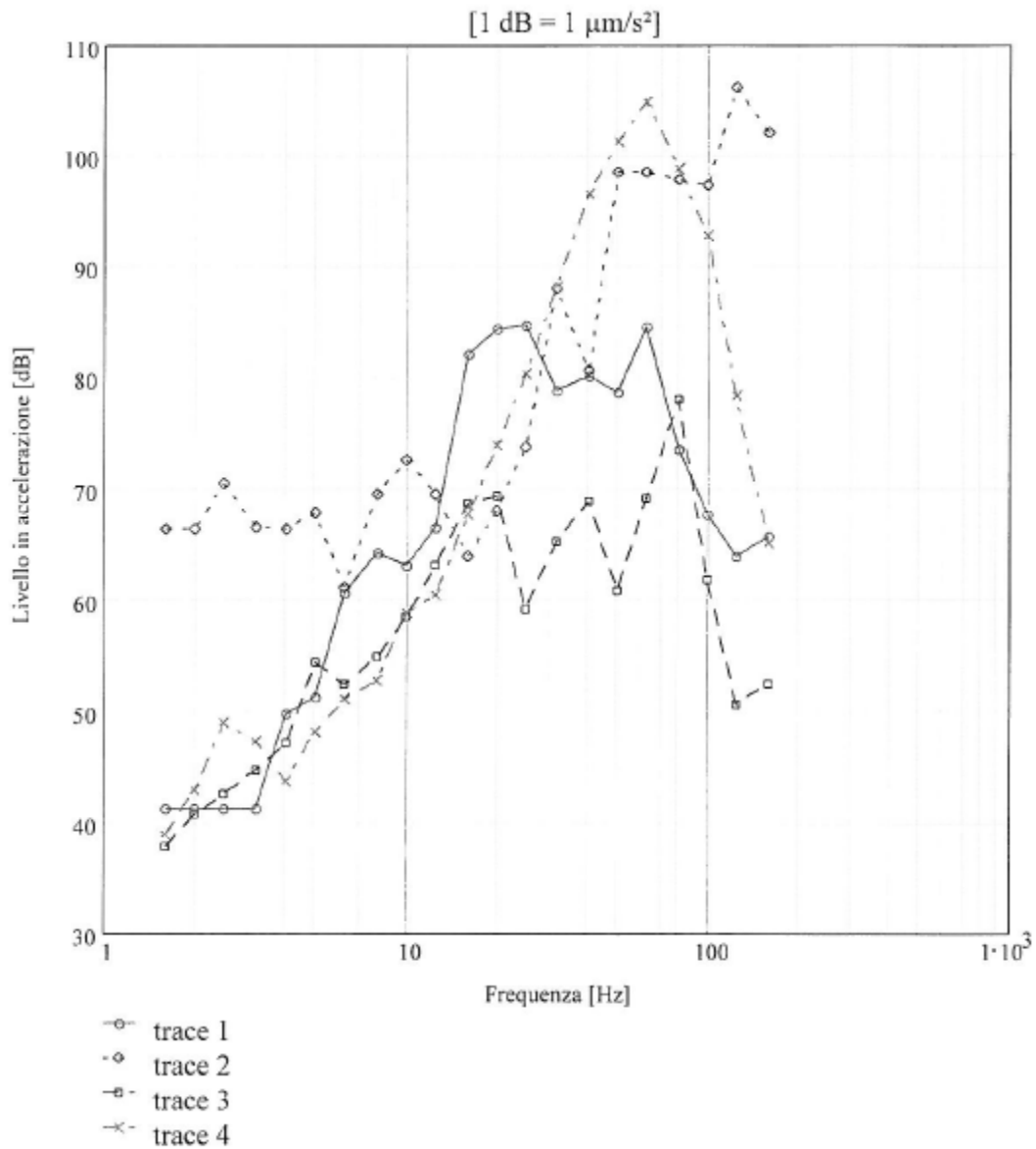
Questo significa che al raddoppiare della velocità di transito corrisponde un incremento da 3 a 6 dB nei livelli di vibrazione. Il parametro in oggetto - sulla base dei dati disponibili - viene ritenuto non dipendente dalla frequenza. I valori assunti come riferimento, derivando da misure effettuate 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.

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |  |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i> <i>Data</i><br>F0        20/06/2011 |

| 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                            |
| <b>Livelli globali lineari</b> | <b>94.9</b>                 | <b>112.9</b>    | <b>82.5</b>     | <b>106.0</b>   | <b>110.8</b>    | <b>94.9</b>     | <b>101.3</b>                    |
| <b>Distanza</b>                | <b>3.0 m</b>                | <b>3.0 m</b>    | <b>3.0 m</b>    | <b>3.0 m</b>   | <b>3.0 m</b>    | <b>10.5 m</b>   | <b>Parete Gall</b>              |
| <b>Note</b>                    | <b>230 Km/h</b>             | <b>230 Km/h</b> | <b>170 Km/h</b> | <b>82 Km/h</b> | <b>100 Km/h</b> | <b>120 Km/h</b> | <b>Parete di 75 cm, 70 Km/h</b> |

Tabella 3.3 Emissioni di riferimento





|            |                |                 |                 |
|------------|----------------|-----------------|-----------------|
| traccia 1: | <b>ETR 500</b> | <b>100 Km/h</b> | <b>linea AV</b> |
| traccia 2: | <b>ETR 450</b> | <b>100 Km/h</b> | <b>linea AV</b> |
| traccia 3: | <b>E 402</b>   | <b>100 Km/h</b> | <b>linea AV</b> |
| traccia 4: | <b>ETR 500</b> | <b>100 Km/h</b> | <b>linea FS</b> |

Figura 3.5 Emissioni su rilevato normalizzate alla velocità di 100 km/h

La valutazione dell'impatto vibrazionale lungo le tratte in rilevato deve tenere conto dell'effetto della



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

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 3.6). 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.

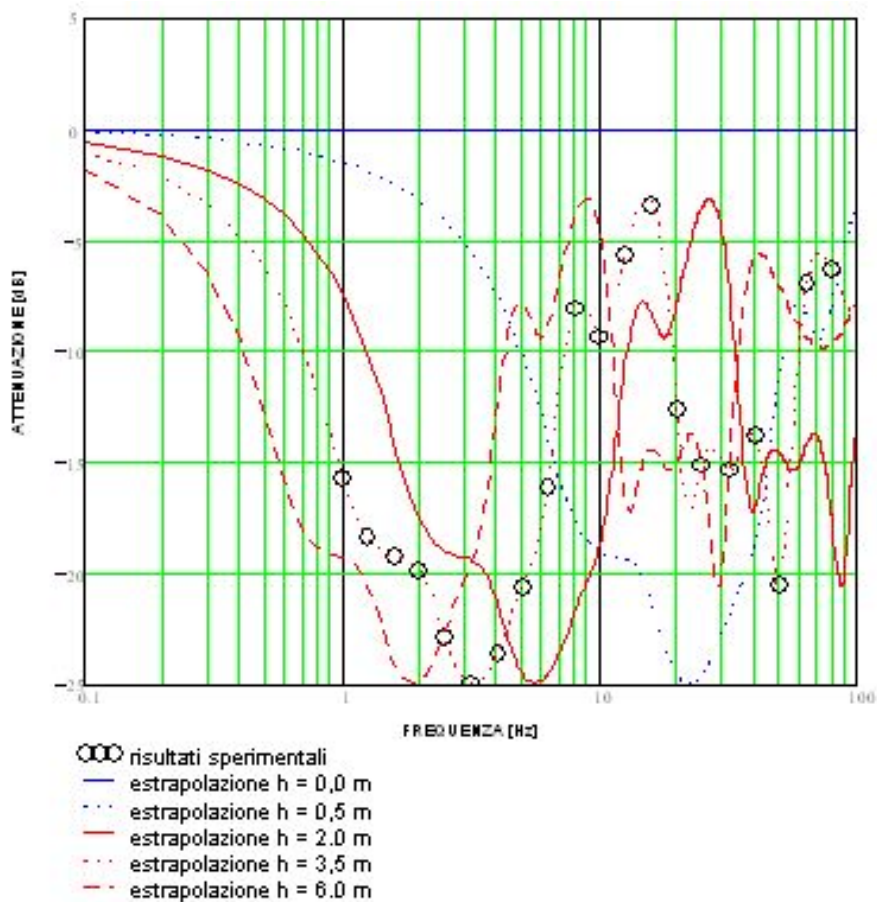


Figura 3.6 Curve di attenuazione delle vibrazioni per tipologia d'opera ferroviaria in rilevato

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 di corpo (caratterizzate da maggior attenuazione geometrica) rispetto a quelle di superficie

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

(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 L<sub>0</sub>: livelli di vibrazione in decibel

S e S<sub>0</sub>: rispettivi spessori medi, ove lo spessore di riferimento S<sub>0</sub> è 40 cm

Δp: 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 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.

Lo spettro di emissione utilizzato per le verifiche previsionali nelle tratte in galleria è in sintesi riportato in Tabella 3.4.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| Spettro di emissione alla velocità massima di 120 Km/h per spessore della galleria pari a 85 cm |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hz  | 12.5 | 16   | 20   | 25   | 31.5 | 40   | 50   | 63   | 80   |
| dB  | 67.6 | 68.6 | 68.6 | 74.6 | 81.6 | 90.6 | 96.6 | 95.6 | 94.6 |

Tabella 3.4 Spettro di emissione sulla parete delle gallerie ferroviarie alla velocità massima di progetto e per lo spessore della calotta prevista.

### 3.3 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 (edifici storici monumentali), sensibilità in relazione alle attività svolte (scuole,...) sono contenuti nelle schede di sintesi dell'**ALLEGATO 1**.

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
- Tipologia di struttura
- Stato di conservazione

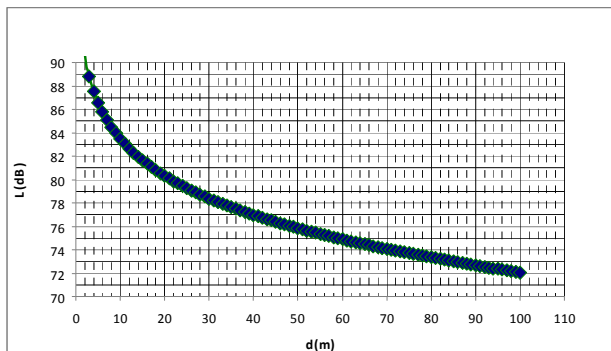
|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

- Note

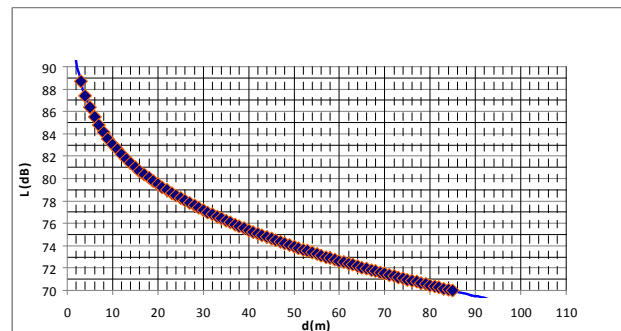
La previsione di impatto sono sintetizzate tramite lo spettro di accelerazione in dB asse Z tra 1 Hz e 80 Hz e sono relative al primo orizzontamento. Al grafico seguono:

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

Considerando le due geolitologie caratterizzanti la massima/minima trasmissibilità delle vibrazioni, rappresentate rispettivamente da substrati cristallini granitoidi e depositi alluvionali, la Figura 3.7 riporta il profilo di decadimento degli impatti al variare della distanza dal ricettore.



Substrati cristallini granitoidi



Alluvioni

Figura 3.7 Profilo di decadimento dei livelli di vibrazione al ricettore

La Tabella 3.5 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).

In tutti questi ricettori i livelli di vibrazione risultano ampiamente inferiori ai limiti UNI9614 e il rumore solido è sempre inferiore al livello al di sotto del quale non è applicabile il limite differenziale ai sensi dell'Art. 4 del DPCM 14.11.1997 (25 dBA in periodo notturno, 35 dBA in periodo diurno a finestre chiuse).

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| RICETTORE | Destinazione d'uso  | Pk<br>[km] | N.<br>piani | L <sub>limite</sub> | L <sub>9614</sub> [dB] | Rumore<br>[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 3.5 Verifiche impatto sui ricettori





Asilo nido Via XXIII Agosto



Asilo nido Via XXIII Agosto



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 4 Interventi di mitigazione

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.







|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>   |   | <i>Codice documento</i><br>AC0112_F0                                | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 5 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



|   |   |   |                           |                                    |
|---|---|---|---------------------------|------------------------------------|
|  |  | <p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br/> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> |                           |                                    |
| <p align="center">RELAZIONE GENERALE</p>  |   | <p><i>Codice documento</i><br/> AC0112_F0</p>   | <p><i>Rev</i><br/> F0</p> | <p><i>Data</i><br/> 20/06/2011</p> |

**ALLEGATO 1 – VERIFICHE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

|                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG74 | Indirizzo<br>Via XXIII Agosto |
|-----------------------|-------------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO

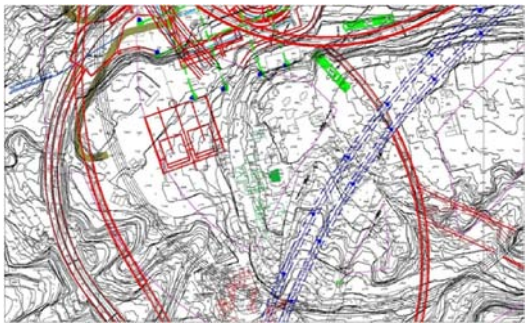
#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

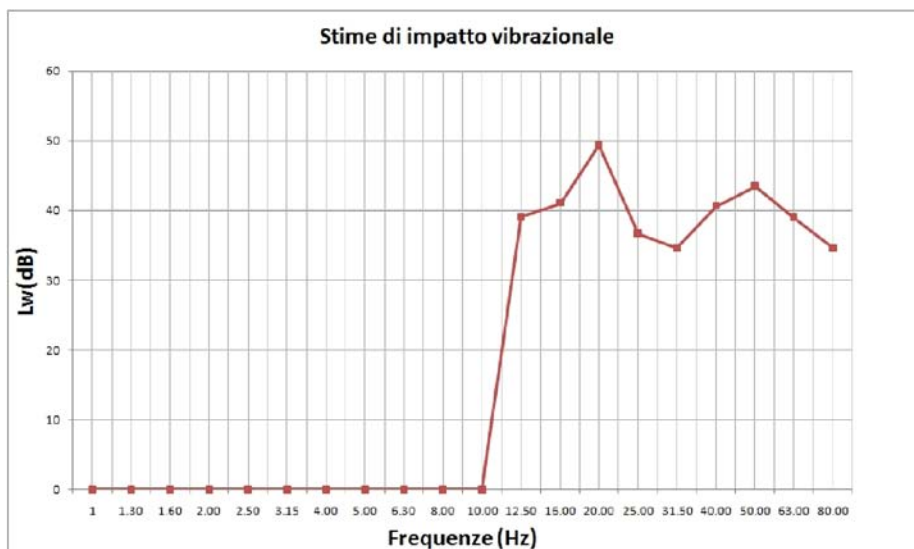
#### GEOLITOLOGIA

|         |
|---------|
| MOLASSE |
|---------|

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 0+950          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 37.00          |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 82             |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |   |
| Numero piani fuori terra                | 1              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 51    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |

|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG668 | Indirizzo<br>Campo Calabro |
|------------------------|----------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO


#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

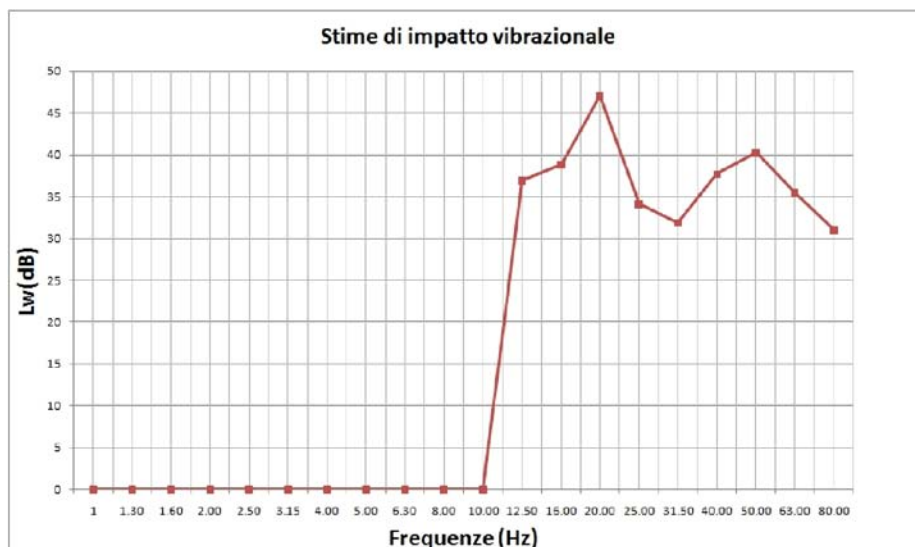
#### GEOLITOLOGIA

SABBIE E GHIAIE DI MESSINA

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |            |   |
|---|------------|---|
| Pk                                      | 1+020      |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 0          |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 87         |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni |   |
| Numero piani fuori terra                | 2          |   |
| Numero di piani interrati               | 0          |   |
| Tipologia strutturale                   | Muratura   |   |
| Note.....                               |            |   |

### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno]

77-74

Valore calcolato (dB)

48

Interventi di mitigazione previsti:.....

|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG529 | Indirizzo<br>Via Tintorello |
|------------------------|-----------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO

#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

#### GEOLITOLOGIA

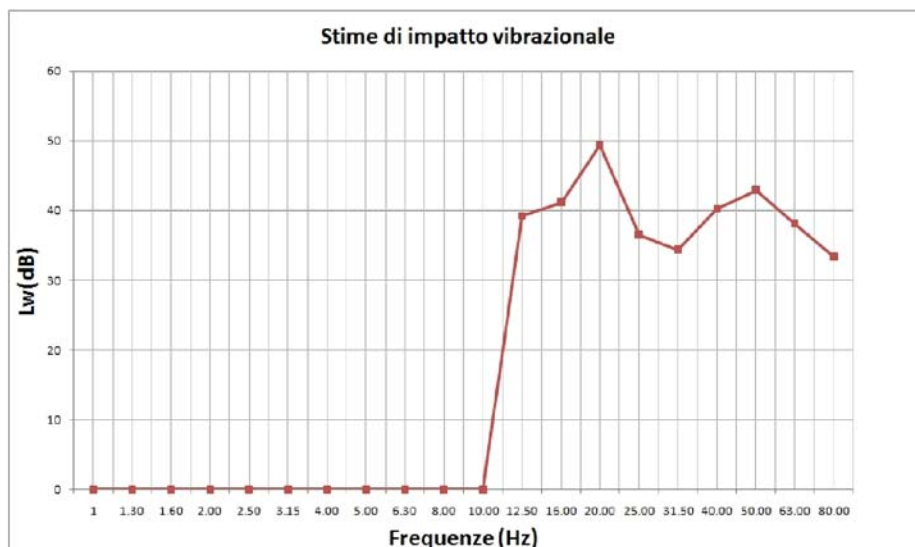
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |
|---|----------------|
| Pk                                      | 1+050          |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 0              |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 82             |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |
| Numero piani fuori terra                | 1              |
| Numero di piani interrati               | 0              |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |
| Note.....                               |                |



### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno]

77-74

Valore calcolato (dB)

51

Interventi di mitigazione previsti:.....

|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG730 | Indirizzo<br>Campo Calabro |
|------------------------|----------------------------|

**PREVISIONE DI IMPATTO**


**SORGENTE DI EMISSIONE**

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

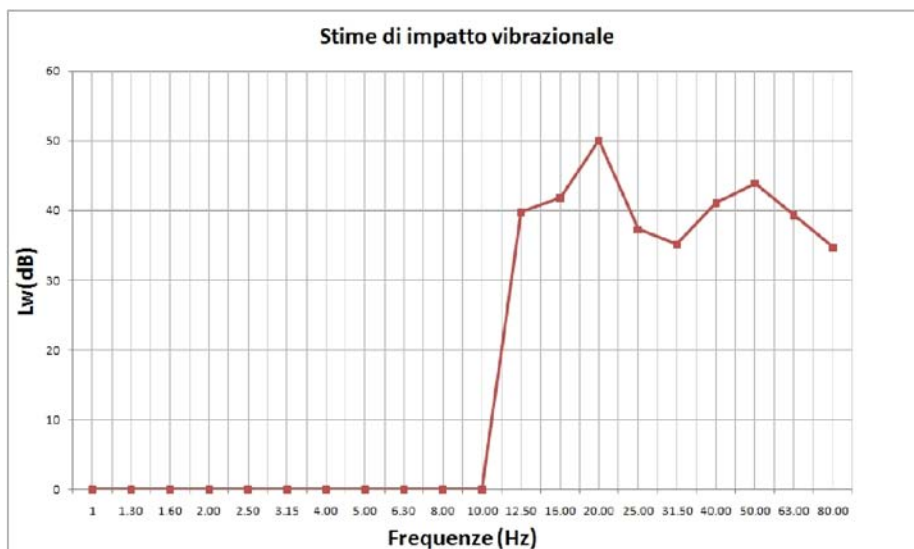
**GEOLITOLOGIA**

SABBIE E GHIAIE DI MESSINA

**SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO**

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 1+250          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 16             |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 73             |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |   |
| Numero piani fuori terra                | 4              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

**PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE**



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 51    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |

|                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG63 | Indirizzo<br>Via Enrico Cosenza |
|-----------------------|---------------------------------|

**PREVISIONE DI IMPATTO**


**SORGENTE DI EMISSIONE**

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

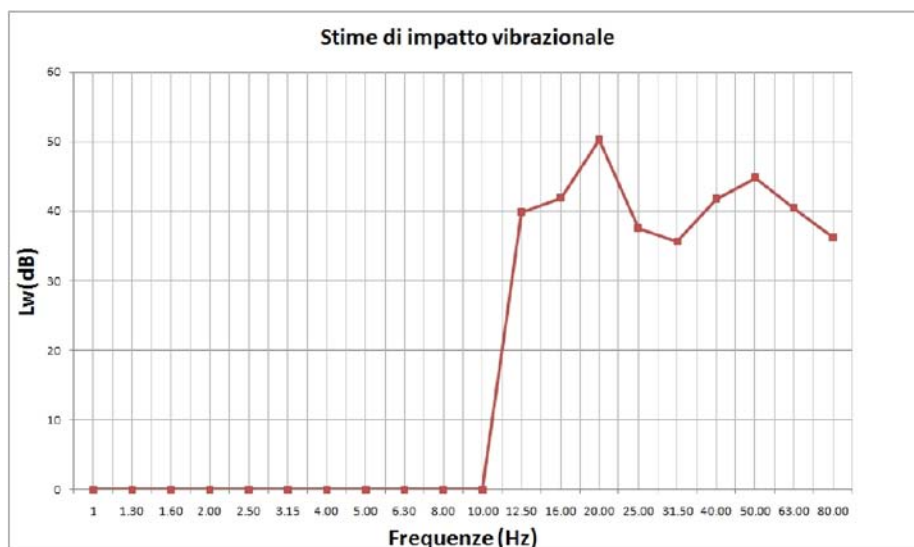
**GEOLITOLOGIA**

|         |
|---------|
| MOLASSE |
|---------|

**SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO**

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 0+900          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 4.5            |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 79             |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |   |
| Numero piani fuori terra                | 3              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

**PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE**



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 52    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |



|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG542 | Indirizzo<br>Via Tintorello |
|------------------------|-----------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO


#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

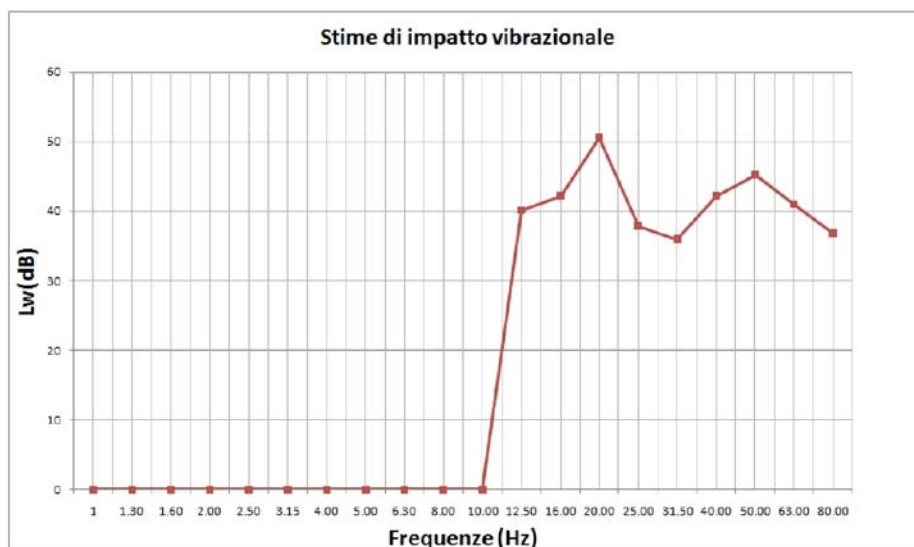
#### GEOLITOLOGIA

|         |
|---------|
| MOLASSE |
|---------|

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 0+850          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 9              |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 75             |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |   |
| Numero piani fuori terra                | 2              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 52    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |

|                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG73 | Indirizzo<br>Via XXIII Agosto |
|-----------------------|-------------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO

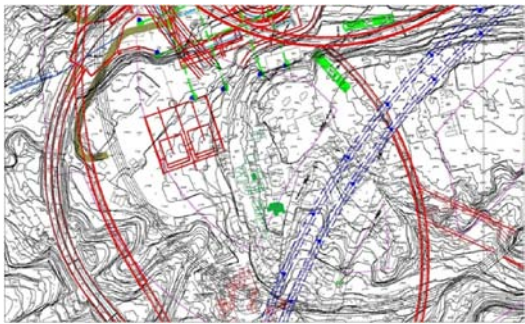
#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

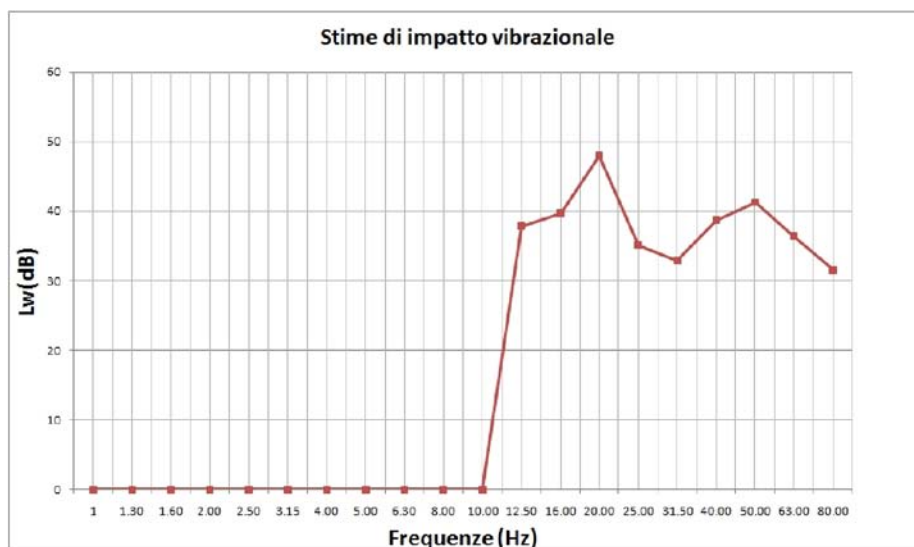
#### GEOLITOLOGIA

|         |
|---------|
| MOLASSE |
|---------|

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 0+950          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 77             |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 80             |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |   |
| Numero piani fuori terra                | 1              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 49    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |

|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG736 | Indirizzo<br>Campo Calabro |
|------------------------|----------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO

#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

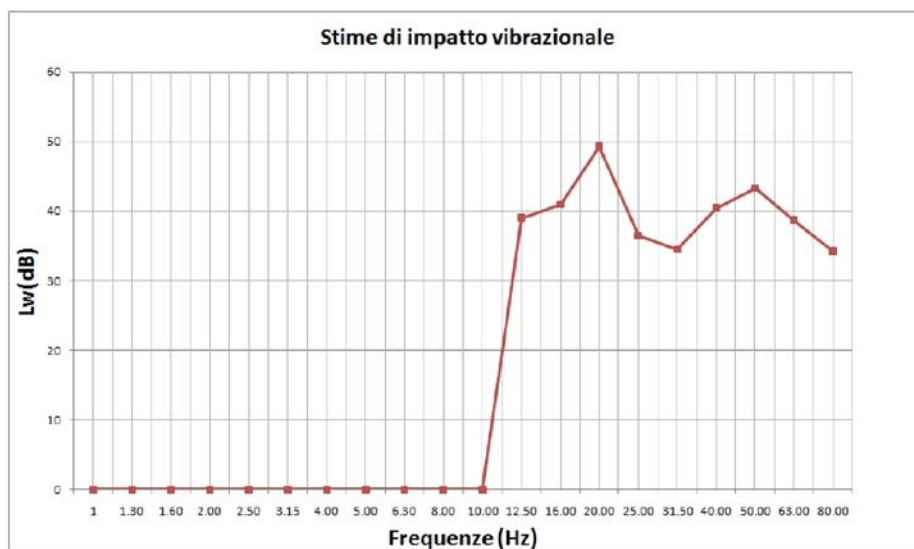
#### GEOLITOLOGIA

|         |
|---------|
| MOLASSE |
|---------|

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 0+850          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 42             |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 82             |   |
| Destinazione d'uso                      | Uffici         |   |
| Numero piani fuori terra                | 2              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 51    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |

|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG536 | Indirizzo<br>Via Tintorello |
|------------------------|-----------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO

#### SORGENTE DI EMISSIONE

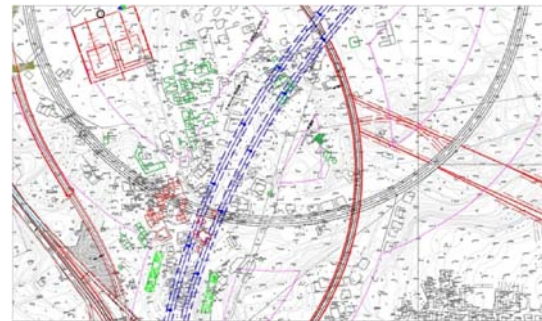
|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

#### GEOLITOLOGIA

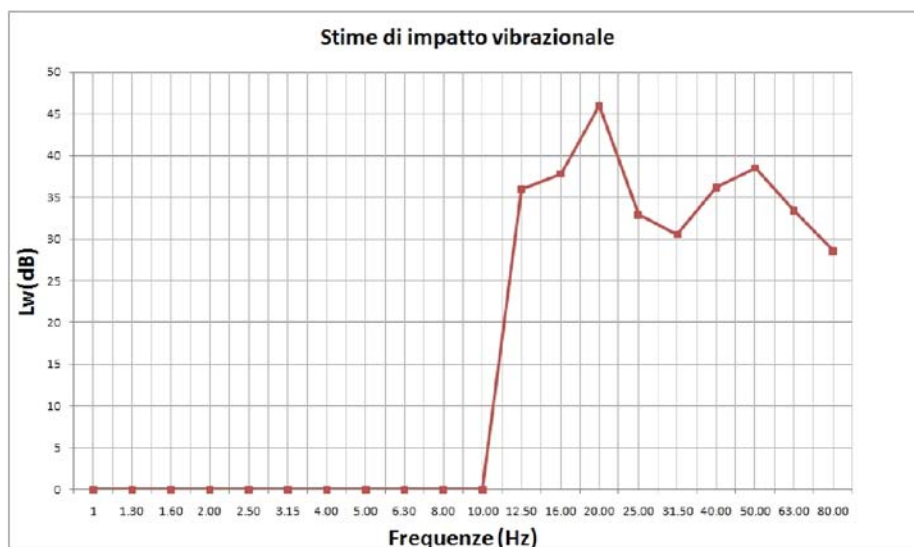
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |            |
|---|------------|
| Pk                                      | 1+150      |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 30         |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 96         |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni |
| Numero piani fuori terra                | 2          |
| Numero di piani interrati               | 0          |
| Tipologia strutturale                   | Muratura   |
| Note.....                               |            |



### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno]

77-74

Valore calcolato (dB)

47

Interventi di mitigazione previsti:.....

|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG723 | Indirizzo<br>Campo Calabro |
|------------------------|----------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO

#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

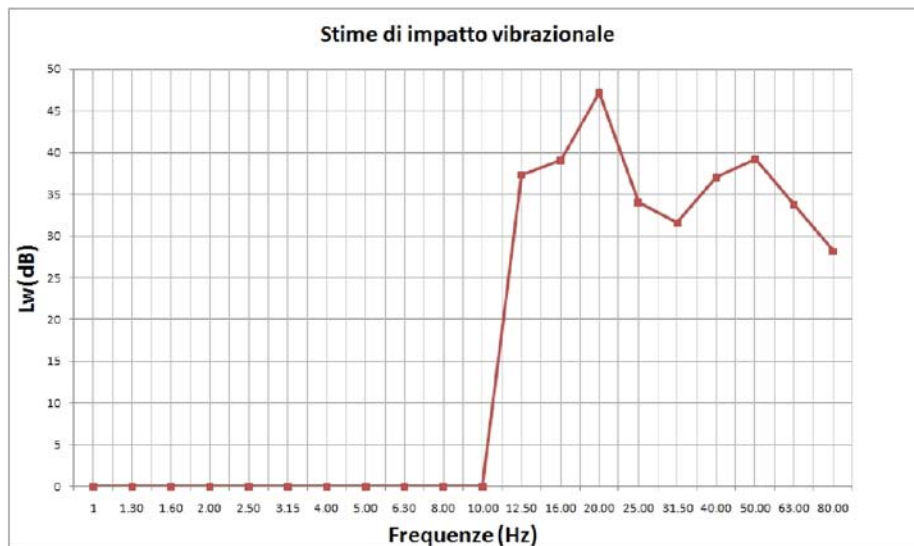
#### GEOLITOLOGIA

SABBIE E GHIAIE DI MESSINA

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 1+200          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 52             |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 99             |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |   |
| Numero piani fuori terra                | 4              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno]

77-74

Valore calcolato (dB)

48

Interventi di mitigazione previsti:.....

|                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG484 | Indirizzo<br>Strada Statale 18 |
|------------------------|--------------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO


#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input checked="" type="checkbox"/> |

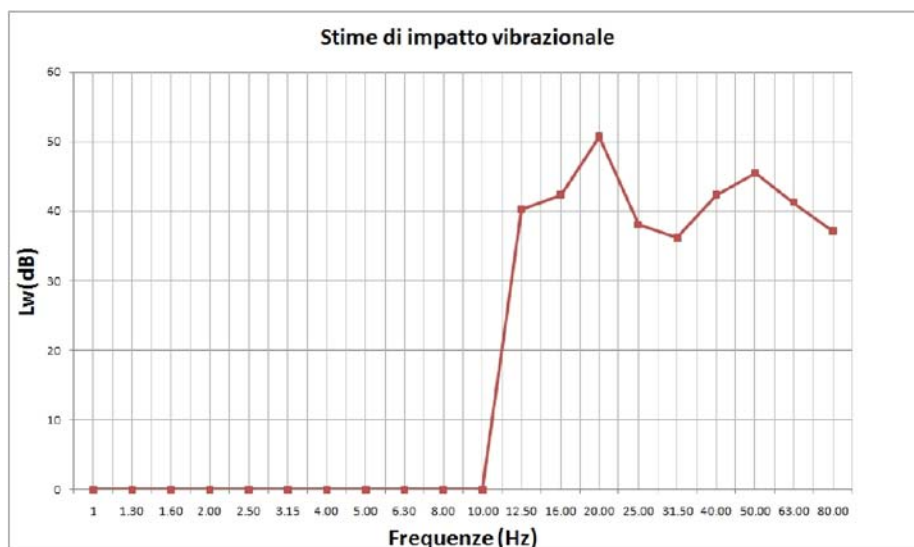
#### GEOLITOLOGIA

|         |
|---------|
| MOLASSE |
|---------|

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 0+200          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 70             |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | -22            |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |   |
| Numero piani fuori terra                | 5              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 52    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |

|                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG784 | Indirizzo<br>Via Santa Filomena |
|------------------------|---------------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO

#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input type="checkbox"/>            |

#### GEOLITOLOGIA

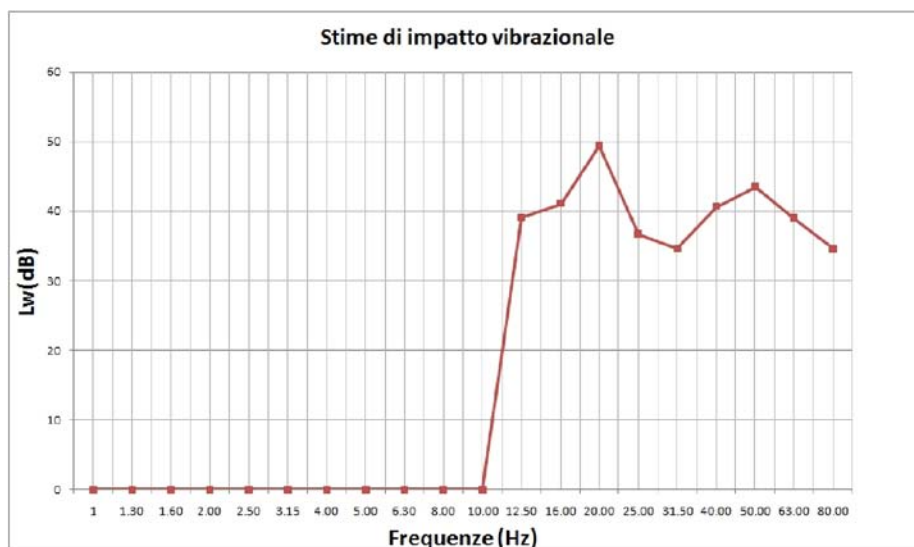
|         |
|---------|
| MOLASSE |
|---------|

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |
|---|----------------|
| Pk                                      | 0+300          |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 90             |
| Profondità del piano della sorgente (m) | 3              |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |
| Numero piani fuori terra                | 3              |
| Numero di piani interrati               | 0              |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |
| Note.....                               |                |



### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 51    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |

|                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| RICETTORE N.<br>VSG481 | Indirizzo<br>Strada Statale 18 |
|------------------------|--------------------------------|

### PREVISIONE DI IMPATTO


#### SORGENTE DI EMISSIONE

|                                    |                          |           |                                     |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|
| CANTIERE                           | <input type="checkbox"/> | ESERCIZIO | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fronte avanzamento lavori galleria | <input type="checkbox"/> | Galleria  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori rilevato | <input type="checkbox"/> | Rilevato  | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori trincea  | <input type="checkbox"/> | Trincea   | <input type="checkbox"/>            |
| Fronte avanzamento lavori viadotto | <input type="checkbox"/> | Viadotto  | <input checked="" type="checkbox"/> |

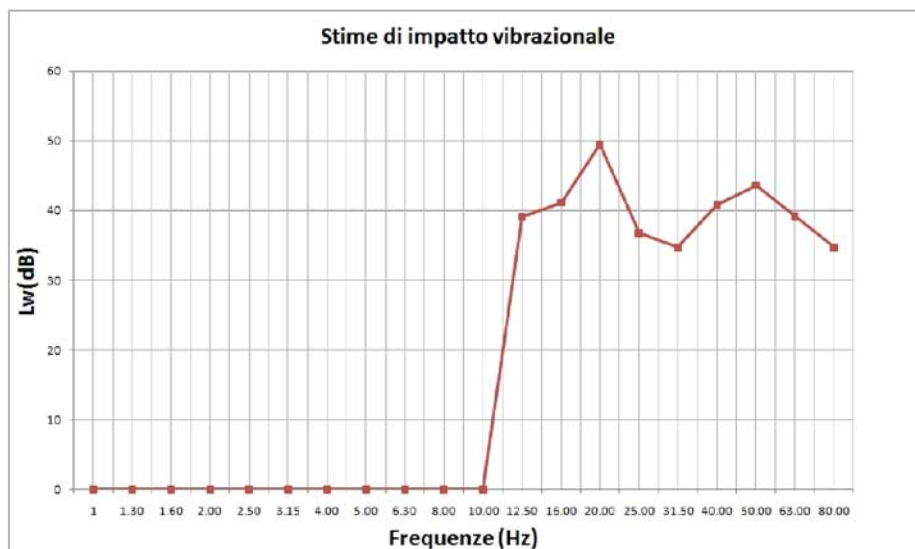
#### GEOLITOLOGIA

|         |
|---------|
| MOLASSE |
|---------|

#### SINTESI CARATTERISTICHE EDIFICIO

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| Pk                                      | 0+100          |  |
| Distanza dalla sorgente (m)             | 74             |   |
| Profondità del piano della sorgente (m) | -49            |   |
| Destinazione d'uso                      | Abitazioni     |   |
| Numero piani fuori terra                | 1              |   |
| Numero di piani interrati               | 0              |   |
| Tipologia strutturale                   | Cemento armato |   |
| Note.....                               |                |   |

### PREVISIONE IMPATTO VIBRAZIONALE



|   |       |
|---|-------|
| Limite UNI9614 per postura variabile del soggetto lungo l'asse Z (dB) [diurno-notturno] | 77-74 |
| Valore calcolato (dB)   | 51    |
| Interventi di mitigazione previsti:.....  |       |