

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO
CUP C11J05000030001

ENVIRONNEMENT – AMBIENTE

ITALIE – ITALIA
INVESTIGATIONS ENVIRONNEMENTALES – INDAGINI AMBIENTALI
RAPPORT FINAL – RELAZIONI FINALI

RAPPORT FINAL SUR LA COMPOSANTE VIBRATION – RELAZIONE FINALE COMPONENTE
VIBRAZIONI

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/11/2012	Première diffusion / Prima emissione	TCC	S. GARAVOGLIA C. OGNIBENE	L.CHANTRON M. PANTALEO
A	31/01/2013	Passage au statut AP / Passaggio allo stato AP	TCC	S. GARAVOGLIA C. OGNIBENE	L.CHANTRON M. PANTALEO

CODE DOC	P	D	2	C	3	C	T	S	3	0	0	5	1	A
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3C	//	//	01	05	99	10	02
------------------------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-

 **Tecnimont**
Civil Construction
Dott. Ing. Aldo Mancarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R



LTF sas 1091 Avenue de la Boisse - BP 80631 - F-73006 CHAMBERY CEDEX (France)
Tél. : +33 (0)4 79.68.56.50 Fax : +33 (0)4 79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 TVA FR 03439556952
Propriété LTF Tous droits réservés Propriété LTF Tutti i diritti riservati

Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

1. RESUME/RIASSUNTO	3
2. PREMESSA	4
3. RIFERIMENTI NORMATIVI E PROCEDURALI ALLA BASE DELL'ANALISI AMBIENTALE	5
3.1 Norma ISO 2631 (Parte 2): 2003	5
3.2 Norma UNI 9614:1990	6
3.3 Norma ISO 4866:2010	8
3.4 Norma UNI 9916:2004	8
3.5 Ulteriori riferimenti DIN, BS, SN.	12
3.6 Norma UNI EN ISO 8041:2005	13
3.7 Normativa regionale	13
3.8 DPCM 1/3/1991 e DPCM 14/11/1997	14
4. INDAGINE IN CAMPO CON MASSA BATTENTE	15
4.1 Conclusioni	26

1. RESUME/RIASSUNTO

Le document suivant résume les résultats des investigations menées sur le territoire qui sera considéré par le projet de la NLTL.

L'objet des investigations a été de comprendre la transmission de la composante vibration au travers de terrain jusqu'aux structures des bâtiments.

Il presente documento riassume gli esiti delle indagini svolte sul territorio che verrà interessato dal progetto della NLTL.

Scopo dell'indagine in campo è stato quello di capire la trasmissione della vibrazione attraverso il terreno e sulle strutture degli edifici.

2. Premessa

Nell'ambito dello sviluppo del Progetto Definitivo per la NLTL è stato possibile realizzare una prova con massa battente per valutare le modalità di propagazione della vibrazione nel terreno.

Il punto di misura è rappresentato dalla casa di riposo “Villa Cora”, situata in regione San Giacomo a Susa. La zona riveste una particolare importanza, rapportata allo sviluppo del progetto, poiché oltre a ospitare un ricettore sensibile, si trova in prossimità del futuro imbocco del Tunnel di Base e, in virtù di ciò, ne ospiterà il relativo cantiere.

Oltre a quest'importante indagine *in situ*, si è proceduto al censimento dei ricettori più vicini al tracciato della nuova linea e ai relativi cantieri. I sopralluoghi, a causa di difficoltà legate alla situazione territoriale, non hanno permesso un'analisi approfondita dei fabbricati, quanto piuttosto una visione esterna dello stato del costruito.

L'esito di questi ultimi rilievi è stato restituito attraverso le schede contenute nel documento PD2_C3C_TS3_0101: Schede dei ricettori.

3. Riferimenti normativi e procedurali alla base dell'analisi ambientale

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale dalla Legge Quadro n.447/95 e dai singoli decreti relativi ai singoli ambiti di applicazione (rumore ferroviario, rumore stradale, metodologie di misura etc.), non esiste, ad oggi, alcuna Legge che stabilisca limiti quantitativi per l'esposizione delle persone alle vibrazioni. Esistono invece numerose Norme Tecniche, emanate da organismi nazionali ed internazionali, che costituiscono un utile riferimento per la valutazione del disturbo alle persone e l'eventuale insorgenza di danni negli edifici interessati da fenomeni di vibrazione.

Per quanto riguarda il disturbo alle persone, i principali riferimenti sono costituiti dalla norma ISO 2631/Parte 2 "Evaluation of human exposure to whole body vibration / "Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz)".

La norma ISO 2631/Parte 2 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. 27/12/1988. Ad essa, seppur con alcune non trascurabili differenze, fa riferimento la norma italiana UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".

3.1 Norma ISO 2631 (Parte 2): 2003

La norma ISO 2631 è stata emanata in cinque parti dall'organismo normativo internazionale ISO e contempla i vari ambiti di interesse per quanto attiene l'esposizione umana alle vibrazioni.

La Parte 1 è stata recepita dall'UNI il 24 gennaio 2008 ed è confluita nella norma UNI ISO 2631-1:2008 ma, sebbene sia stata considerata nei contenuti generali, non risulta pienamente applicabile all'ambito di studio della presente relazione.

Al contrario, è meritevole di considerazione la norma ISO 2631 (Parte 2), la quale 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 ed il parametro di valutazione è il valore efficace dell'accelerazione, definito come:

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

dove a(t) è l'accelerazione in funzione del tempo, T è la durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione.

La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X,Y e alla combinazione dei tre assi (i valori numerici delle curve base sono riportati in Tabella X.1/1).

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**.

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.

Frequenza [Hz]	Accelerazione [$m/s^2 \times 10^{-3}$]		
	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 - Valori numerici per le curve base delle accelerazioni (ISO 2631-2)

Destinazione d'uso	Periodo	Vibrazioni Continue Intermittenti	Vibrazioni Transitorie
Luoghi di lavoro critici (camere operatorie, laboratori di precisione, teatri, etc.)	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 2 - Fattori di moltiplicazione delle curve base (ISO 2631-2 Annex A)

3.2 Norma UNI 9614:1990

La norma è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (giorno, dalle 7:00 alle 22:00, e notte, dalle 22:00

alle 7:00) e dalle destinazioni d'uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614 si configura come più restrittiva.

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

Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse z prevede un'attenuazione di 3 dB per ottava tra 1 e 4 Hz, un'attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed un'attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi x e y prevede un'attenuazione nulla tra 1 e 2 Hz e un'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 3** e **Tabella 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 5**) possono essere adottati se il numero di eventi impulsivi giornalieri non è superiore a 3. Nel caso si manifestino più di 3 eventi impulsivi giornalieri i limiti fissati per le abitazioni, gli uffici e le fabbriche vanno diminuiti in base al numero di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per un fattore correttivo F. Nessuna riduzione può essere applicata per le aree critiche.

Nel caso di impulsi di durata inferiore a 1 s si deve porre $F = 1.7 \cdot N^{-0.5}$. Per impulsi di durata maggiore si deve porre $F = 1.7 \cdot N^{-0.5} \cdot t^{-k}$, con $k = 1.22$ per pavimenti in calcestruzzo e $k = 0.32$ per pavimenti in legno. Qualora i limiti così calcolati risultassero inferiori ai limiti previsti per le vibrazioni di livello stazionario, dovranno essere adottati questi ultimi valori.

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

Tabella 3 - Limiti UNI 9614 delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, di livello costante e non costante, validi per l'asse Z

Destinazione d'uso	a_w [m/s^2]	L_w [dB]
Aree critiche	3.6×10^{-3}	71
Abitazioni (Notte)	5.0×10^{-3}	74
Abitazioni (Giorno)	7.2×10^{-3}	77
Uffici	14.4×10^{-3}	83
Fabbriche	28.8×10^{-3}	89

Tabella 4 - Limiti UNI 9614 delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, di livello costante e non costante, validi per gli assi X-Y

Destinazione d'uso	$a_w(z)$ [m/s^2]	$a_w(x-y)$ [m/s^2]
Aree critiche	5.0×10^{-3}	3.6×10^{-3}
Abitazioni (Notte)	7.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}
Abitazioni (Giorno)	0.30	0.22
Uffici	0.64	0.46
Fabbriche	0.64	0.46

Tabella 5 - Limiti delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza in presenza di vibrazioni impulsive

3.3 Norma ISO 4866:2010

La norma ISO 4866:2010 (prima emissione 1990) stabilisce i principi per eseguire le misure di vibrazioni e per gestire i dati misurati con riferimento alla valutazione degli effetti delle vibrazioni sulle strutture. Non copre la sorgente di eccitazione tranne quando la sorgente stessa determina il range dinamico, la frequenza o altri parametri relativi.

La valutazione degli effetti delle vibrazioni é principalmente ottenuta dalla risposta della struttura, utilizzando gli idonei metodi analitici attraverso i quali possono essere definite la frequenza, la durata e l'ampiezza.

La norma ISO 4866:2010 riguarda esclusivamente le misure delle vibrazioni delle strutture ed esclude la misura del rumore generato dalle suddette vibrazioni, sebbene la risposta a tali eccitazioni sia presa in considerazione.

La norma ISO 4866:2010 si applica a tutte le strutture sia interrate sia fuori terra, includendo edifici, strutture archeologiche o di valore storico, ponti, gallerie, installazioni impiantistiche, pipeline, strutture in terra e installazioni marine fisse.

La norma ISO 4866:2010 non si applica a talune strutture speciali, come ad esempio gli impianti per la produzione di energia nucleare.

La risposta delle strutture dipende dalle caratteristiche della sorgente di eccitazione. La norma ISO 4866:2010 esamina i metodi di misurazione in base alla sorgente ovvero come frequenza, durata e ampiezza sono indotti dalle varie sorgenti (es. terremoti, uragani, esplosioni, carico del vento, rumore, macchinari, traffico veicolare e attività di costruzione).

3.4 Norma UNI 9916:2004

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla norma UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 e in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3.

Nel mese di Aprile 2004 è stata pubblicata la norma UNI 9916:2004 in revisione della norma UNI 9916:1991.

La norma, già nella versione del 1991, forniva una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Nella revisione del 2004 la norma si amplia in taluni aspetti descrittivi ed informativi relativi alle caratteristiche generali del fenomeno vibratorio, alle caratteristiche degli edifici rilevanti ai fini della valutazione della risposta, alla misurazione delle vibrazioni e al trattamento dei dati.

È 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 etc.

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 6**.

La revisione del 2004 amplia l'appendice informativa relativa ai valori di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni, che hanno mero carattere indicativo e non possono essere considerati come limiti assoluti di accettabilità o non accettabilità.

Devono, invece, essere utilizzati come soglie all'approssimarsi delle quali è necessario approfondire le indagini strumentali e le conoscenze sulle lavorazioni in corso e le caratteristiche dell'edificio.

Il capitolo 3 è volto alla definizione dei danni che possono essere indotti da vibrazioni. I danni seguono la seguente classificazione:

- danno di soglia: formazione di fessure sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti. Formazione di fessure filiformi nei giunti a malta delle costruzioni in mattoni e calcestruzzo;
- danno minore: formazione di fessure più aperte, distacco o caduta di gesso o di pezzi di intonaco di muri a secco. Formazione di fessure in blocchi di mattoni o calcestruzzo;
- danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nelle colonne di supporto; apertura di giunti e serie di fessure nella muratura.

In particolare vengono riportate le indicazioni essenziali delle DIN 4150 e BS 7385, della BS 5228-4, relativa agli effetti sugli edifici delle vibrazioni indotte dalla battitura di pali, ed i valori della SN 640312.

La DIN 4150 e la BS 7385 fanno riferimento alla "peak component particle velocity", cioè al picco nel tempo della singola componente di velocità, p.c.p.v., definita nella norma UNI 9916:2004 come il valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto o ottenute mediante integrazione.

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.

Sorgente di vibrazione	Gamma di frequenza [Hz]	
	UNI 9916:1991	UNI 9916:2004
Traffico (su strada e su rotaia)	da 1 a 80	da 1 a 300
Esplosioni	da 1 a 300	da 1 a 300
Battitura 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 6 - Intervalli di frequenza caratteristici delle sorgenti di vibrazione

I valori di riferimento indicati (**Tabella 7**) 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.

Cat.	Tipi di strutture	Velocità di vibrazione [mm/s]			
		Misura alla fondazione			Misura all'ultimo piano
		<10 Hz	10÷50 Hz	50÷100 Hz	Frequenze diverse
1	Edifici commerciali, industriali e simili	20	20÷40	40÷50	40
2	Edifici residenziali e simili	5	5÷15	15÷20	15
3	Strutture particolarmente sensibili alle vibrazioni non rientranti nelle categorie precedenti e di grande valore intrinseco	3	3÷8	8÷10	8

Tabella 7 - Velocità massime ammissibili (Norma UNI 9916)

Le eccitazioni sono invece suddivise secondo le caratteristiche del moto vibratorio. Si hanno le seguenti categorie:

- Periodica
- Armonica
- Complessa
- Quasi periodica

- Non periodica
- Transitoria
- Impulsiva
- Di tipo non deterministico

Le eccitazioni possono essere inoltre suddivise secondo le caratteristiche della sorgente:

- Ambientale (vento, traffico veicolare, etc...)
- Forzata (generata da eccitatori meccanici utili per lo studio delle caratteristiche degli edifici).

La durata delle eccitazioni è suddivisa nelle due categorie:

- Continua
- Transitoria

Il criterio per separare le due categorie dipende dalla costante di tempo di attenuazione delle oscillazioni sull'edificio oggetto di studio. Se si definisce T la costante di tempo associata alla frequenza di risonanza più bassa dell'edificio, si definisce allora:

- eccitazione continua: quella che agisce sull'edificio continuativamente per una durata superiore a $5T$;
- eccitazione transitoria: quella che agisce sull'edificio per una durata inferiore a $5T$.

Sulla base di questi elementi, la norma suggerisce poi le modalità tecniche per l'esecuzione dei rilievi e fornisce, in particolare:

- criteri generali per il fissaggio dei trasduttori;
- modalità di individuazione delle frequenze di risonanza;
- modalità di valutazione dei dati.

Tali indicazioni sono di carattere generale; viene demandata implicitamente ai tecnici operatori sul campo la determinazione della migliore modalità operativa a seconda del caso specifico oggetto dello studio.

In generale, basandosi sulla norma DIN 4150, si considerano tre classi di edifici (edifici industriali e simili, edifici residenziali e simili, altri edifici non industriali né residenziali da tutelare).

Nell'appendice "A" alla norma (appendice non facente parte della norma stessa) viene riportata una classificazione degli edifici e dei tipi di terreno al fine di poter collocare i casi specifici in categorie per similitudine strutturale e/o geologica.

Nell'appendice "B" (anch'essa non facente parte della norma ed avente solo carattere indicativo), infine, si riporta una rassegna di dati che può essere utilizzata quale riferimento comparativo.

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

- 1) misurazione dell'accelerazione lungo i tre assi ortogonali;
- 2) integrazione delle componenti di accelerazione;
- 3) analisi spettrale della componente di velocità che risulta più severa in termini di ampiezza massima;

- 4) 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:

- 1) analisi spettrale di ciascuna componente di velocità;
- 2) 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).

3.5 Ulteriori riferimenti DIN, BS, SN.

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 permanenti.

Tali valori 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 indipendentemente dal contenuto in frequenza.

La norma BS 7385 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).

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 UNI 9916:2004. La norma prescrive anche la misurazione delle vibrazioni ai piani alti dell'edificio.

La norma SN 640312 riguarda le vibrazioni provocate nelle costruzioni dallo scoppio delle mine, dalle attività di macchine di cantiere e dal traffico su strada e ferroviario, e considera come grandezza di riferimento la "peak particle velocity". I valori di riferimento (**Tabella 8**) sono forniti in funzione della frequenza dominante della vibrazione, determinata dall'analisi spettrale della componente del vettore velocità con ampiezza maggiore.

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

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

Tabella 8 - La norma SN 640312

3.6 Norma UNI EN ISO 8041:2005

La norma UNI EN ISO 8041:2005 “Risposta degli individui alle vibrazioni - Strumenti di misurazione” è la versione ufficiale della norma europea EN ISO 8041 (edizione aprile 2005). La norma indica i requisiti e i limiti di tolleranza della strumentazione destinata alla misurazione delle vibrazioni per valutare come vengono percepite le vibrazioni dagli esseri umani.

La strumentazione, specificata dalla norma, si applica per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (UNI EN ISO 5349-1), alle vibrazioni trasmesse al corpo intero (UNI 9614 e UNI 11048) ed alle vibrazioni a bassa frequenza (da 0,1 Hz a 0,5 Hz) trasmesse al corpo intero (UNI 9614 e UNI 11048).

3.7 Normativa regionale

A livello Regionale gli unici provvedimenti che regolamentano il disturbo da vibrazioni negli edifici sono i Regolamenti Locali di Igiene. Tali documenti concordano pienamente con le Norme UNI 9614 e ISO 2631-2 in quanto le metodologie di misura e di valutazione di compatibilità sono le stesse. Non esiste invece alcun documento a carattere legislativo o regolamento che riguardi i danni causati dalle vibrazioni sugli edifici. In tal caso il termine di riferimento rimane la Norma UNI 9916.

3.8 DPCM 1/3/1991 e DPCM 14/11/1997

Le immissioni di rumore in ambiente abitativo, determinate dalle vibrazioni strutturali in fase di costruzione e esercizio, richiedono una verifica ai sensi delle leggi nazionali che regolamentano il rumore ambientale.

Le analisi vibroacustiche sono pertanto associate alla verifica del rispetto dei limiti di rumorosità interni previsti dal DPCM 1/3/91 e dal DPCM 14/11/97. A riguardo si ricorda che tali decreti fissano rispettivamente i seguenti limiti:

DPCM 1/3/1991 – Allegato B

- Il livello sonoro ambientale 6÷22h a finestre chiuse, in periodo diurno, è ritenuto “non disturbante” se inferiore a 40 dB(A). In caso contrario, il rumore è da considerarsi accettabile a condizione che sia garantito un livello differenziale (differenza tra rumore ambientale e rumore residuo) minore di 5 dB(A). Qualora il livello sonoro ambientale 6÷22h a finestre chiuse sia maggiore di 60 dB(A) il rumore è da considerarsi comunque inaccettabile.
- Il livello sonoro ambientale 22÷6h a finestre chiuse, in periodo notturno, è ritenuto “non disturbante” se inferiore a 30 dB(A). In caso contrario, il rumore è da considerarsi accettabile a condizione che sia garantito un livello differenziale minore di 3 dB(A). Qualora il livello sonoro ambientale 6÷22h a finestre chiuse sia maggiore di 45 dB(A) il rumore è da considerarsi comunque inaccettabile.

DPCM 14/11/1997

- Il livello sonoro ambientale 6÷22h a finestre chiuse, in periodo diurno, è ritenuto “non disturbante” se inferiore a 35 dB(A). In caso contrario, il rumore è da considerarsi accettabile a condizione che sia garantito un livello differenziale (differenza tra rumore ambientale e rumore residuo) minore di 5 dB(A).

Il livello sonoro ambientale 22÷6h a finestre chiuse, in periodo notturno è ritenuto “non disturbante” se inferiore a 25 dB(A). In caso contrario, il rumore è da considerarsi accettabile a condizione che sia garantito un livello differenziale minore di 3 dB(A).

4. Indagine in campo con massa battente

Le misurazioni sono state eseguite sul terreno, nei pressi della casa di riposo, e sulle strutture dell'edificio (solai ala est).

Al fine di poter acquisire dati relativi alla propagazione delle misurazioni sul terreno sono state eseguite misurazioni generando un segnale impulsivo per mezzo di una massa battente in caduta libera da 1,5m di altezza da terra. La vibrazione è stata misurata per mezzo di tre accelerometri monoassiali orientati lungo l'asse verticale a breve distanza dal punto di impatto, sul confine di proprietà della Casa di Riposo ed in vicinanza dell'edificio principale della medesima.



Figura 1 – Massa battente posizionata a una trentina di metri dall'edificio della casa di riposo

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- Analizzatore multicanale Bruel&Kjaer Pulse Mod. 3560-B-020 matr. 2608168
- N.3 accelerometri Bruel&Kjaer 4507-B-004 matr. 30252, 30253, 30254.



Figura 2 – Massa battente posizionata a distanza di una trentina di metri e in prossimità dell'edificio della casa di riposo.



Figura 3 – Accelerometri monoassiali posizionati a distanza dall'edificio e in corrispondenza del passo carraio della casa di riposo.



Figura 4 – Accelerometri monoassiali posizionati su un davanzale del piano seminterrato e in corrispondenza del passo carraio della casa di riposo.



Figura 5 – Cavi di trasmissione dati degli accelerometri monoassiali posizionati nelle stanze di degenza.

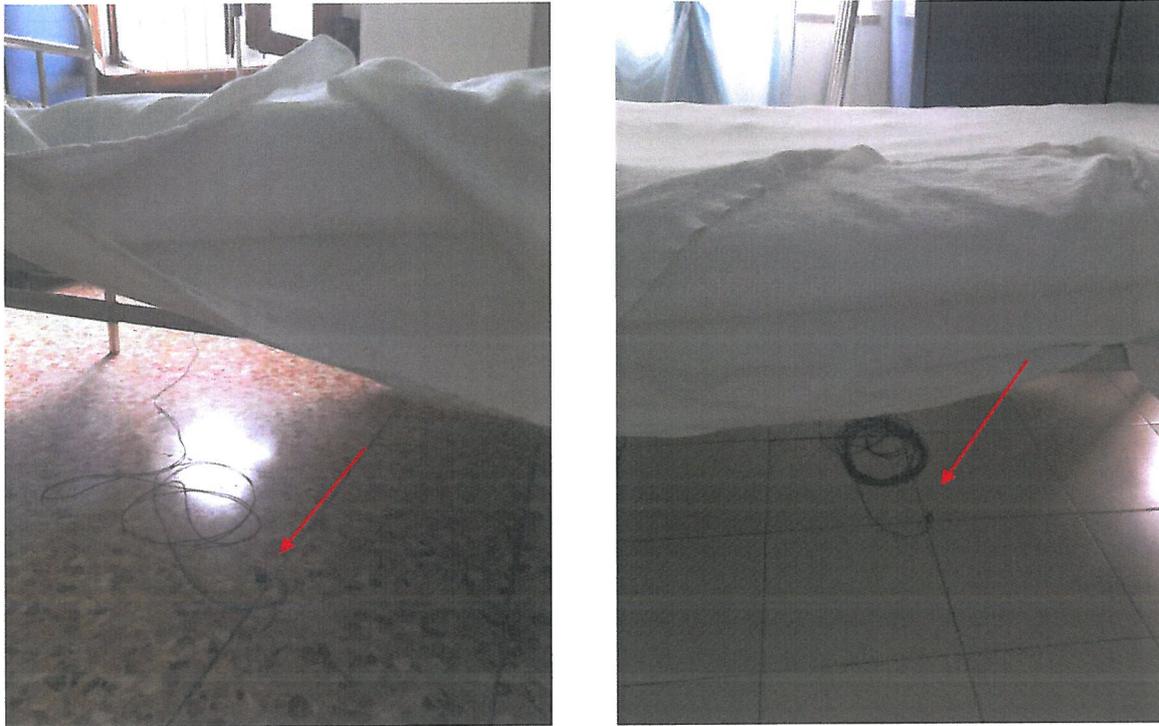


Figura 6 – Accelerometri monoassiali posizionati nelle stanze di degenza.

In questa specifica zona d'indagine, molto vicina alle pendici montuose, il terreno e soprattutto il sottosuolo hanno natura pressoché rocciosa.

La massa battente ha permesso di generare vibrazioni strumentalmente rilevabili in un intervallo di frequenze superiore ai 10Hz e, pertanto, è stato possibile quantificare nelle bande di frequenza superiori la differenza di livello di vibrazione per bande di 1/3 di ottava rilevata nelle postazioni di misura di riferimento. Di particolare interesse è la differenza tra la postazione di misura in vicinanza del punto d'impatto e quella in vicinanza dell'edificio. I grafici rappresentativi di queste misurazioni sono riportati nelle figure seguenti.

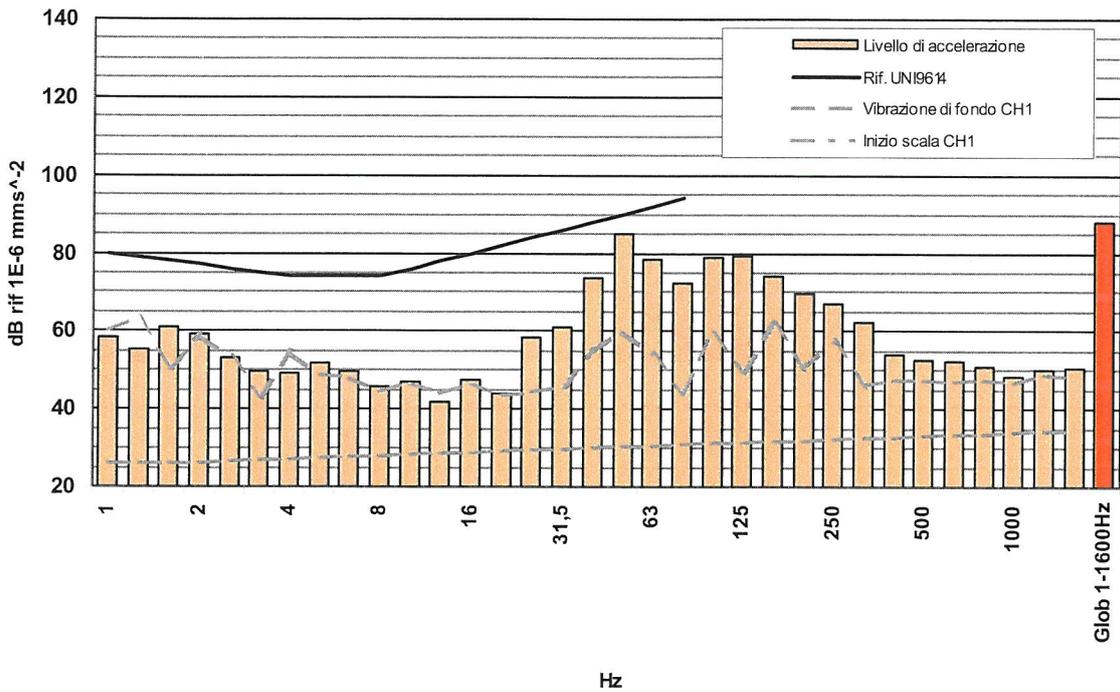


Figura 7 – Spettro di accelerazione rilevato presso la postazione di misura in vicinanza del punto di impatto.

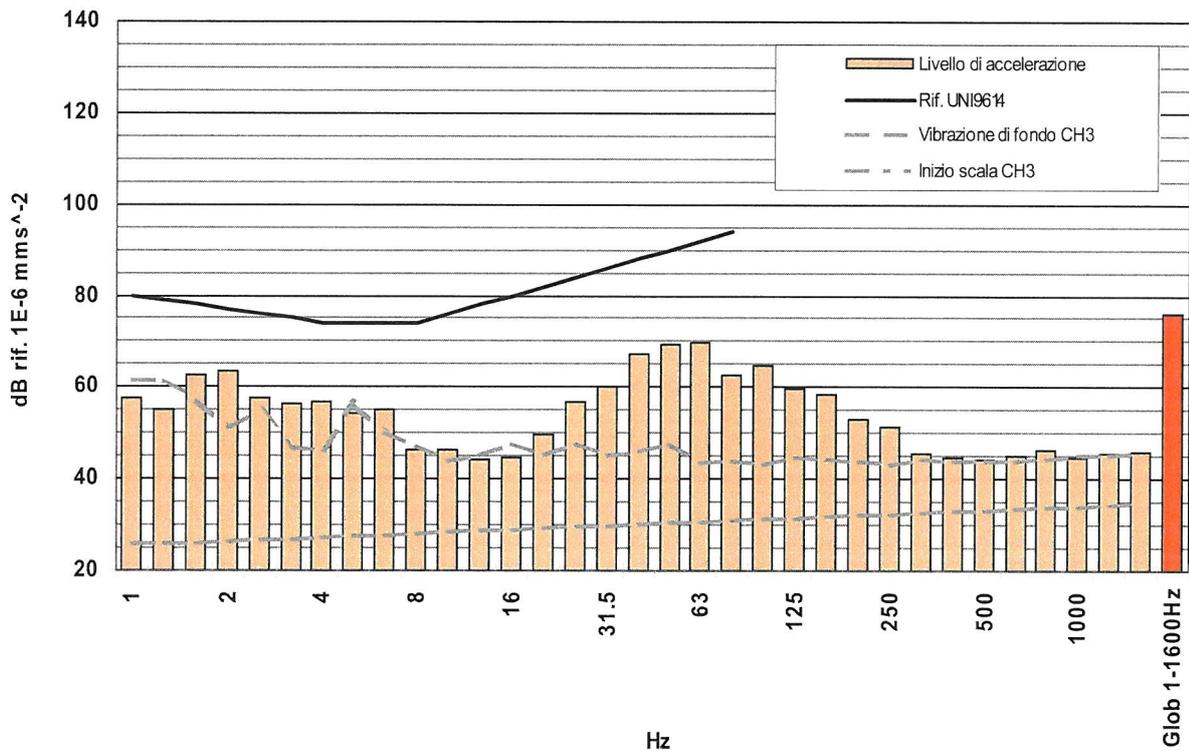


Figura 8 - Spettro di accelerazione rilevato presso la postazione di misura in vicinanza dell'edificio ricettore

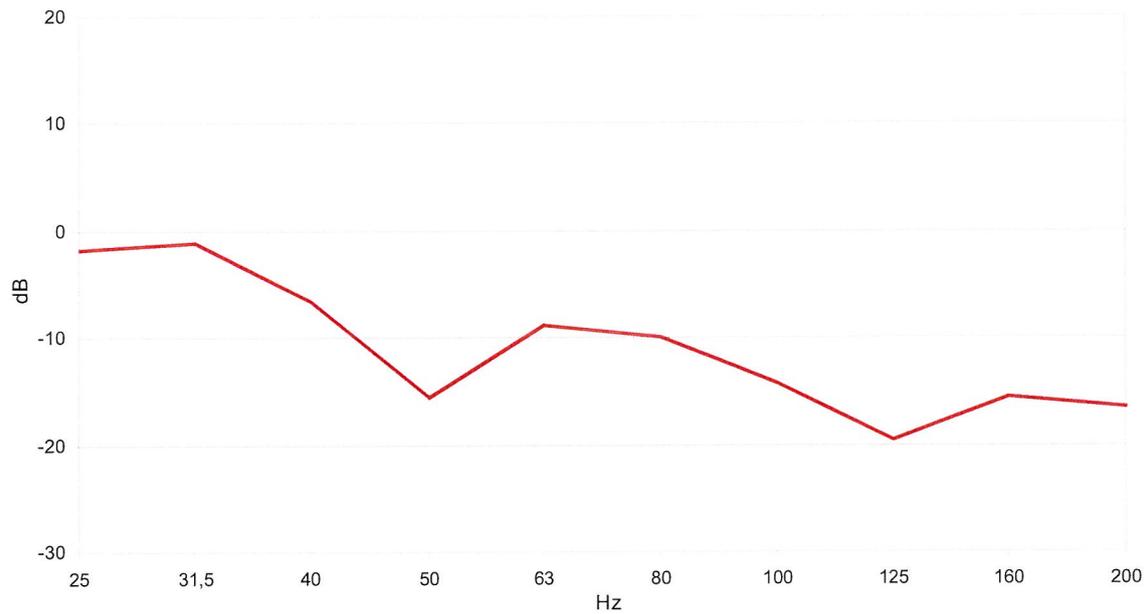


Figura 9 - Differenza tra gli spettri di accelerazione nelle due postazioni (presso edificio – presso punto di impatto) nella banda di frequenze in cui il segnale vibrazionale risulta meglio rilevabile strumentalmente.

Dal grafico è possibile osservare come vi sia una progressiva attenuazione del segnale rilevato all'aumentare della frequenza ma, in termini assoluti, l'attenuazione rilevata risulti lieve, a conferma della natura prevalentemente rocciosa del terreno.

I risultati dei rilievi hanno permesso di ricavare, grazie all'interpolazione dei dati acquisiti ed utilizzando anche come riferimento le indicazioni di altri studi TAV-Italferr, i seguenti riferimenti per le caratteristiche di propagazione nel terreno.

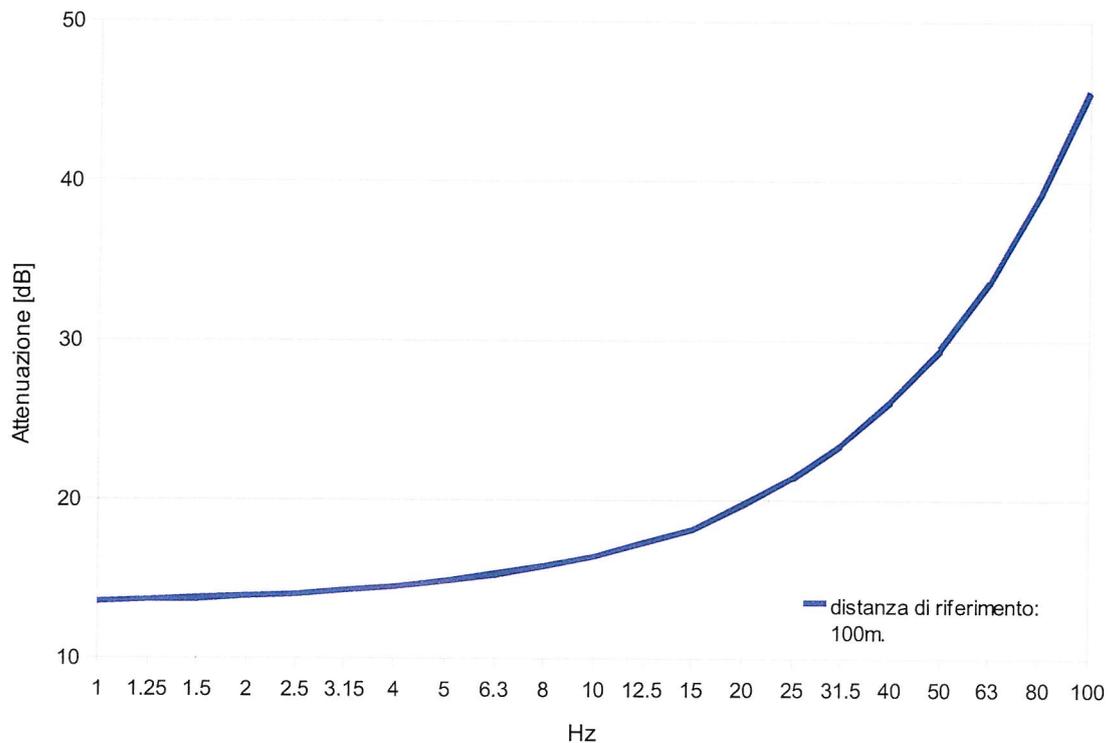


Figura 10 - Spettro di attenuazione delle vibrazioni nel terreno in funzione della frequenza (interpolazione).

La propagazione delle vibrazioni nel terreno evidenzia un incremento delle attenuazioni alle frequenze più alte, così come normalmente accade per effetto della maggiore attenuazione per divergenza geometrica.

A completamento dell'indagine strumentale sono state eseguite misurazioni sulle strutture dell'ala est dell'edificio ovvero sulla porzione che si affaccia verso l'area di pertinenza della futura NLTL. In questo caso la sorgente di vibrazioni (massa battente) è stata collocata in modo tale da determinare un punto d'impatto in prossimità delle fondamenta dell'edificio e le sonde accelerometriche sono state collocate sul solaio dei piani terreno, primo e secondo.

Le misurazioni hanno evidenziato una particolare risposta in frequenza dei solai dei piani superiori al piano terra. Gli ambienti interni, assimilabili come dimensioni e struttura a quelli di un edificio abitativo, con camere di ampiezza pari a circa 5m per lato, hanno evidenziato frequenze proprie di vibrazione che determinano un'amplificazione del livello di accelerazione rispetto a quanto rilevabile alla base dell'edificio.

Si riportano qui di seguito i grafici di riferimento degli spettri di accelerazione rilevati alla base dell'edificio, al primo ed al secondo piano.

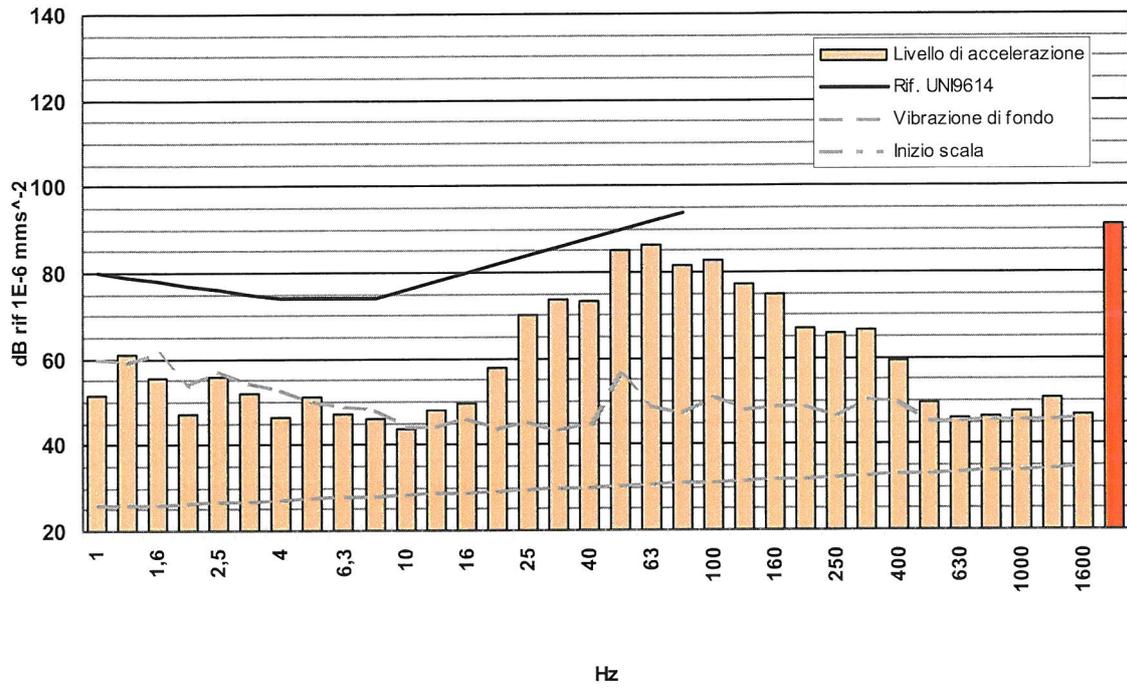


Figura 11 - Spettro di accelerazione alla base dell'edificio

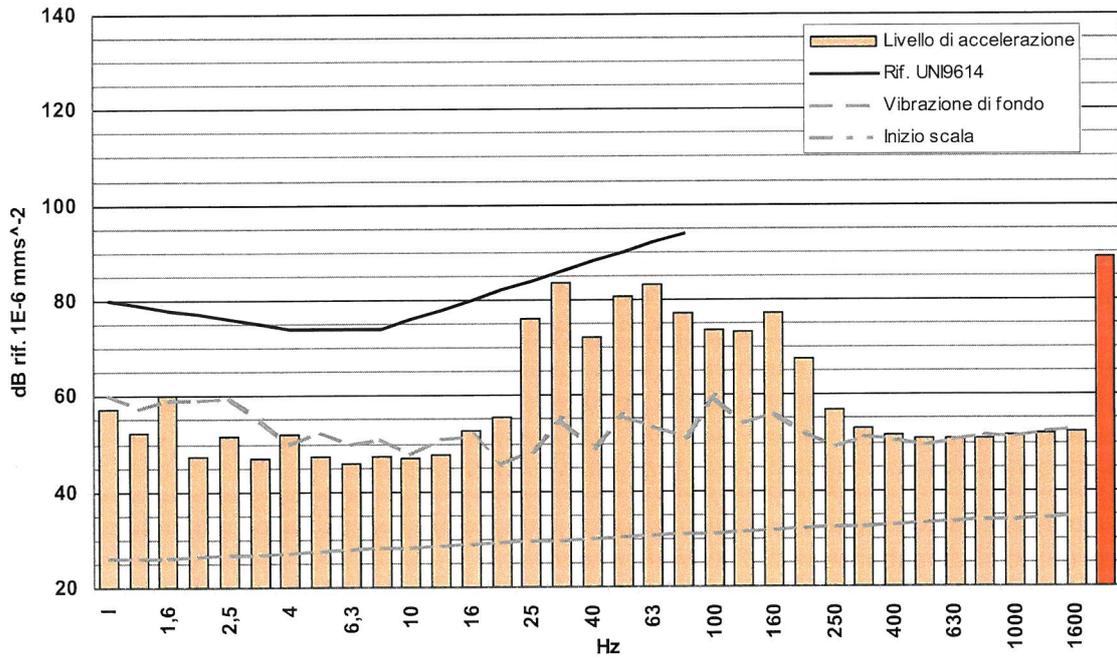


Figura 12 - Spettro di accelerazione – centro solaio primo piano

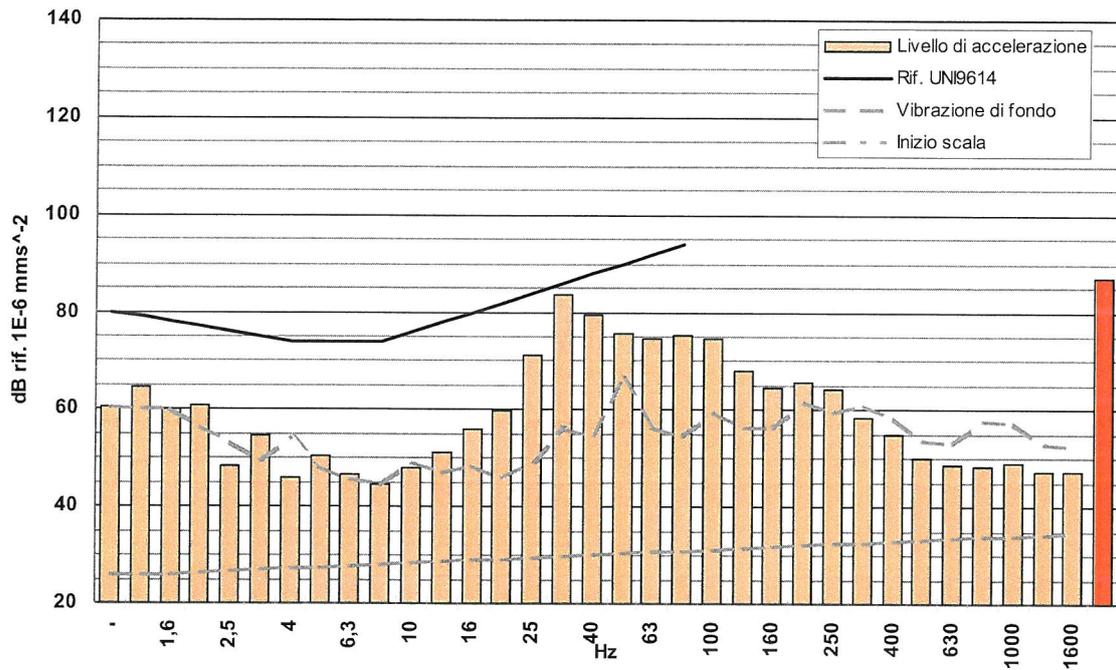


Figura 13 - Spettro di accelerazione – centro solaio secondo piano

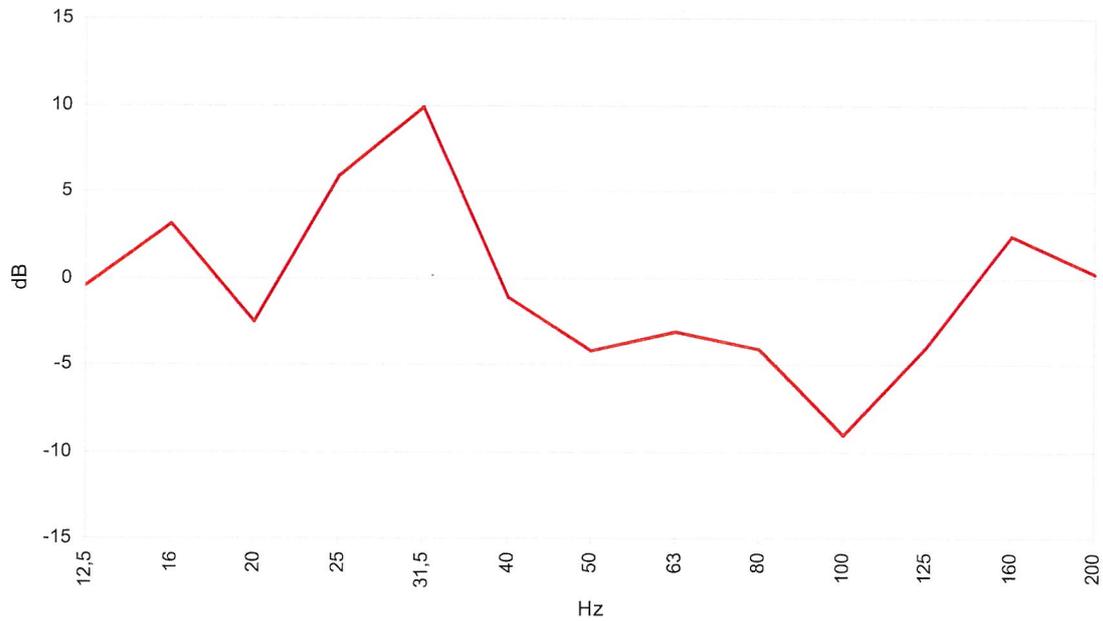


Figura 14 - Differenza tra gli spettri rilevati al piano primo ed alla base dell'edificio. Si osserva una risonanza alla banda di frequenze centrata attorno a 31,5Hz.

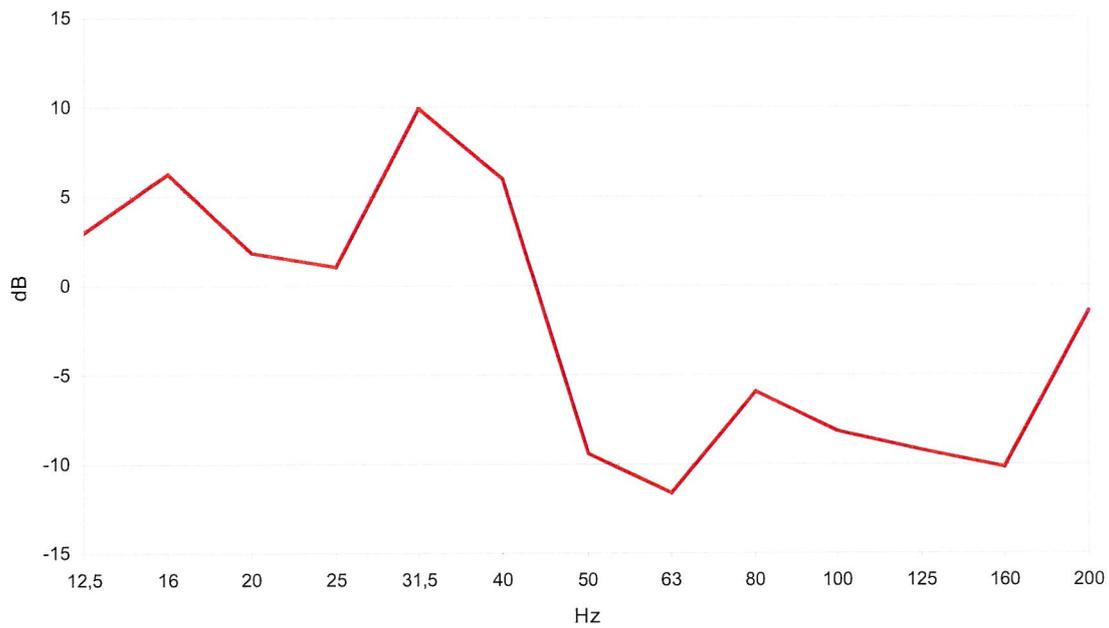


Figura 15 - Differenza tra gli spettri rilevati al piano secondo ed alla base dell'edificio. Anche in questo caso si osserva una risonanza alla banda di frequenze centrata attorno a 31,5Hz.

I dati strumentali tra i due diversi piani evidenziano una buona concordanza di risposta in frequenza ed in particolare indicano una risonanza alla banda di 31,5Hz.

I dati strumentali sono riportati qui di seguito a confronto con la curva di interpolazione modellistica ricavata da stime di studi precedentemente eseguiti da TAV-Italferr.

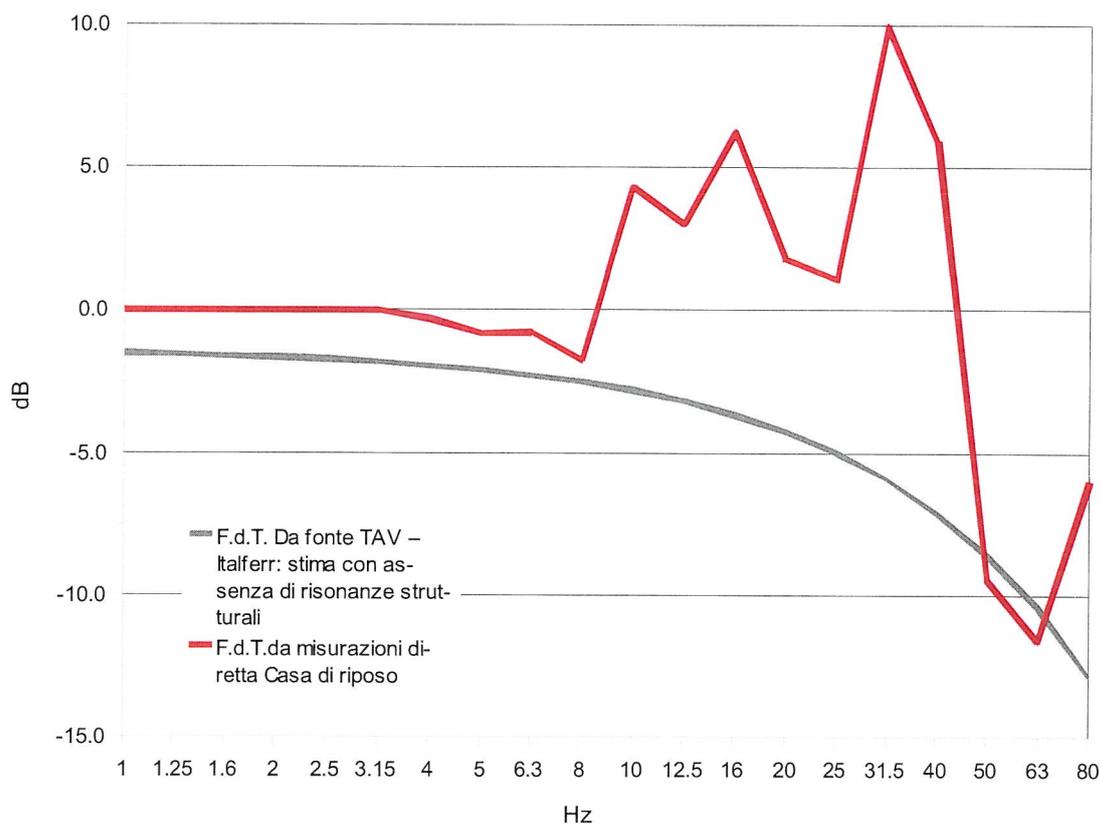


Figura 16 - Spettro della risposta dell'edificio (da basamento a centro solaio P.1) . Confronto con stime TAV-Italferr effettuate per casi di assenza di risonanze strutturali.

Il grafico della risposta in frequenza rilevata sull'edificio evidenzia un incremento del segnale nelle bande di frequenza comprese tra 10Hz e 40Hz con una particolare importanza per la banda di frequenza centrata attorno a 31,5Hz. È questo, in linea generale, un comportamento più realistico rispetto alla curva in colore grigio riferita alle stime modellistiche in assenza di risonanze. Le caratteristiche dei solai degli edifici, infatti, comportano sempre la presenza di frequenze proprie abitualmente comprese nelle sopra citate bande; tali frequenze proprie determinano una maggiore oscillazione e non possono pertanto essere trascurate. Si osservi infine come, laddove non si presentano risonanze, i valori scaturiti dalle misurazioni risultino concordare approssimativamente con le stime modellistiche di tipo generale. A seguito di queste considerazioni è possibile utilizzare la F.d.T. sperimentale, rilevata presso i solai dell'edificio studiato, come base per la modellizzazione delle F.d.T. degli altri edifici tenendo conto delle dimensioni e dei carichi delle diverse strutture in funzione del numero di piani.

In occasione del presente studio, infine, non è stato possibile acquisire ulteriori informazioni dirette nelle zone di fondovalle laddove la natura del terreno è significativamente differente da quello studiato in prossimità delle pendici montuose. Per queste zone, pertanto, si farà riferimento a dati ricavati dagli studi TAV – Italferr per zone analoghe. Il grafico di riferimento per l'attenuazione del terreno in queste zone è riportato nella figura seguente. Esso evidenzia come in tali zone l'attenuazione in funzione della distanza risulti lievemente maggiore di quanto rilevato presso la frazione S.Giacomo.

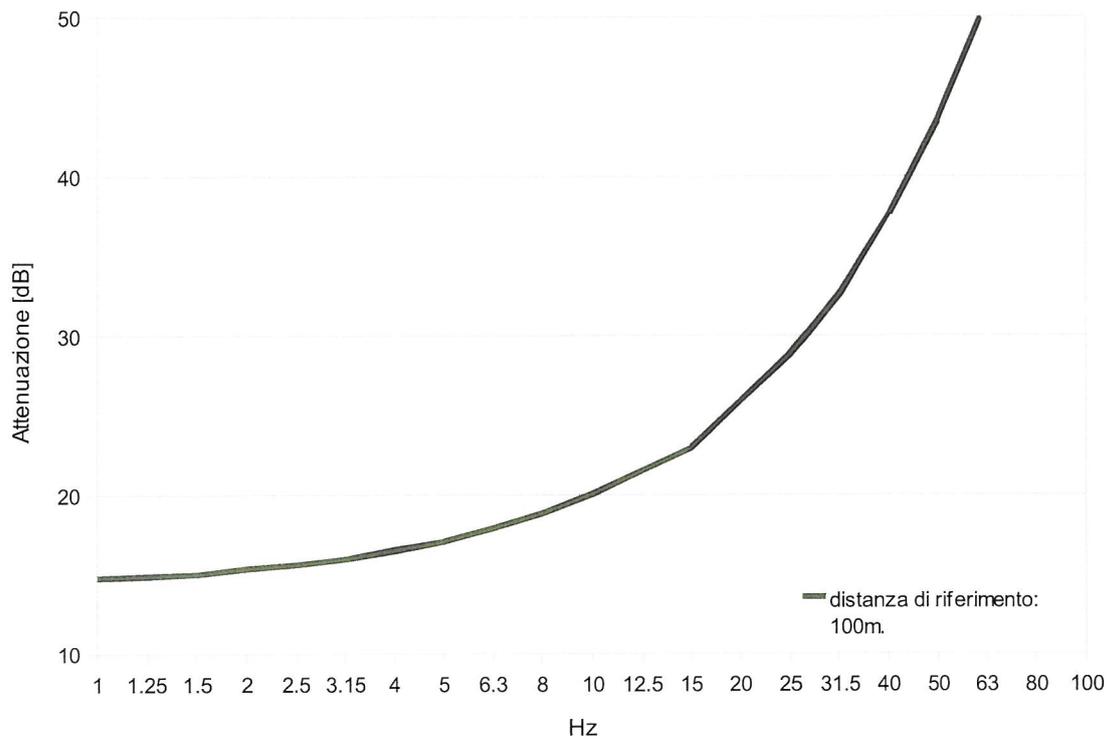


Figura 17 - Attenuazione terreno di tipo alluvionale (fonte dati TAV - Italferr)

Nel caso di terreno alluvionale, in cui i dati modellistici non sono ricavati dalle misurazioni dirette sul sito, viene tenuto conto anche di un'aliquota di attenuazione all'interfaccia terreno/fondazioni che, viceversa, per il caso dell'edificio studiato con misurazioni dirette, è compresa nell'ambito dei risultati delle misurazioni. Tale aliquota, in base a dati di letteratura, per villini ed edifici di piccole dimensioni può essere quantificata cautelativamente in 3dB.

4.1 Conclusioni

L'indagine in campo si è rilevata utile al fine di caratterizzare la trasmissione della vibrazione nel terreno e la risposta della struttura dell'edificio alla sollecitazione.

Si ricorda che tale edificio sorge in una zona che sarà interessata sia dal passaggio del tracciato della NLT, sia da un'area di cantiere. L'indagine si configura, quindi, anche come un importante riferimento per le valutazioni dopo che saranno avviate le attività di costruzione, soprattutto considerando che l'edificio rappresenta un ricettore sensibile in virtù della sua destinazione d'uso.

Si è anche verificata la natura rocciosa del terreno per la zona in cui sorge la casa di riposo, quindi le considerazioni relative a tale ricettore vanno lette nell'ambito di una natura particolarmente trasmissiva del terreno, caratterizzante questa particolare porzione di territorio.