

# LAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

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

PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE  
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

ENVIRONNEMENT – AMBIENTE

ITALIE – ITALIA

INTERVENTIONES DE ATTENUATION VIBRATIONELLE EN PHASE CHANTIER – INTERVENTI DI  
MITIGAZIONE VIBRAZIONALE IN FASE DI CANTIERE

RAPPORT TECHNIQUE DES ZONES OBJET DE VARIANTE – RELAZIONE TECNICA DELLE AREE  
OGGETTO DI VARIANTE

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	31/03/2017	Diffusion suite aux échanges avec TELT (phase PRF-PRV) / Diffusione a seguito condivisione commenti con TELT (fase PRF-PRV)	TCC	S. GARAVOGLIA C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI



CODE DOC	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>C</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>T</b>
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	<b>C3C</b>	//	//	<b>01</b>	<b>51</b>	<b>01</b>	<b>10</b>	<b>02</b>
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"  
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (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  
Proprieté TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT 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. PREMESSA .....	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
3. QUADRO NORMATIVO E REGOLAMENTARE.....	5
3.1 EFFETTO DELLE VIBRAZIONI SULL'ORGANISMO UMANO: LA NORMA UNI 9614.....	5
3.2 POTENZIALI DANNI AGLI EDIFICI: LA NORMA UNI 9916.....	8
3.3 RICHIAMO DELLA MODALITÀ DI VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI VIBRAZIONE PER I DANNI AGLI EDIFICI .....	9
3.4 INDICAZIONI SUL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI SUL TERRENO .....	9
4. MISURAZIONE DELLE VIBRAZIONI NELL'AREA DI STUDIO .....	10
4.1 STRUMENTAZIONE DI MISURA UTILIZZATA.....	11
4.2 METODICA DI ESECUZIONE DELLE MISURE.....	11
5. RISULTATI DELLE MISURAZIONI E IMPOSTAZIONE DEL MODELLO DI STIMA PREVISIONALE .....	13
5.1 RISULTATI DELLE MISURAZIONI AL SUOLO IN OCCASIONE DEI TRANSITI DEI CONVOGLI .....	13
5.2 RISULTATI DELLE MISURAZIONI AL SUOLO CON SOLLECITAZIONI IMPULSIVE.....	14
5.3 RISULTATI DELLE MISURAZIONI SULL'EDIFICIO DELLA CASA DI RIPOSO .....	15
6. CALCOLO PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI.....	16
6.1 NOTE SUI FATTORI DI INCERTEZZA DELLA MODELLIZZAZIONE E DELLE MISURAZIONI SUL CAMPO .....	16
6.2 IMPOSTAZIONI DEL MODELLO PREVISIONALE.....	17
7. STIMA DELLE VIBRAZIONI INDOTTE SUI PRINCIPALI RICETTORI DI RIFERIMENTO NELLE AREE DI STUDIO .....	17
7.1 VALUTAZIONI PREVISIONALI PER L'AREA SALBERTRAND .....	17
7.2 VALUTAZIONI PREVISIONALI PER L'AREA DELLA MADDALENA.....	19
7.2.1 Analisi dei dati di monitoraggio relativi alla postazione di misura A5.4 (presso la zona museo della frazione La Maddalena) e considerazioni sulle attività future....	19
7.2.2 Analisi dei dati di monitoraggio relativi alla postazione di misura A5.23 (presso Borgata Clarea) e considerazioni sulle attività future.....	20
7.3 NOTA A RIGUARDO DELLE ATTIVITÀ NELL'AREA DI CANTIERE DI SUSA 21	
8. ALLEGATO 1: SCHEDE DI MISURA .....	22

## RESUME / RIASSUNTO

Ce rapport concerne seulement les parties objet de variante par rapport au Projet Définitif Approuvé par la Délibération CIPE n.19 du 20.02.2015.

L'étude vibrationnelle définitif, relatif à la construction de la nouvelle ligne ferroviaire Lyon-Turin, a été réalisée en utilisant les résultats de la nouvelle série des enquêtes vibrationnelles sur le territoire et les données d'émission vibrationnelle des sources trouvées pendant études comparables ou par la littérature sur ce sujet.

Cette étude présentera donc les considérations sur les données pour formuler l'analyse et les résultats des calculs.

Il presente documento è relativo alle sole parti oggetto di variante rispetto al Progetto Definitivo Approvato con Delibera CIPE n.19 del 20.02.2015.

Lo studio vibrazionale definitivo, relativo alla costruzione della nuova linea ferroviaria Torino-Lione, è stato realizzato utilizzando come dati d'ingresso gli esiti della nuova campagna d'indagine svolta sul territorio, e dati di emissione vibrazionale delle sorgenti, ricavati da studi comparabili o dalla letteratura di settore.

Lo studio presenterà, dunque, le considerazioni in merito ai dati di partenza per l'analisi svolta e gli esiti di quest'ultima.

## 1. Premessa

Il presente documento intende valutare dal punto di vista della componente vibrazionale il nuovo scenario di cantierizzazione sviluppato in risposta alla prescrizione n.235 della Delibera CIPE 19/2015.

Più in particolare le aree studiate sono quelle relative ai cantieri di Salbertrand e Maddalena: per quest'ultima, in particolare, lo studio si configura quasi come un approfondimento poichè è già presente, ad oggi, il cantiere del cunicolo esplorativo su cui è attivo il monitoraggio di corso d'opera che non ha registrato alcuna criticità legata alla componente.

Il documento illustra, quindi, i risultati dei sopralluoghi, delle misurazioni di vibrazioni e delle valutazioni eseguite nell'ambito dello studio previsionale d'impatto da vibrazioni relativo alle aree di cantiere previste a Salbertrand ed in località Maddalena.

Lo studio intende valutare, per mezzo delle indagini svolte sul campo, le modalità di trasmissione delle vibrazioni nel terreno e verso gli edifici potenzialmente oggetto di disturbo. Con riferimento poi alle norme tecniche UNI9614 ed UNI9916 (che richiama la DIN4150-3) lo studio intende fornire informazioni utili come riferimento per perseguire l'obiettivo di mantenere il livello di vibrazioni al di sotto dei limiti, indicati dalle norme stesse, in concomitanza con le lavorazioni.

## 2. Documenti di riferimento

I documenti di riferimento per lo studio sono i seguenti:

- PRV\_C3A\_TS3\_6010: “Relazione generale illustrativa - lato Italia”
- PRV\_C3A\_TS3\_6037: “Relazione illustrativa cantiere Maddalena e Area Colombera”
- PRV\_C3A\_TS3\_7861: “Area industriale di Salbertrand – Planimetria, soluzione 1”
- PRV\_C3A\_TS3\_6431: “Planimetria area di cantiere” (Maddalena)
- PRV\_C3C\_TS3\_7300: “Piano delle indagini ambientali complementari”
- PRV\_C3C\_TS3\_7301: “Ubicazione dei punti di misura complementari delle componenti ambientali”
- Rapporti di prova dei risultati del monitoraggio ambientale corso d'opera componente vibrazioni (per il cantiere del cunicolo esplorativo della Maddalena), in particolare:
  - VB A5.4\_19
  - VB A5.4\_20
  - VB A5.4\_21
  - VB A5.4\_23
  - VB A5.23\_19
  - VB A5.23\_20
  - VB A5.23\_21
  - VB A5.23\_23
- Valutazione dei risultati del monitoraggio ambientale, componente vibrazioni, redatti da Arpa Piemonte (analisi condotta periodicamente, su richiesta del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, per verificare la congruenza dei rilievi rispetto al Piano di Monitoraggio Ambientale), in particolare per i periodi:
  - Agosto - dicembre 2015

- Gennaio - luglio 2016

### 3. Quadro normativo e regolamentare

L'attuale normativa nazionale manca di leggi e decreti in materia di vibrazioni; sono viceversa presenti norme tecniche emanate dagli enti normatori UNI e DIN. In particolare, ai fini del presente studio, sono di riferimento:

- la norma UNI9614;
- la norma UNI9916 (che richiama la norma DIN 4150-3).

Si riportano qui di seguito alcuni riferimenti alle norme tecniche citate.

#### 3.1 Effetto delle vibrazioni sull'organismo umano: la norma UNI 9614

La valutazione delle vibrazioni, in relazione al loro effetto sull'uomo, è regolamentata dalla norma *UNI 9614 Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo*.

##### Definizione dei tipi di vibrazioni (Par.3.1 della norma)

La norma definisce i tipi di vibrazioni come:

- “di livello costante” quando il livello di accelerazione complessivo varia in ampiezza di meno di 5 dB;
- “di livello non costante” quando il livello di accelerazione complessivo varia in ampiezza di oltre 5 dB;
- “impulsive” quando sono originate da eventi di breve durata costituiti da un rapido innalzamento del livello di accelerazione sino ad un massimo seguito da un decadimento che può comportare o meno, a seconda dello smorzamento della struttura, una serie di oscillazioni che tendono ad estinguersi nel tempo. È questo il caso specifico delle vibrazioni derivanti dalle presse a cui occorre fare riferimento per l'analisi del caso in esame.

##### Classificazione dei locali disturbati (Par.3.3 della norma)

I locali o gli edifici in cui vengono immesse le vibrazioni vengono classificati secondo la loro destinazione d'uso in:

- aree critiche;
- abitazioni;
- uffici;
- fabbriche.

##### Classificazione dei periodi della giornata (Par.3.4 della norma)

La giornata viene suddivisa in due periodi di tempo

- Diurno – dalle ore 7.00 alle ore 22.00
- Notturno – dalle ore 22.00 alle ore 7.00

##### Misura delle vibrazioni (Cap.4 della norma)

Il capitolo indica, al punto 4.1, che la grandezza fisica da misurare è il valore efficace (r.m.s.) dell'accelerazione espresso in  $m/s^2$ . Essa può anche essere espressa in termini di livello di accelerazione (in dB) mediante la formula:

$$L = 20 \text{Log}_{10} (a/a_0)$$

Dove:

$a$  è il valore efficace dell'accelerazione

$a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$  è il valore efficace dell'accelerazione di riferimento

Al paragrafo 4.2, poi, viene indicato che la gamma di frequenze di interesse per le vibrazioni è compresa tra 1Hz ed 80Hz; poiché gli effetti sono differenti al variare della frequenza, per una valutazione complessiva è necessaria una curva di pesatura. Si distinguono tre diverse curve di pesatura a seconda che il disturbo venga percepito lungo l'asse z (testa-piedi), lungo gli assi orizzontali x/y oppure ancora con postura variabile.

Nel grafico seguente sono riportate le curve di pesatura come indicate nel prospetto 1 della norma UNI9614.

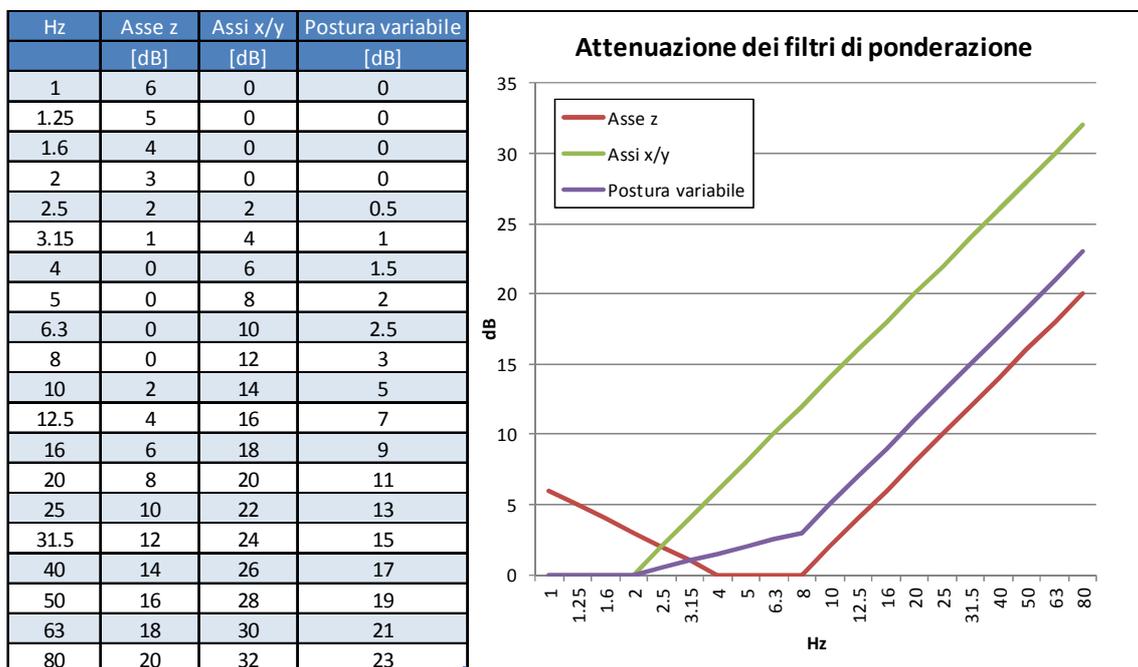


Figura 1 - Prospetto delle curve di pesatura per le vibrazioni secondo la UNI9614

Analisi dell'accelerazione per terzi d'ottava (altrimenti detta percentuale di banda costante o CPB)

È possibile effettuare un'analisi per bande di terzi d'ottava nell'intervallo 1-80 Hz sottraendo ai livelli per ogni banda una quantità pari a quella definita dall'attenuazione dei filtri di ponderazione.

Il livello dell'accelerazione complessiva, ponderato in frequenza, è dato dalla relazione:

$$L_w = 10 \text{Log}_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{i,w}}{10}}$$

dove  $L_i$  indica i livelli rilevati per terzi d'ottava, ponderati in frequenza come sopra indicato.

### Percezione delle vibrazioni

La norma UNI9614 presenta le curve di soglia di percezione delle vibrazioni lungo l'asse verticale del corpo (testa-piedi) e lungo i due assi orizzontali. Le soglie sono rappresentate nel grafico seguente. Se le vibrazioni misurate oltrepassano tali curve ad una o più delle frequenze di riferimento, le vibrazioni stesse possono risultare percepibili dal corpo umano.

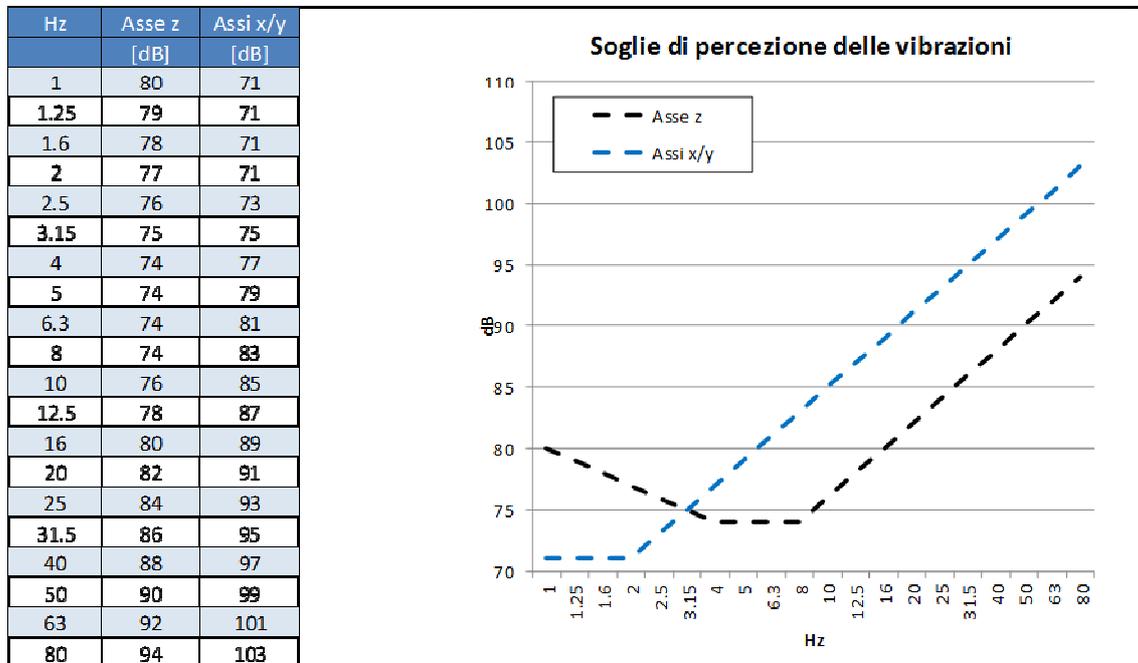


Figura 2 - Curve di soglia di percezione delle vibrazioni secondo UNI9614

### Limiti di riferimento per le vibrazioni di livello costante

Nelle appendici alla norma UNI9614 si trovano i valori limite per il disturbo da vibrazioni, espressi in termini di accelerazioni ponderate in frequenza lungo l'asse verticale e lungo gli assi orizzontali.

#### Limiti asse verticale

Categorie di ambienti	Accelerazioni [m/s <sup>2</sup> ]	Livelli di accelerazione [dB]
Aree critiche	5.0x10 <sup>-3</sup>	74
Abitazioni (notte)	7.0x10 <sup>-3</sup>	77
Abitazioni (giorno)	10.0x10 <sup>-3</sup>	80
Uffici	20.0x10 <sup>-3</sup>	86
Fabbriche	40.0x10 <sup>-3</sup>	92

Limiti assi orizzontali

Categorie di ambienti	accelerazioni	Livelli di accelerazione
	[m/s <sup>2</sup> ]	[dB]
Aree critiche	3.6x10 <sup>-3</sup>	71
Abitazioni (notte)	5.0x10 <sup>-3</sup>	74
Abitazioni (giorno)	7.2x10 <sup>-3</sup>	77
Uffici	14.4x10 <sup>-3</sup>	83
Fabbriche	28.8x10 <sup>-3</sup>	89

### 3.2 Potenziali danni agli edifici: la norma UNI 9916

La norma UNI 9916 analizza il tema “vibrazioni” sotto il profilo dei potenziali danni alle strutture edili.

Per questo motivo la norma pone attenzione alla classificazione degli edifici e dei possibili danni, suddividendoli in danni architettonici e danni maggiori. Essa tuttavia si concentra soprattutto sulle modalità di posizionamento delle sonde vibrometriche e sulla esecuzione delle misurazioni di vibrazioni su edifici, in concomitanza con la presenza delle sollecitazioni potenzialmente dannose.

La norma richiama anche – in appendice - criteri di valutazione derivanti da altre norme internazionali, tra cui la norma tedesca DIN4150-3.

La norma UNI9916 riporta nel proprio testo la seguente tabella di riferimento per i valori dei livelli di vibrazioni al di sotto dei quali non si può indicare una correlazione diretta o un nesso di causa-effetto tra vibrazioni e danni alle strutture.

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano alto	Solai Componente Verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz <sup>*)</sup>	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 (f=10 Hz) a 40 (f= 50 Hz)	Varia linearmente da 40 (f= 50 Hz) a 50 (f= 100 Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 (f= 10 Hz) a 15 (f= 50 Hz)	Varia linearmente da 15 (f= 50 Hz) a 20 (f= 100 Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 (f= 10 Hz) a 8 (f= 50 Hz)	Varia linearmente da 8 (f= 50 Hz) a 10 (f= 100 Hz)	8	3/4

\*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

Figura 3 - estratto del prospetto D.1 della norma UNI9916 che richiama i valori di riferimento indicati dalla norma DIN4150-3 per vibrazioni non continue.

Nel caso in esame occorre fare riferimento alla seconda riga della tabella che riporta valori indicati come adeguati per costruzioni adibite a residenze e non aventi rilevanza storico-artistica.

Nel caso, invece, di fenomeni vibratorii persistenti nel tempo e tali da poter indurre fenomeni di fatica ed amplificazioni dovute alle risonanze delle strutture, i valori di riferimento indicati dalla norma – per la direzione orizzontale – sono riportati nel seguente prospetto D.2:

Rapport technique des zones objet de variante / Relazione tecnica delle aree oggetto di variante

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

*Figura 4 - Estratto del prospetto D.2 della norma UNI9916 che presenta i valori di riferimento per fenomeni persistenti o tali da indurre fenomeni di fatica o amplificazioni dovute a risonanze.*

Anche in questo caso occorre riferirsi alla seconda riga della tabella.

### 3.3 Richiamo della modalità di valutazione del livello di vibrazione per i danni agli edifici

La metodologia di analisi del segnale da applicare per il caso di valutazione delle correlazioni tra vibrazioni e danni agli edifici prevede di confrontare i dati in termini di velocità di vibrazione.

Il parametro di riferimento è il p.c.p.v “peak component particle velocity” ovvero la velocità di picco rilevata lungo una componente (verticale o orizzontale). Esso deve essere confrontato con i limiti indicati nei prospetti della norma in corrispondenza della frequenza a cui l’analisi spettrale del segnale indica un massimo.

Nel caso di misurazione diretta di un segnale potenzialmente critico per l’edificio sotto indagine si opera secondo il seguente schema:

1. Analisi spettrale del segnale nella banda di interesse (tipicamente 1Hz-100Hz)
2. Individuazione della frequenza in cui lo spettro presenta il valore massimo
3. Rilevazione del valore di picco massimo tra le differenti componenti (orizzontale e verticale)
4. Confronto tra valore di picco e valore limite indicato dalla norma per la frequenza di cui al punto 3).

Se il valore misurato eccede il valore indicato dalla norma allora può presentarsi un nesso di causa-effetto tra vibrazioni ed eventuali danni (fessurazioni etc.). In caso contrario non è possibile indicare tale nesso di causa-effetto.

### 3.4 Indicazioni sul modello di calcolo della propagazione delle vibrazioni sul terreno

Al fine di formulare quantificazioni e previsioni relative alla propagazione delle vibrazioni nel terreno si applicano strumenti modellistici per poter analizzare un fenomeno di elevata complessità e ricondurlo ad una trattazione semplificata.

Nel caso di fenomeni vibratorii che avvengono in superficie e non dalle profondità del sottosuolo – come nel caso in esame – è possibile secondo Rayleigh e Rudder limitare l’analisi alla propagazione in superficie. La modellizzazione più semplificata consiste nel tenere conto unicamente della divergenza geometrica del fascio per un’onda di superficie.

Esistono però nel terreno anche fenomeni di tipo dissipativo che aumentano in maniera non trascurabile l’attenuazione delle vibrazioni in funzione della distanza. È possibile, quindi, migliorare la modellizzazione semplificata considerando entrambe le componenti: la divergenza e la dissipazione.

Il modello di calcolo – espresso in termini logaritmici – è quindi il seguente (caso di sorgente “puntiforme”):

$$L[r] = L_0 + 10\text{Log}_{10}[d_0/r] - 8.69\alpha[r-d_0]$$

Dove:

- $r$  = distanza del punto ricettore dalla sorgente
- $d_0$  = distanza di riferimento
- $\alpha$  = fattore di attenuazione del terreno (caratteristica del sito in oggetto)
- $L_0$  = livello di vibrazione di riferimento presente alla distanza  $d_0$

*Nota: il termine  $8.69 \alpha [r-d_0]$  deriva dalla relazione di attenuazione esponenziale  $e^{-\alpha(r-d_0)}$*

Seguendo la modellizzazione sopra descritta si comprende come le indagini sul territorio siano finalizzate a fornire valori sperimentali del parametro  $\alpha$  (dipendente dalla natura del terreno) in funzione della frequenza.

Per il caso di sorgenti lineari, quali ad esempio i convogli ferroviari, essi possono essere modellizzati simulando la compresenza di più sorgenti puntiformi allineate i cui effetti si sovrappongono.

#### 4. Misurazione delle vibrazioni nell'area di studio

Le indagini condotte per la componente “vibrazioni” hanno avuto lo scopo di valutare le modalità di trasmissione delle vibrazioni nel terreno e verso gli edifici potenzialmente oggetto di disturbo.

I sopralluoghi e le indagini strumentali sono stati eseguiti durante la giornata del 21/10/2016 presso l'area della stazione ferroviaria di Salbertrand e nelle sue immediate vicinanze.

Le misurazioni sono state eseguite con due differenti sorgenti:

- il transito dei convogli ferroviari, al fine sia di quantificare l'entità delle vibrazioni sia di osservare le modalità della loro attenuazione in funzione della distanza dal binario di corsa;
- la generazione di un impulso sul terreno, tramite una massa battente lasciata cadere dall'altezza di circa 2m, al fine di definire la *funzione di trasferimento* tra due punti noti.



*Figura 5 – Immagini delle differenti modalità di indagine strumentale.*

#### 4.1 Strumentazione di misura utilizzata

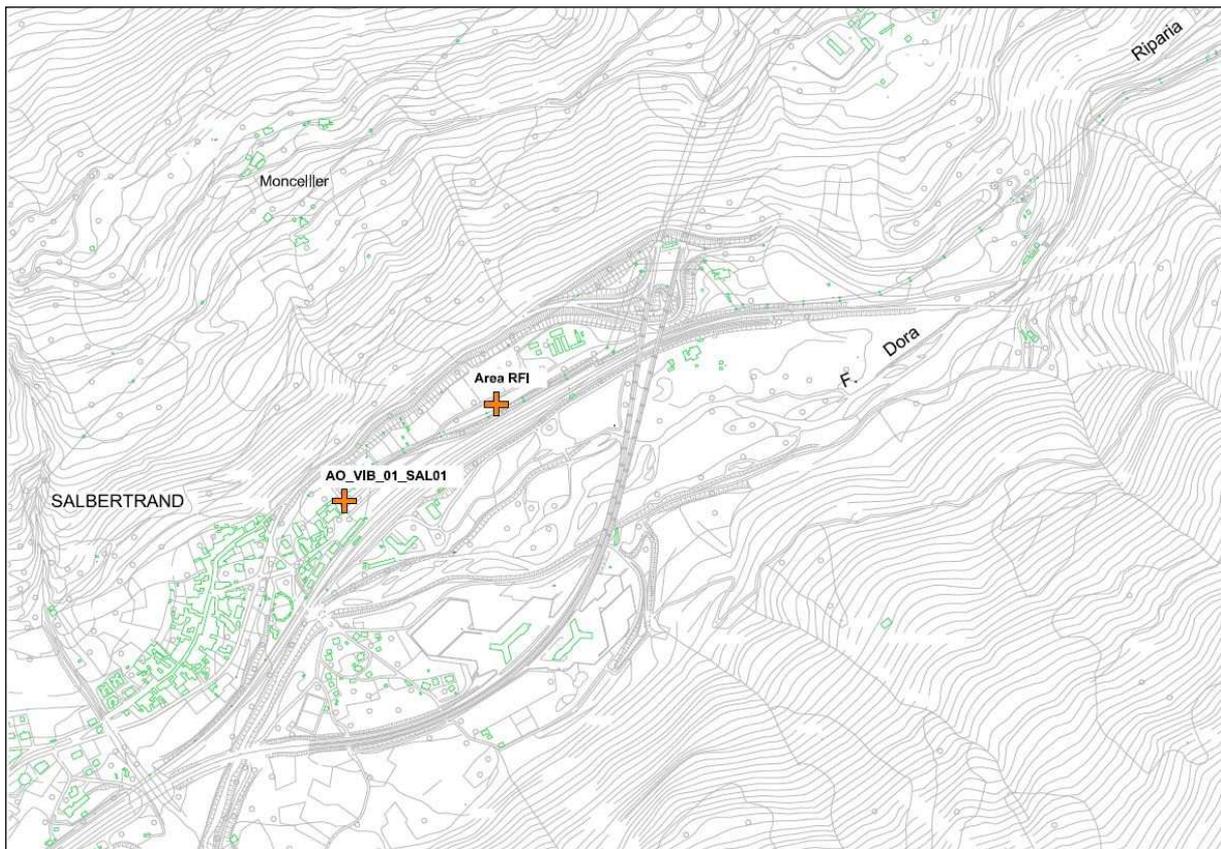
Per l'esecuzione delle misurazioni è stata utilizzata la seguente strumentazione tecnica:

- Sonde accelerometriche Bruel&Kjaer Mod. 4506 e 4507.
- Analizzatore front-end per acquisizione dati multicanale, Bruel&Kjaer mod. "Pulse" Lan XI Mod.3050-A-060.

#### 4.2 Metodica di esecuzione delle misure

Le misurazioni sono state eseguite in due differenti aree di riferimento:

- l'area di pertinenza della stazione ferroviaria, per misurazioni di vibrazioni sul terreno in vicinanza della futura area di attività del cantiere in progetto e, più in particolare, in prossimità del futuro fascio di carico treni diretti ai siti di Caprie e Torrazza Piemonte;
- l'area che si affaccia sulla piazza della stazione, con particolare riferimento all'edificio della casa di residenza per anziani autosufficienti o parzialmente autosufficienti "Galambra", in cui è stato possibile effettuare misurazioni di caratterizzazione della trasmissione di vibrazioni dalla base dell'edificio stesso ai solai del primo piano.



*Figura 6 – Ubicazione dei punti di misura sul territorio di Salbertrand.*

Le postazioni di misura sul terreno sono state collocate ad una distanza di circa 2.5m e 20m dal binario dispari (e dunque sul lato nord della linea, verso il paese). A causa della presenza di ballast e di terreno non sufficientemente compatto nell'area della stazione, non è stato possibile fissare le sonde accelerometriche direttamente al suolo o su eventuali affioramenti rocciosi; si è provveduto, quindi, a fissare i medesimi su manufatti artificiali aventi come caratteristica quella di essere fortemente solidali con gli strati più profondi del terreno e non solo con lo strato superficiale. In particolare la sonda in vicinanza del binario è stata collocata su un blocco in cemento affiorante dal terreno e quella a maggiore distanza sulla rotaia di un binario morto non utilizzato.



*Figura 7 – Punti di installazione delle sonde accelerometriche nell'area della stazione ferroviaria.*

Per le indagini strumentali sulla trasmissione di vibrazioni nell'edificio della casa di riposo "Galambra" le sonde accelerometriche sono state collocate contemporaneamente alla base dell'edificio ed al centro del solaio di una camera da letto al primo piano. In tal modo è stato possibile quantificare la trasmissione del segnale vibrazionale verso gli ambienti abitativi e valutare anche l'eventuale presenza di risonanze proprie dei solai.



*Figura 8 – Punti di installazione delle sonde accelerometriche presso la casa di riposo.*

## **5. Risultati delle misurazioni e impostazione del modello di stima previsionale**

Come già precedentemente specificato, le misurazioni sono state eseguite con sonde accelerometriche posizionate in contemporanea in due differenti postazioni di misura; questo per poter acquisire il segnale vibrazionale in contemporanea a due diverse distanze dalla sorgente. In questo modo è possibile ricavare in modo diretto informazioni sulle modalità di propagazione delle vibrazioni in funzione della distanza dalla sorgente e/o lungo le strutture edili.

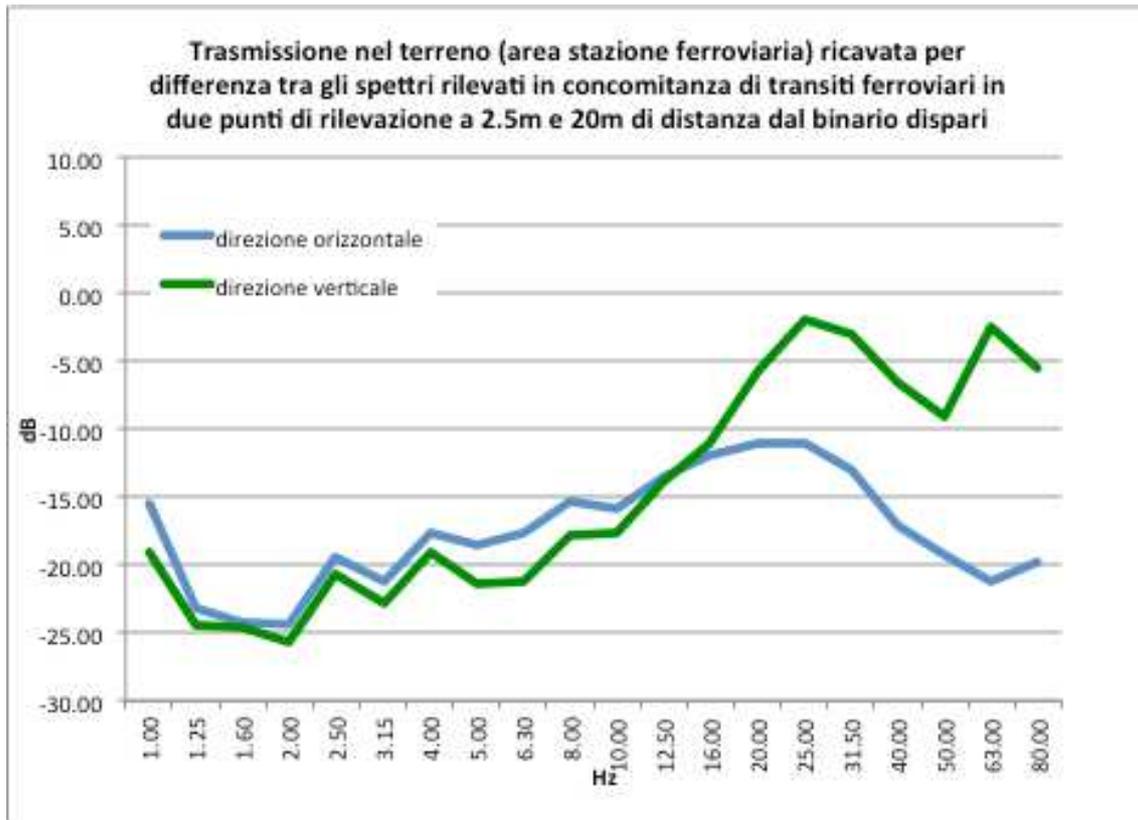
### **5.1 Risultati delle misurazioni al suolo in occasione dei transiti dei convogli**

Le misurazioni eseguite in concomitanza dei transiti dei convogli ferroviari sono state utili per valutare l'entità delle vibrazioni medesime e per quantificare le modalità di propagazione nel terreno in presenza di una sorgente di tipo lineare rappresentata dal convoglio in transito di fronte alle postazioni di misura. È utile ricordare, a tal proposito, che le norme tecniche, richiamate nei paragrafi precedenti, configurano il disturbo vibrazionale con riferimento all'intervallo di tempo in cui si manifesta il fenomeno fisico; per tale ragione si valuta non un livello cumulativo sull'intera giornata (come, invece, accade per l'esposizione al rumore), bensì i singoli transiti.

I risultati delle misurazioni sono riportati in dettaglio nelle schede tecniche di misura allegate al presente documento.

L'analisi dei risultati porta alle seguenti considerazioni:

- 1) Per quanto riguarda la trasmissione di vibrazioni sul terreno, si osserva un'attenuazione, in funzione della distanza dal binario, che si presenta più elevata alle basse frequenze e più ridotta alle frequenze medio-alte nell'ambito della banda di interesse indicata dalla norma UNI9614 [1Hz-80Hz].



**Grafico 1** - Attenuazione delle vibrazioni nel terreno, misurata presso l'area della stazione in occasione dei transiti ferroviari.

- 2) Per quanto riguarda il parametro p.c.p.v. (*peak component particle velocity*) relativo alle possibili correlazioni tra transiti di convogli e fessurazioni o danni di diversa natura sulle strutture edili, i valori rilevati si mantengono ampiamente al di sotto delle soglie indicate dalla norma tecnica UNI9916.

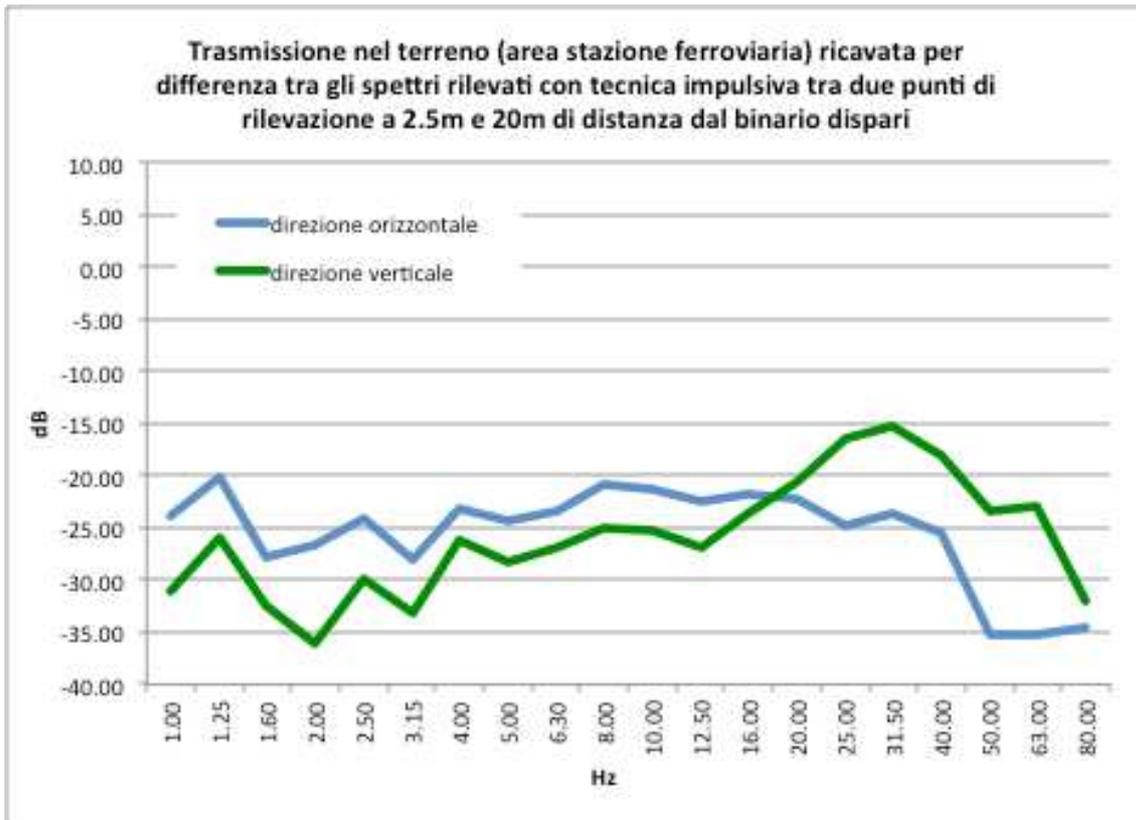
Ai transiti dei convogli non è dunque associabile una potenziale criticità in termini di nesso causa-effetto con eventuali danni a strutture edili in vicinanza della linea ferroviaria.

## 5.2 Risultati delle misurazioni al suolo con sollecitazioni impulsive

A completamento delle indagini strumentali sul terreno, nella porzione di area della stazione ferroviaria, sono state eseguite rilevazioni con sorgente impulsiva e puntiforme di vibrazioni (massa rilasciata in caduta libera).

La generazione di un impulso consente infatti, secondo la teoria dei sistemi dinamici, di acquisire informazioni dirette sulla funzione di trasferimento del terreno. Queste informazioni sono utili per la definizione – per via sperimentale – delle caratteristiche di attenuazione del terreno.

In questo caso i dati acquisiti tra le due medesime postazioni di misura, già utilizzate per i rilievi in occasione dei transiti ferroviari, hanno fornito i seguenti grafici di trasmissione delle vibrazioni:



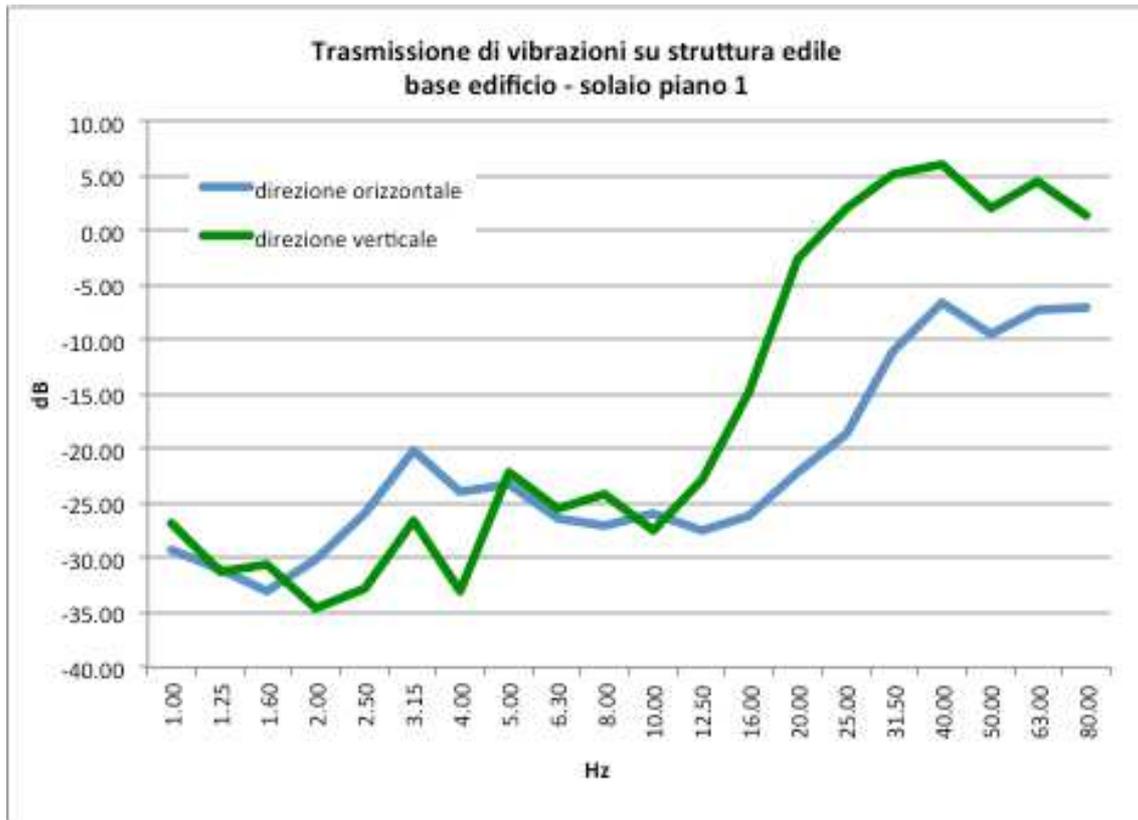
*Grafico 2 - Trasmissione delle vibrazioni nel terreno, misurata nell'area della stazione ferroviaria con tecnica impulsiva.*

### 5.3 Risultati delle misurazioni sull'edificio della casa di riposo

Le misure di vibrazioni sulla struttura edile della casa di riposo (ricettore a circa 60m di distanza dalla linea ferroviaria) sono state finalizzate alla definizione della propagazione del segnale dalla base dell'edificio al centro dei solai del piano primo.

Queste informazioni, utilizzabili poi anche per stime previsionali su altri edifici di simile tipologia, si integrano con quelle ricavate dalle misurazioni sul terreno per poter effettuare stime previsionali dell'entità delle vibrazioni negli ambienti abitativi durante le future attività di cantiere.

I dati di dettaglio delle misurazioni sono riportati nelle schede di misura allegate al presente documento. Da essi, acquisiti con metodo impulsivo e relativi alla propagazione del segnale tra la base dell'edificio ed il centro del solaio del primo piano, si ricava il seguente grafico di trasmissione delle vibrazioni:



*Grafico 3 - Trasmissione del segnale tra base edificio e centro solaio del primo piano.*

Dai dati sperimentali acquisiti sul campo si può osservare come risulti più elevata la trasmissione delle vibrazioni lungo l'asse verticale (anche in virtù delle risonanze dei solai) e che, quindi, ai fini del presente studio ed in via cautelativa, la direzione di propagazione verticale sarà utilizzata come riferimento per il calcolo di stima previsionale verso i ricettori.

## 6. Calcolo previsionale delle vibrazioni

### 6.1 Note sui fattori di incertezza della modellizzazione e delle misurazioni sul campo

La metodologia operativa adottata per lo studio previsionale presenta alcuni importanti fattori di incertezza. Alcuni fattori sono quantificabili; la maggior parte di essi, tuttavia, risulta non quantificabile.

Tra i fattori d'incertezza quantificabili si ricorda il grado di precisione della strumentazione tecnica di misura (classe I).

Tra i fattori d'incertezza non quantificabili rientrano le approssimazioni modellistiche, la disomogeneità del terreno ed il posizionamento dei sensori in punti particolari su un mezzo di propagazione del segnale (suolo o strutture edili) che non sono omogenei.

Poiché i principali fattori d'incertezza non sono quantificabili e, di conseguenza, non è possibile fornire un'indicazione dell'incertezza complessiva della stima modellistica del livello di vibrazione alle abitazioni, è utile verificare, per mezzo della modellizzazione previsionale, che i risultati delle stime siano ampiamente al di sotto delle soglie di riferimento indicate dalle norme tecniche.

## 6.2 Impostazioni del modello previsionale

Per poter applicare il modello di calcolo ed eseguire stime previsionali delle vibrazioni indotte verso i ricettori, a partire dai valori misurati è possibile ricavare per ogni banda di frequenza un valore del parametro caratteristico della dissipazione di energia nel terreno specificamente indagato che – sempre ad ogni frequenza – consente al modello di fornire come risultato il dato di attenuazione misurato sul campo alla distanza nota tra le due sonde.

Questa operazione di “adattamento” o “taratura” del modello viene dunque eseguita separatamente per la direzione verticale e per la direzione orizzontale. Se ne ricava un insieme di valori del parametro caratteristico del terreno che risulta rappresentativo delle caratteristiche di attenuazione nell’area di studio.

Poiché i dati sperimentali presentano una loro naturale dispersione, al fine di ricavare una legge generalmente rappresentativa del terreno in funzione della frequenza si opera un processo di interpolazione dei dati sperimentali – tra loro mediati – per ricavare una retta di regressione.

Ricavato così il parametro, esso può essere mantenuto fisso (come caratteristica del terreno per le aree di studio) e la formula dell’attenuazione del segnale, in funzione della distanza, può essere quindi utilizzata applicando di volta in volta alla formula stessa la variabile indipendente “distanza” tra sorgente e ricettore.

In questo caso particolare, per la valutazione previsionale delle vibrazioni derivanti dalla movimentazione dei convogli ferroviari nell’area di cantiere, all’attenuazione nel terreno nei primi 20m circa dal binario (attenuazione ricavata sperimentalmente e mantenuta, quindi, valida nel calcolo di stima previsionale), si aggiunge un’ulteriore attenuazione dovuta alla distanza aggiuntiva (oltre i 20m) tra sorgente e ricettore per sorgenti di tipo lineare. Ad esse si aggiunge poi la funzione di trasmissione delle vibrazioni lungo le strutture edili (anch’essa ricavata sperimentalmente dalle misurazioni sul campo) per giungere ad un livello di vibrazione previsto nell’ambiente interno all’edificio.

Nel caso di sorgenti puntiformi (ad esempio macchinari di cantiere etc.) si applica analogamente la formulazione del modello per questa tipologia di sorgenti.

## 7. Stima delle vibrazioni indotte sui principali ricettori di riferimento nelle aree di studio

A seguito della definizione dei parametri di caratterizzazione delle modalità di propagazione di vibrazioni dalle future aree di cantiere verso i ricettori, è possibile formulare le stime previsionali relative alla possibile immissione di vibrazioni durante le previste attività di cantiere.

### 7.1 Valutazioni previsionali per l’area Salbertrand

L’area di Salbertrand si prevede interessata dalle attività di carico del materiale di scavo sui convogli ferroviari predisposti per il conferimento ai siti di Caprie e Torrazza Piemonte. Secondo le previsioni di organizzazione del cantiere il materiale sarà trasportato su gomma, lungo l’autostrada A32, dalle aree di scavo fino all’area industriale di Salbertrand. Per questa zona, pertanto, non sono previsti scavi. La principale fonte di vibrazioni verso i ricettori di riferimento sarà costituita, dunque, dalla movimentazione dei convogli ferroviari stessi.

Le modalità operative di carico del materiale saranno tali da rendere necessaria la movimentazione dei convogli a ridottissima velocità nell’ambito dell’area di cantiere sia

Rapport technique des zones objet de variante / Relazione tecnica delle aree oggetto di variante

perché si tratta di un'area di arrivo/partenza (e non di un'area di transito) sia perché il convoglio sarà di volta in volta collocato in modo tale da posizionare i vagoni al di sotto del dispositivo di carico con spostamenti, ogni volta, dell'ordine di pochi metri.

I dati sperimentali acquisiti sul campo e le valutazioni esplicitate nei capitoli precedenti consentono di effettuare stime previsionali dei livelli di vibrazione verso i ricettori più vicini durante le movimentazioni dei convogli.

Per la residenza per anziani "Galambra", oggetto di misurazioni dirette, il seguente grafico riassume i risultati del calcolo di stima previsionale, effettuato utilizzando, come dati di input, lo spettro di accelerazione rilevato in vicinanza del binario in occasione del transito maggiormente energetico tra tutti quelli misurati (condizione cautelativa).

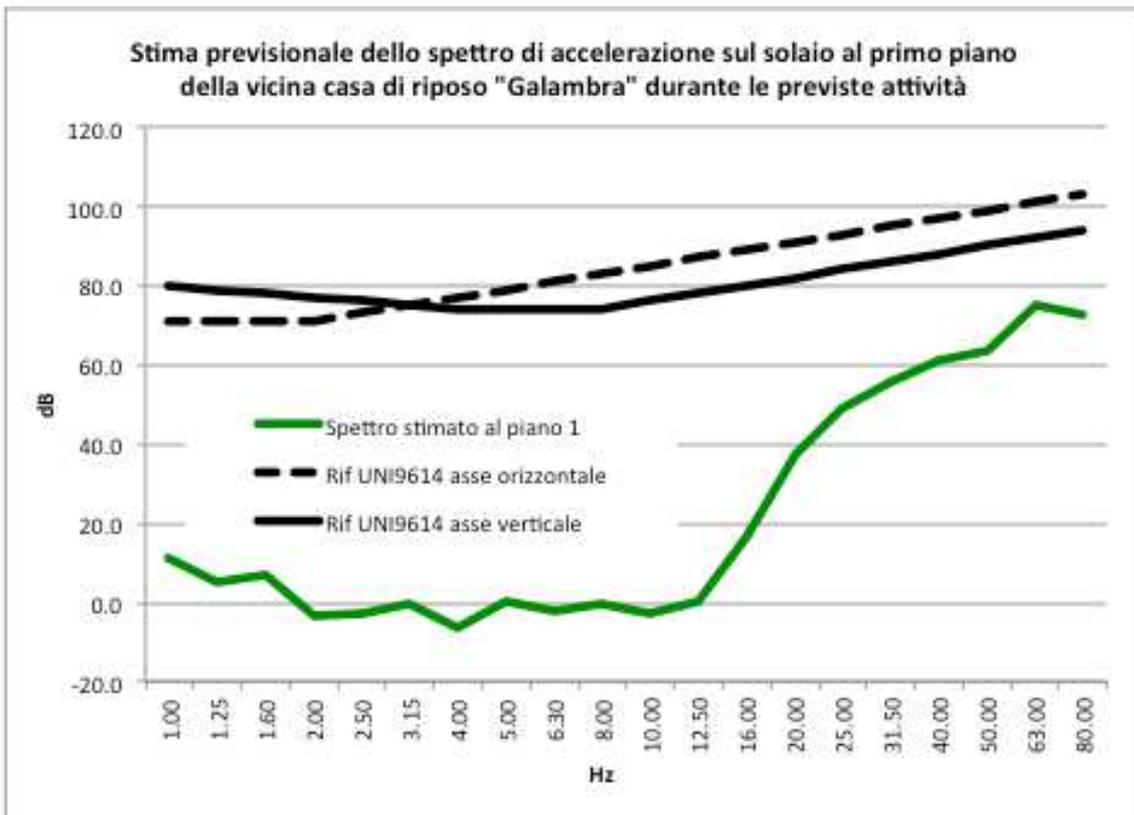


Grafico 4 - Stima dello spettro di accelerazione sul solaio al primo piano presso la casa di riposo "Galambra".

Il grafico illustrativo dei risultati del calcolo previsionale indica che lo spettro di accelerazione stimato si mantiene al di sotto delle soglie di sensibilità indicate dalla norma UNI9614 sia per la postura verticale che per la postura orizzontale. I valori complessivi pesati secondo i filtri indicati dalla norma UNI9614 stessa sono pari a:

Postura della persona	Livello di accelerazione [1-80 Hz] filtrato secondo la UNI9614	Limite UNI9614 per edifici sensibili (ospedali, case di cura etc.)
Verticale	59	74 dB
Orizzontale	47	71 dB

Rapport technique des zones objet de variante / Relazione tecnica delle aree oggetto di variante

Per quanto riguarda l'edificio residenziale situato a minore distanza dall'area di cantiere, il calcolo previsionale indica i seguenti valori di livello di accelerazione nella banda 1-80Hz:

Postura della persona	Livello di accelerazione [1-80 Hz] filtrato secondo la UNI9614	Limite UNI9614 per edifici sensibili (ospedali, case di cura etc.)
Verticale	70	77 dB
Orizzontale	58	74 dB

Dai dati riportati nelle precedenti tabelle si può evincere che i livelli di vibrazione stimati presso gli edifici della borgata del Comune di Salbertrand, che si trova in vicinanza della linea ferroviaria e della futura area di cantiere, si manterranno al di sotto dei limiti indicati dalla norma tecnica di riferimento UNI9614.

Si prevede, pertanto, che gli edifici ricettori, presenti nella zona, non saranno oggetto di disturbo da vibrazioni indotte dalle attività di carico del materiale di risulta delle escavazioni sui convogli ferroviari.

L'ubicazione dei ricettori è riportata nella tavola *PRV\_C3C\_TS3\_7515: Ricettori vibrazioni e livelli di attenzione previsti in fase di cantiere per le aree oggetto di variante.*

## 7.2 Valutazioni previsionali per l'area della Maddalena

L'area della Maddalena, a differenza di quanto fatto per il Progetto Definitivo Approvato, viene ora trattata poichè a partire da questo cantiere verranno condotte le attività di scavo per la realizzazione del tunnel di connessione di Maddalena 1, del tunnel di Maddalena 2, del tunnel di connessione di Maddalena 2, del sito di sicurezza sotterraneo e del tunnel di base (entrambi i forni dal sito di sicurezza fino all'imbocco lato Italia).

Per quanto riguarda l'area Maddalena sono disponibili dati relativi a misurazioni dirette delle vibrazioni in prossimità dei ricettori di riferimento. Le misurazioni sono state eseguite nell'ambito del monitoraggio di corso d'opera delle attività di scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena, attività che risultano analoghe a quelle previste per il futuro. I dati acquisiti costituiscono, pertanto, un riferimento diretto e rappresentativo del livello di vibrazioni che si prevede sarà presente durante le prossime attività di cantiere.

Ai fini del presente studio sono stati analizzati i risultati delle attività di tale monitoraggio, di seguito sintetizzati.

### 7.2.1 Analisi dei dati di monitoraggio relativi alla postazione di misura A5.4 (presso la zona museo della frazione La Maddalena) e considerazioni sulle attività future

I dati acquisiti presso la postazione di monitoraggio della frazione La Maddalena presentano i seguenti livelli di vibrazione ponderati secondo la norma UNI9614:

Data	Periodo di rif.	L <sub>UNI9614</sub> Long. [mm/s <sup>2</sup> ]	L <sub>UNI9614</sub> Trasv. [mm/s <sup>2</sup> ]	L <sub>UNI9614</sub> Vert. [mm/s <sup>2</sup> ]	Limite Abitazioni [mm/s <sup>2</sup> ]
15/3/2016	Diurno	0,11	0,17	0,33	7,2
18/3/2016	Notturmo	0,09	0,1	0,09	5
14/6/2016	Diurno	0,12	0,13	0,16	7,2
17/6/2016	Notturmo	0,08	0,09	0,17	5
20/9/2016	Diurno	0,12	0,17	0,18	7,2
23/9/2016	Notturmo	0,1	0,08	0,11	5
17/1/2017	Diurno	0,13	0,17	0,16	7,2

Rapport technique des zones objet de variante / Relazione tecnica delle aree oggetto di variante

20/1/2017	Notturmo	0,11	0,08	0,17	5
-----------	----------	------	------	------	---

Di seguito è riportato un grafico spettrale estratto dai dati di monitoraggio sul campo relativo al livello di vibrazione nella banda di riferimento 1-80Hz indicata dalla norma:

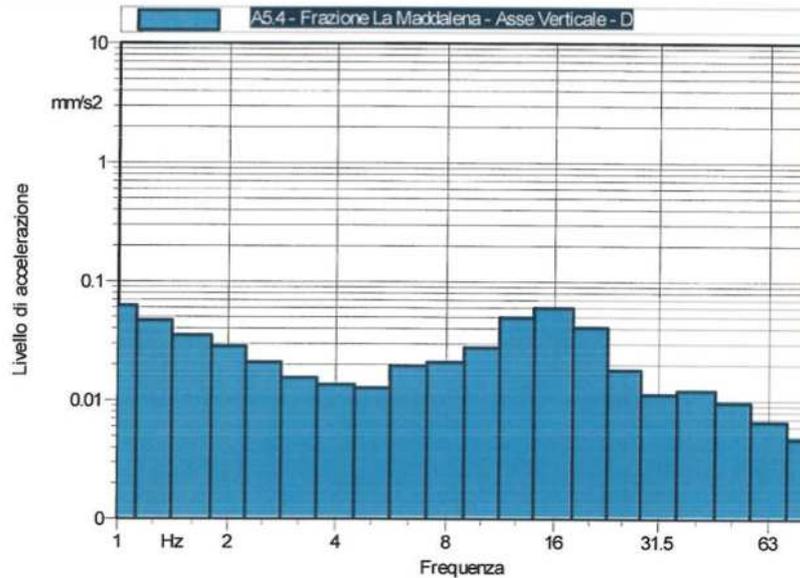


Grafico 5 - Grafico dello spettro di vibrazione estratto dai report tecnici di monitoraggio sul campo.

I dati acquisiti in sede di monitoraggio durante le normali attività del cantiere in periodo diurno e notturno presentano valori ampiamente inferiori rispetto ai limiti indicati dalla norma tecnica di riferimento per il disturbo alle persone.

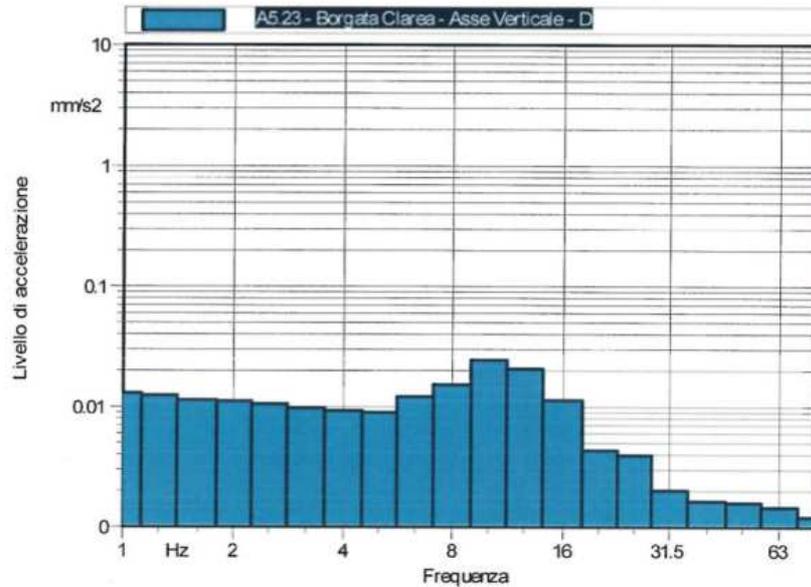
Poiché le attività di lavorazione previste per il futuro sono analoghe a quanto misurato, è possibile concludere che per i ricettori della frazione Maddalena non si prevedono elementi di criticità sotto il profilo del disturbo da vibrazioni.

### 7.2.2 Analisi dei dati di monitoraggio relativi alla postazione di misura A5.23 (presso Borgata Clarea) e considerazioni sulle attività future

I dati acquisiti presso la postazione di monitoraggio della Borgata Clarea presentano i seguenti livelli di vibrazione ponderati secondo la norma UNI9614:

Data	Periodo di rif.	LUNI9614 Long. [mm/s <sup>2</sup> ]	LUNI9614 Trasv. [mm/s <sup>2</sup> ]	LUNI9614 Vert. [mm/s <sup>2</sup> ]	Limite Abitazioni [mm/s <sup>2</sup> ]
15/3/2016	Diurno	0,06	0,06	0,05	7,2
18/3/2016	Notturmo	0,04	0,04	0,04	5
14/6/2016	Diurno	0,05	0,05	0,05	7,2
17/6/2016	Notturmo	0,04	0,05	0,06	5
20/9/2016	Diurno	0,07	0,08	0,07	7,2
23/9/2016	Notturmo	0,05	0,04	0,05	5
17/1/2017	Diurno	0,06	0,06	0,05	7,2
20/1/2017	Notturmo	0,07	0,13	0,16	5

Di seguito è riportato un grafico spettrale, estratto dai dati di monitoraggio, relativo al livello di vibrazione nella banda di riferimento 1-80Hz indicata dalla norma:



**Grafico 6** - Grafico dello spettro di vibrazione estratto dai report tecnici di monitoraggio sul campo.

Come già per i dati relativi alla frazione La Maddalena, anche presso la borgata Clarea i dati acquisiti in sede di monitoraggio, durante le normali attività del cantiere in periodo diurno e notturno, presentano valori ampiamente inferiori rispetto ai limiti indicati dalla norma tecnica di riferimento per il disturbo alle persone.

Poiché le attività di lavorazione previste per il futuro sono analoghe a quanto misurato, è possibile concludere che per i ricettori della borgata Clarea non si prevedono elementi di criticità sotto il profilo del disturbo da vibrazioni.

L'ubicazione dei ricettori è riportata nella tavola *PRV\_C3C\_TS3\_7515: Ricettori vibrazioni e livelli di attenzione previsti in fase di cantiere per le aree oggetto di variante*.

### 7.3 Nota a riguardo delle attività nell'area di cantiere di Susa

Le attività di cantiere nella piana di Susa furono oggetto di valutazione previsionale d'impatto da vibrazioni in occasione dello studio condotto relativamente al precedente progetto di cantierizzazione. Presso tale area le modificazioni ora previste dal nuovo progetto evidenziano una riduzione dell'entità e della tipologia di attività potenzialmente emmissive sotto il profilo delle vibrazioni. È stata, infatti, delocalizzata l'area industriale funzionale alla valorizzazione del materiale scavato, alla produzione conci, ma in particolare al caricamento dello smarino sui treni che erano previsti in partenza dall'area presso l'imbocco del tunnel dell'interconnessione, lato ovest. Di conseguenza anche le attività di preparazione dell'area si presentavano più onerose – in termini di disturbo vibrazionale – rispetto al nuovo scenario di variante. Per quanto riguarda l'area, pertanto, possono essere mantenute valide a titolo cautelativo le indicazioni scaturite dallo studio già redatto sia in termini di valutazione previsionale dell'impatto sui ricettori sia per quanto riguarda le prescrizioni relative alle massime vibrazioni ammissibili nei pressi delle aree di lavorazione al fine di mantenere i livelli di accelerazione entro i limiti indicati dalla normativa tecnica di settore.

## 8. ALLEGATO 1: SCHEDE DI MISURA

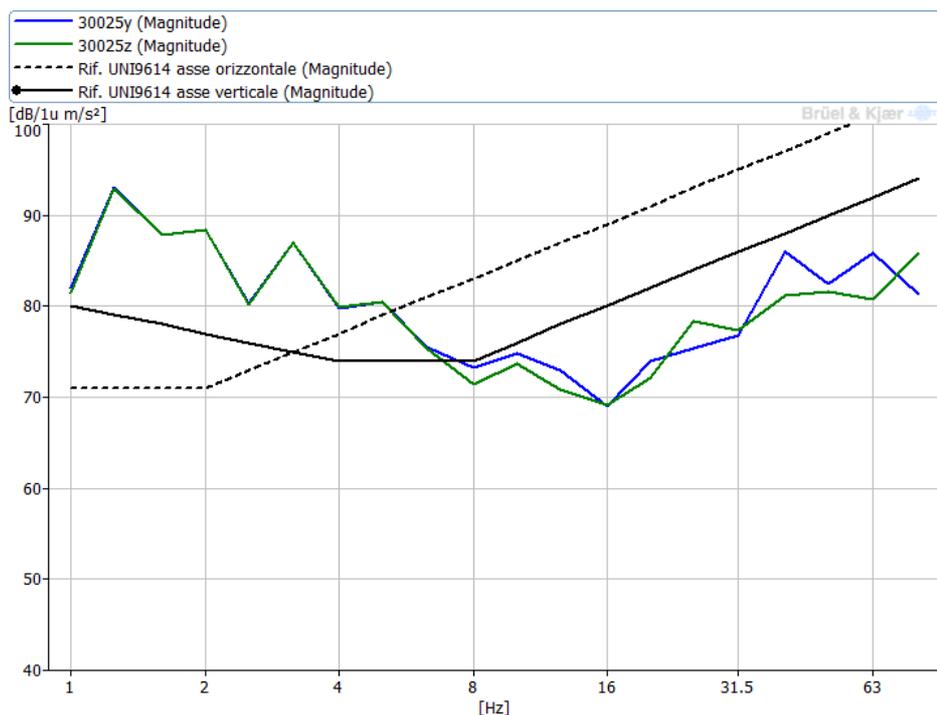
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio TGV binario pari

Grafico 1

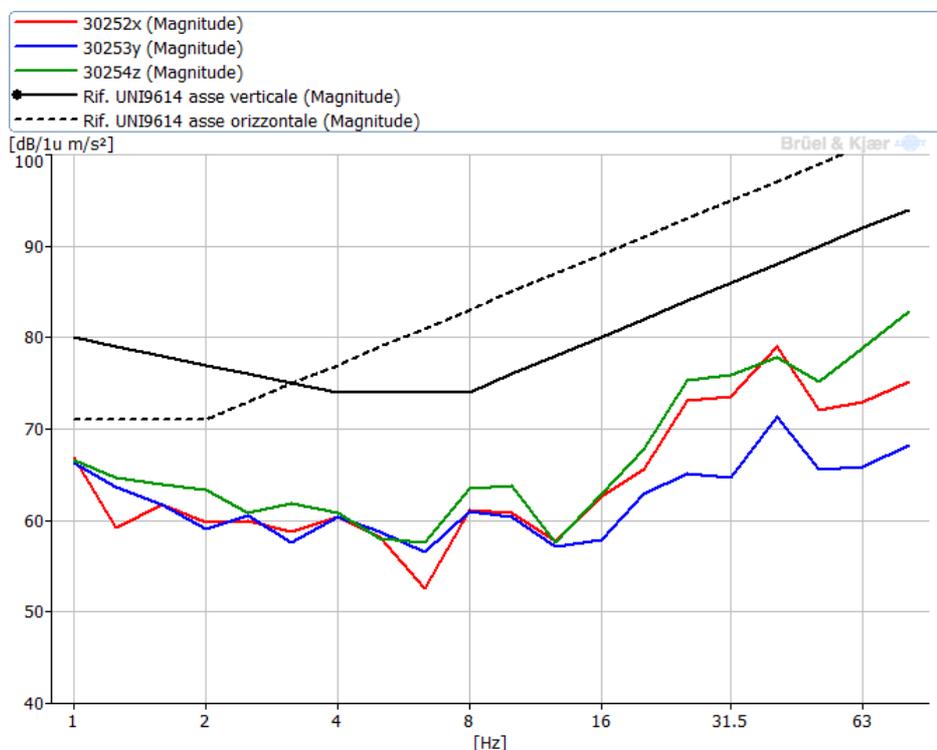


Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 6m dal binario di transito



Transito convoglio TGV binario pari

Grafico 2



Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 23m dal binario di transito

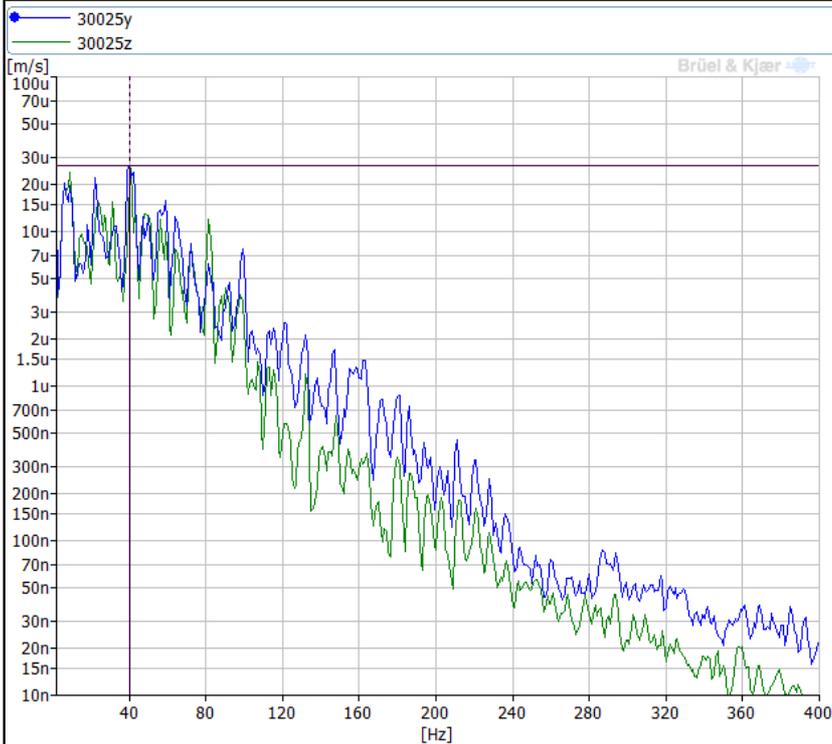
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio TGV binario pari

Grafico 3



Cursor values  
X: 40.000 Hz  
Y: 26.901u m/s

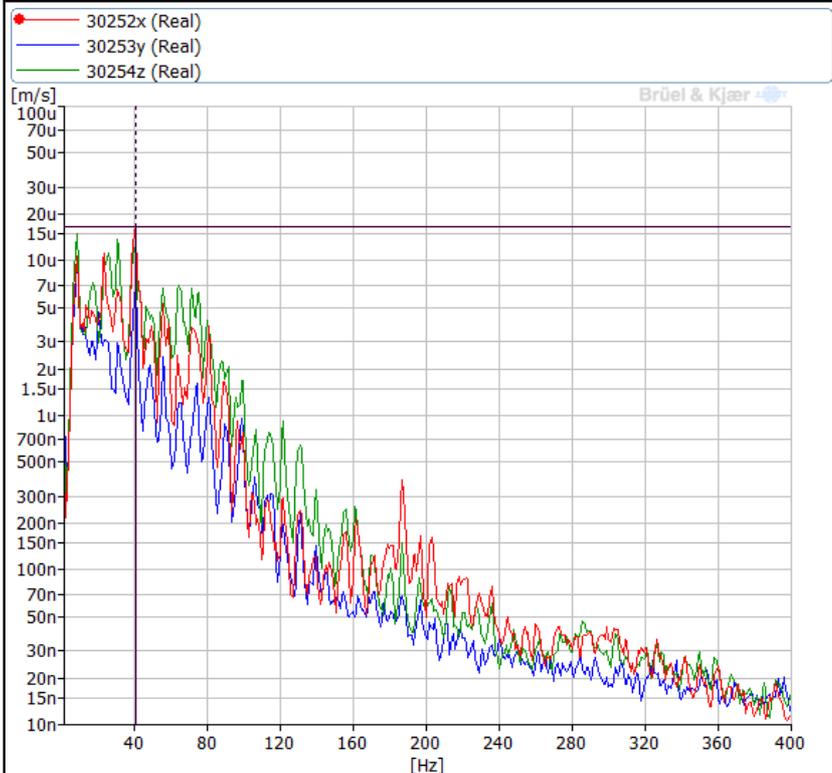
Frequenza principale secondo DIN 4150	40Hz
Limite per p.c.p.v. a 45Hz secondo DIN4150 e UNI9916	35mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**1.011 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 6m dal binario

Transito convoglio TGV binario pari

Grafico 4



Cursor values  
X: 41.000 Hz  
Y: 16.703u m/s

Frequenza principale secondo DIN 4150	41Hz
Limite per p.c.p.v. Secondo UNI9916 per edifici residenziali	35.5mm/s

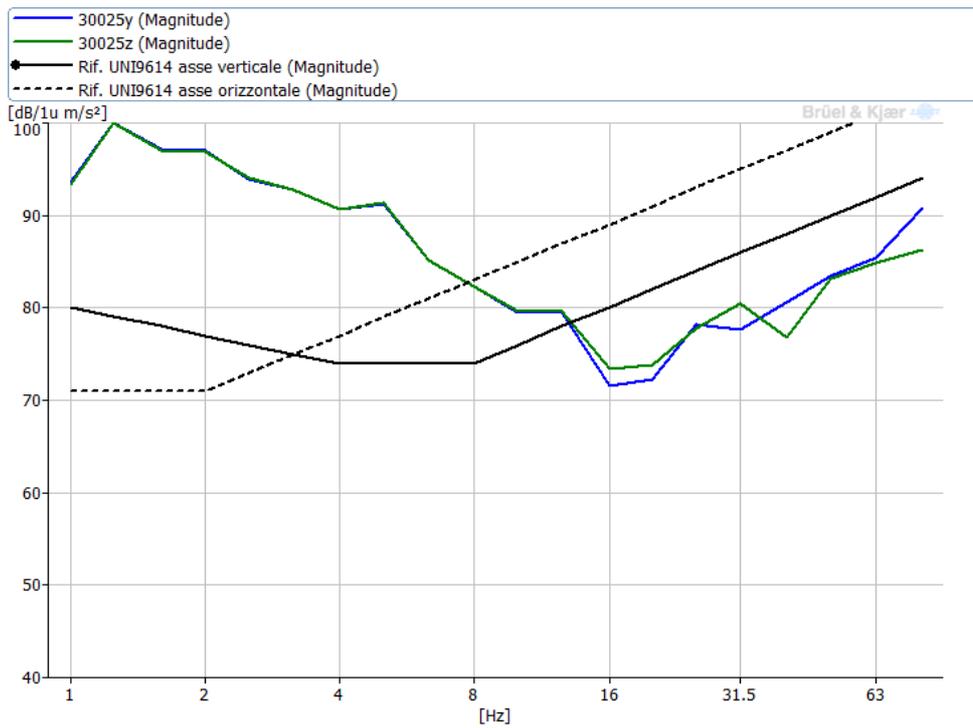
**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.157 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 23m dal binario

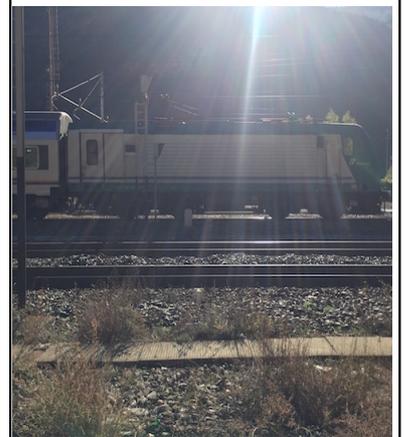
**Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"**  
**Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici**  
 venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 5

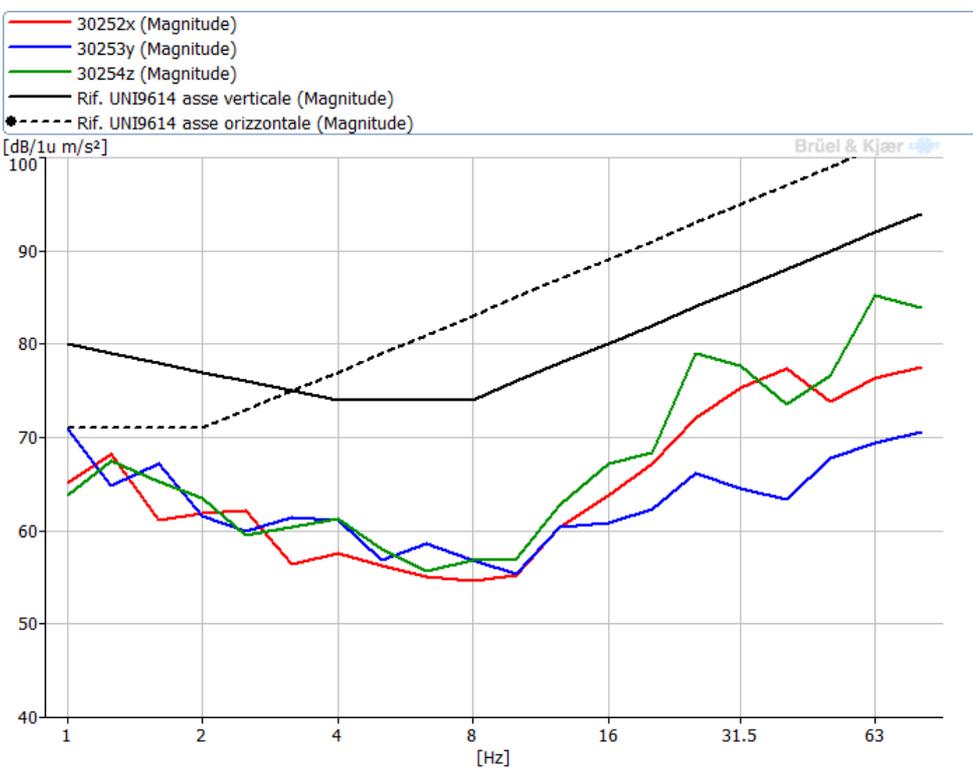


Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 6m dal binario



Transito convoglio Vivalto binario pari

Tabella 6



Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 23m dal binario

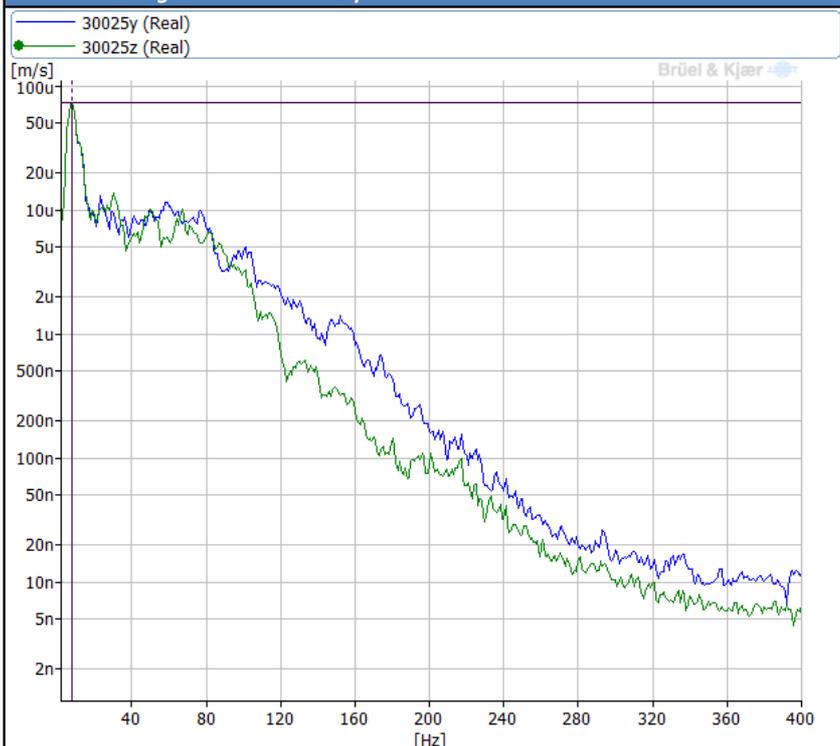
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 7



Cursor values  
X: 8.000 Hz  
Y: 73.506u m/s

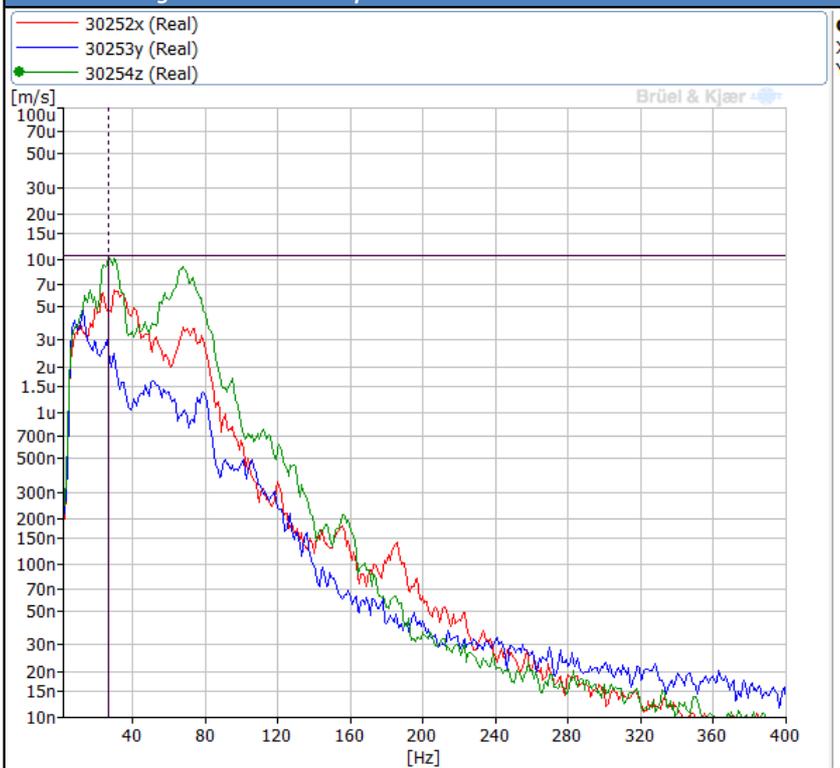
Frequenza principale secondo DIN 4150	8Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	5mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.738 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 6m dal binario

Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 8



Cursor values  
X: 27.000 Hz  
Y: 10.717u m/s

Frequenza principale secondo DIN 4150	27Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	9.25mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.197 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 23m dal binario

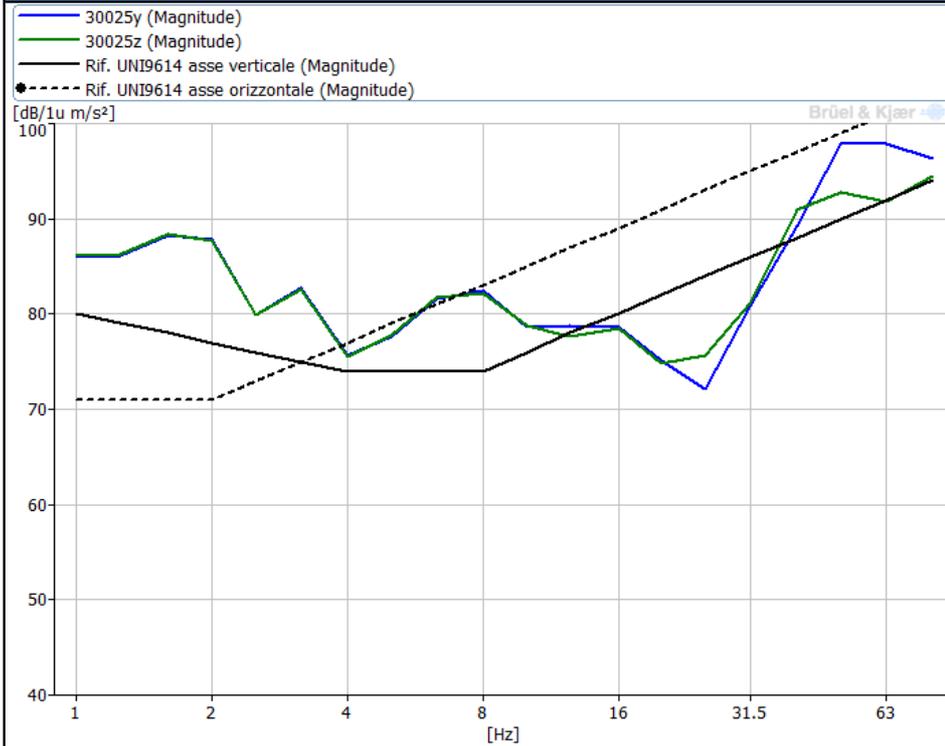
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio TGV binario dispari

Grafico 9

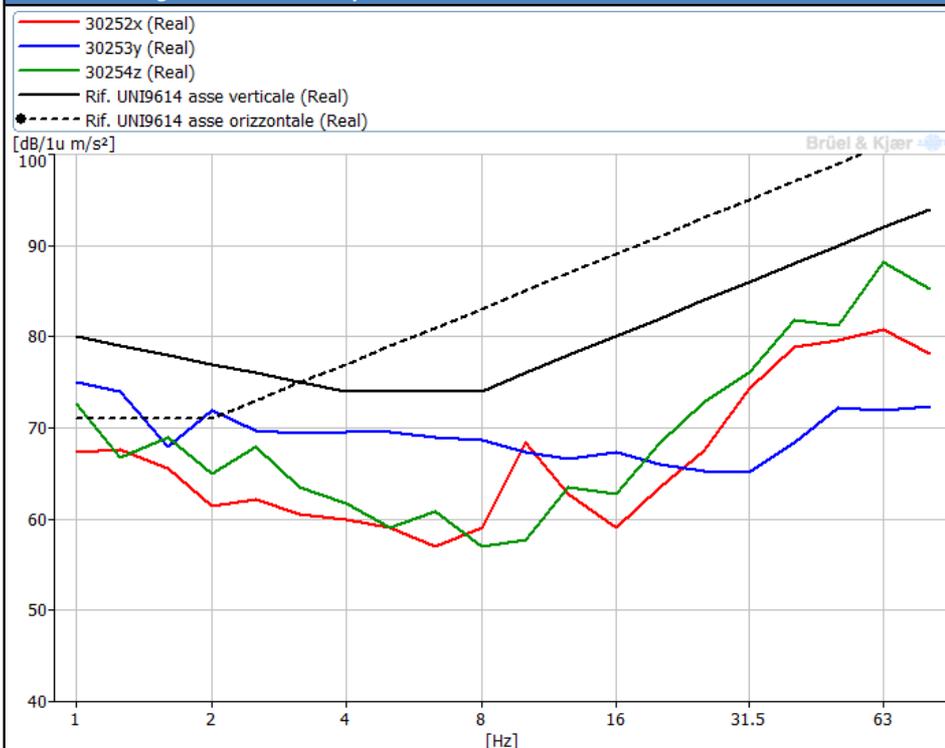


Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 2.5m dal binario



Transito convoglio TGV binario dispari

Grafico 10



Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 20m dal binario

Annotazioni:

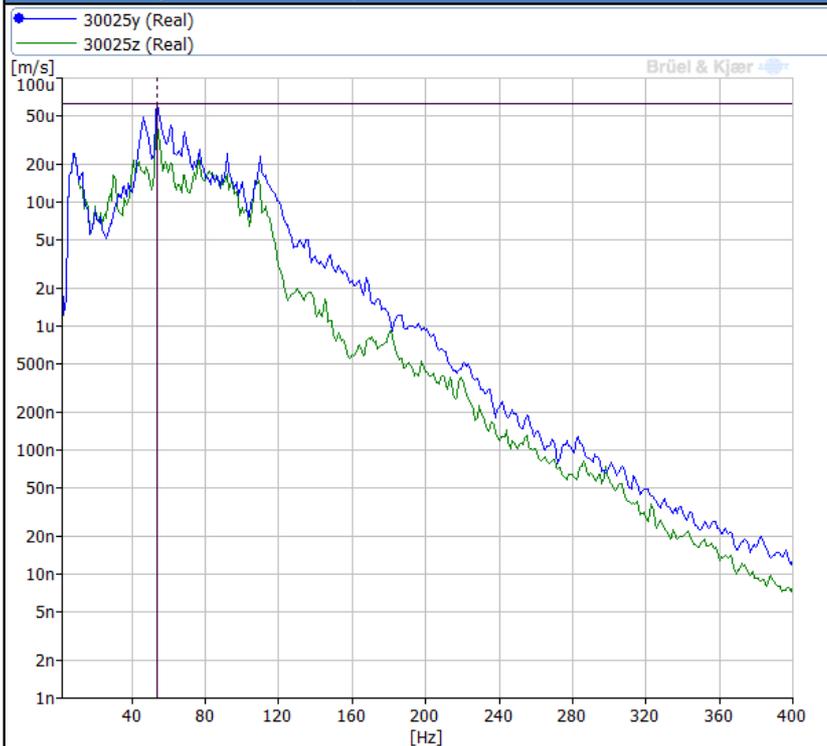
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio TGV binario dispari

Grafico 11



Cursor values  
X: 54.000 Hz  
Y: 62.649u m/s

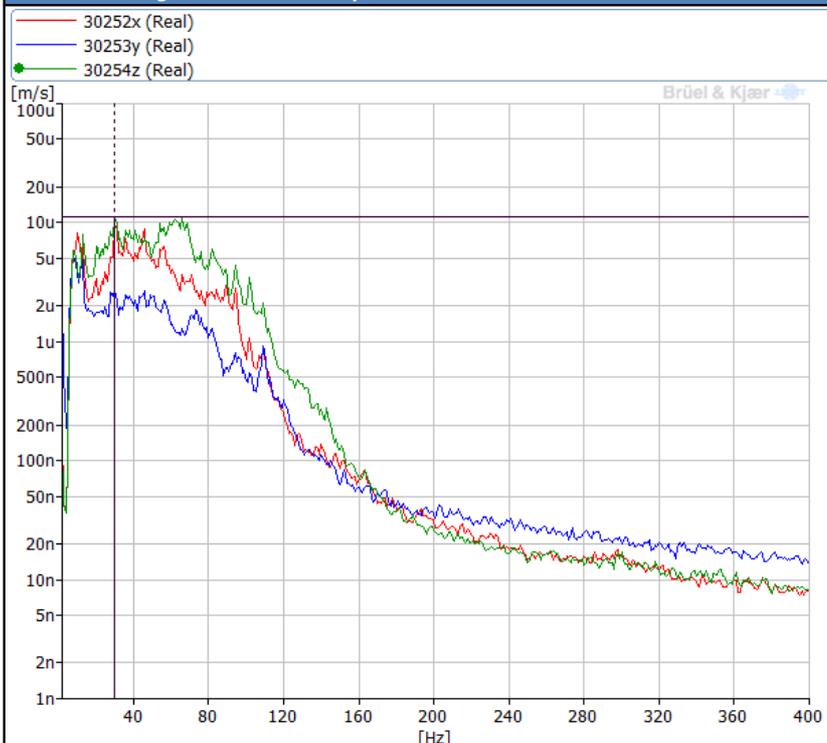
Frequenza principale secondo DIN 4150	54Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	15.4mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.946 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 2.5m dal binario

Transito convoglio TGV binario dispari

Grafico 12



Cursor values  
X: 30.000 Hz  
Y: 11.309u m/s

Frequenza principale secondo DIN 4150	30Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	10mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.418 mm/s**

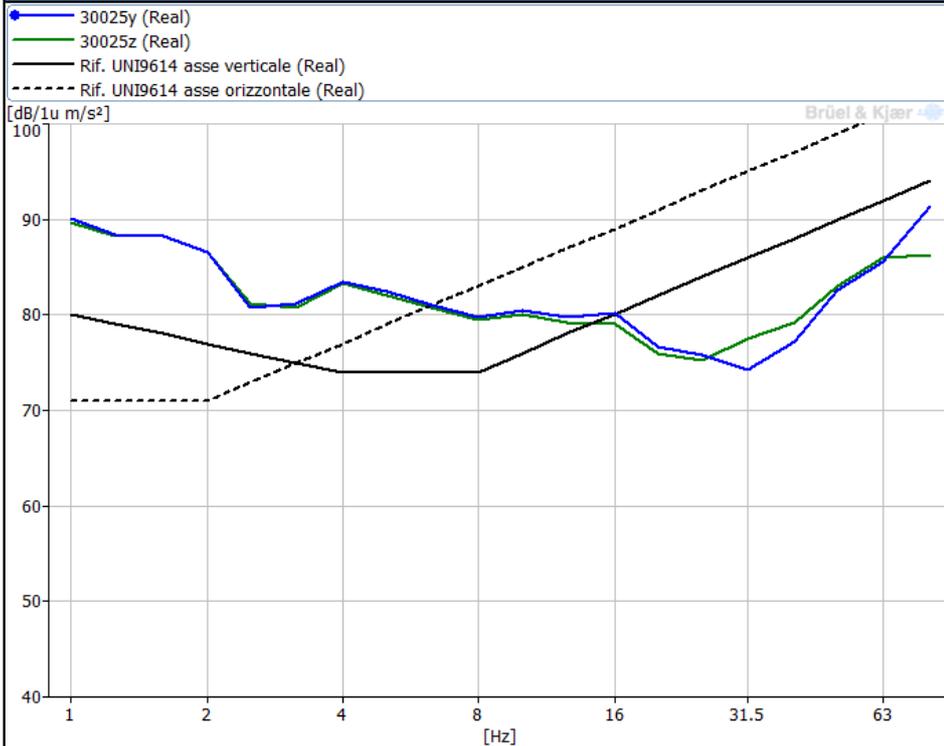
Spettri FFT di velocità - distanza di circa 20m dal binario

# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici venerdì 21 ottobre 16

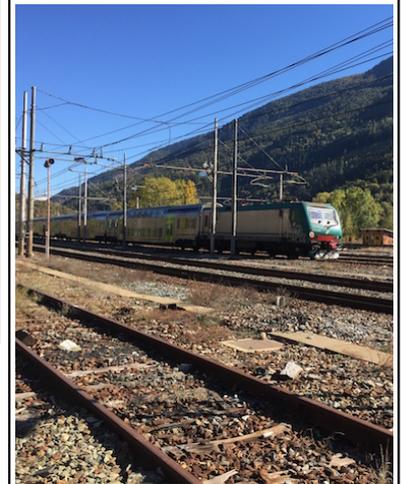
Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 13



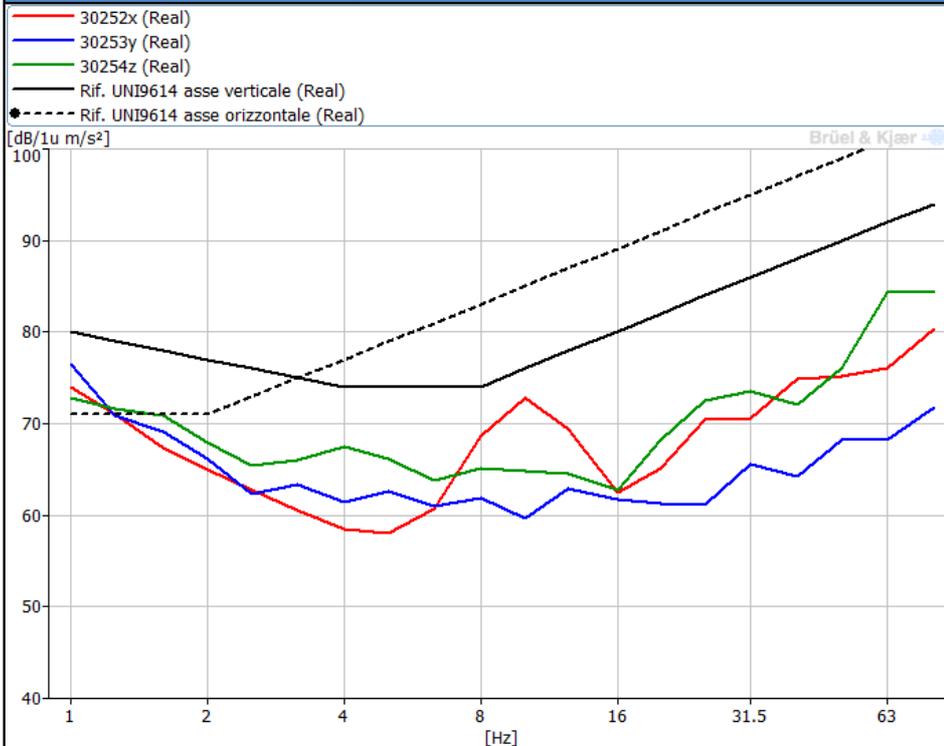
Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 6m dal binario

Annotazioni:



Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 14



Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 23m dal binario

Annotazioni:

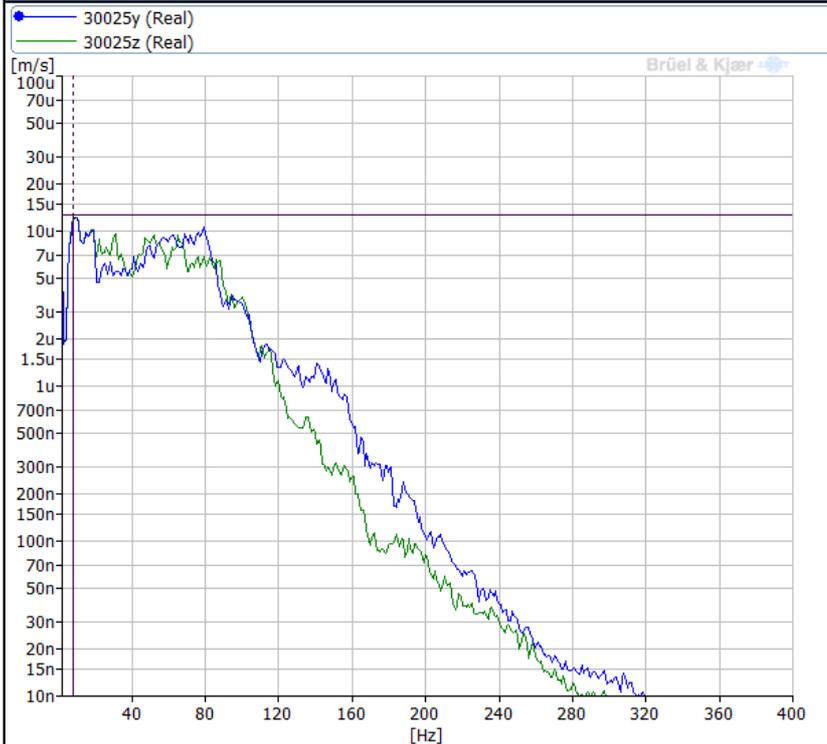
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 15



Cursor values  
X: 8.000 Hz  
Y: 12.597u m/s

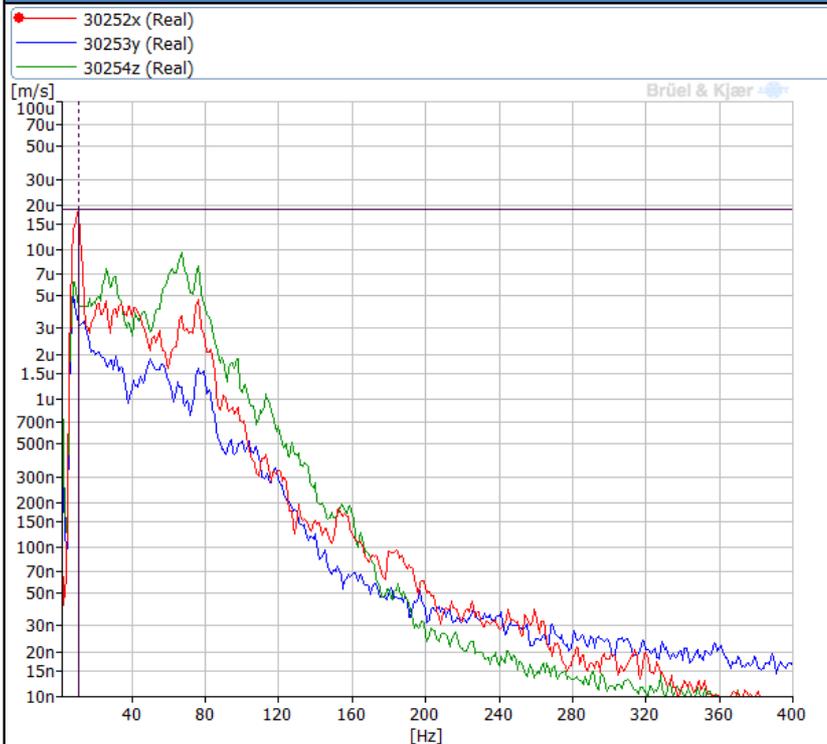
Frequenza principale secondo DIN 4150	8Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	5mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.915 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 6m dal binario

Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 16



Cursor values  
X: 11.000 Hz  
Y: 18.920u m/s

Frequenza principale secondo DIN 4150	11Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	5.25mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.21 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 23m dal binario

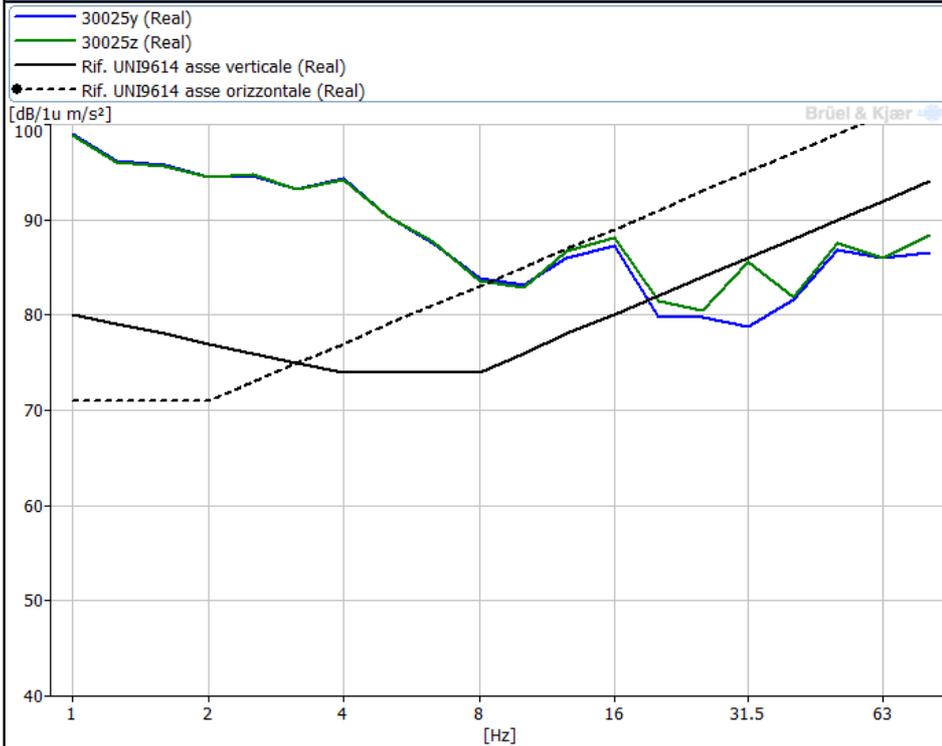
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 17

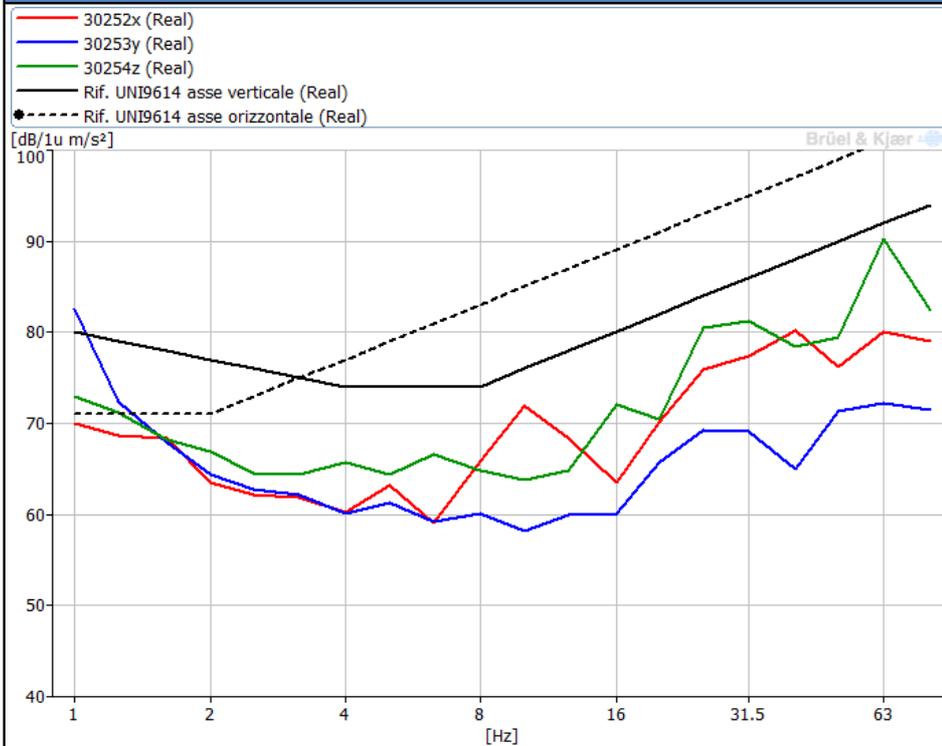


Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 6m dal binario



Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 18



Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 23m dal binario

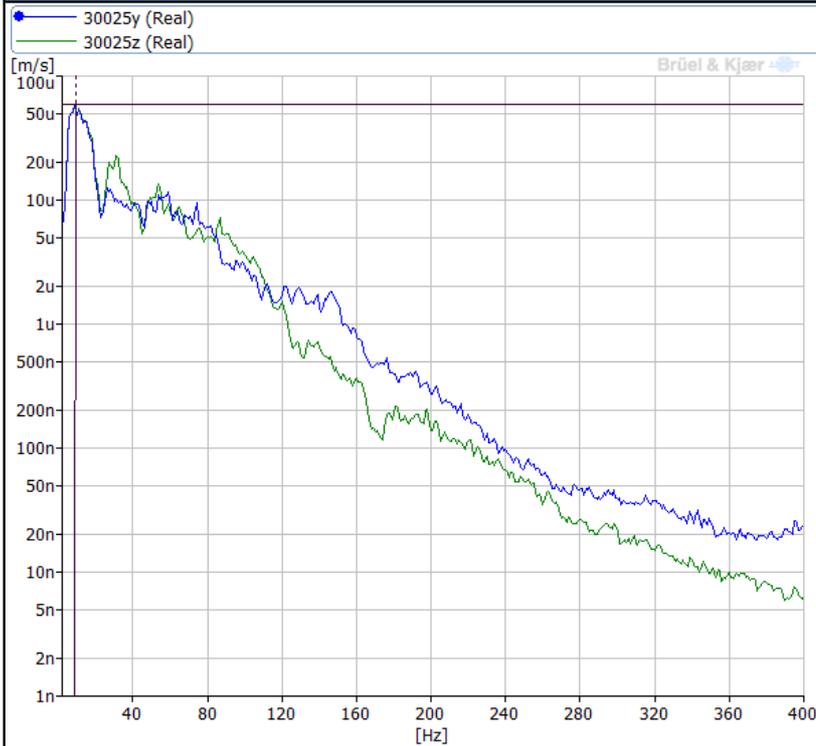
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio Vivalto binario pari

Grafico 19



Cursor values  
X: 9.000 Hz  
Y: 58.251u m/s

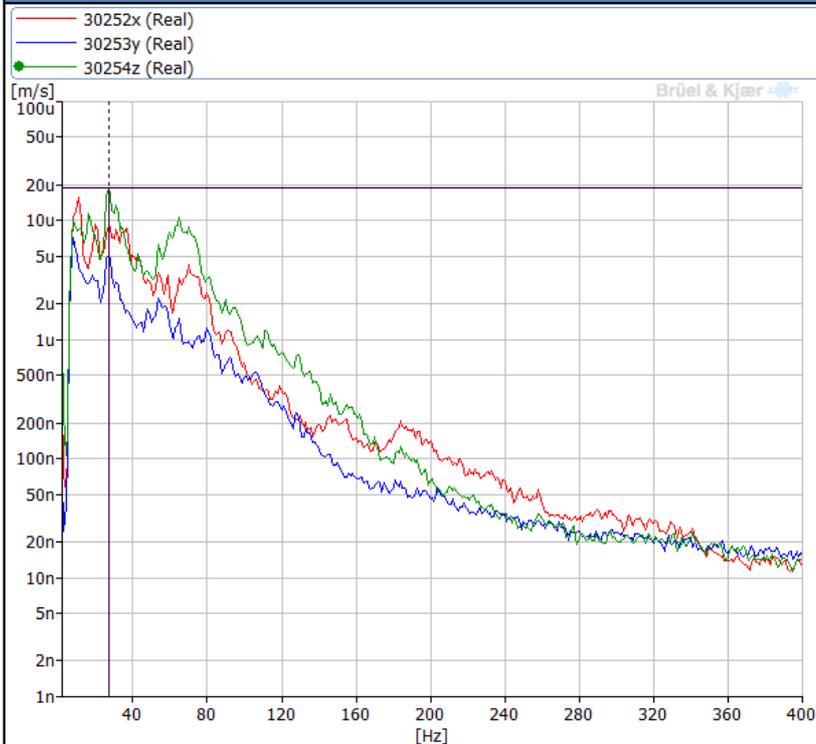
Frequenza principale secondo DIN 4150	9Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	5mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.928 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 6m dal binario

Funzione di coerenza tra microfono di fronte a portone ed accelerometro su portone

Grafico 20



Cursor values  
X: 27.000 Hz  
Y: 18.623u m/s

Frequenza principale secondo DIN 4150	27Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	9.25mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.297 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 23m dal binario

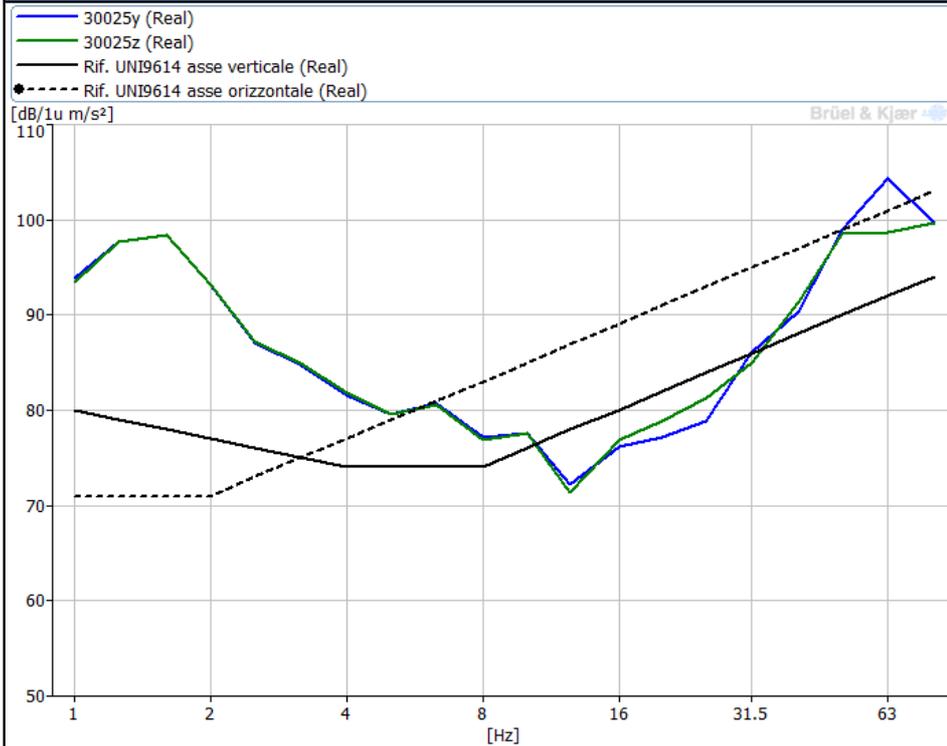
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio Vivalto binario dispari

Grafico 21

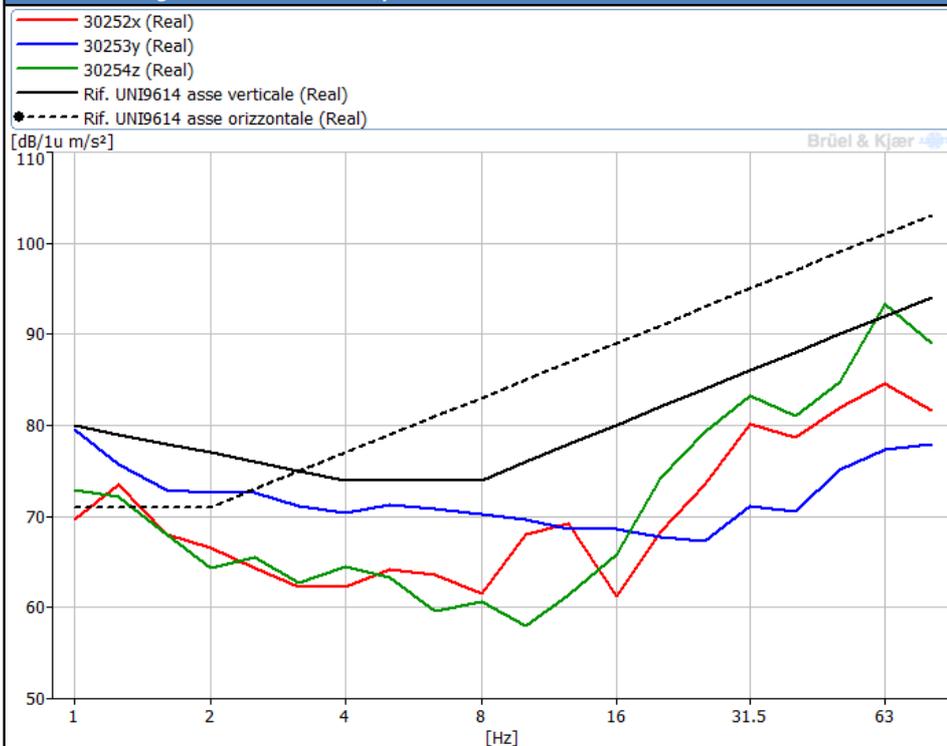


Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 2.5m dal binario



Transito convoglio Vivalto binario dispari

Grafico 22



Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 20m dal binario

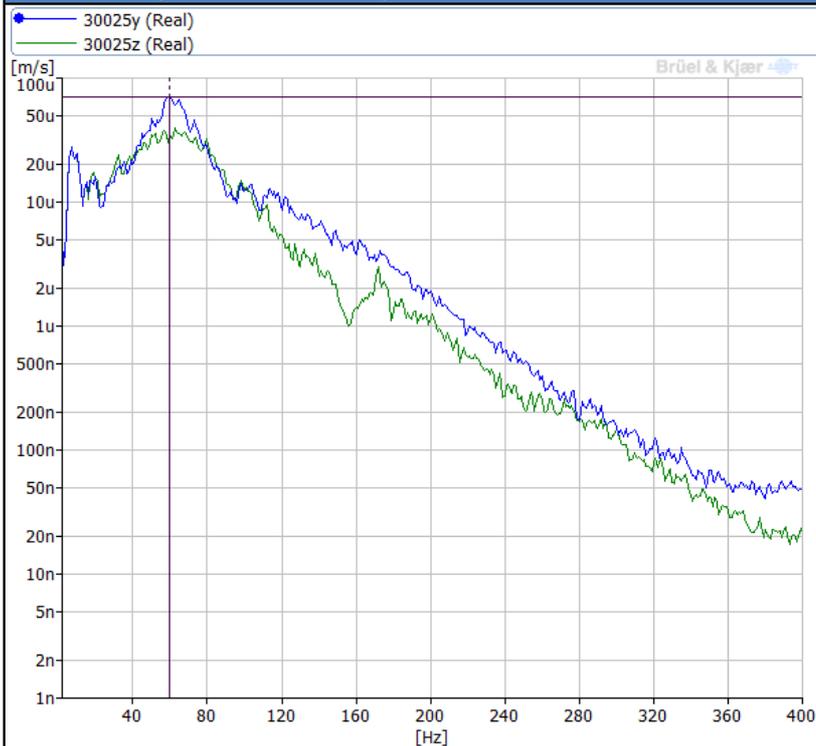
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Transito convoglio Vivalto binario dispari

Grafico 23



Cursor values

X: 60.000 Hz  
Y: 70.138u m/s

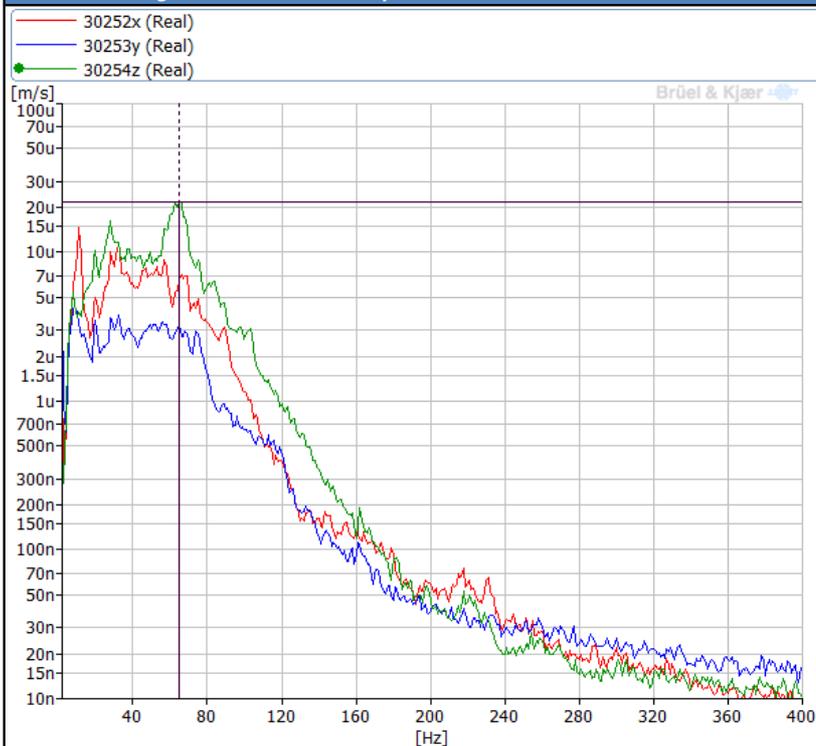
Frequenza principale secondo DIN 4150	60Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	16mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**1.272 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 2.5m dal binario

Transito convoglio Vivalto binario dispari

Grafico 24



Cursor values

X: 65.000 Hz  
Y: 22.043u m/s

Frequenza principale secondo DIN 4150	65Hz
Limite per p.c.p.v. secondo UNI9916	16.5mm/s

**Max p.c.p.v. misurata**  
**0.572 mm/s**

Spettri FFT di velocità - distanza di circa 20m dal binario

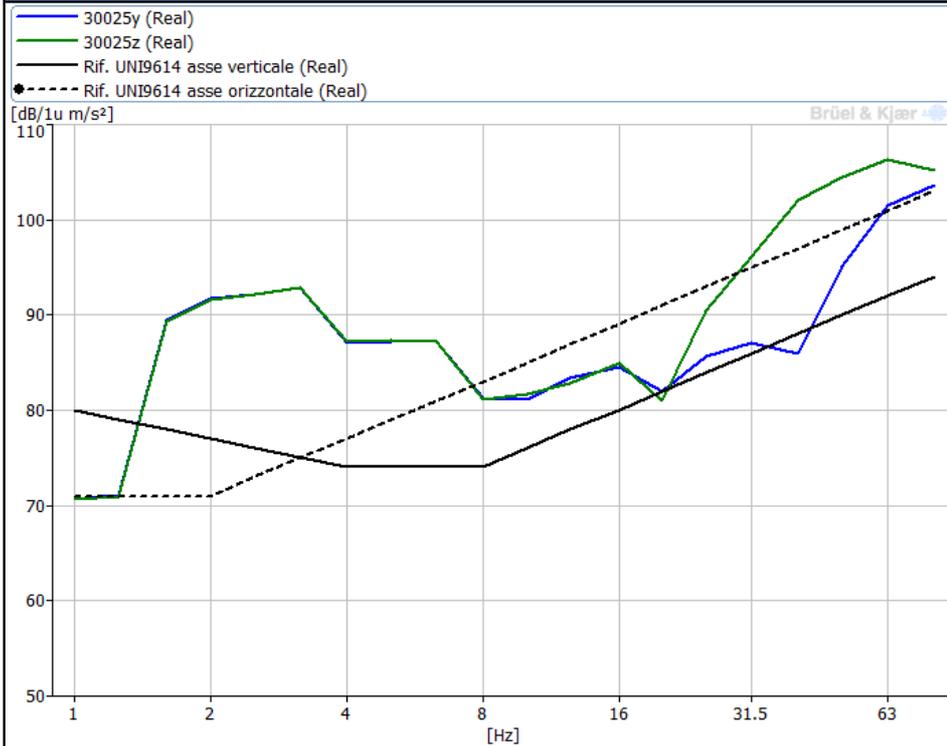
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

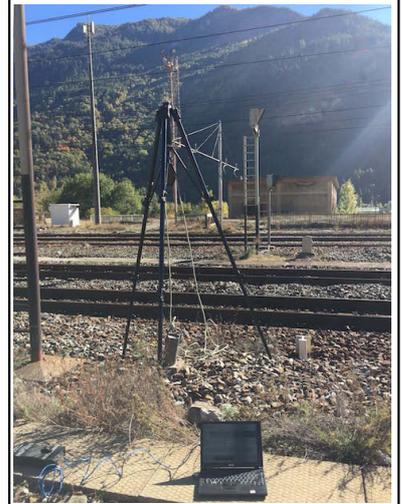
Impulsi per ulteriore caratterizzazione della propagazione sul terreno

Grafico 25



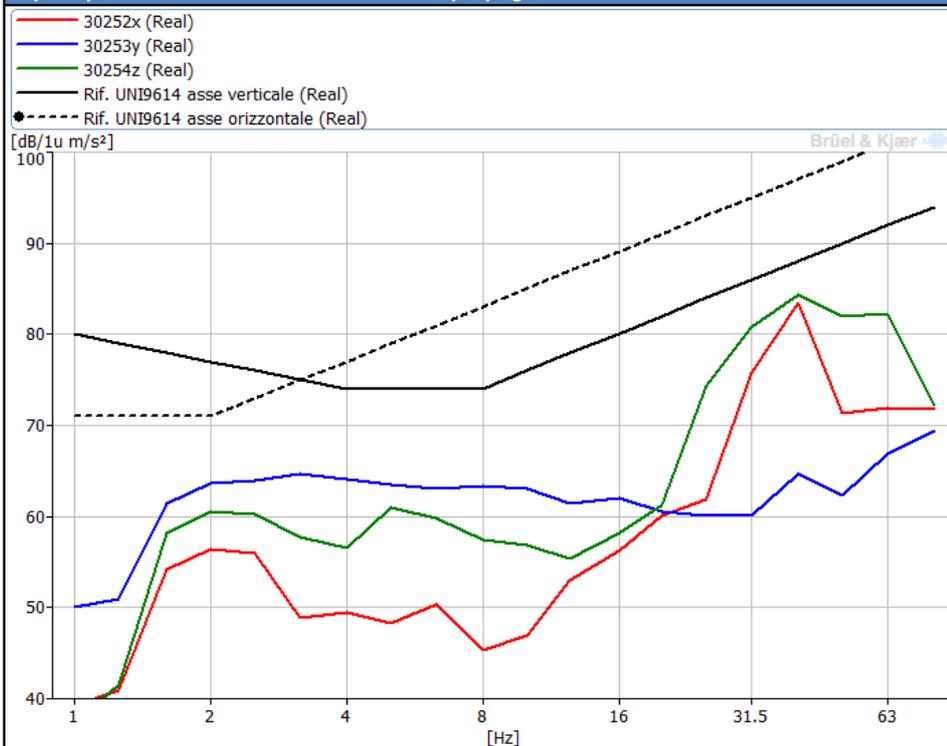
Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 1m da punto d'impatto

Annotazioni: impulso su piedritto in cls presso binario ferroviario.



Impulsi per ulteriore caratterizzazione della propagazione sul terreno

Grafico 26



Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 20m da punto d'impatto

Annotazioni: impulso su piedritto in cls presso binario ferroviario.

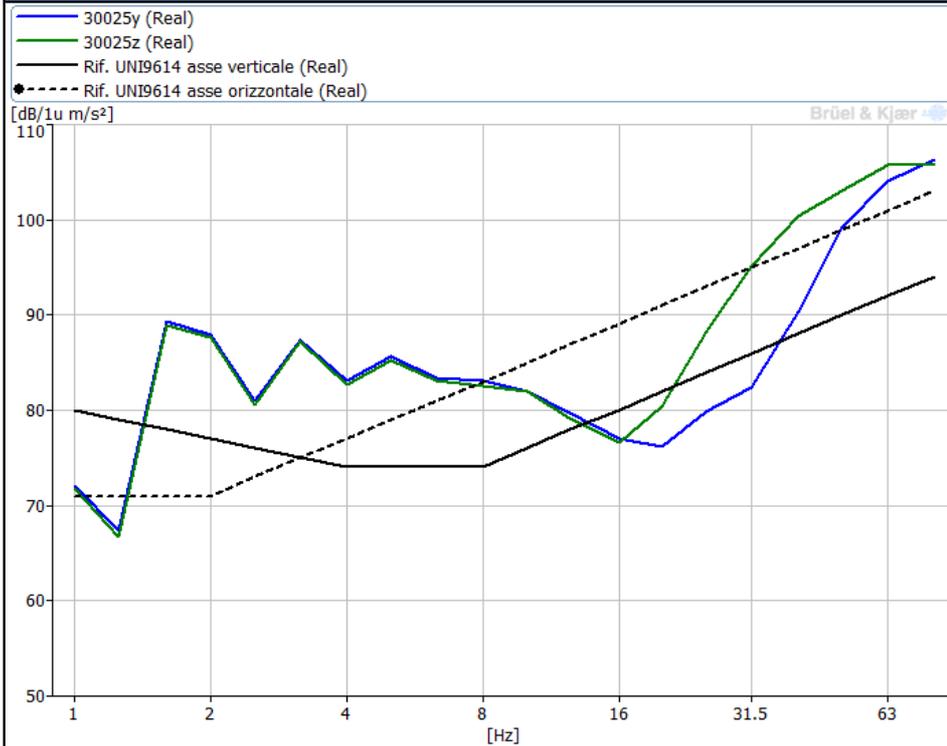
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Impulsi per ulteriore caratterizzazione della propagazione sul terreno

Grafico 27



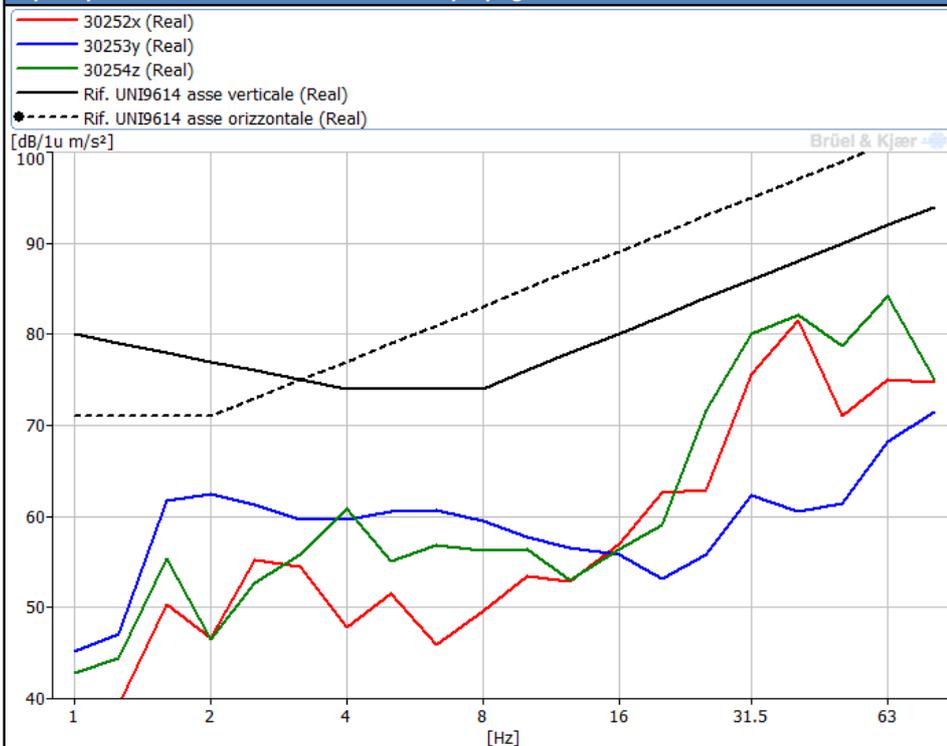
Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 1m da punto d'impatto

Annotazioni: impulso su piedritto in cls presso binario ferroviario.



Impulsi per ulteriore caratterizzazione della propagazione sul terreno

Grafico 28



Spettri CPB di accelerazione - distanza di circa 20m da punto d'impatto

Annotazioni: impulso su piedritto in cls presso binario ferroviario.

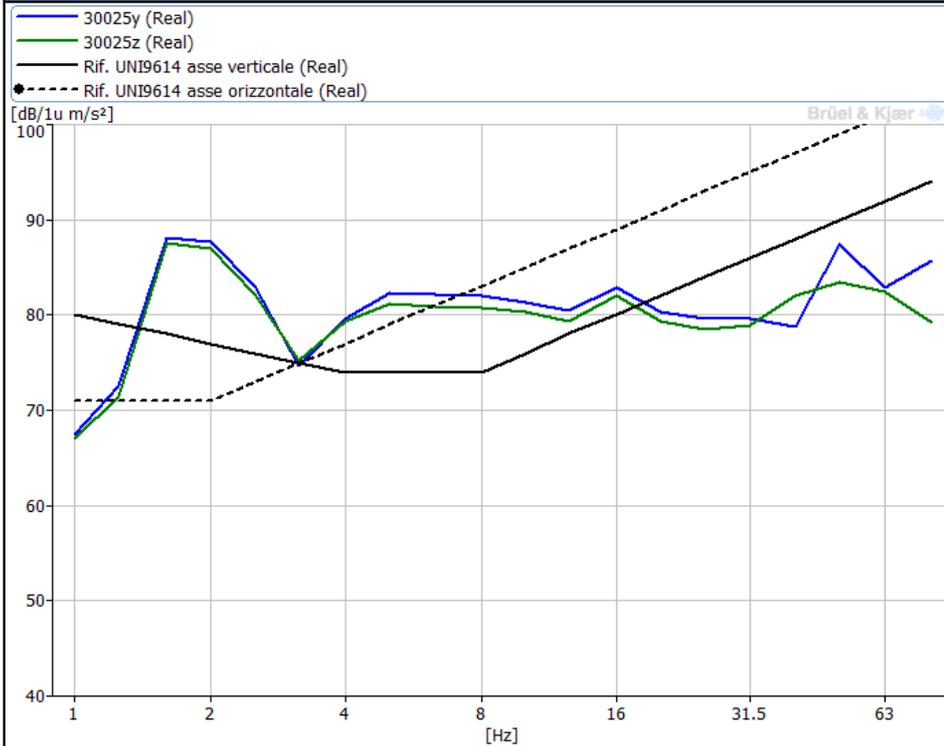
# Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"

Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici

venerdì 21 ottobre 16

Impulsi per caratterizzazione trasmissione vibrazioni su struttura edile più vicina (casa riposo Galambra)

Grafico 29



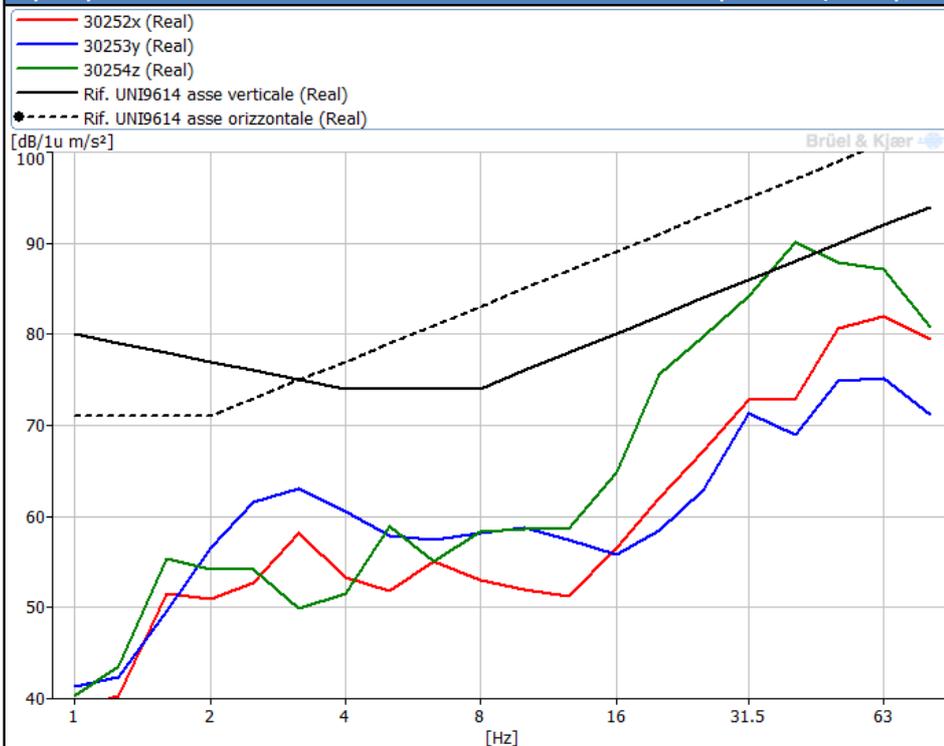
Spettri CPB di accelerazione - base edificio

Annotazioni: impulso su pavimentazione in cemento fronte edificio



Impulsi per caratterizzazione trasmissione vibrazioni su struttura edile più vicina (casa riposo Galambra)

Grafico 30



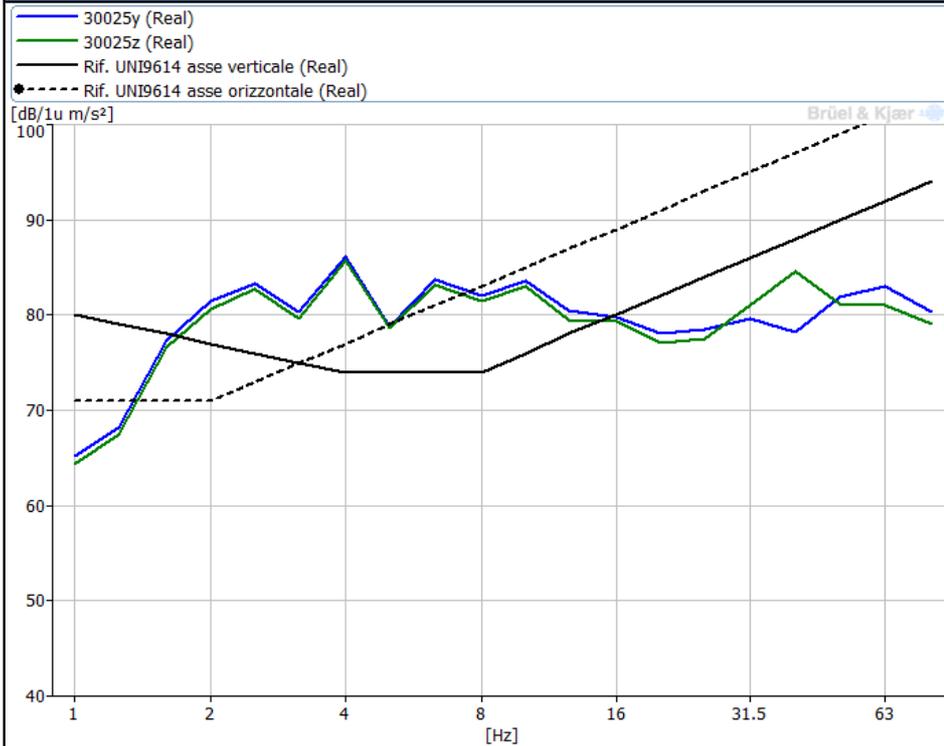
Spettri CPB di accelerazione - primo piano centro solaio

Annotazioni: impulso su pavimentazione in cemento fronte edificio

**Comune di Salbertrand (TO) - Area stazione ferroviaria e casa di riposo "Galambra"**  
**Misurazioni di vibrazioni indotte da transiti ferroviari e di caratterizzazione della propagazione su terreno ed edifici**  
 venerdì 21 ottobre 16

Impulsi per caratterizzazione trasmissione vibrazioni su struttura edile più vicina (casa riposo Galambra)

Grafico 31



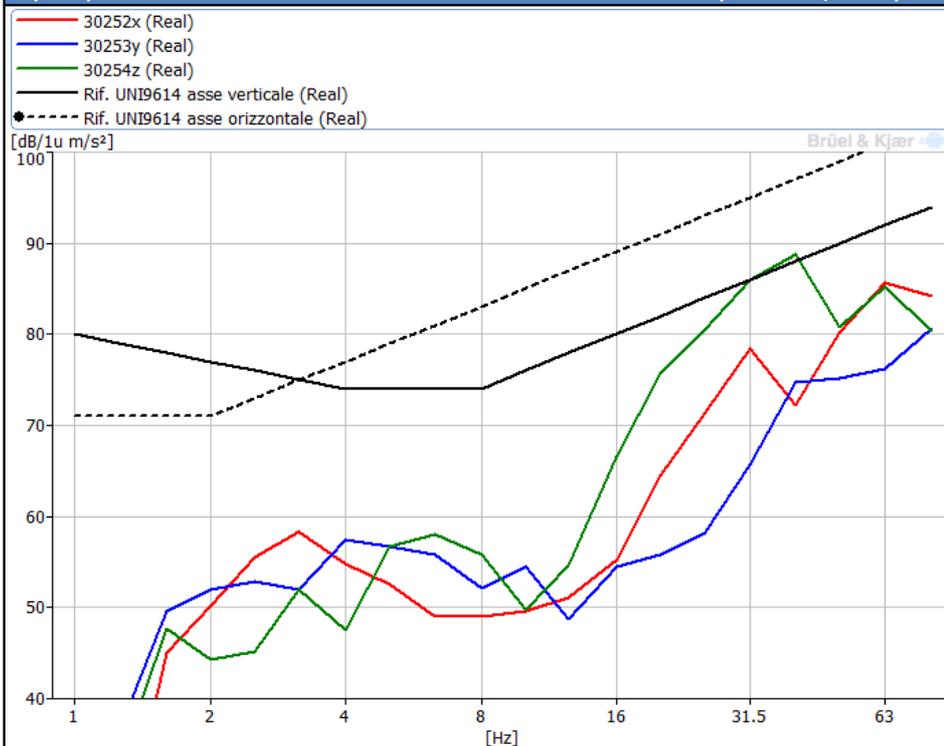
Spettri CPB di accelerazione - base edificio

Annotazioni: impulso su asfalto stradale fronte edificio



Impulsi per caratterizzazione trasmissione vibrazioni su struttura edile più vicina (casa riposo Galambra)

Grafico 32



Spettri CPB di accelerazione - primo piano centro solaio

Annotazioni: impulso su asfalto stradale fronte edificio