

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78

S.G.C. GROSSETO - FANO

ADEGUAMENTO A 4 CORSIE

NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")

DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI15**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Federico Durastanti
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL R.U.P.:

Dott. Ing.
Raffaele Franco Carso

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott. Ing. N. Granieri
Dott. Arch. N. Kamenicky
Dott. Ing. V. Truffini
Dott. Arch. A. Bracchini
Dott. Ing. F. Durastanti
Dott. Ing. E. Bartolucci
Dott. Geol. G. Cerquiglini
Geom. S. Scopetta
Dott. Ing. L. Sbrenna
Dott. Ing. E. Sellari
Dott. Ing. L. Dinelli
Dott. Ing. L. Nani
Dott. Ing. F. Pambianco
Dott. Agr. F. Berti Nulli

Dott. Ing. D. Carlacchini
Dott. Ing. S. Sacconi
Dott. Ing. G. Cordua
Dott. Ing. V. De Gori
Dott. Ing. C. Consorti
Dott. Ing. F. Dominici

Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Ing. F. Macchioni
Geom. C. Vischini
Dott. Ing. V. Piunno
Dott. Ing. G. Pulli
Geom. C. Sugaroni



CANTIERIZZAZIONE E FASI COSTRUTTIVE

PIANO AMBIENTALE DELLA CANTIERIZZAZIONE

Studio previsionale vibrazionale in operam

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00-CA01-CAN-RE02

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L O F I 1 5 E 1 9 0 1

CODICE ELAB. **T 0 0 C A 0 1 C A N R E 0 2**

A

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Emissione	28/02/2020	L. Gagliardini	E. Bartolucci	N. Granieri

INDICE

1	PREMESSA	2
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI	2
1.1.1	Norma UNI 9614 - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.....	2
1.1.2	Norma UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.....	4
1.1.3	Norma UNI 11048 - Vibrazioni meccaniche ed urti - Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo	5
1.1.4	Riferimenti bibliografici.....	5
1.2	DEFINIZIONE DEL DISTURBO VIBRAZIONALE	5
1.3	METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEI LIVELLI VIBRAZIONALI INDOTTI DAL CANTIERE E DAI MEZZI DI TRASPORTO	6
1.3.1	Modello di calcolo	9
1.4	FASE DI CANTIERE	12
1.4.1	Definizione degli scenari	12
1.4.2	Definizione del tipo di sorgente.....	13
1.4.3	Valutazione della propagazione delle vibrazioni	16
1.4.4	Stima dei futuri livelli vibrazionali	19
1.4.5	Taratura del modello	25
1.5	VALUTAZIONE	28
1.5.1	Interazione opera – ambiente	28
1.5.2	Mitigazioni ambientali.....	29
1.5.3	Procedure operative	30

1 PREMESSA

In ottemperanza alla prescrizione è stato effettuato lo studio previsionale delle vibrazionali dovuti alla realizzazione dell’opera in oggetto nella fase di cantiere. Lo studio è volto all’accertamento del disturbo alle persone (UNI 9614) e all’effetto sugli edifici (UNI 9916). La norma UNI 9614 risulta maggiormente restrittiva rispetto alla UNI 9916 e qualora si verifici la presenza di edifici nelle zone critiche, tale elemento non costituisce un fattore per la stima di un possibile danno alle strutture, evidenziando unicamente il superamento di una soglia di disturbo per i residenti dell’edificio stesso, soglia che peraltro attualmente, pur ricavata dalle normative tecniche esistenti in sede nazionale ed internazionale, non risulta fissata da alcun atto legislativo. Per la valutazione del possibile danno strutturale (UNI 9916) sarà eseguita in riferimento alle velocità predette dal modello vibrazionale sugli edifici indotte dalle lavorazioni e dal successivo confronto coi limiti.

Per lo studio dell’impatto vibrazionale si è proceduto con le operazioni seguenti:

- analisi del territorio in cui si colloca il tragitto e delle caratteristiche dei ricettori;
- individuazione delle sorgenti attive in termini di: caratterizzazione dell’emissione di vibrazioni, modalità di funzionamento, fasi di cantiere ed attività in cui sono previste, nonché del contributo dovuto ai mezzi di trasporto per la movimentazione dei materiali;
- definizione dei tempi di funzionamento e del posizionamento delle sorgenti attive per le fasi di cantiere;
- definizione degli scenari critici in termini di impatto vibrazionale;
- previsione delle vibrazioni emesse dalle attività individuate e valutazione con i limiti normativi.

1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI

La caratterizzazione delle emissioni di vibrazioni da parte di veicoli non è soggetta alle rigorose normative e disposizioni legislative che normano invece l’emissione del rumore. Pertanto, in questo caso non si ha una caratterizzazione dell’emissione in condizioni standardizzate e una garanzia del costruttore del mezzo a non superare un preciso valore dichiarato. Non si hanno nemmeno valori limite da rispettare per quanto riguarda i livelli di accelerazione comunicati ai recettori e quindi ovviamente non è possibile specificare la produzione di vibrazioni con lo stesso livello di dettaglio con cui è possibile operare per il rumore.

1.1.1 Norma UNI 9614 - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.

Le norme tecniche di riferimento sono le DIN 4150 (tedesca) e la UNI 9614:1990 che definiscono:

- i tipi di locali o edifici,
- i periodi di riferimento,
- i valori che costituiscono il disturbo,
- il metodo di misura delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne.

Le vibrazioni immesse in un edificio si considerano:

- di livello costante: quando il livello dell’accelerazione complessiva ponderata in frequenza rilevato mediante costante di tempo “slow” (1 s) varia nel tempo in un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB;
- di livello non costante: quando il livello suddetto varia in un intervallo di ampiezza superiore a 5 dB;
- impulsive: quando sono originate da eventi di breve durata costituiti da un rapido innalzamento del livello di accelerazione sino ad un valore 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.

La direzione lungo le quali si propagano le vibrazioni sono riferite alla postura assunta dal soggetto esposto. Gli assi vengono così definiti: asse z passante per il coccige e la testa, asse x passante per la schiena ed il petto, asse y passante per le due spalle. Per la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante, i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, corrispondenti ai più elevati riscontrati sui tre assi, possono essere confrontati con i valori di riferimento riportati nelle tabelle successive; tali valori sono espressi mediante l’accelerazione complessiva ponderata in frequenza $a(w)$ e del suo corrispondente livello $L(w)$. Quando i valori delle vibrazioni in esame superano i livelli di riferimento, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto. Il giudizio sull’accettabilità (tollerabilità) del disturbo oggettivamente riscontrata dovrà ovviamente tenere conto di fattori quali la frequenza con cui si verifica il fenomeno vibratorio, la sua durata, ecc.

Tabella 1 - Valori e livelli di riferimento delle accelerazioni ponderate in frequenza validi per l’asse Z (prospetto II – App. A1, UNI 9614:1990)

Tipo di edificio	a (m/s^2)	$L_{a,w}$ (dB)
aree critiche	$5.0 \cdot 10^{-3}$	74
abitazioni (notte)	$7.0 \cdot 10^{-3}$	77
abitazioni (giorno)	$10.0 \cdot 10^{-3}$	80
uffici	$20.0 \cdot 10^{-3}$	86
fabbriche	$40.0 \cdot 10^{-3}$	92

Tabella 2 - Valori e livelli di riferimento delle accelerazioni ponderate in frequenza validi per l’asse X e Y (prospetto III – App. A1, UNI 9614:1990)

Tipo di edificio	a (m/s^2)	$L_{a,w}$ (dB)
aree critiche	$3.6 \cdot 10^{-3}$	71
abitazioni (notte)	$5.0 \cdot 10^{-3}$	74
abitazioni (giorno)	$7.2 \cdot 10^{-3}$	77
uffici	$14.4 \cdot 10^{-3}$	83
fabbriche	$28.8 \cdot 10^{-3}$	89

1.1.2 Norma UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

Fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è quello di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime. Per semplicità, la presente norma considera gamme di frequenza variabili da 0,1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.), nonché ad eccitazione causata dall’ uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l’intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio (per esempio vibrazioni indotte da macchinari all’ interno degli edifici): tuttavia eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell’edificio. Gli urti direttamente applicati alla struttura attraverso macchine industriali, gli urti prodotti dalle esplosioni, dalla battitura dei pali e da altre sorgenti immediatamente a ridosso dei ristretti limiti della struttura non sono inclusi nella gamma di frequenza indicata, ma lo sono i loro effetti sulla struttura.

Nell’Appendice D della norma UNI 9916-2014 sono indicate nel Prospetto D.1 le velocità ammissibili per tipologia di edificio. I valori di riferimento sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 3 - Valori di riferimento delle velocità (prospetto D.1 - UNI 9916-2014)

Classe	Tipo di edificio	Fondazione			Piano alto	Solai componete verticale
		$f=1-10$ Hz	$f=10-50$ Hz	$f=50-100$ Hz (*)	Tutte le frequenze	Tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	da 20 (per $f=10$ Hz) a 40 (per $f=50$ Hz)	da 40 (per $f=50$ Hz) a 50 (per $f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	da 5 (per $f=10$ Hz) a 15 (per $f=50$ Hz)	da 15 (per $f=50$ Hz) a 20 (per $f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (p.es. monumenti)	3	da 3 (per $f=10$ Hz) a 8 (per $f=50$ Hz)	da 8 (per $f=50$ Hz) a 10 (per $f=100$ Hz)	8	3/4

(*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati valori di riferimento per 100 Hz

1.1.3 Norma UNI 11048 - Vibrazioni meccaniche ed urti - Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo

La norma UNI 11048:2003, sperimentale, definisce i metodi di misurazione delle vibrazioni e degli urti trasmessi agli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi, al fine di valutare il disturbo arrecato ai soggetti esposti. Essa affianca la UNI 9614. La norma non si applica alla valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, in relazione a possibili danni strutturali o architettonici, per la quale si rimanda alla UNI 9916.

1.1.4 Riferimenti bibliografici

Al fine della redazione del presente studio, per le assunzioni e comprovare le ipotesi tecniche sono state prese in considerazione, oltre la normativa tecnica, la seguente corrente bibliografia:

- Lamberto Tronchin , Angelo Farina, Valerio Tarabusi – “Studio di impatto acustico e vibrazionale nella realizzazione di infrastrutture viarie e ferroviarie” - 31° Convegno Nazionale AIA, Venezia, 5-7 Maggio 2004.
- Angelo Farina – “Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali - Normativa, tecniche di misura e di calcolo” - <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/216-EUBIOS06.pdf>Rivista Neo-EUBIOS, n. 16. Maggio 2006 - ISSN 1825-5515.
- Hal Amick and Michael Gendreau (2000) – “Construction Vibrations and Their Impact on Vibration-Sensitive Facilities”- Colin Gordon & Associates, San Mateo, California 94402
- Aki, K., and Richards, P.G. (1980). “Quantitative Seismology: Theory and Methods.”, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 932 pp.
- Ishihara, K. (1996). “Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics.”, Oxford Science Publications, Oxford, UK, pp. 350.
- Hal Amick, Colin Gordon & Associates (1999), “A Frequency-Dependent Soil Propagation Model” - Presented at SPIE Conference on Current Developments in Vibration Control for Optomechanical Systems - Denver, Colorado, July 20, 1999 San Mateo, California USA.
- Dong-Soo Kim, Jin-Sun Lee¹ (1999), “Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations” - Department of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon – pp 305-701
- L.H. Watkins - “Environmental impact of roads and traffic” - Appl. Science Publ.
- Ohta, Y. and N. Goto. (1978), Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 6:167-187.

1.2 DEFINIZIONE DEL DISTURBO VIBRAZIONALE

La caratterizzazione del disturbo vibrazionale è effettuata in termini di valore medio efficace (r.m.s.) della velocità (in mm/s) per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici e l'accelerazione (in mm/s²) per valutare la percezione umana. È tuttavia agevole convertire i valori di velocità v nei corrispondenti valori di accelerazione a , nota la frequenza f , tramite la relazione:

$$v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Convenzionalmente, in analogia con le analisi del rumore, sia i valori di velocità che quelli di accelerazione vengono valutati sulla scala dei dB, tramite le relazioni:

$$L_{acc} = 20 \cdot \lg \left[\frac{a}{a_0} \right] \qquad L_{vel} = 20 \cdot \lg \left[\frac{v}{v_0} \right]$$

in cui compaiono i valori di riferimento $a_0 = 0.001 \text{ mm/s}^2$ e $v_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s}$.

1.3 METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEI LIVELLI VIBRAZIONALI INDOTTI DAL CANTIERE E DAI MEZZI DI TRASPORTO

Il fenomeno con cui un prefissato livello di vibrazioni imposto sul terreno si propaga nelle aree circostanti è correlato alla natura del terreno, alla frequenza del segnale e alla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto. Il metodo previsionale dei livelli di vibrazione ha impiegato simulazioni numeriche.

In dettaglio si illustrano i passi seguiti nell'elaborazione. La valutazione dei livelli vibrazionali è stata condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei fenomeni considerati (attività dei mezzi di cantiere e per il trasporto dei materiali nonché impianti fissi), utilizzando sia dati bibliografici che rilievi strumentali. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza nota dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla componente verticale (asse Z).

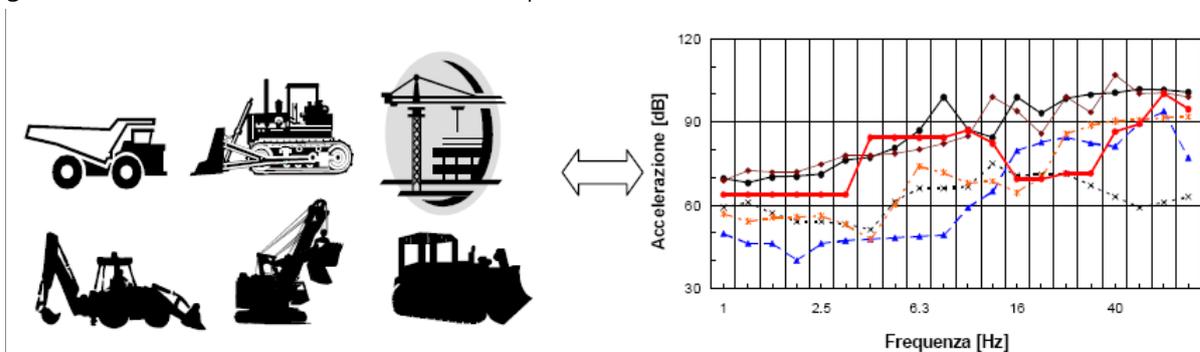


Figura 1 – relazione tra mezzi d'opera e spettro di emissione di vibrazioni

Dagli spettri delle sorgenti si ottiene il livello di accelerazione non ponderato a distanze crescenti dalla sorgente mediante una legge di propagazione. Nel caso di sorgenti superficiali, ad esempio, si precisa che l'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza d è basata sulla seguente formulazione:

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

I livelli complessivi di accelerazione non pesati a distanze crescenti dalla sorgente corrispondenti agli scenari analizzati sono dati dalla combinazione, frequenza per frequenza, degli spettri di vibrazione relativi alle singole macchine previste. Come legge di combinazione degli spettri è stata adottata la regola SRSS (Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares) che consiste nell’eseguire la radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine. Per ciascuna frequenza si è quindi ottenuto quindi un valore complessivo non pesato di tutte le macchine attive ($A_{TOT,f}$) sotto forma di matrice.

$$A_{TOT,f} = \sqrt{A_1(f,d)^2 + A_2(f,d)^2 + \dots + A_N(f,d)^2} \quad (\text{SRSS})$$

Relativamente ad ogni scenario modellizzato, si è applicato alla matrice citata la curva di attenuazione definita per postura non nota (o asse generico) dalla UNI 9614.

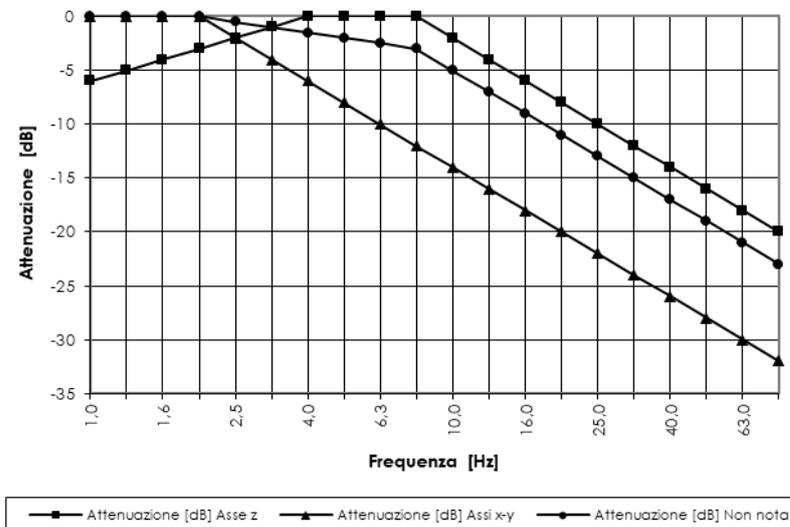


Figura 2 – Filtri di ponderazione per i diversi assi di riferimento

Si è quindi ottenuta la matrice dei livelli ponderati di accelerazione complessiva per singola frequenza e distanza, con cui è stato possibile realizzare specifici grafici di propagazione dello spettro della somma delle sorgenti analizzate.

STUDIO PRELIMINARE VIBRAZIONALE IN OPERAM

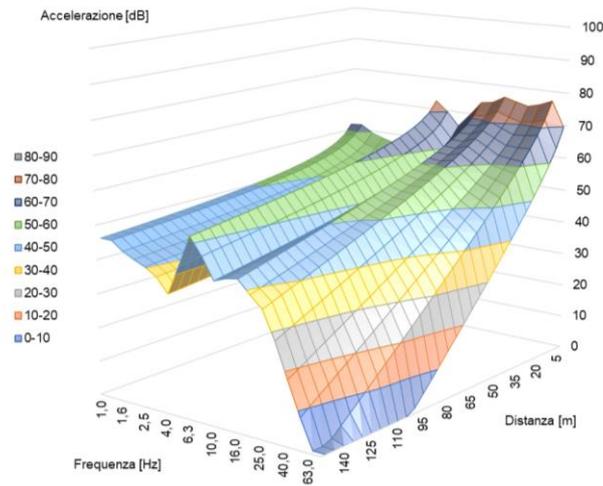


Figura 3 – Propagazione dello spettro di vibrazione

Il livello totale di accelerazione ponderata in funzione della distanza $L_{a,w,d}$ è ottenuto sommando tutti i corrispondenti valori per frequenza $A_{TOT,f}$ espresso in dB pesati. Il numero ottenuto è rappresentativo dell’accelerazione complessiva ponderata su asse Z ad una determinata distanza. Ripetendo questa operazione per una griglia di distanze si è ottenuto il profilo di attenuazione dell’accelerazione ponderata e complessiva di tutti le sorgenti su asse Z.

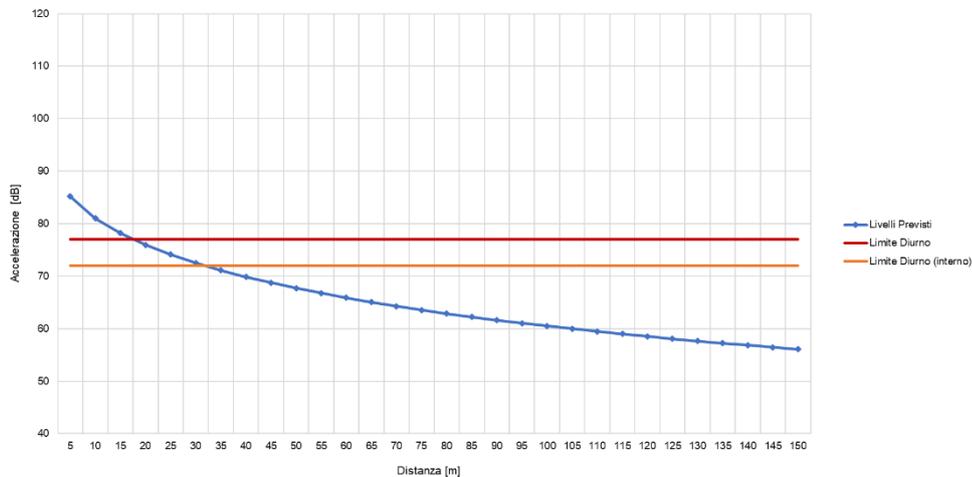


Figura 4 – valutazione della propagazione del livello di vibrazioni a diverse distanze

Ai fini del confronto con i livelli di riferimento della norma UNI 9614; si stabilisce di prendere in esame il valore massimo fra i valori di accelerazione ponderata misurati lungo i tre assi. Poiché nella pressoché totale generalità dei casi, questo porta a considerare l’accelerazione misurata in senso verticale, come richiesto dalla UNI 11048, si valuteranno i livelli di accelerazione ponderata “per asse generico” lungo l’asse Z con la tabella dei valori di riferimento originariamente stabilita per gli assi X e Y.

1.3.1 Modello di calcolo

Al fine dell'esecuzione del calcolo della propagazione delle vibrazioni saranno presi in considerazione due posizioni che possono assumere le sorgenti: sarà identificato il caso in cui le sorgenti sono in superficie (sorgenti superficiali) ed in profondità (sorgenti profonde).

Sorgenti superficiali

Parlando della trasmissione di vibrazioni nel terreno, è necessario distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale: onde di compressione (onda P), onde di taglio (onda S) e onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L), le quali hanno velocità di propagazione differente in funzione del modulo di Poisson del terreno.

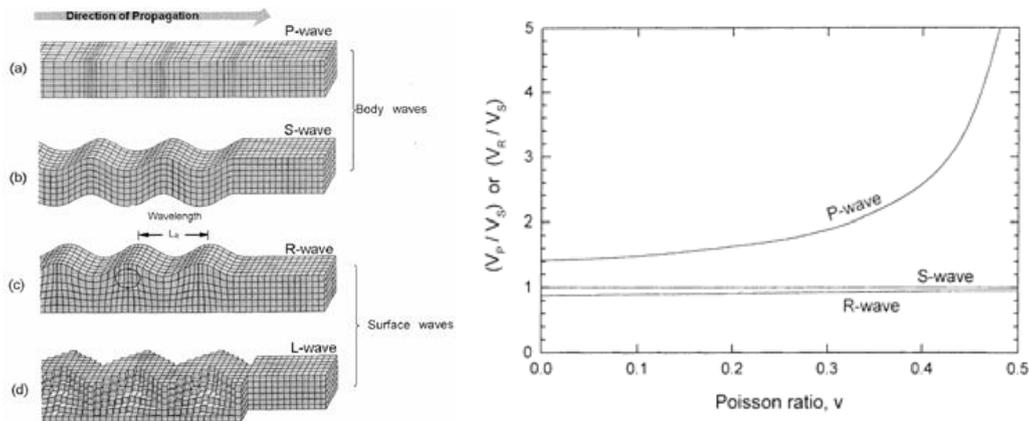


Figura 5 – Tipi di onda di volume e di superficie (a sinistra) e velocità relativa delle onde P, R rispetto onde S (a destra)

L'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza d , per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R), è basata sulla seguente formulazione:

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

dove η è il fattore di perdita del terreno, c la velocità di propagazione in m/s, f la frequenza in Hz, d la distanza in m, e d_0 la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione, assunta pari a 5m. L'esponente n varia a seconda del tipo di onda e di sorgente di vibrazioni. Ai fini dell'analisi dei livelli massimi, si è preceduto prendendo a riferimento una sorgente concentrata, fissando l'esponente n a 0.5 per le onde di superficie (predominanti in caso di sorgente posta in superficie), e 1 per le onde di volume (predominanti in caso di sorgente profonda). Risulta pertanto evidente come la propagazione a partire da una sorgente posta in profondità sia dotata, anche nel caso di terreno omogeneo, di molta più rapida attenuazione al crescere della distanza dalla sorgente.

Tabella 4 – definizione dell'esponente n in base al tipo di sorgente e onda

Tipo di sorgente	Onda	Strato	n
Linea	Superficie	Superficie	0
	Volume	Superficie	1.0
Punto	Rayleigh	Superficie	0.5

Tipo di sorgente	Onda	Strato	n
	Volume	Superficie	2.0
Linea Sotterranea	Volume	Profondo	0.5
Punto Sotterraneo	Volume	Profondo	1.0

Il termine esponenziale rappresenta i fenomeni di dissipazione di energia meccanica in calore, che come si vede va crescendo proporzionalmente alla frequenza. Ciò fa sì che le alte frequenze si estinguano dopo un breve percorso, mentre le frequenze più basse si propagano a distanze maggiori.

Il rapporto η/c (indicato anche come ρ) dipende, infine, dal particolare tipo di terreno considerato, ed assume valori elevati nel caso di terreno coltivato soffice, mentre assume valori molto modesti nel caso di pavimentazioni rigide.

Classe	Descrizione del materiale	Coefficiente di attenuazione	ρ
I	Cedevole o tenero (terreno che può essere scavato facilmente)	0.003-0.01	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$
II	Consolidato (terreno che può essere scavato utilizzando una pala)	0.001-0.003	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$
III	Duro (terreno che non può essere scavato con una pala ma necessità di un piccone)	0.0001-0.001	$6 \times 10^{-6} - 6 \times 10^{-5}$
IV	Duro consolidato (terreno che scavato difficilmente utilizzando un martello)	<0.0001	< 6×10^{-6}

Il modello semplificato di propagazione illustrato considera i soli fenomeni previsti in un terreno supposto omogeneo ed isotropo, nel caso si abbia propagazione in presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione, è evidente che i livelli di accelerazione riscontrabili all'interno risultino “filtrati” dalla funzione di trasferimento del sistema struttura edilizia.

In particolare, diversi sistemi di fondazione producono una attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante; tale aspetto è legato al fatto che l'interfaccia terreno-struttura non è perfettamente solidale, e pertanto genera fenomeni dissipativi o di amplificazione.

Sorgenti in profondità

Nel caso dell'attività di cantiere ove intervenga necessità di realizzazioni di opere in profondità (palificazione, ecc.), la valutazione della legge di propagazione delle vibrazioni con la distanza è più complessa, in quanto non si ha più la semplice legge di propagazione delle onde superficiali, ma si ha a che fare con una sorgente posta in profondità, che dà luogo alla propagazione di onde di volume. Si consideri ora lo schema di emissione illustrato nella seguente figura:

STUDIO PRELIMINARE VIBRAZIONALE IN OPERAM

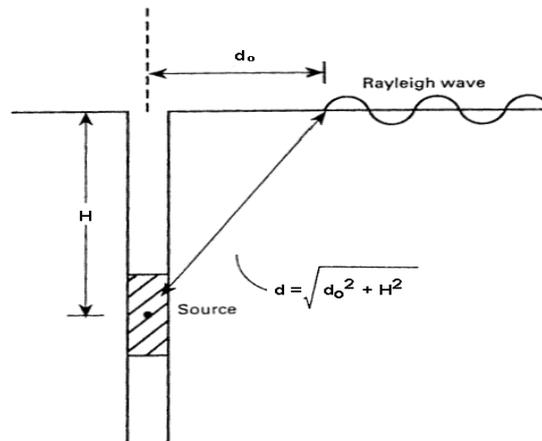


Figura 6 - Schema della propagazione a partire da una sorgente profonda

Si può notare che, rispetto all'emissione di onde di superficie da parte di una sorgente concentrata posta sulla sommità del suolo, al recettore arrivano onde che hanno compiuto un percorso più lungo, e che si sono maggiormente attenuate lungo tale percorso a causa della legge di divergenza volumetrica anziché superficiale.

Considerando che l'epicentro di emissione si collochi circa ad 1/2 della lunghezza dell'elemento infisso, ovvero, per un palo di 9 m, a circa 5 m di profondità, si ha la seguente espressione relativa alla propagazione delle vibrazioni con cui è possibile calcolare il livello di accelerazione sulla superficie del suolo in funzione della distanza d_0 (misurata in orizzontale, sulla superficie) fra l'asse del palo ed il recettore.

$$a(d_0, f) = a(d_0, f) \cdot \left[\frac{d_0}{\sqrt{D^2 + H^2}} \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{\eta}{c} (\sqrt{D^2 + H^2} - d_0)} \right]$$

Il calcolo verrà eseguito assumendo che:

- il recettore si trovi ad una profondità di 3 m sotto il piano di campagna, poiché questa è la quota a cui si trovano in media le basi delle fondazioni degli edifici;
- rispetto a tale posizione, poiché l'epicentro di emissione è posto a 5 m di profondità, H assume un valore pari a 2 m;
- la distanza D a cui si è rilevato strumentalmente lo spettro di vibrazioni dovuto alla lavorazione in profondità è 5 m.

Sintesi delle ipotesi assunte

Il calcolo dei livelli vibrazionali ai ricettori, in condizioni di campo libero, risultanti dalle configurazioni dei macchinari da cantiere previsti negli scenari analizzati è stato condotto considerando una legge di attenuazione stabilita sulla base delle seguenti assunzioni:

- i. le macchine da cantiere sono assunte come sorgenti puntuali;
- ii. l'attenuazione dissipativa del mezzo è stata calcolata secondo un approccio teorico semplificato basato sull'ipotesi di mezzo debolmente dissipativo e campo vibratorio costituito in prevalenza da onde di superficie del tipo di Rayleigh;

- iii. il terreno si ipotizza di tipo consolidato, appartenete alla Classe II ($\rho < 1.5 \times 10^{-4}$), e di categoria C ($c=300\text{m/s}$; $\eta=0.04$);
- iv. l’attenuazione geometrica afferente alla sorgente puntuale che lavora in superficie (escavatore, autocarro, pala, autocarro, ecc.) è stata assunta proporzionale a r^{-1} , mentre quella che opera in profondità è stata considerata con una legge di attenuazione proporzionale a $r^{-0.5}$;
- v. l’epicentro di emissione, nel caso di sorgenti profonde, si collochi circa ad 1/2 della lunghezza dell’elemento infisso nel terreno;
- vi. i livelli vibrazionali a distanze crescenti dalla sorgente corrispondenti agli scenari analizzati sono dati dalla combinazione, frequenza per frequenza, degli spettri di vibrazione relativi alle singole macchine di cantiere, mediante radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine.

1.4 FASE DI CANTIERE

Con riferimento alle vigenti normative, le attività di cantiere possono essere definite come sorgenti di vibrazione intermittente. Un ricettore adiacente all’area di cantiere è infatti soggetto ad una serie di eventi di breve durata, separati da intervalli in cui la vibrazione ha una ampiezza significativamente più bassa. In relazione alle attività lavorative di cantiere previste per la realizzazione dell’opera in esame, sono stati individuati scenari di cantiere critici per il potenziale impatto in termini di vibrazioni sull’ambiente circostante.

Lo studio, di seguito riportato relativamente alla fase di cantiere, analizza le seguenti macro fasi di lavorazione propedeutiche alla realizzazione dell’opera:

- fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali;
- fase di realizzazione della paratia.

Si rammenta come l’impatto vibrazionale nelle simulazioni numeriche sarà valutato in termini di livello ponderato globale di accelerazione $L_{w,z}$ in campo libero, (definito in unità dB secondo la normativa UNI 9614 per asse generico), per un confronto con i valori di riferimento per il disturbo alle persone. Successivamente si procederà alla valutazione della velocità a cui sono sottoposte le strutture convertendo i risultati delle accelerazioni in base alle frequenze. In via conservativa si procederà alla conversione dell’accelerazione globale in velocità considerando la frequenza di 40 Hz ritenuta quella che genera il maggiore impatto.

1.4.1 Definizione degli scenari

Le sorgenti di vibrazioni per le fasi di cantiere sono costituite dai macchinari utilizzati per l’esecuzione delle opere con particolare riferimento alle opere di scavo e compattazione le quali, per loro natura, possono costituire la maggiore fonte di sollecitazioni meccaniche.

Nelle aree di cantiere ove sono presenti gli impianti fissi (betonaggio, lavorazioni di dettaglio su eventuali prefabbricati, ecc.) le emissioni di vibrazioni risultano usualmente più contenute rispetto a quelle presenti sul cantiere in linea poiché la natura stessa delle lavorazioni determina minori

sollecitazioni meccaniche sul terreno e, di conseguenza, minore trasmissione di energia meccanica verso i potenziali ricettori.

Il calcolo del livello di vibrazione in condizioni di campo libero sarà definito nell'intorno del cantiere con una risoluzione di circa 5 m nelle direzioni orizzontali (piano di campagna), ottenendo il grafico della propagazione delle vibrazioni in funzione della distanza.

Nella tabella sottostante la definizione dei mezzi per ogni scenario individuato per il cantiere in linea (fronte di cantiere).

Tabella 5 – Scenari per il fronte di avanzamento del cantiere

Scenario	Descrizione attività fronte cantiere	Macchinari presenti attivi
1/a	Scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali	Escavatore, nr.1; Pala cingolata, nr.1; Rullo, nr.1; transito Autocarro nr.1 (*)
1/b	Scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali (senza rullatura)	Escavatore, nr.1; Pala cingolata, nr.1; transito Autocarro nr.1 (*)
2	Realizzazione della paratia	Trivella Pali, nr.1; Betoniera, nr.1; transito Autocarro nr.1 (*)
(*) aggiunto ad ogni scenario il transito di un autocarro		

Al fine della valutazione delle vibrazioni indotte nei cantieri operativi e nel campo base tale aree saranno valutate con la presenza dei seguenti mezzi.

Tabella 6 – Scenari per Campo base e Campo operativo

Scenario	Descrizione attività aree	Macchinari ed impianti presenti attivi
3	Campo base (deposito materiale, frantumazione, vagliatura e betonaggio)	Escavatore, nr.1; Autocarro, nr.2; Impianto betonaggio nr.1; Impianto di frantumazione e vagliatura nr.1; transito Autocarro nr.1 (*)
4	Campo operativo (deposito materiale)	Escavatore, nr.1; Autocarro, nr.1; transito Autocarro nr.1 (*)
(*) aggiunto ad ogni scenario il transito di un autocarro		

In relazione alla frequenza dei transiti dei mezzi d'opera, per la fase I del cantiere sono previsti cinque viaggi/ora, mentre nella fase II sono previsti sei viaggi/ora. Al fine della valutazione della vibrazione indotta, considerando la contemporaneità delle sorgenti attive, sarà aggiunto per ogni scenario individuato un transito di mezzo d'opera.

1.4.2 Definizione del tipo di sorgente

Analizzando le principali sorgenti previste in funzione delle attività lavorative, si conviene come esse siano sostanzialmente raggruppabili in macchine operatrici, impianti fissi ed in mezzi adibiti al trasporto, ma se le prime hanno una distribuzione spaziale abbastanza prevedibile e delimitata, i secondi si distribuiscono lungo l'intero percorso che collega il fronte di avanzamento lavori ai luoghi di approvvigionamento o di deposito.

Le vibrazioni emesse dai mezzi di trasporto durante il tragitto sulla viabilità ordinaria (non durante le operazioni di cantiere, quali lo scarico o il ribaltamento del cassone) sono le stesse emesse dai normali veicoli stradali e non meritano quindi particolari attenzioni, in quanto il loro impatto è analogo a quello prodotto dal traffico già esistente sulla rete viaria.

Gli scenari in esame sono stati definiti avendo come prima finalità quella di fornire risultati sufficientemente cautelativi. Si sottolinea tuttavia come le situazioni esaminate non possano comunque rappresentare tutti i macchinari potenzialmente presenti in contemporanea all'interno dell'area di cantiere.

La valutazione dei livelli vibrazionali è stata quindi condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere utilizzando dati bibliografici e misure dirette in campo. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5m dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla sola componente verticale considerata quella che fornisce il contributo maggiore.

Si precisa infine che stante l'indisponibilità di dati sperimentali per tutti i macchinari presenti nel cantiere in esame, si è proceduto utilizzando quelli di macchine in grado di trasmettere al terreno sollecitazioni di simile entità, ma di cui sia noto lo spettro. Ciò premesso, per la costruzione delle paratie di pali, in mancanza di misure dirette si è proceduto assimilando lo spettro di emissione, secondo un criterio cautelativo e di omogeneità, a quello del martello idraulico in attività su fondazione profonda.

Di seguito le tabelle ed i grafici di caratterizzazione delle sorgenti di vibrazioni¹ individuate negli scenari di riferimento.

Scenario 1/a - Scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali (CON rullatura)

Mezzi attivi	D. (m)	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Escavatore cingolato (tipo Fiat-Hitachi FH300 o similari)	5	0,32	0,20	0,19	0,12	0,20	0,26	0,24	0,25	0,28	0,30	0,98	1,88	9,89	13,34	16,79	12,59	12,02	28,84	51,88	8,41
Pala Cingolata	5	0,71	0,50	0,63	0,67	0,60	0,45	0,24	1,12	5,62	3,98	2,51	2,99	1,58	3,98	19,95	29,85	35,48	37,58	39,81	42,17
Rullo (tipo Dynapac FD25 o similari)	5	2,24	3,98	3,55	3,76	5,62	7,94	7,94	9,44	10,59	12,59	16,79	100,00	53,09	19,95	89,13	50,12	251,19	141,25	125,89	112,20
Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33

Scenario 1/b - Scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali (SENZA rullatura)

Mezzi attivi	D. (m)	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Escavatore cingolato (tipo Fiat-Hitachi FH300 o similari)	5	0,32	0,20	0,19	0,12	0,20	0,26	0,24	0,25	0,28	0,30	0,98	1,88	9,89	13,34	16,79	12,59	12,02	28,84	51,88	8,41
Pala Cingolata	5	0,71	0,50	0,63	0,67	0,60	0,45	0,24	1,12	5,62	3,98	2,51	2,99	1,58	3,98	19,95	29,85	35,48	37,58	39,81	42,17
Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33

Scenario 2 - Realizzazione della paratia

Mezzi attivi	D. (m)	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Realizzazione paratie con trivellazione assimilato a martello	5	2,55	3,98	3,17	2,82	3,77	7,94	14,13	17,78	25,12	56,23	25,16	17,98	31,62	59,31	82,91	100,00	113,48	89,13	79,43	74,99
Autobetoniera assimilato ad Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33
Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33

¹ Fonte: L.H. Watkins - "Environmental impact of roads and traffic" - Appl. Science Publ.

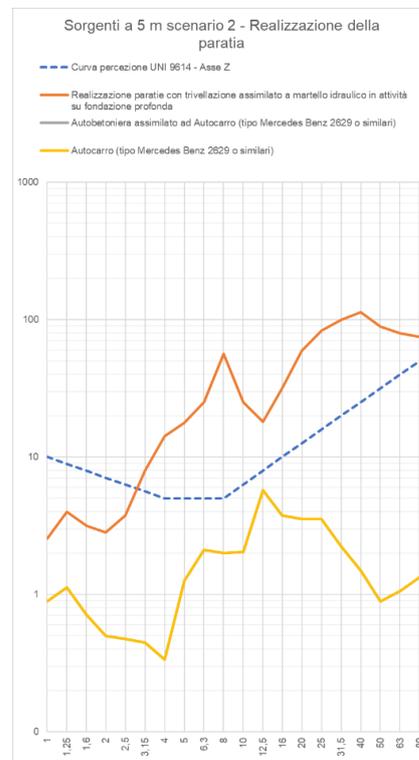
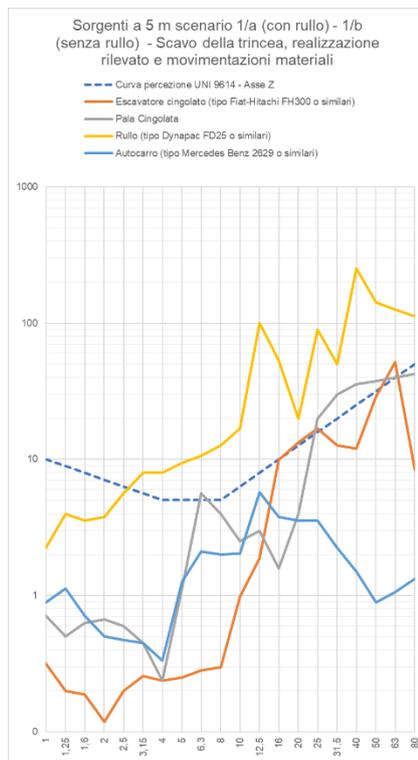
STUDIO PRELIMINARE VIBRAZIONALE IN OPERAM

Scenario 3 - Campo base (deposito materiale, frantumazione, vagliatura e betonaggio)

Mezzi attivi	D. (m)	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Escavatore cingolato (tipo Fiat-Hitachi FH300 o similari)	5	0,32	0,20	0,19	0,12	0,20	0,26	0,24	0,25	0,28	0,30	0,98	1,88	9,89	13,34	16,79	12,59	12,02	28,84	51,88	8,41
Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33
Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33
Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33
Impianto di frantumazione e vagliatura assimilato a Pala	5	0,71	0,50	0,63	0,67	0,60	0,45	0,24	1,12	5,62	3,98	2,51	2,99	1,58	3,98	19,95	29,85	35,48	37,58	39,81	42,17
Impianto di betonaggio assimilato ad Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33

Scenario 4 - Campo operativo (deposito materiale)

Mezzi attivi	D. (m)	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Escavatore cingolato (tipo Fiat-Hitachi FH300 o similari)	5	0,32	0,20	0,19	0,12	0,20	0,26	0,24	0,25	0,28	0,30	0,98	1,88	9,89	13,34	16,79	12,59	12,02	28,84	51,88	8,41
Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33
Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33



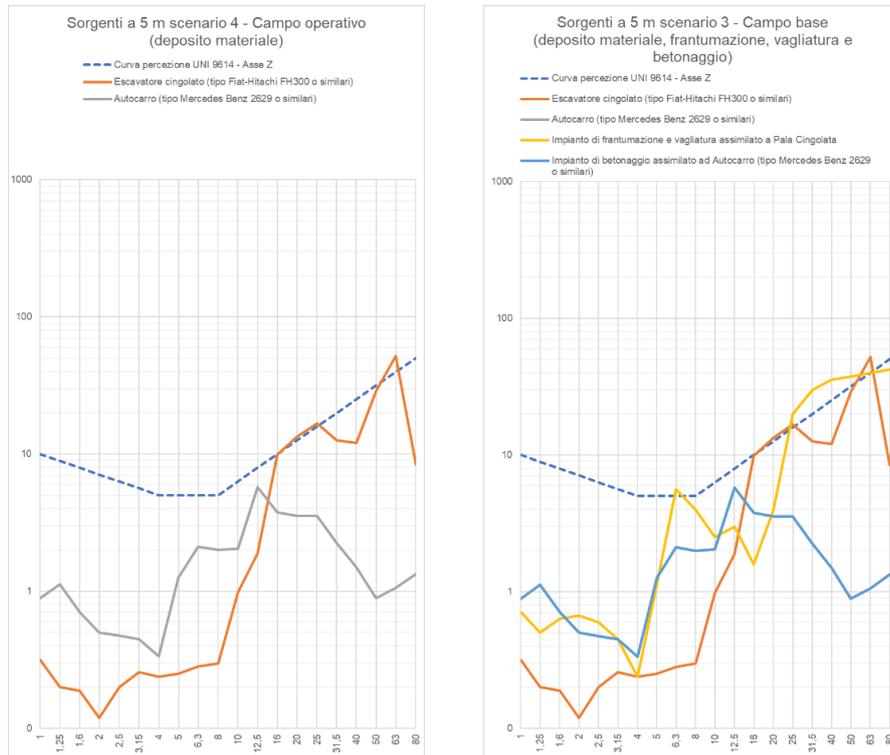


Figura 7 - Spettri delle sorgenti dei macchinari ed impianti di cantiere nei scenari individuati con confronto con la curva di percezione della UNI 9614 per l'asse Z

1.4.3 Valutazione della propagazione delle vibrazioni

Dall'analisi della propagazione dello spettro, per ogni distanza della sede dell'attività di lavoro, è agevole calcolare il livello complessivo di accelerazione ponderata, come somma dei livelli delle singole frequenze. In questo modo è stata calcolata la legge di variazione del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza la quale è mostrata graficamente, di seguito, per ogni scenario.

Dall'analisi della propagazione dello spettro relativamente allo scenario 1/a identificante la fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali con rullatura, si osserva la prevalenza di quest'ultima attività. Osservando la figura appare evidente come lo spettro dell'accelerazione ponderata (UNI 9614 per asse generico) risulti caratterizzato, soprattutto all'allontanarsi dalla sorgente, dalla presenza delle frequenze più basse da 2,5 Hz a 12,5 Hz. Di seguito è mostrato graficamente la propagazione dello spettro.

STUDIO PRELIMINARE VIBRAZIONALE IN OPERAM

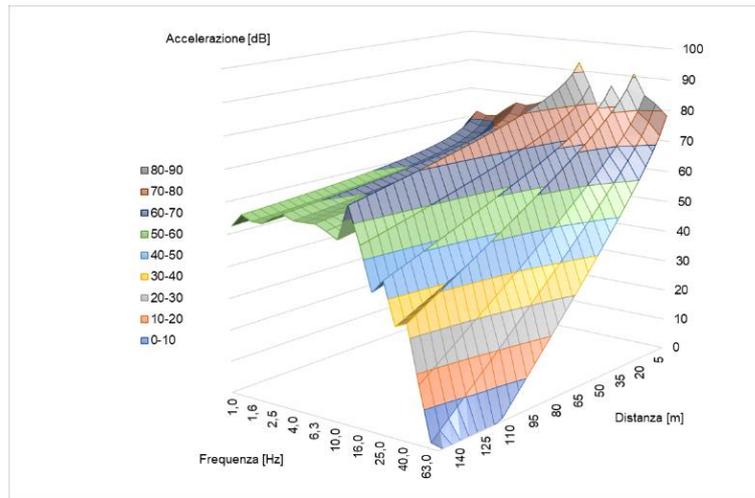


Figura 8 - Livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza stimati durante la fase scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali con rullatura

Dall'analisi della propagazione dello spettro relativamente allo scenario 1/b identificante la fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali senza rullatura, si osserva come lo spettro dell'accelerazione ponderata (UNI 9614 per asse generico) risulti caratterizzato, soprattutto all'allontanarsi dalla sorgente, dalla presenza delle frequenze più basse da 5 Hz a 8 Hz. Di seguito è mostrato graficamente la propagazione dello spettro.

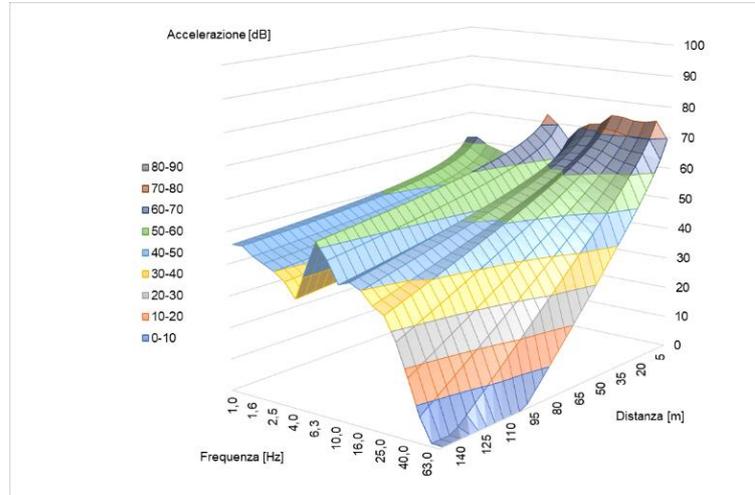


Figura 9 - Livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza stimati durante la fase scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali senza rullatura

Per lo scenario 2 relativo alla realizzazione della paratia, lo spettro di propagazione nel caso di sorgente profonda risulta dominato dal contributo alla frequenza di 8Hz che caratterizza il livello complessivo.

STUDIO PRELIMINARE VIBRAZIONALE IN OPERAM

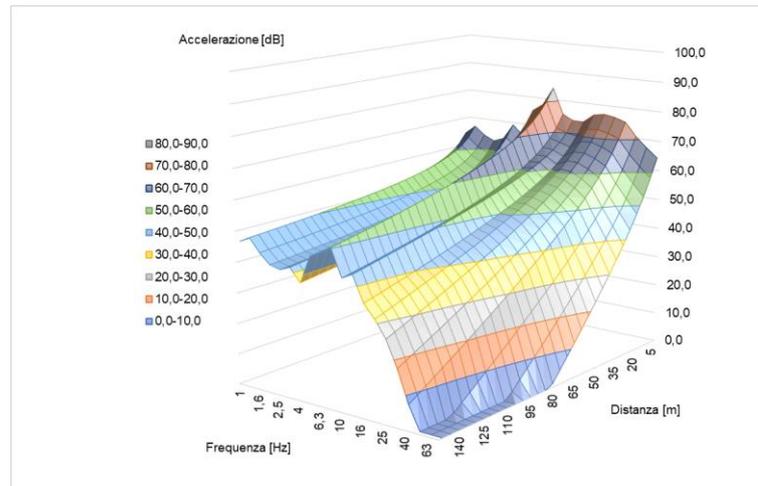


Figura 10 - Livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza stimati durante la fase di realizzazione della paratia

Dall'analisi della propagazione dello spettro relativamente allo scenario 3 delle attività di lavoro previste nel cantiere base (deposito materiale, frantumazione, vagliatura e betonaggio), si osserva come lo spettro dell'accelerazione ponderata (UNI 9614 per asse generico) risulti caratterizzato, soprattutto all'allontanarsi dalla sorgente, dalla presenza delle frequenze più basse da 5 Hz a 8 Hz. Di seguito è mostrato graficamente la propagazione dello spettro.

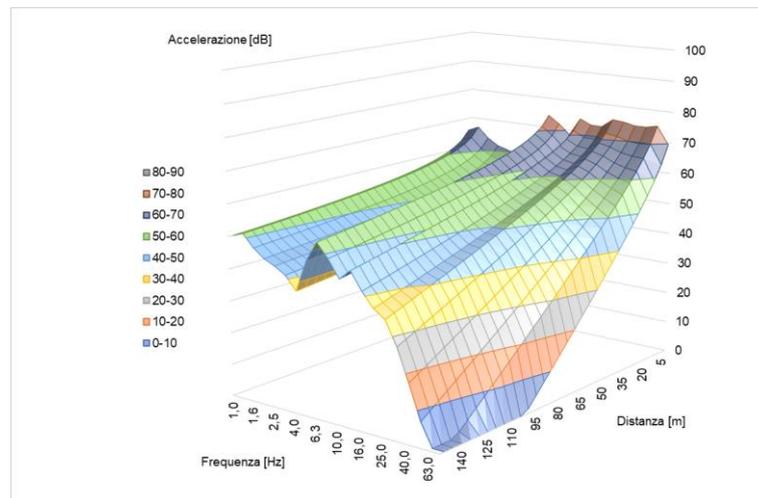


Figura 11 - Livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza stimati durante le attività presso il Campo Base (deposito materiale, frantumazione, vagliatura e betonaggio)

Dall'analisi della propagazione dello spettro relativamente allo scenario 4 delle attività di lavoro previste nei cantieri operativi (deposito materiale), si osserva come lo spettro dell'accelerazione ponderata (UNI 9614 per asse generico) risulti caratterizzato, soprattutto all'allontanarsi dalla sorgente, dalla presenza delle frequenze più basse da 5 Hz a 8 Hz. Di seguito è mostrato graficamente la propagazione dello spettro.

STUDIO PRELIMINARE VIBRAZIONALE IN OPERAM

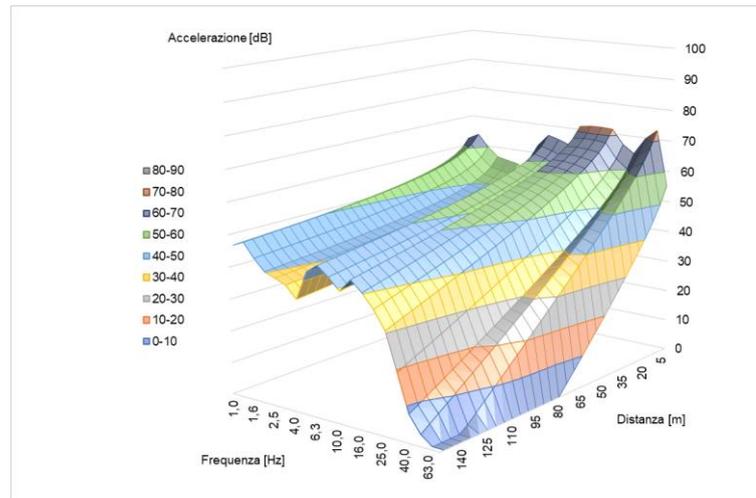


Figura 12 - Livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza stimati durante le attività presso i Campi Operativi (deposito materiale)

1.4.4 Stima dei futuri livelli vibrazionali

Il modello di propagazione illustrato fa riferimento ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, supposto omogeneo ed isotropo (perlomeno all'interno di ogni strato), senza tenere in considerazione per il momento la presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione che possono comportare variazioni dei livelli di accelerazione riscontrabili all'interno degli edifici stessi.

I sistemi fondazione in generale producono, in modo condizionato alla tipologia, un'attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante.

Inoltre, si rammenta il fenomeno della risonanza strutturale di elementi dei fabbricati, con particolare riferimento ai solai: quando infatti la frequenza dell'evento eccitante coincide con la frequenza naturale di oscillazione libera della struttura, quest'ultima registra un significativo incremento dei livelli di vibrazione rispetto a quelli registrabili sull'interfaccia terreno - costruzione.

Una stima dell'effetto locale di riduzione/amplificazione di ciascun edificio è possibile parametrizzando gli effetti combinati secondo curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

Sulla base di tali ipotesi, diviene possibile stimare in maniera approssimata per ogni edificio, note le sue caratteristiche costruttive, l'eventuale variazione massima sul solaio più sfavorito.

In merito alla previsione relativamente alla UNI 9146 nelle seguenti considerazioni sull'entità degli impatto vibrazionale presso i ricettori, avendo assunto per edifici residenziali un valore limite ammissibile pari a 77 dB in virtù del periodo di lavoro diurno, si applicherà un fattore di riduzione che tenga conto della possibile sovramplicazione da parte della struttura dell'edificio ricettore

(assunta mediamente pari a 5 dB^2 .) per fissare di conseguenza un secondo valore di riferimento maggiormente cautelativo pari a 72 dB (limite ridotto).

Dall’analisi della propagazione spaziale del valore complessivo ponderato dell’accelerazione per gli scenari individuati, si determina quanto segue:

- per lo scenario 1/a identificante la fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali con rullatura il limite di 77 dB è raggiunto ad una distanza di circa 75 m ed il limite ridotto di 72 dB una distanza di circa 120 m

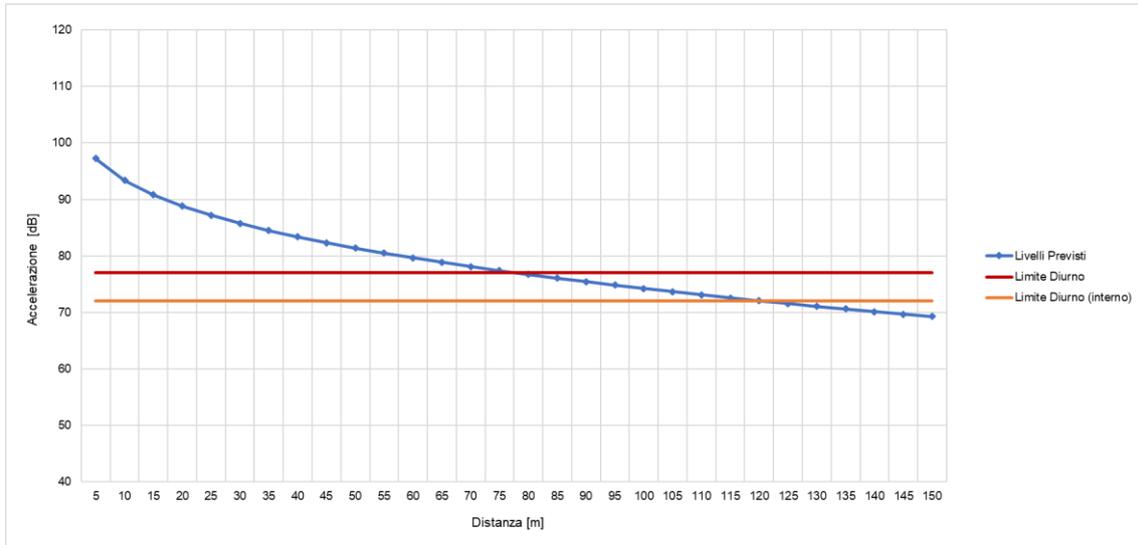


Figura 13 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati per lo scenario 1/a

- per lo scenario 1/b identificante la fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali senza rullatura il limite di 77 dB è raggiunto ad una distanza di circa 15 m ed il limite ridotto di 72 dB una distanza di circa 30 m

² Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali *Normativa, tecniche di misura e di calcolo di Angelo Farina Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Ingegneria Industriale*

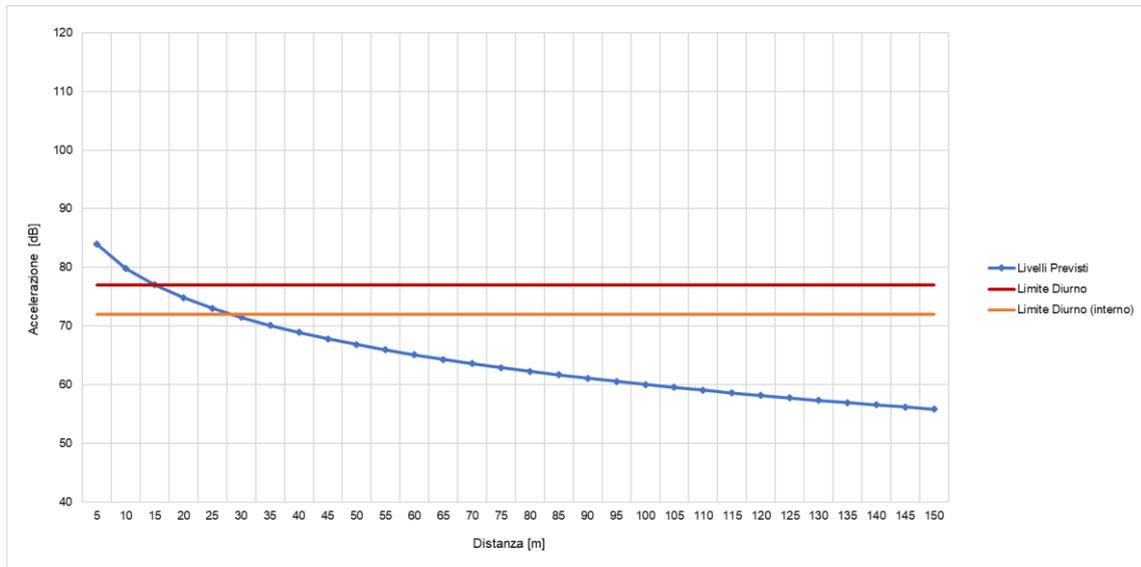


Figura 14 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati per lo scenario 1/b

➤ per lo scenario 2 relativo alla realizzazione della paratia il limite di 77 dB è raggiunto ad una distanza di circa 25 m ed il limite ridotto di 72 dB una distanza di circa 40 m

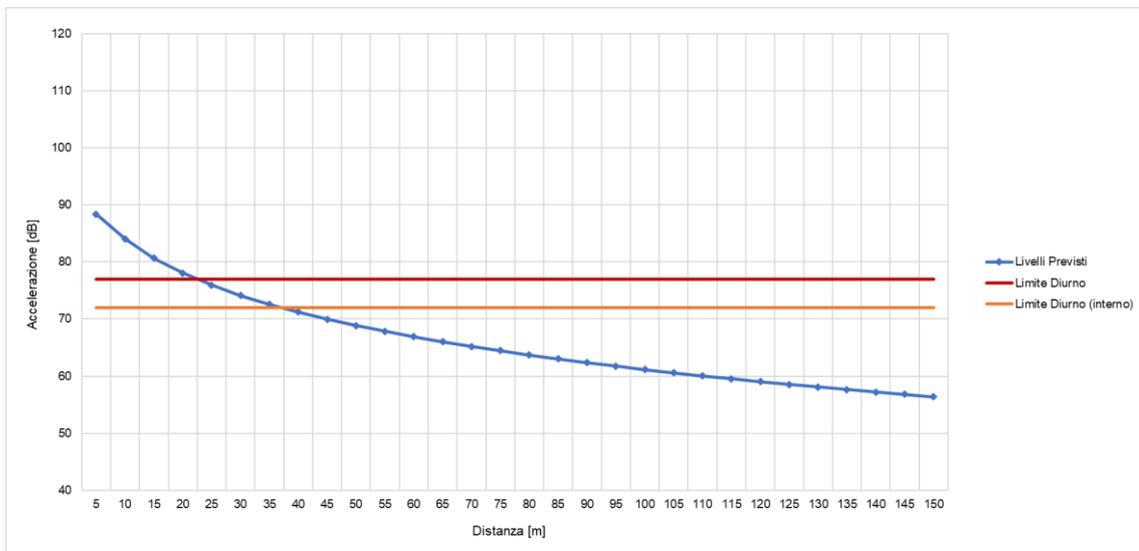


Figura 15 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati per lo scenario 2

➤ per lo scenario 3 delle attività di lavoro previste nel cantiere base (deposito materiale, frantumazione, vagliatura e betonaggio), il limite di 77 dB è raggiunto ad una distanza di circa 20 m ed il limite ridotto di 72 dB una distanza di circa 35 m

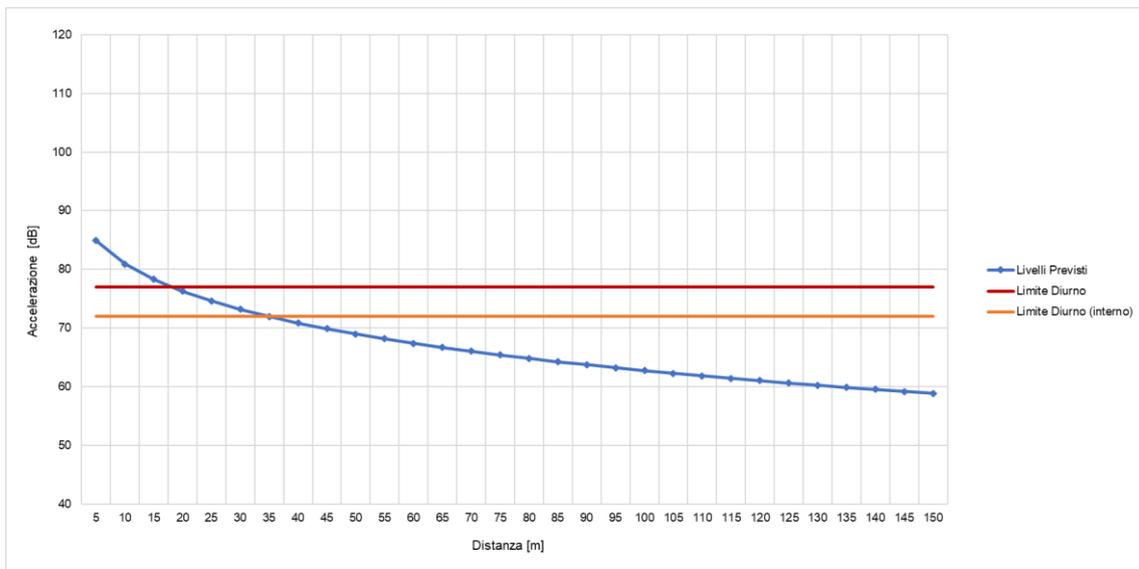


Figura 16 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati per lo scenario 3

➤ per lo scenario 4 delle attività di lavoro previste nei cantieri operativi (deposito materiale), il limite di 77 dB è raggiunto ad una distanza di circa 10 m ed il limite ridotto di 72 dB una distanza di circa 25 m.

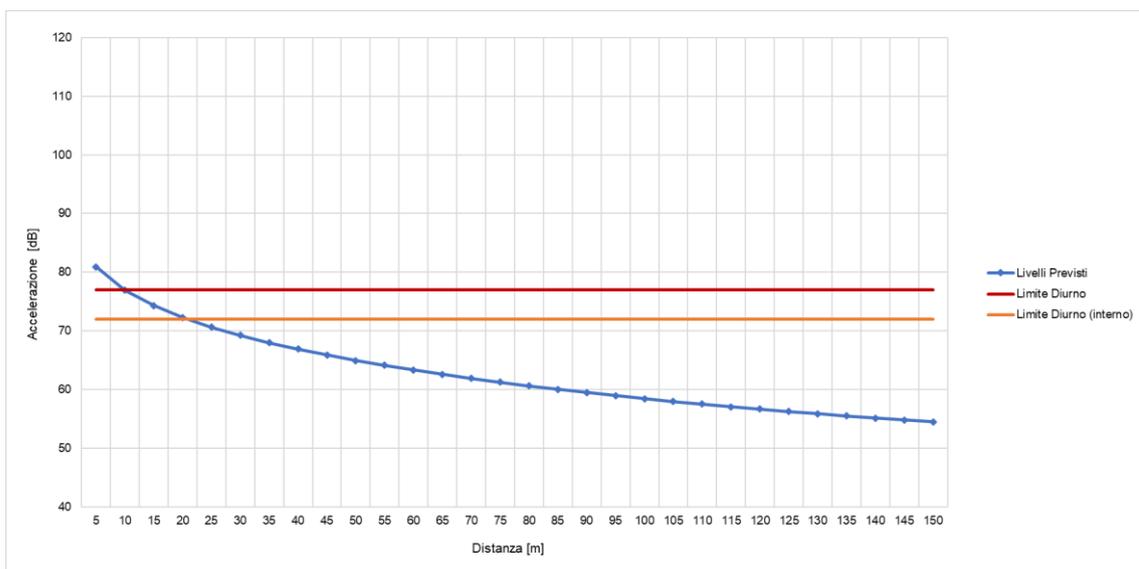


Figura 17 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati per lo scenario 4

A distanze inferiori da quanto sopra indicato potranno quindi verificarsi superamenti del limite relativo al disturbo alle persone secondo la norma UNI 9614.

In merito alla previsione delle vibrazioni indotte dall'attività di cantiere relativamente alla UNI 9916 di seguito si riportano le risultanze del modello di previsione ottenute dalla conversione

dell'accelerazione in termini di velocità. L'entità degli impatti vibrazionali presso i ricettori è valutata assumendo come tipologico, in via conservativa, l'edificio residenziale per il quale è previsto il valore limite ammissibile di velocità pari a 15 mm/s. Dall'analisi della propagazione spaziale del valore complessivo ponderato dell'accelerazione per gli scenari individuati, si determina quanto segue:

- per lo scenario 1/a identificante la fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali con rullatura il limite di 15mm/s non viene raggiunto, pur essendo questo lo scenario con un impatto maggiore rispetto gli altri considerati.

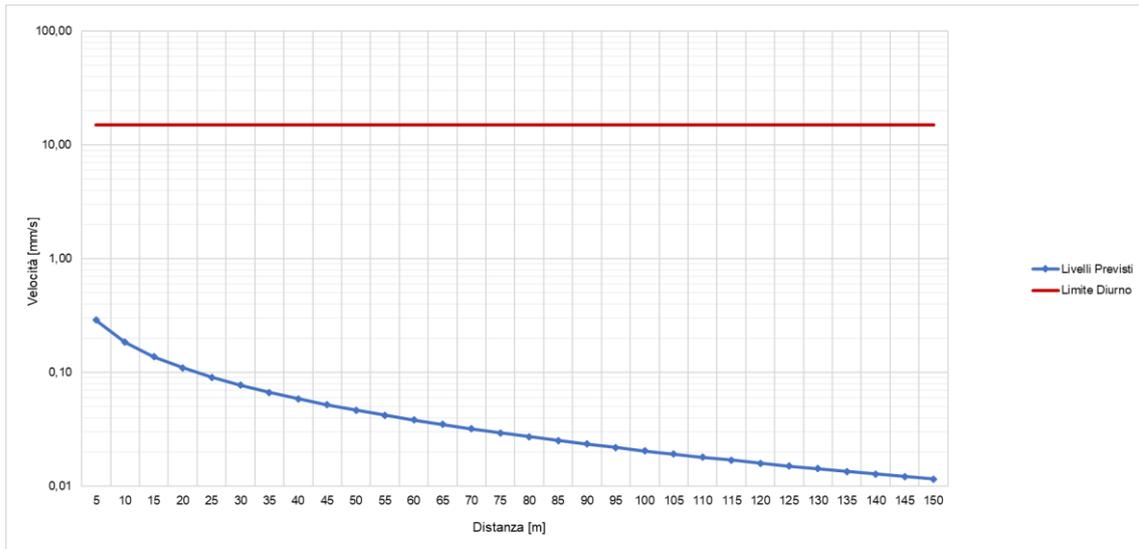


Figura 18 – Propagazione dei livelli di velocità stimati per lo scenario 1/a

- per lo scenario 1/b identificante la fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali senza rullatura il limite di 15mm/s non viene raggiunto.

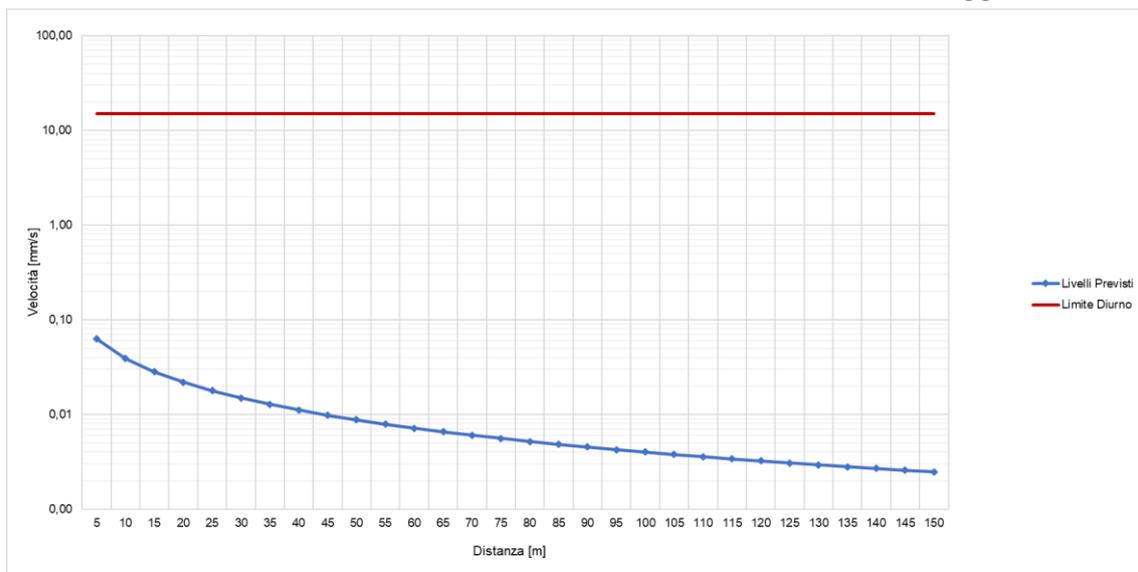


Figura 19 – Propagazione dei livelli di velocità stimati per lo scenario 1/b

- per lo scenario 2 relativo alla realizzazione della paratia il limite di 15mm/s non viene raggiunto.

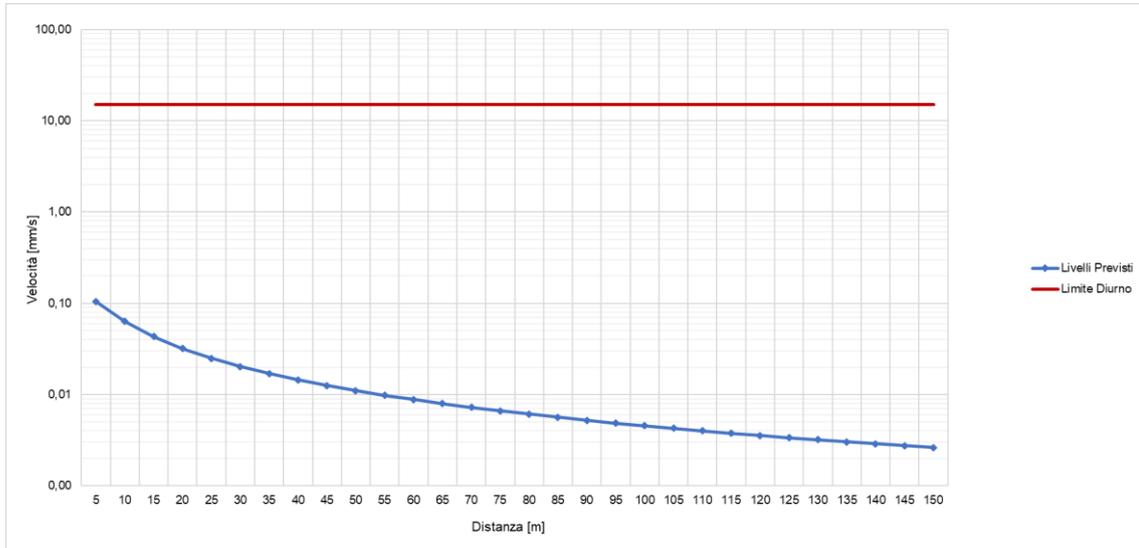


Figura 20 – Propagazione dei livelli di velocità stimati per lo scenario 2

- per lo scenario 3 delle attività di lavoro previste nel cantiere base (deposito materiale, frantumazione, vagliatura e betonaggio), il limite di 15mm/s non viene raggiunto.

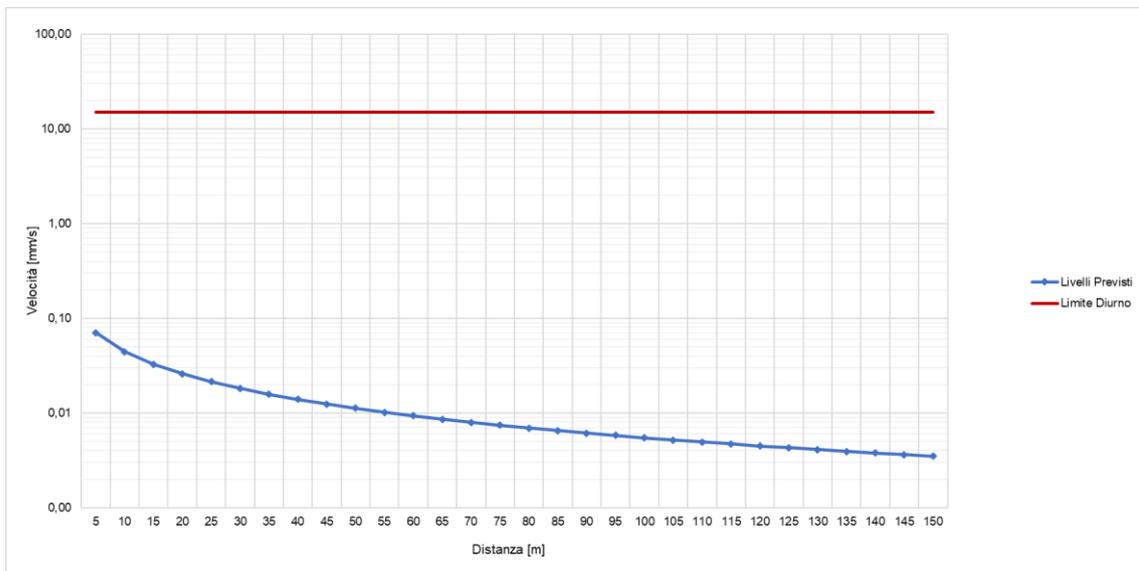


Figura 21 – Propagazione dei livelli di velocità stimati per lo scenario 3

- per lo scenario 4 delle attività di lavoro previste nei cantieri operativi (deposito materiale), il limite di 15mm/s non viene raggiunto.

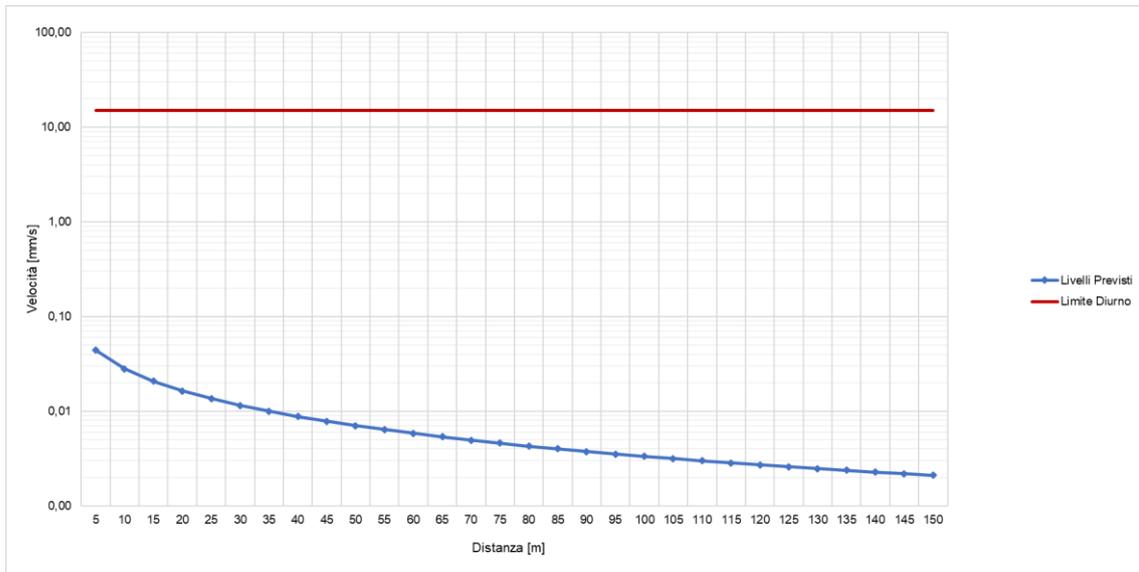


Figura 22 – Propagazione dei livelli di velocità stimati per lo scenario 4

Dalle simulazioni relative alla UNI 9916 non si individuano situazioni in cui dovrebbe essere superato il limite di 15mm/s previsto per edifici ad uso residenziale.

1.4.5 Taratura del modello

Al fine della validazione del modello di propagazione delle vibrazioni si è proceduto ad eseguire il confronto fra valori attesi, ricavati dalla simulazione, e valori rilevati sperimentalmente in un cantiere stradale analogo alla presente opera sia come mezzi impiegati che tipologia di suolo.

Di seguito la documentazione del rilievo eseguito.

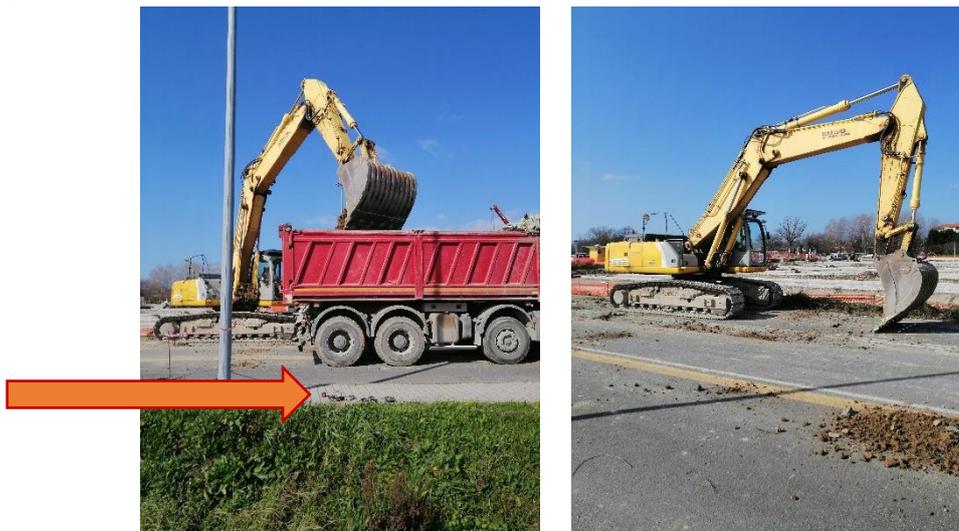


Figura 23 – documentazione fotografica rilievo, con la freccia indicata postazione di misura a circa 10 m

Di seguito le Time History, per ogni asse, del rilievo eseguito a circa 10 metri dalla lavorazione dell'escavatore. In rosso la linea del valore limite per abitazione in periodo diurno indicato dalla UNI 9614.

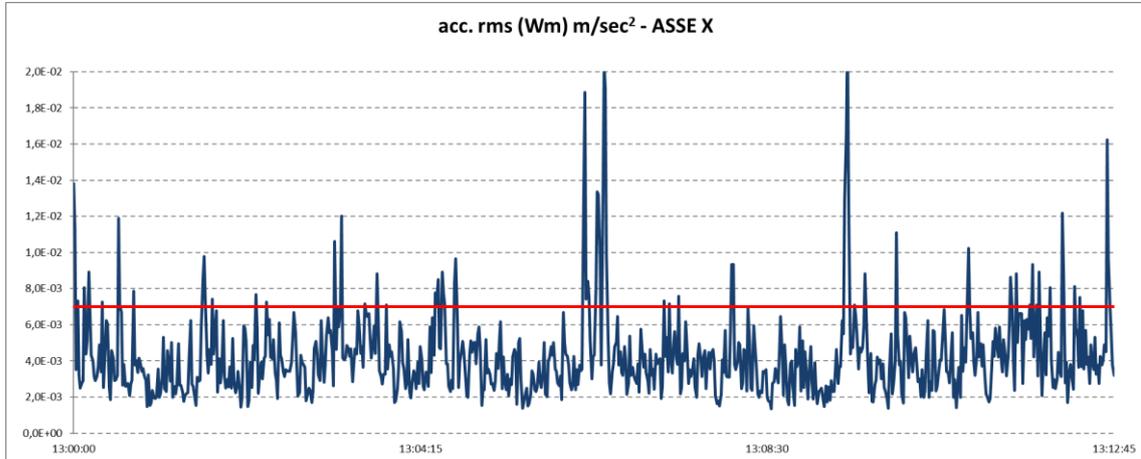


Figura 24 - Valore r.m.s. asse X, $a_w=73.8$ dB

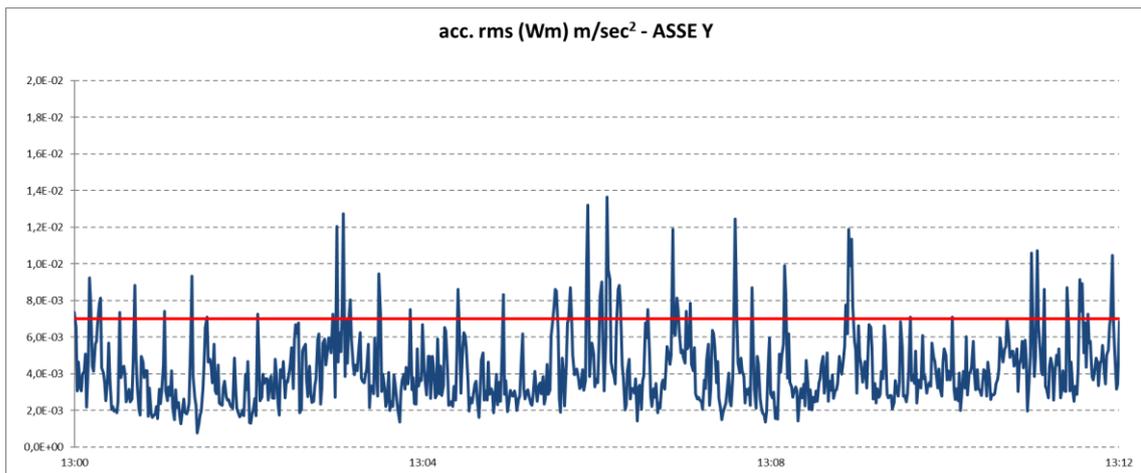


Figura 25 - Valore r.m.s. asse Y, $a_w=73.3$ dB

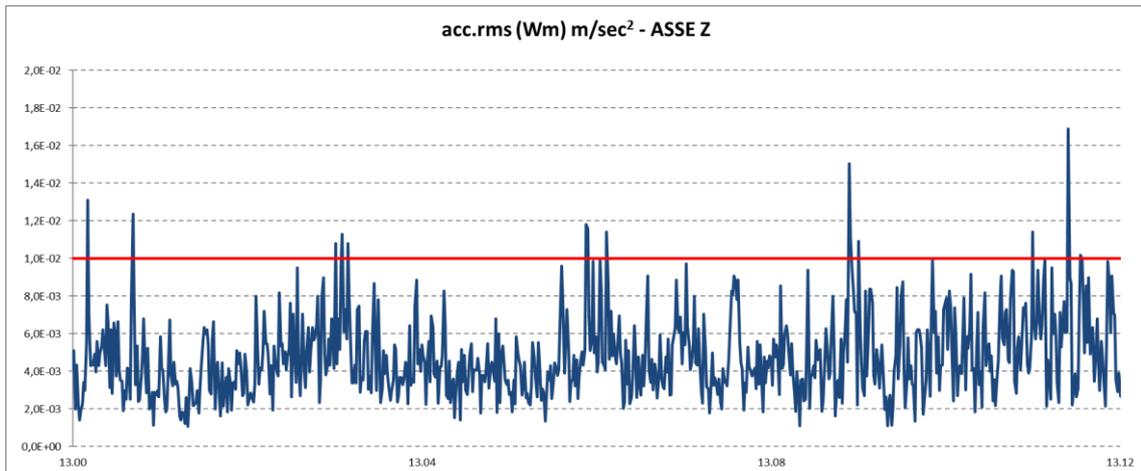
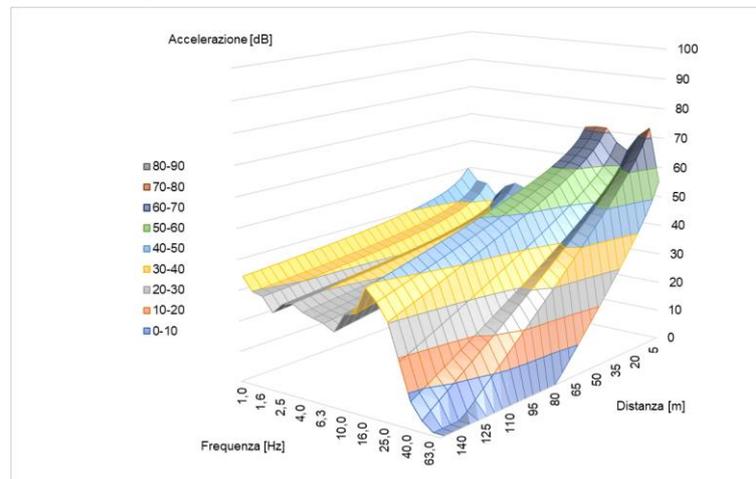


Figura 26 - Valore r.m.s. asse Z, $a_w=74.4$ dB

Tabella 7 – Sintesi dei risultati del rilievo a 10 metri dalla postazione di lavoro dell’escavatore

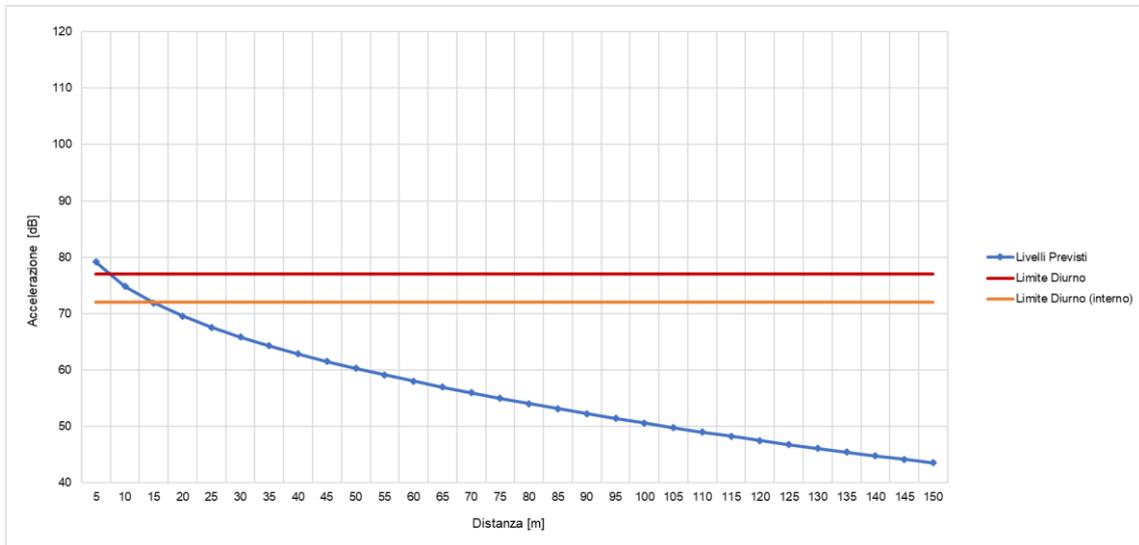
Asse di riferimento	Valore di accelerazione (dB)
Valore r.m.s. asse X, a_w	73.8 dB
Valore r.m.s. asse Y, a_w	73.3 dB
Valore r.m.s. asse Z, a_w	74.4 dB

Dall’applicazione del modello di propagazione, utilizzando la sorgente escavatore e considerando il terreno di tipo consolidato, appartenente alla Classe II e di categoria C, si ottiene la seguente propagazione dello spettro nel piano.



Dalla valutazione sulla propagazione delle vibrazioni si ottiene che a 10 metri, il valore predetto, risulta essere di 74,9 dB.

Di seguito il grafico della propagazione dell’accelerazione in funzione della distanza.



Di seguito la tabella di confronto fra valore predetto e misurato. Il confronto sarà eseguito per l'asse Z.

Tabella 8 – Confronto fra valore predetto e misurato

Asse di riferimento	Valore di accelerazione misurato a 10 m	Valore di accelerazione predetto a 10 m	Differenza tra valore previsto e misurato
Valore r.m.s. asse Z, a_w	74.4 dB	74.9 dB	+0.5 dB

Dal confronto fra valore misurato e predetto si determina che il modello sovrastima il valore di propagazione delle vibrazioni di +0.5 dB. Tale valore conferma la bontà del modello.

Si rammenta che il modello di propagazione delle vibrazioni può presentare differenza maggiori tra risultati predetti e misurati in campo, in funzione della composizione effettiva del mezzo di propagazione delle onde (terreno). In presenza di singolarità (condotte, sottoservizi, ecc) o variazioni di caratteristiche del suolo (lenti di argilla, acquiferi, ecc) si potrebbero avere variazioni della propagazione del moto delle onde, le quali implicherebbero inevitabili variazioni tra valori predetti e valori reali riscontrati in campo.

1.5 VALUTAZIONE

1.5.1 Interazione opera – ambiente

L'analisi dell'impatto ambientale viene condotta analizzando le ripercussioni su questo aspetto ambientale in termini di quantità (il livello vibrazionale atteso sui ricettori), di severità (la frequenza e la durata degli eventuali impatti) e di sensibilità (in termini di presenza di ricettori residenziali e sensibili che subiscono gli impatti).

Dal punto di vista quantitativo, i livelli di vibrazione attesi durante i lavori di realizzazione delle opere in progetto evidenziano la possibilità che vengano ad essere presenti fenomeni di annoyance,

entro il limite ridotto di 72 dB, a distanze inferiori ai 40 metri dalle macchine operatrici per tutti gli scenari valutati a meno nel caso dell'attività di rullatura che aumenta tale distanza a 120 metri.

Di seguito la tabella di sintesi dei risultati relativamente ai limiti della UN 9614 per abitazione.

Scenario	Limite diurno per abitazioni (77 dB)	Limite diurno ridotto per abitazioni (72 dB)
scenario 1/a identificante la fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali con rullatura	75 m	120 m
scenario 1/b identificante la fase di scavo della trincea, realizzazione rilevato e movimentazioni materiali senza rullatura	15 m	30 m
scenario 2 relativo alla realizzazione della paratia	25 m	40 m
scenario 3 delle attività di lavoro previste nel cantiere base (deposito materiale, frantumazione, vagliatura e betonaggio)	20 m	35 m
scenario 4 delle attività di lavoro previste nei cantieri operativi (deposito materiale)	10 m	25 m

Si rende pertanto necessario approntare un idoneo sistema di monitoraggio vibrazionale da attuarsi in corrispondenza delle aree dove queste lavorazioni risultano più prossime a ricettori.

In termini di disturbo alle persone va evidenziato come in generale tutte le lavorazioni che danno origine a vibrazioni e che potrebbero arrecare disturbo ai residenti prossimi alle aree di lavoro si svolgono in orario diurno, cui corrispondono comunque limiti di disturbo più elevati di quelli relativi alle ore notturne. In merito ai limiti indicati dalla UNI 9916 non si evidenziano situazioni di criticità.

In termini di severità, l'impatto atteso si estenderà alla sola limitata durata dei lavori e sarà, quindi, limitato nel tempo.

Infine, in termini di sensibilità del territorio, l'impatto delle vibrazioni potrà essere risentito in particolare presso i ricettori residenziali prossimi ai tratti di linea in cui è prevista la realizzazione delle paratie e nella fase in cui è prevista la rullatura.

Dunque, considerando la presenza di diversi ricettori, residenziali e non, a ridosso delle aree di lavoro, la sensibilità del territorio può essere valutata come significativa solo nel momento in cui le lavorazioni siano prossime agli edifici.

1.5.2 Mitigazioni ambientali

Per la componente in esame non sono prevedibili interventi di mitigazione propriamente detti, dal momento che le attività previste a progetto non determineranno un impatto significativo diffuso nel territorio, ma solo significativo nel momento in cui le lavorazioni siano molto prossime agli edifici. Per questo sarà utile predisporre un'adeguata comunicazione con i residenti al fine di informare sul possibile disagio legato alle attività.

1.5.3 Procedure operative

Al fine di contenere i livelli vibrazionali generati dai macchinari, è necessario agire sulle modalità di utilizzo dei medesimi e sulla loro tipologia e adottare semplici accorgimenti, quali quelli di tenere i mezzi in stazionamento a motore acceso il più possibile lontano dai ricettori.

La definizione di misure di dettaglio è demandata all'Appaltatore, che per definirle dovrà basarsi sulle caratteristiche dei macchinari da lui effettivamente impiegati e su apposite misure. In linea indicativa, l'Appaltatore dovrà:

- rispettare la norma di riferimento ISO 2631, recepita in modo sostanziale dalla UNI 9614, con i livelli massimi ammissibili delle vibrazioni sulle persone;
- contenere i livelli vibrazionali generati dai macchinari agendo sulle modalità di utilizzo dei medesimi e sulla loro tipologia;
- definire le misure di dettaglio basandosi sulle caratteristiche dei macchinari da lui effettivamente impiegati;

Nel caso che per alcuni ricettori le attività legate alle lavorazioni più impattanti siano incompatibili con la loro fruizione, dovrà essere attuata una procedura operativa che consenta di evitare lavorazioni impattanti negli orari e nei tempi di utilizzo dei ricettori.