

Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Orientale
Porti di Trieste e Monfalcone

PROGETTO AdSP n. 1951

Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste

CUP: C94E21000460001

Progetto di Fattibilità Tecnico Economica Fascicolo A– intervento PNC da autorizzare

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:	
arch. Gerardo Nappa	AdSP MAO
arch. Sofia Dal Piva	AdSP MAO
arch. Stefano Semenic	AdSP MAO
ing. Roberto Leoni	BITECNO S.r.l.
ing. Saturno Minnucci	MINNUCCI ASSOCIATI S.r.l.
ing. Dario Fedrigo	ALPE ENGINEERING S.r.l.
ing. Andrea Guidolin p.i. Furio Benci	SQS S.r.l.
ing. Sara Agnoletto	HMR Ambiente S.r.l.
p.i. Trivellato, dott. G. Malvasi, dott. S. Bartolomei	p.i. Antonio Trivellato d.i.
dott. Gabriele Cailotto ing. Anca Tamasan	NEXTECO S.r.l.
ing. Sebastiano Cristoforetti	CRISCON S.r.l.s.
ing. Tommaso Tassi	F&M Ingegneria S.p.A.
ing. Michele Titton	ITS s.r.l.
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Paolo Crescenzi	

NOME FILE: <i>IGNR_P_R_D-AMB_1GE_962-02-00</i>	SCALA: ---
TITOLO ELABORATO: VALUTAZIONE PREVISIONALE DEL LIVELLO VIBRATORIO – OPERE DI FASCICOLO A	ELABORATO: <i>IGNR_P_R_D-AMB_1GE_962-02-00</i> <u>NUOVA EMISSIONE</u>

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/02/2024	Definitivo	S.Bartolomei	S. Dal Piva	G.Nappa



Sommario

1	PREMESSA.....	5
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	10
3	INFORMAZIONI IDENTIFICATIVE E DI CARATTERE GENERALE.....	24
3.1	DESCRIZIONE DELL'AREA IN ESAME.....	24
3.2	CLASSIFICAZIONE VIBRATORIA.....	26
3.3	OSSERVAZIONI SUGLI INTERVENTI DA REALIZZARE.....	26
4	METODICA PREVISIONALE DEL LIVELLO VIBRAZIONALE.....	27
4.1	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEI TERRENI DELL'AREA.....	27
4.2	STUDI GEOGNOSTICI UTILI ALLA CARATTERIZZAZIONE DEL MODELLO.....	29
4.2.1	<i>Elementi base dello studio dei fenomeni vibratorii.....</i>	<i>29</i>
4.2.2	<i>Propagazione delle vibrazioni nel terreno.....</i>	<i>31</i>
4.2.3	<i>Fattore di smorzamento viscoso dei terreni da prove sismiche in sito.....</i>	<i>33</i>
4.3	VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELLE VIBRAZIONI.....	34
4.4	METODOLOGIA DI ACQUISIZIONE ED ANALISI DEI LIVELLI VIBRAZIONALI.....	36
4.5	PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NELLE STRUTTURE EDILIZIE.....	36
4.6	ACCOPPIAMENTO TERRENO – FONDAZIONI EDIFICIO.....	37
4.7	RISONANZE STRUTTURALI DEI SOLAI	38
4.8	INDIVIDUAZIONE DELLE VIBRAZIONI TRASMESSE AI RICETTORI E STIMA DELLA RISPOSTA VIBRAZIONALE.....	41
4.9	MODELLO PREVISIONALE UTILIZZATO.....	44
4.9.1	<i>Specifiche generali di calcolo.....</i>	<i>44</i>
4.9.2	<i>Specifiche di calcolo vibrazioni realizzazione setti trivellati</i>	<i>45</i>
5	CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE DI STUDIO.....	48
5.1	IDENTIFICAZIONE DELLE PRINCIPALI SORGENTI VIBRATORIE.....	48
5.1.1	<i>Traffico stradale.....</i>	<i>48</i>
5.1.2	<i>Traffico ferroviario.....</i>	<i>49</i>
5.1.3	<i>Realizzazione setti trivellati.....</i>	<i>49</i>
5.1.4	<i>Attività di cantiere.....</i>	<i>50</i>
5.2	IDENTIFICAZIONE DEI RECETTORI	52
5.2.1	<i>Mappa recettori.....</i>	<i>53</i>
5.3	STIMA DEI LIVELLI VIBRATORI AI RECETTORI NELLE CONDIZIONI ATTUALI CON SORGENTE: TRAFFICO FERROVIARIO E STRADALE.....	54
5.4	STIMA DEI LIVELLI VIBRATORI AI RECETTORI DURANTE L'ATTIVITÀ DI TRIVELLAZIONE DEL SETTO IMPERMEABILE.....	59



5.5 MISURA DEI LIVELLI VIBRATORI DURANTE ATTIVITÀ DI CANTIERE.....	61
5.5.1 attività di trivellazione e di cantiere.....	61
5.6 MISURA DEI LIVELLI VIBRATORI AI RICETTORI NELLE CONDIZIONI ATTUALI	66
5.7 STIMA DEI LIVELLI VIBRATORI NELLE CONDIZIONI DI ESERCIZIO.....	69
6 ESITO DELL'ANALISI VIBRAZIONALE.....	70
7 BIBLIOGRAFIA.....	74

Sommario figure

FIGURA 1 SCHEMATIZZAZIONE DEI FENOMENI VIBRATORI.....	7
FIGURA 2 IDENTIFICAZIONE CORRETTA DEI PUNTI DI MISURA.....	12
FIGURA 3 VISTA DI TRIESTE	24
FIGURA 4 VISTA DI TRIESTE.....	25
FIGURA 5 AREA DI INTERVENTO.....	25
FIGURA 6 ESTRATTO INDIVIDUAZIONE INTERVENTI FASCICOLO A.....	26
FIGURA 7 ESTRATTO DALLA CARTA DELLE LITOLOGIA DEL P.R.G. DI TRIESTE... 	27
FIGURA 8 ESTRATTO DALLA CARTA DELLE LITOLOGIA DEL P.R.G. DI TRIESTE... 	28
FIGURA 9 LEGENDA DALLA CARTA DELLE LITOLOGIA DEL P.R.G. DI TRIESTE.....	28
FIGURA 10 PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI VOLUME E DI SUPERFICIE E LORO ATTENUAZIONE CON LA DISTANZA.....	31
FIGURA 11 ANDAMENTO DELLO SMORZAMENTO NORMALIZZATO TRATTO DA PROVE SISMICHE ACQUISITE.....	34
FIGURA 12 RISPOSTA DELLE FONDAZIONI PER DIVERSE TIPOLOGIE DI EDIFICI (FONTE: FTA, USA).....	38
FIGURA 13 ATTENUAZIONE DELLE VIBRAZIONI DA UN PIANO AL SUCCESSIVO. 	38
FIGURA 14 AMPLIFICAZIONE PRODOTTA DAI SOLAI.....	39
FIGURA 15 FATTORI CORRETTIVI ADOTTATI IN FUNZIONE ALLA TIPOLOGIA DI FONDAZIONE.....	43
FIGURA 16 POSIZIONE RICETTORI R1-R3.....	53
FIGURA 17 POSIZIONE RICETTORI R5-R8.....	53
FIGURA 18 POSIZIONE RICETTORI R9-R16-R20.....	53
FIGURA 19 POSIZIONE RICETTORI VIBRAZIONI COSTRUZIONE SETTO.....	59
FIGURA 20 ANDAMENTO VIBR. CON LA DISTANZA PER LE LITOLOGIE.....	60
FIGURA 21 PERFORATRICE LIEBHERR MODELLO BAT410.....	62
FIGURA 22 PALA GOMMATA CAT 926.....	62
FIGURA 23 SPETTRO VIBRAZ. TRIVELLAZIONE DA BIBLIOG.TECNICA.....	63
FIGURA 24 ATTENUAZIONE CON DISTANZA VIBRAZ. TRIVELLA LIEBHERR.....	63



FIGURA 25 ATTENUAZIONE CON DISTANZA VIBRAZ. TRIVELLA DA BIBLIOG.....	63
FIGURA 26 ATTENUAZIONE CON DISTANZA VIBRAZ. TRIVELLA BAT410.....	63
FIGURA 27 VISIONE DEI RECETTORI E POSIZIONE MISURE VIBROMETRICHE....	67

Sommario tabelle

TABELLA 1 RANGE DELLE RISPOSTE STRUTTURALI DEGLI EDIFICI	8
TABELLA 2 LIMITI UNI9614-2017.....	17
TABELLA 3 LIMITI UNI9916-2014 LIMITI VIBRATORI DI BREVE DURATA.....	22
TABELLA 4 LIMITI UNI9916-2014 LIMITI VIBRATORI PERMANENTI.....	23
TABELLA 5 CARATTERISTICHE DEI TERRENI:.....	33
TABELLA 6 CLASSI GEOLITOLOGICHE DEL SITO.....	35
TABELLA 7 FREQUENZE NATURALI DI VIBRAZIONE.....	40
TABELLA 8 TIPOLOGIA DELLE FONDAZIONI E FATTORE CORRETTIVO.....	42
TABELLA 9 VALORI DEL COEFF. DI ATTENUAZIONE PER DIVERSE SORGENTI....	44
TABELLA 10 PRINCIPALI PARAMETRI DEI TIPI DI TERRENO	45
TABELLA 11 DISTANZE DI IMPATTO RECETTORI VIBRAZIONALI.....	51
TABELLA 12 ELENCO RICETTORI CONSIDERATI.....	52
TABELLA 13 VALORI DI ACC. VIBRATORIA CALCOLATA AI RECETTORI.....	55
TABELLA 14 LIV. ACC. CALCOLATA AI RICETTORI TRIVELLAZIONE SETTO.....	60
TABELLA 15 VALORI VIBRATORI MISURATI IN FASI DI CANTIERE.....	64
TABELLA 16 DISTANZA MINIMA A CUI IL MEZZO NON È PIÙ IMPATTANTE.....	65
TABELLA 17 TABELLA DEI VAL. DI ACCELERAZIONE MISURATI AI RECETTORI... 	66
TABELLA 18 LIVELLI DI ACCELERAZIONE MISURATI AI RECETTORI E LIMITI.....	67



1 PREMESSA

La presente relazione è funzionale allo Studio di Impatto Ambientale della Progettazione delle opere ferroviarie, stradali e portuali previste dall'art.6 dell'Accordo di Programma per l'attuazione del "Progetto Integrato di messa in sicurezza, riconversione industriale e sviluppo economico produttivo nell'area della ex ferriera di Servola e su alcune infrastrutture di trasporto.

Nell'ambito del Piano Regolatore del Porto di Trieste è prevista un'espansione verso Sud della zona del porto franco. L'obiettivo di tale intervento è riconvertire l'attività produttiva siderurgica alla funzione portuale e di potenziare il polo logistico a servizio dell'economia del territorio.

Un team di progettazione multidisciplinare ha sviluppato il progetto integrato relativo alla nuova opera marittima e alle annesse infrastrutture stradali e ferroviarie, secondo una pianificazione che si sviluppa su più fasi successive.

Il presente studio di impatto vibrazionale, redatto secondo le modalità indicate dalla norma UNI 9614-2017, sviluppa le analisi fatte nel precedente studio (rif. Documento 1GNR_P-1GE-D-AMB-961-02-00) e le integra con i dati sperimentali acquisiti durante la campagna di indagini vibrometriche fatte in vari punti del cantiere e dell'abitato di Servola in corrispondenza dei punti recettori.

I recettori presenti nell'area di indagine sono stati raggruppati in gruppi omogenei, sulla base delle caratteristiche del sito, della morfologia e della geologia e della destinazione d'uso, e per ognuno dei quali si è assunto un recettore rappresentativo e maggiormente esposto.

In corrispondenza dei recettori più esposti si è provveduto a misurarne il livello vibrazionale nelle condizioni operative attuali ed a stimarne il livello nelle condizioni operative di progetto e di post operam.

Per facilitare l'identificazione dei recettori, si è mantenuta, per quanto possibile, la stessa numerazione utilizzata per le misure fonometriche, in modo da poter identificare il medesimo recettore con un codice univoco.

L'analisi vibrazionale è stata sviluppata mediante una valutazione ragionata delle caratteristiche del sito, della morfologia e della geologia dell'area; si sono altresì valutate le caratteristiche delle sorgenti vibratorie che verranno utilizzate durante lo sviluppo del progetto in fase di cantiere e del possibile impatto dell'opera a regime.



Si evidenzia tuttavia che la norma UNI 9614-2017 non da alcuna indicazione su come effettuare una valutazione previsionale dei fenomeni vibratorii. La norma fornisce indicazioni sulla corretta metodologia di misura e di valutazione di fenomeni vibratorii esistenti, di cui bisogna valutarne il valore in riferimento al disturbo che può arrecare alle persone.

In particolare si evidenzia che il presente studio è basato sull'analisi di spettri vibrazionali acquisiti in sito e sul confronto ed analisi di spettri vibrazionali tratti da studi precedenti e da fonti bibliografiche riportati nella precedente relazione (rif. Documento 1GNR_P-1GE-D-AMB-961-02-00).

Lo studio previsionale è stato sviluppato analizzando la firma spettrale delle varie sorgenti di vibrazioni che è stata applicata alle tipologie dei terreni presenti nell'area e sulla base di questi caratteri sono state calcolate le curve di attenuazione specifiche per ogni tipologia di terreno e sorgente.

Sulla base di questo si è potuto stimare l'andamento del livello delle vibrazioni per distanze comprese tra 10 e 200 m dalla sorgente, ad intervalli di 10 m.

Conoscendo come il fenomeno vibratorio si propaga nel sottosuolo si è potuto quindi valutare in corrispondenza degli edifici (recettori) il livello di vibrazioni che raggiunge le fondazioni degli stessi e che quindi si propaga attraverso la struttura degli stessi fino ai piani superiori.

Sulla base di questi livelli calcolati si è potuto verificarne il valore massimo ipotizzabile e confrontarlo con i limiti previsti dalla norma UNI 9614-2017.

L'analisi tuttavia, per quanto più possibile conforme alle caratteristiche del sito e delle macchine operatrici in opera, mantiene un certo grado di indeterminazione, essendo l'analisi sviluppata su di un modello di sottosuolo, per forza di cose semplificato ed analizzato per punti discreti. La propagazione delle vibrazioni all'interno dello stesso pertanto è soggetta ad un ampio numero di variabili di cui alcune non note e/o difficilmente valutabili in modo dettagliato.

Le differenze litostratigrafiche locali, spessori differenti della copertura detritico terrosa, zone di fratturazione del substrato roccioso, ma anche paratie, setti, cavità, gallerie, sottoservizi sono solo alcune delle possibili interferenze che un fenomeno vibratorio diffondendosi nel sottosuolo può incontrare e che possono cambiare il modo di manifestarsi delle vibrazioni in un recettore.



Per coerenza con lo studio relativo all'impatto acustico si è mantenuta la stessa numerazione dei recettori, e per quanto possibile anche le misure sono state fatte in punti analoghi, pur se talora con leggere differenze di posizione per lo più legate alla necessità di trovarsi in condizioni tali da garantire delle misure vibrometriche significative e non disturbate da elementi antropici sotterranei.

L'analisi vibrazionale è stata sviluppata nel suo insieme mediante una valutazione ragionata delle caratteristiche del sito, della morfologia e della geologia dell'area; si sono altresì valutate le caratteristiche delle sorgenti vibratorie che verranno utilizzate durante lo sviluppo del progetto in fase di cantiere e del possibile impatto dell'opera a regime.

Il presente studio per la valutazione del disturbo indotto da vibrazioni fa riferimento alla norma UNI 9614-2017, pur mantenendo un riferimento con la precedente versione della norma UNI 9614-1990 in quanto utilizzata come riferimento nella precedente relazione (rif. Documento 1G NR_P-1GE-D-AMB-961-02-00).

La propagazione delle vibrazioni dipende dalle caratteristiche litologiche e morfologiche del sito, le componenti a bassa frequenza sono meno attenuate con la distanza rispetto alle componenti ad alta frequenza.

La propagazione delle vibrazioni nel sottosuolo pertanto è strettamente dipendente dalle caratteristiche del sito e della sorgente.

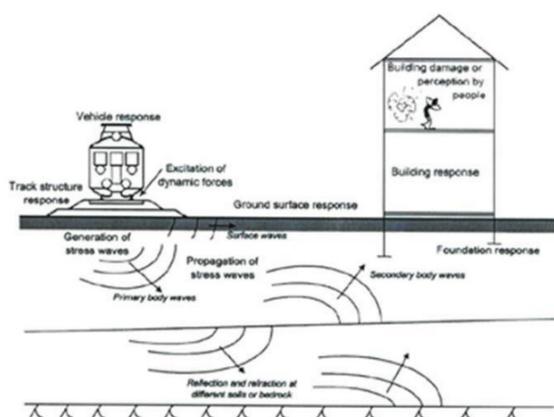


Figura 1 - Schematizzazione della generazione e propagazione di fenomeni vibratorii



Lo studio vibrazionale è stato sviluppato nelle seguenti fasi:

- ✓ Inquadramento generale dell'area: Inquadramento delle caratteristiche generali dell'area di studio e delle caratteristiche delle opere in progetto;
- ✓ Censimento Recettori: l'identificazione degli edifici limitrofi al tracciato; la destinazione d'uso; la tipologia; il numero di piani;
- ✓ Stima distanza sorgente-recettore: la stima della distanza tra sorgente ed il punto più vicino dell'edificio a livello p.c.;
- ✓ Caratterizzazione vibrometrica delle macchine di cantiere e di sito;
- ✓ Caratterizzazione geotecnica/geodinamica del suolo: è stata consultata la documentazione geotecnica contenente le prove geognostiche fatte per lo studio dell'area;
- ✓ Analisi dei dati acquisiti in sito e valutazione delle curve di attenuazione con la distanza per le varie tipologie di suolo;
- ✓ Calcolo dei livelli vibrazionali misurati e confronto con i livelli di riferimento indicati nelle linee guida della Norma UNI 9614-2017;
- ✓ Previsione dello scenario di progetto: Valutazione dell'Impatto Vibratorio sulla base delle misure in sito e sulla analisi dei dati previsionali analizzati nella precedente relazione tecnica e confronto con i limiti indicati dalle norme per i vari tipi di recettori presenti nell'area;
- ✓ Campagna di misure vibrazionali all'interno dell'area di cantiere in concomitanza di attività di cantiere ed in prossimità dei recettori nelle aree di Servola e limitrofe.

In particolare quest'ultimo punto si è articolato nelle seguenti fasi di misura:

- Misure vibrometriche all'interno dell'area cantiere durante l'uso di mezzi che saranno utilizzati in modo esteso durante le fasi di costruzione quali:
 - Macchina perforatrice LIEBHERR modello BAT410 con cingoli gommati predisposta per la trivellazione di pali da 0.88m;
 - Pala gommata piccola Cat 926M, 930M e 938M, utilizzata per lo sgombero dei terreni di risulta dal processo di trivellazione
 - altre lavorazioni di cantiere;
- Misure vibrometriche ambientali all'esterno dell'area cantiere, nei punti dei recettori valutati nel precedente studio e nelle aree perimetrali più esposte al cantiere.



Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001

Pag. 9 di 114

Tab.1: - Range delle risposte strutturali degli edifici a differenti tipi di sollecitazioni

Vibration source	Frequency range ^a Hz	Amplitude range μm	Particle velocity range mm/s	Particle acceleration range m/s^2	Time characteristic
Traffic road, rail, ground-borne	1 to 100	1 to 200	0,2 to 50	0,02 to 1	C ^b /T ^c
Blasting vibration ground-borne	1 to 300	100 to 2 500	0,2 to 100	0,02 to 50	T
Air over pressure	1 to 40	1 to 30	0,2 to 3	0,02 to 0,5	T
Pile driving ground-borne	1 to 100	10 to 50	0,2 to 100	0,02 to 2	T
Machinery outside ground-borne	1 to 100	10 to 1 000	0,2 to 100	0,02 to 1	C/T
Machinery inside	1 to 300	1 to 100	0,2 to 30	0,02 to 1	C/T
Human activities inside	0,1 to 30	5 to 500	0,2 to 20	0,02 to 0,2	T
Earthquakes	0,1 to 30	10 to 10 ⁵	0,2 to 400	0,02 to 20	T
Wind	0,1 to 10	10 to 10 ⁵	—	—	T
Acoustic (inside)	5 to 500	—	—	—	C/T

NOTE 1 The ranges quoted are extreme, but they still indicate the values which may be experienced and which may have to be measured (see also Note 2). Extreme ranges of displacement amplitudes and frequencies have not been used to derive particle velocities and accelerations. Values lower than 0,2 mm/s can also be considered. For building security and human annoyance, these values may be insignificant, but for sensitive equipments they are significant.

NOTE 2 Vibration values within the given ranges may cause concern. There are no standards which cover all varieties of structures, conditions and durations of exposure, but many national codes associate the threshold of visible (or otherwise noticeable) effects with peak particle velocities at the foundation of a structure of more than a few millimetres per second. A significant damage is linked to peak particle velocities of several hundred millimetres per second. Vibration levels below the threshold of human perception may be of concern in delicate and industrial processes.

^a Ranges quoted refer to the response of structures and structural elements to a particular type of excitation and are indicative only.
^b Continuous.
^c Transient.



2 RIFERIMENTI NORMATIVI

A livello nazionale non esiste al momento una norma che stabilisca valori limite per l'esposizione alle vibrazioni, in ambito non lavorativo, è tuttavia universalmente riconosciuta la competenza in materia da parte dell'UNI - Milano, ente preposto alla redazione della normativa tecnica in ambito nazionale.

L'UNI ha pubblicato negli anni una completa serie di norme (nazionali e/o recepimenti di norme internazionali) che coprono l'intera problematica delle vibrazioni negli edifici: la valutazione del disturbo alle persone, la valutazione del danno strutturale, l'implementazione della metodologia di misura ecc..

In particolare, la norma di interesse per il presente studio di impatto vibrazionale è la:

UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".

La norma, come già illustrato, riguarda il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne o esterne agli edifici ed i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi.

Nel 2017 la UNI 9614 ha subito un aggiornamento con l'introduzione della valutazione del disturbo vibratorio introducendo un approccio innovativo e diverso nelle modalità di valutazione dei disturbi da vibrazione ed ampliando i campi dei limiti per le tipologie di recettori, rispetto alla UNI 9614-1990.

La nuova versione della norma modifica in modo sostanziale la vecchia, facendo riferimento alla norma ISO 2631.2:2003, per i metodi di misura e valutazione, ed alla norma norvegese NS 8176.E.

Le due revisioni della norma tuttavia rimangono confrontabili nei limiti di accelerazione ponderata in frequenza come evidenziato nelle seguenti tabelle che evidenziano i valori limite assunti per le due revisioni.

La norma è applicabile a tutti i fenomeni che possono originare vibrazioni negli edifici, come, ad esempio, traffico su gomma o su rotaia, attività industriali o di specifici macchinari, attività di cantiere, esplosioni, ecc.; non è invece applicabile a vibrazioni derivanti da fenomeni sismici, alla valutazione di danni strutturali, architettonici o "cosmetici" agli edifici, per la quale esistono altre norme di riferimento, all'esame di problematiche connesse all'igiene sul lavoro, o alle attività di manutenzione preventiva/predittiva di macchinari o di influenza su strumenti particolarmente sensibili.



Non si applica inoltre a casi di frequenze vibrazionali inferiori al terzo di banda d'ottava centrato a 1 Hz.

Anzitutto la nuova norma 9614:2017 distingue i tipi di sorgenti in base a:

- Posizione: interna o esterna agli edifici;
- Funzione: per sorgenti legate ad "attività essenziali" di pubblico servizio, per le quali un'eventuale disattivazione potrebbe generare un'interruzione di pubblico servizio con danni a persone, cose o attività, possibili pericoli o problemi di ordine pubblico, ecc (ospedali, gasdotti, elettrodotti, acquedotti, ecc); per sorgenti legate ad "attività non interrompibili", per le quali non è possibile, a meno di interventi di manutenzione programmata o straordinaria, interrompere in tempi rapidi l'attività senza produrre danni o pericoli o alterazioni di prodotto (sorgenti industriali e/o a ciclo continuo, impianti di produzione/distribuzione di energia, sistemi di trasporto pubblico); per sorgenti "di altra natura"
- Caratteristiche di durata delle vibrazioni prodotte: per sorgenti continue o semicontinue (impianti industriali); per sorgenti intermittenti presenti per gran parte della giornata (strade, metropolitane, ferrovie); per sorgenti intermittenti presenti per una parte limitata della giornata (ascensori interni a un edificio); per sorgenti temporanee presenti per gran parte della giornata (cantieri); per sorgenti temporanee presenti per una parte limitata del giorno.

La classificazione di cui sopra viene proposta come descrittore univoco per l'identificazione dei fenomeni.

Le misure devono essere eseguite dopo un'analisi accurata dei fenomeni osservati, condotta sulla base degli aspetti legati alla tipologia di sorgente e di edificio, ed alle posizioni dei recettori e relativi tempi di permanenza.

La grandezza cinematica di riferimento rappresentativa del disturbo è individuata nell'accelerazione assoluta, che necessita di una misura diretta per mezzo di sensori accelerometrici, con misura simultanea sui tre assi ortogonali di riferimento per la struttura dell'edificio o del corpo umano (per convenzione: asse Z verticale).

Le postazioni di misura vanno individuate sulla base delle reali condizioni di utilizzo degli ambienti da parte degli abitanti, escludendo quindi eventuali ambienti di servizio (ripostigli, servizi igienici, cantine, solai, corridoi, giardini, vie di accesso, balconi/terrazzi, scale, pianerottoli e ambienti non abitabili secondo le vigenti normative indipendentemente dal loro reale uso). Le misure per la valutazione del disturbo alla persona vanno eseguite, in generale, sui pavimenti o, in subordine, su elementi strutturali che possono essere a diretto contatto con il corpo umano durante la normale attività all'interno dell'ambiente o su superfici di appoggio per



mobili utilizzati per il riposo, ma non su soffitti, controsoffitti, mensole, vetrate, suppellettili, mobili, letti e arredi in generale.

Vanno anche evitate posizioni di misura su superfici a scarsa aderenza con le strutture (piastrelle non aderenti al massetto), morbide e/o cedevoli (tappeti, moquette, ecc.) o per le quali l'ampiezza delle vibrazioni può derivare anche da cattivo stato di manutenzione.

Ovviamente i punti di misura devono essere individuati nei punti ove si rileva il più elevato dei valori efficaci di accelerazione ponderata $a_w(t)$, ma lontano da eventuali punti singolari.

La seguente Figura 2 mostra alcune possibili individuazioni di punti di misura adeguati o non adeguati alle valutazioni oggetto della norma in esame.

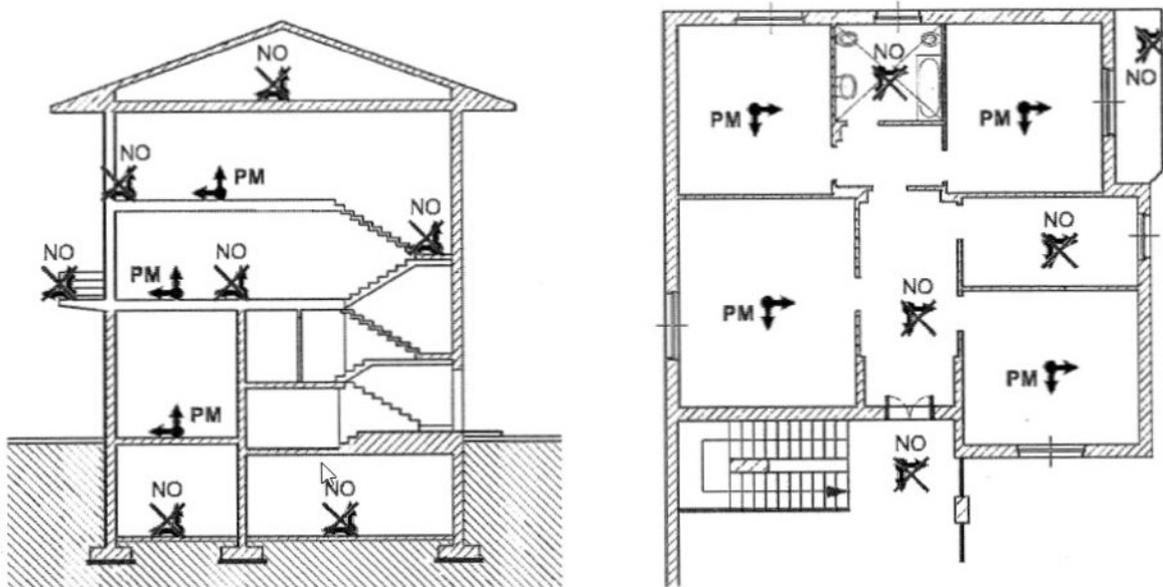


Figura 2: Individuazione corretta e non corretta dei punti di misura

La durata complessiva delle misure dipende dal numero di eventi necessario ad assicurare una ragionevole accuratezza statistica delle misure, tenendo conto sia della variabilità della sorgente che della natura dell'ambiente di misura.

Se l'esposizione è prodotta da fenomeni di diverso tipo presenti in diversi periodi, è necessario procedere ad un'analisi separata per ciascun periodo.

L'appendice A della norma fornisce criteri generali per l'individuazione degli eventi da prendere in considerazione nel caso di fenomeni connessi a traffico tramviario o stradale, attività di cantiere, sorgenti industriali, attività umane dirette e vibrazioni stazionarie ed ergodiche.

Per le misure, resta comunque fondamentale la verifica dell'effettiva ed esaustiva rappresentatività della situazione in esame.



- Per fenomeni caratterizzati da un elevato numero di eventi distinti: almeno 15 eventi;
- Per fenomeni generati da attività umane dirette con eventi distinguibili: almeno 25 eventi;
- Per fenomeni stazionari, ergodici o assimilabili che non danno luogo ad eventi distinti (attività industriali o attività umane dirette con eventi non facilmente distinguibili): almeno 25 eventi;
- Per fenomeni caratterizzati da un ridotto numero di eventi si possono eseguire misurazioni anche in giorni diversi per acquisire complessivamente i segnali relativi ad almeno 5 eventi;
- Gli eventi molto rari (indicativamente con occorrenza inferiore a un evento ogni due settimane) sono considerati "non disturbanti" ai fini della UNI 9614:2017, in virtù della loro scarsa incidenza temporale.

Per la determinazione del presunto disturbo vibrazionale generato da una specifica sorgente devono essere misurate sia le vibrazioni immesse che quelle residue. Le vibrazioni residue vanno misurate nello stesso punto e con le stesse modalità e criteri utilizzati per le vibrazioni immesse, considerando ricomprese nella componente residua le vibrazioni eventualmente rilevate in ambiente lavorativo e connesse all'attività produttiva o agli impianti al suo servizio.

Nel caso di sorgenti continue classificabili come attività essenziali di pubblico servizio, non è ovviamente possibile la misura delle vibrazioni residue, rendendo accettabile la misura delle sole vibrazioni immesse, ma mantenendo la possibilità di eseguire rilievi di vibrazioni residue in occasione di fermi per manutenzioni programmate o nel corso di fasi di ridotta attività, al fine di ottenere almeno una stima della componente vibrazionale residua.

Per le attività non interrompibili, ma non essenziali, la misura delle vibrazioni residue è invece richiesta mediante una disattivazione programmata delle sorgenti, previa una valutazione preliminare cautelativa della significatività delle vibrazioni residue stesse e del loro peso rispetto alle vibrazioni immesse.

Per sorgenti semi-continue, intermittenti o temporanee la misura delle vibrazioni residue è invece obbligatoria.

La strumentazione da utilizzare per la valutazione del disturbo da vibrazioni deve permettere, oltre che l'acquisizione e la registrazione del segnale accelerometrico, anche l'elaborazione in linea dei dati.

È accettato anche l'uso di sistemi di acquisizione dati con memorizzazione digitale della storia temporale accelerometrica con successiva post elaborazione off-line mediante specifico



software, dandone esplicita indicazione, rispondente comunque alle caratteristiche di analisi richieste dalla UNI EN ISO 8041-1.

Le caratteristiche metrologiche della catena di misura (curva di risposta in frequenza, dinamica del sistema di acquisizione, rumore di fondo, filtri "band limiting", ponderazione W_m , ecc.) devono essere conformi alla UNI EN ISO 8041-1. In particolare, si devono rispettare i seguenti requisiti:

- Sensibilità nominale non inferiore a $10\text{mV}/(\text{m}/\text{s}^2)$;
- Risposta in frequenza della catena di misura, comprensiva dell'acquisizione, lineare con tolleranza $\pm 5\%$ da 0.5 Hz a 250 Hz;
- Acquisizione digitale con frequenza di campionamento non minore di 1500 Hz, presenza di filtro anti-aliasing con frequenza non minore di 600 Hz, risoluzione preferenziale di 24 bit e minima di 16 bit;
- Valore efficace del rumore strumentale, dovuto a fenomeni casuali e non dipendenti né dalle vibrazioni immesse né da quelle residue, almeno cinque volte inferiore al minimo valore efficace dei segnali da misurare.

Per l'elaborazione delle misure ed il calcolo dei parametri del disturbo, la norma UNI 9614:2017 suggerisce un metodo sequenziale valido per tutti i tipi di sorgente ed adeguato a coprire sia fenomeni di media e breve durata, sia fenomeni impulsivi caratterizzati da un fattore di cresta molto elevato. L'elaborazione del segnale corrispondente ad ogni singolo evento monitorato comporta i seguenti passaggi:

1. Filtraggio con filtro passa banda e con filtro di ponderazione: l'accelerazione rilevata sui tre assi $a_x(t)$, $a_y(t)$ e $a_z(t)$ viene preliminarmente filtrata con un filtro passa banda ("band limiting"), con specifiche funzioni di trasferimento (§ punto 8.1.1 della norma), al fine di selezionare le frequenze significative per la risposta del corpo umano al disturbo. Successivamente si applica un filtro di ponderazione in frequenza che utilizza la curva W_m definita dalla ISO 2631-2, anch'esso con una specifica funzione di trasferimento (§ punto 8.1.2 della norma). Al termine del procedimento di filtraggio si ottiene. Per il j -esimo asse, l'accelerazione ponderata $a_{w,j}(t)$;

2. Calcolo del valore efficace dell'accelerazione assiale ponderata: per l'intera storia temporale del segnale ponderato, viene calcolato, secondo quanto indicato dalla norma UNI EN ISO 8041-1:2017 al punto D.1, l'andamento nel tempo del valore efficace dell'accelerazione ponderata, in riferimento a ciascun asse cartesiano, e per un intervallo di integrazione $\tau = 1$ s, secondo la seguente formulazione:



$$a_{w,rms,j}(t) = \left(\frac{1}{\tau} \times \int_{t-\tau}^t a_{w,j}^2(\xi) \times d\xi \right)^{0.5}$$

3. Calcolo dell'accelerazione ponderata totale efficace: viene eseguito per combinazione (secondo UNI ISO 2631-1:1997, punto 6.5, con $K_x=K_y=K_z=1$), istante per istante, a partire dalle tre accelerazioni assiali ponderate calcolate in precedenza secondo la seguente relazione:

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,rms,x}^2(t) + a_{w,rms,y}^2(t) + a_{w,rms,z}^2(t)}$$

Le precedenti tre fasi di calcolo sono riassunte nel seguente schema.

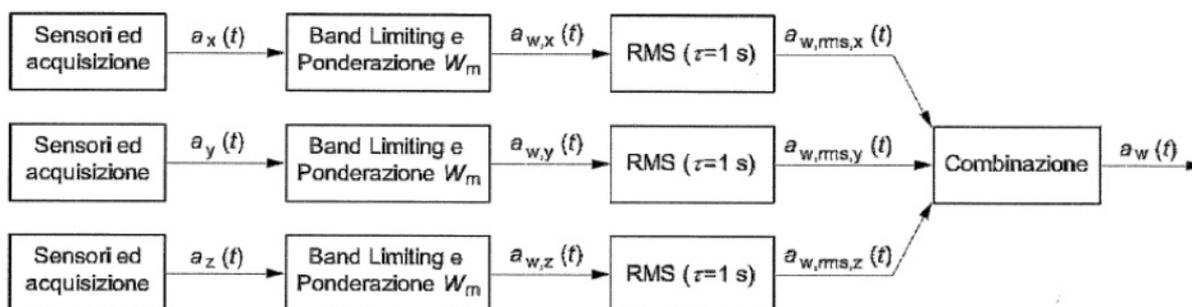


Figura 3: Schema di calcolo dell'accelerazione ponderata efficace secondo la UNI 9614:2017.

Dall'accelerazione ponderata efficace, $a_w(t)$, si possono poi ottenere le seguenti grandezze:

- a) Massima accelerazione ponderata, definita come il massimo livello di accelerazione ponderata efficace all'interno del singolo evento j-esimo, ovvero:

$$a_{w,max,j} = \max(a_w(t))$$

- b) Massima accelerazione statistica, $a_{w,95}$ data dalla seguente relazione:



$$a_{w,95} = \overline{a_{w,max}} + 1,8 \times \sigma$$

dove: **$a_{w,max,j}$** è il valore medio della massima accelerazione ponderata calcolato come media aritmetica delle massime accelerazioni ponderate **$a_{w,max,j}$** con **j** che rappresenta gli eventi considerati, ovvero:

$$\overline{a_{w,max}} = \frac{\sum_{j=1}^N a_{w,max,j}}{N}$$

σ è lo scarto tipo della distribuzione delle massime accelerazioni ponderate **$a_{w,max,j}$** calcolate mediante la seguente relazione:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (a_{w,max,j} - \overline{a_{w,max}})^2}{N - 1}}$$

Nel caso in cui non sia possibile misurare più di 5 eventi, non si ritiene attendibile il 95 così ottenuto, ed esso deve quindi essere stimato mediante la più elevata delle massime accelerazioni ponderate **$a_{w,max,j}$** relative agli N eventi misurati.

Inoltre, è possibile determinare anche le vibrazioni associate ad una specifica sorgente ritenuta fonte di disturbo mediante l'accelerazione ponderata massima statistica della sorgente, **V_{sor}** , da calcolare a partire dall'accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni immesse, **V_{imm}** , e dall'accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni residue, **V_{res}** , secondo la seguente relazione:

$$V_{sor} = \sqrt{V_{imm}^2 + V_{res}^2}$$

Per la determinazione del vero valore del parametro **$a_{w,95}$** si utilizza un procedimento di misure ripetute di vibrazioni su edifici, misure, per loro stessa natura, soggette, in generale, ad indeterminazione statistica derivante da incertezza strumentale, da quella relativa alla scelta delle postazioni di misura e da quella legata alla natura ed alle caratteristiche di variabilità del fenomeno in esame; dunque anche **$a_{w,95}$** sarà un parametro soggetto ad indeterminazione.

L'incertezza strumentale e quella legata alla scelta delle posizioni di misura sono ben caratterizzate nella UNI 9614:2017 e, per questo, sono, in generale, meno importanti dell'indeterminazione connessa alle specifiche caratteristiche del fenomeno vibratorio in esame.

Di conseguenza le incertezze globali delle determinazioni sono influenzate principalmente dall'incertezza sulle caratteristiche del fenomeno e quindi dalla natura della sorgente, dalle



modalità di generazione e di rilascio di energia vibrazionale e dalla proprietà fisico-meccaniche del mezzo entro il quale si propaga il fenomeno vibratorio, proprietà eventualmente anche variabili nel tempo.

In generale è quindi pressoché impossibile fornire indicazioni quantitative sull'incertezza del fenomeno vibratorio ed è quindi necessario valutare la dispersione dei dati mediante induzione motivata o l'esecuzione di misure in periodo diversi.

Ovviamente una significativa riduzione dell'indeterminazione può essere ottenuta con l'incremento del numero di eventi analizzati anche oltre le indicazioni fornite, in generale, dalla UNI 9614:2017 (punto 6.3).

Una volta determinato il parametro descrittore della vibrazione di una sorgente, **V_{SOR}**, è possibile confrontare i suoi valori con specifici limiti di disturbo caratteristici di diversi tipi di ambienti e di diversi periodi della giornata.

Tabella 2 limiti UNI9614-2017

Tipologia	UNI 9614-2017 valore limite V_{SOR} mm/s ² - (dB)
Ambiente ad uso lavorativo (1)	14,0 - (83)
Ambiente ad uso abitativo	7,2 - (74)
<i>periodo diurno</i>	7,2 - (74)
<i>periodo notturno</i>	3,6 - (68)
<i>periodo diurno giornate festive</i>	5,4 - (71,5)
Ospedali, case di cura ed affini (2)	2,0 - (62,9)
Asili e case di riposo (3)	3,6 - (68)
Scuole (4)	5,4 - (71,5)

Si può osservare che i limiti sostanzialmente equivalgono a quelli previsti nella vecchia norma Uni 9614-1990, nella nuova versione del 2017 sono state introdotte delle nuove tipologie di ambiente con livelli di accelerazione più conservativi, quali gli "ospedali" con un livello di 2,0



mm/s² pari a (62,9 dB), asili e case di riposo con un livello di 3,6 mm/s² pari a (68 dB), ed "periodo diurno giornate festive" con un livello di 5,4 mm/s² pari a (71,5 dB).

Note:

(1) limiti indicati fermi restando gli obblighi derivanti dalla protezione dei lavoratori ex D.Lgs. 81/08 e s.m.i, e riferendosi a vibrazioni immesse da sorgenti esterne e non connesse alle attività (le vibrazioni connesse alle attività produttive fanno parte della componente residua V_{res});

(2) limiti validi indipendentemente dall'orario, per degenze ordinarie, e con misure effettuate al pavimento in corrispondenza del letto dei pazienti;

(3) limiti validi anche in orario diurno, limitatamente ai periodi effettivamente utilizzati per il riposo diurno (prime ore del pomeriggio)

(4) limiti validi per il periodo di effettivo utilizzo da parte degli allievi e limitatamente alle aule didattiche.

Nel caso in cui le vibrazioni residue, V_{res} , avessero un valore maggiore del 50% di quelle immesse, V_{imm} , il disturbo prodotto dalle vibrazioni della sorgente, V_{sor} , può essere ritenuto trascurabile.

Si fa inoltre riferimento alle seguenti norme tecniche, nazionali ed internazionali fra cui:

- UNI 11048: Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo;
- ISO 8041 Human response to vibration – Measuring instrumentation
- ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997;
- ISO 2631-2, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989;
- ISO 5347, Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni;
- ISO 5348, Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983;

Danni agli edifici



- UNI 9916:2004, che riprende sostanzialmente quanto indicato dalla norma DIN 4150, fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii per permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150-2, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150-3, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.

Non si possono infine trascurare alcune norme e linee guida particolarmente importanti per le valutazioni dell'impatto da vibrazioni in ambito ferroviario, fra cui:

- ISO 14837-1 Mechanical vibration--Ground-borne noise and vibration arising from rail Systems - Part1: General guidance;
- ISO 10811-1 (2000) Mechanical vibration and shock -- Vibration and shock in buildings with sensitive equipment -- Part 1: Measurement and evaluation;
- ISO 10811-2 (2000) Mechanical vibration and shock -- Vibration and shock in buildings with sensitive equipment -- Part 2: Classification;
- ISO 4866 (1990) Mechanical vibration and shock -- Vibration of fixed structures -- Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures;
- Report FTA-VA-90-1003-06 Transit Noise and Vibration Impact Assessment (Office of Planning and Environment Federal Transit Administration – USA);
- SS 460 48 61 (Swedish standard): Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader;
- NS 8176 (Norwegian Standard): Vibration and shock Measurement of vibration in buildings from landbased transport and guidance to evaluation of its effects on human beings (Vibrasjoner og stöt – Måling i bygninger av vibrasjoner fra landbasert samferdsel og veiledning for bedømmelse av virkning på mennesker);
- Norwegian standard NS 8141 (NSF, 2001);
- Swedish standard SS 460 48 66 (SEK, 1991);



Vibrazioni da Traffico Ferroviario

La vecchia versione della UNI 9614-1990 prevedeva un capitolo con una valutazione separata per le vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari, ed assumeva come valore di riferimento per il disturbo il valore di accelerazione di:

- $30 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ per asse Z pari ad un livello di 89,5 dB e di
- $21,6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ per assi X e Y (postura non definita) pari ad un livello di 86,7 dB.

Questi valori di riferimento tuttavia non sono più presenti nella nuova versione UNI 9614-2017, si fa quindi riferimento ai limiti vibrazionali riportati per situazioni generali.

• UNI 9916-2014 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"

La norma UNI 9916 si occupa di valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici, al fine di prevenirne il degrado o, in casi estremi, il crollo.

Secondo la UNI 9916, la grandezza fisica che meglio rappresenta il potenziale lesivo del fenomeno vibratorio non è l'accelerazione, ma la velocità di vibrazione.

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

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Altro scopo della norma è 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.

Gli edifici sono classificati secondo tre tipologie:

- costruzioni residenziali e costruzioni strutturalmente simili;
- costruzioni industriali e costruzioni strutturalmente simili;



- costruzioni che, per la loro sensibilità particolare alle vibrazioni, non rientrano nella classificazione delle prime due categorie o sono di grande valore intrinseco (per esempio edifici monumentali soggetti a tutela).

La Norma fornisce infine una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo due livelli:

- Danno di architettonico (o di soglia): effetto residuo delle vibrazioni che determina alterazione estetica o funzionale dell'edificio senza comprometterne la stabilità strutturale o la sicurezza degli occupanti. Il danno architettonico si presenta in molti casi con la formazione o l'accrescimento di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o sulle superfici intonacate o nei giunti di malta delle costruzioni in mattoni;
- Danno maggiore: Effetto che si presenta con la formazione di fessure più marcate, distacco e caduta di gesso o pezzi di intonaco fino al danneggiamento di elementi strutturali (per esempio fessure nei pilastri e nelle travature, apertura di giunti).

L'Appendice D della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli della velocità massima con riferimento alla DIN 4150.

Per velocità massima è da intendersi la velocità massima di picco (peak component particle velocity).

Per le vibrazioni di breve durata (quelle per cui sono da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata), i limiti sono riportati nel seguente prospetto:



Tabella 3 limiti UNI9916-2014 limiti vibratorii di breve durata

Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni a breve durata sulle costruzioni						
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 1Hz a 10Hz	Da 10Hz a 50Hz	Da 50Hz a 100Hz	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzione strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f = 1\text{Hz}$) a 40 ($f=50\text{Hz}$)	Varia linearmente da 40 ($f = 1\text{Hz}$) a 50 ($f=50\text{Hz}$)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ($f = 1\text{Hz}$) a 15 ($f=50\text{Hz}$)	Varia linearmente da 5 ($f = 1\text{Hz}$) a 20 ($f=50\text{Hz}$)	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 ($f = 1\text{Hz}$) a 8 ($f=50\text{Hz}$)	Varia linearmente da 8 ($f = 1\text{Hz}$) a 10 ($f=50\text{Hz}$)	8	3/4

Per frequenze oltre in 100Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100Hz

Per le vibrazioni permanenti invece i valori di riferimento sono riportati nel seguente prospetto:



Tabella 4 limiti UNI9916-2014 limiti vibratorii permanenti

Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni		
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 costruzione 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)	25

Al paragrafo 9 della norma UNI 9916 viene precisato che i danni strutturali all'edificio nel suo insieme dovuti a vibrazioni continue sono estremamente rari e comunque è necessario che le vibrazioni raggiungano livelli tali da causare prima fastidio e dolore agli occupanti l'edificio medesimo.

Ciò non implica che si possano escludere a priori danni alle strutture una volta verificato che i livelli delle vibrazioni siano inferiori a quelli stabiliti dalle varie normative per il disturbo alle persone.

Infatti per la valutazione degli effetti sull'uomo si deve considerare un intervallo di frequenze tra 1 e 80 Hz mentre gli edifici possono essere interessati da una gamma di frequenza più ampia; pertanto, nel caso in cui un edificio rispondesse ad una particolare eccitazione con uno spettro il cui contenuto energetico fosse distribuito soprattutto a frequenze maggiori di 80 Hz, si potrebbe sottostimare il problema verificando il rispetto delle norme ISO 2631-2 e UNI 9916.



3 INFORMAZIONI IDENTIFICATIVE E DI CARATTERE GENERALE

3.1 Descrizione dell'area in esame

L'area di insediamento della struttura è localizzata a Trieste, in località Servola.

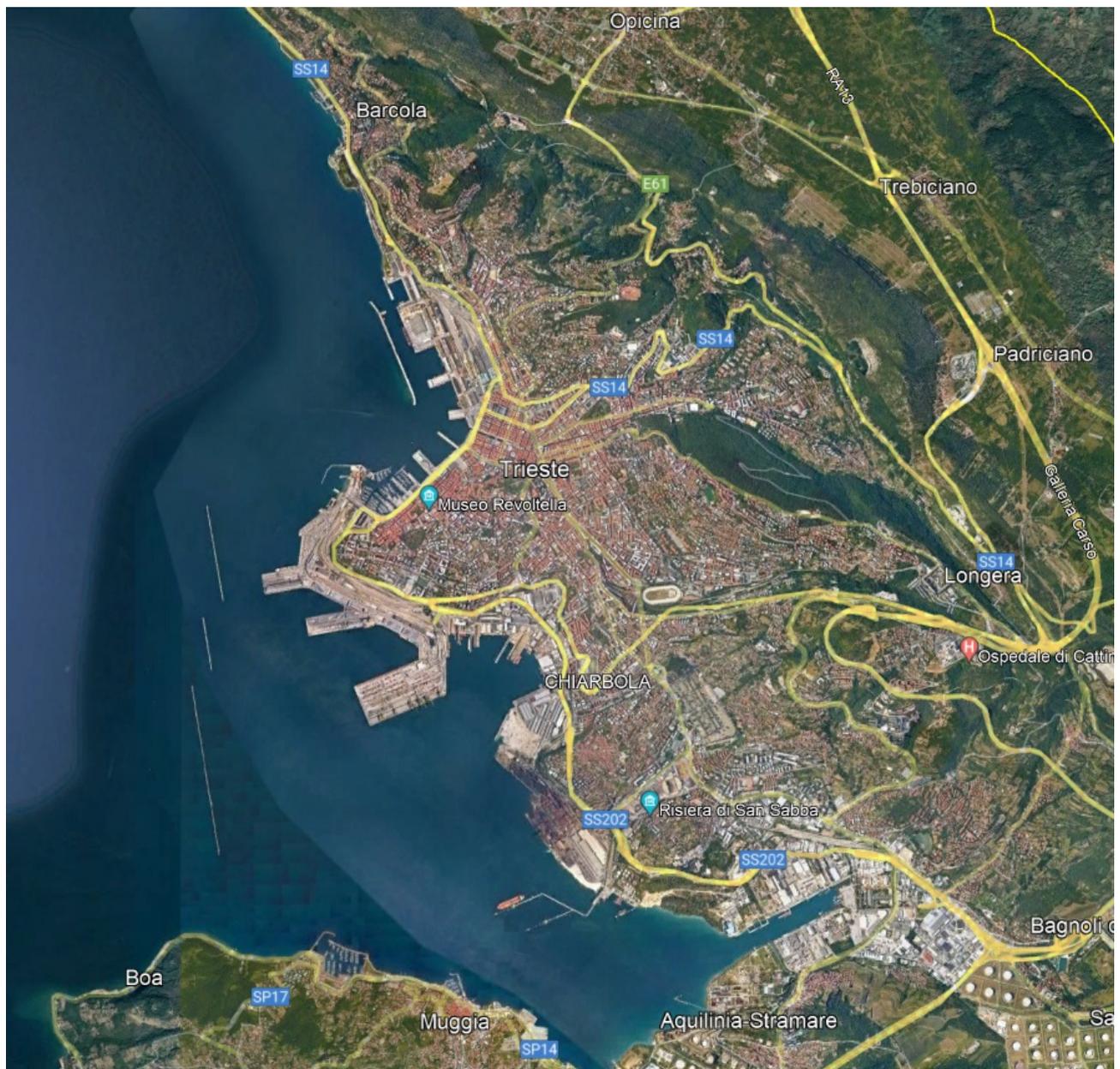


Figura 3 - vista di Trieste



Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001

Pag. 25 di 114

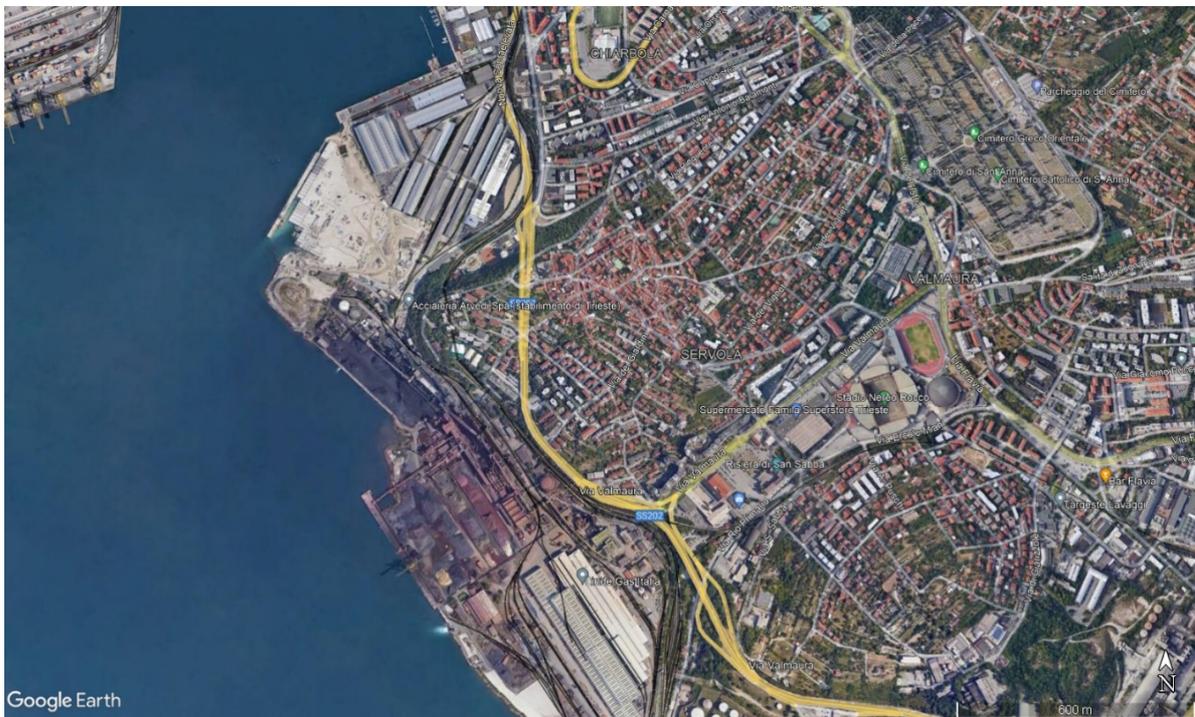


Figura 4 vista di Trieste

L'area di intervento è localizzata nell'area compresa tra lo Scalo Legnami e l'area ove insisteva la Ferreria di Servola. A confine dell'area vi è il quartiere Servola, separato dall'area dalla strada di grande comunicazione SS202.

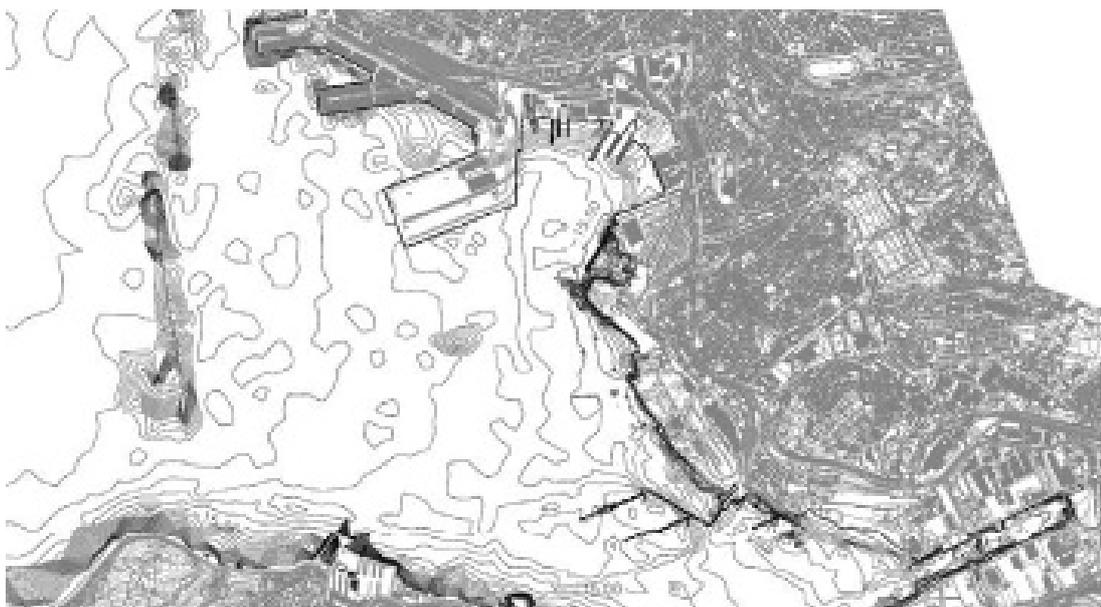


Figura 5 area di intervento



3.2 Classificazione vibratoria

La classificazione delle aree di territorio interessate dalla propagazione di vibrazioni legate all'opera di progetto sono state sviluppate sull'analisi delle caratteristiche del sito, della morfologia e della geologia dei terreni dell'area interessati dalla propagazione delle vibrazioni e sulla base della tipologia dei recettori.

La propagazione delle vibrazioni costituisce una potenziale fonte di impatto vibrazionale sui recettori circostanti (edifici e persone al loro interno).

Lo studio previsionale del livello vibratorio sviluppato in questo studio si basa sia su una estesa valutazione delle caratteristiche vibrazionali dei mezzi comunemente usati in cantiere tratta dalla documentazione tecnica e sia su di una campagna di misure sperimentali condotta nell'area di cantiere sui mezzi attualmente utilizzati ed in corrispondenza dei recettori.

3.3 Osservazioni sugli interventi da realizzare

Il progetto prevede un insieme di interventi tutti coerenti sotto il profilo funzionale rispetto alla visione strategica della vocazione dell'area del Porto di Trieste: pur trattandosi un unico PFTE. I quattro ambiti principali in cui si articola il PFTE sono i seguenti:

- 1) Stazione ferroviaria commerciale Nuova Servola
- 2) Connessione alla GVT e altre opere viarie
- 3) Edifici pubblici

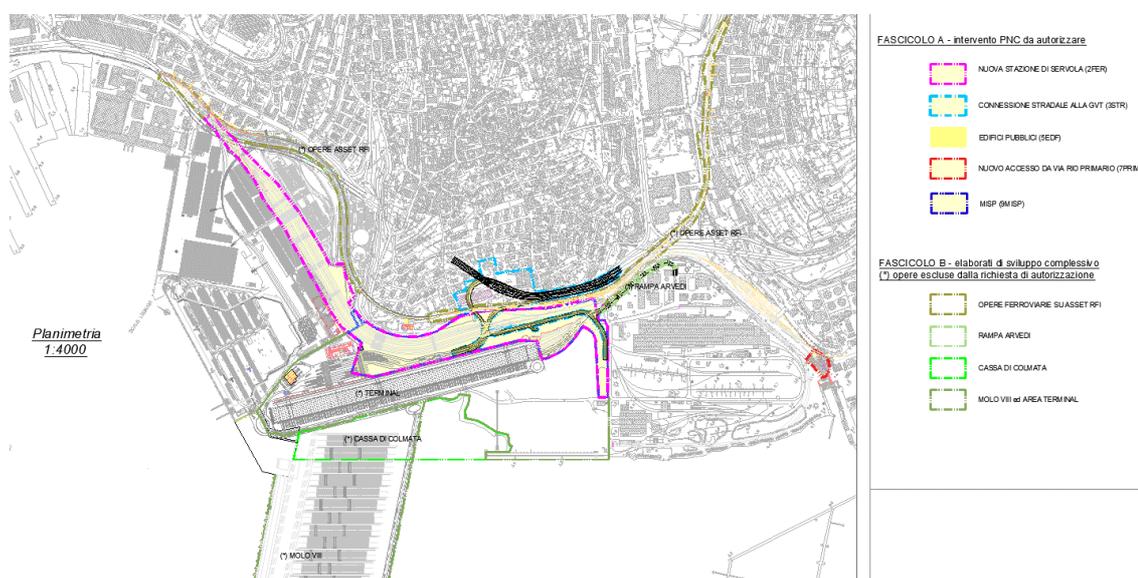


Figura 6 Estratto individuazione interventi Fascicolo A



4 METODICA PREVISIONALE DEL LIVELLO VIBRAZIONALE

4.1 Caratteristiche geologiche dei terreni dell'area



Figura 7 Estratto Estratto dalla carta delle Litologia superficiale (TAV.4) del P.R.G. di Trieste



Figura 8 Estratto dalla carta delle Litologia superficiale (TAV.6) del P.R.G. di Trieste

LEGENDA

COPERTURE QUATERNARIE

-  R : riporto, accumulo artificiale detritico e / o inerte
-  DF : detrito di falda
-  GM : sedimenti prevalentemente ghiaiosi con limi e argille
-  M : sedimenti prevalentemente limoso-argillosi
-  MG : sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con ghiaie
-  MS : sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con sabbie
-  MSG : sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con ghiaie e sabbie
-  SMG : sedimenti prevalentemente sabbiosi con limi, argille e ghiaie
-  TR : terre rosse
-  DV : detrito di versante pleistocenico: ghiaie cementate, breccie

FLYSCH DI TRIESTE (Luteziano p.p.)

-  Facies marnoso-arenacea
(alternanze di marne ed arenarie con una percentuale di arenaria variabile da 30% a 70%)
-  Facies arenacea
(arenarie, intercalazioni marnose con netta prevalenza di arenarie)
-  Facies marnosa
(marne, intercalazioni marnoso-arenacee con netta prevalenza di marne)

CALCARI DEL CARSO TRIESTINO (Cenomaniano sup - Cuisiano medio)

-  Calcari

Figura 9 Legenda dalla carta delle Litologia superficiale del P.R.G. di Trieste



L'area di cantiere, geologicamente, può essere ricondotta a tre principali gruppi di terreni:

- **Riporti di varia natura**, litologicamente eterogenei, principalmente costituiti da ghiaie limose sabbiose, limi ghiaiosi argillosi ed accumuli sparsi di detriti di risulta, con spessore variabile. Sono presenti specialmente nell'area portuale e nella fascia costiera, presentano uno spessore fino a 10 m;
- **Terreni di copertura** costituiti da terre limo argillose con ghiaia e sabbia, con spessore variabile da circa 6m ad oltre 20 m;
- **Substrato roccioso** costituito dalla Facies marnoso arenacea del Flysch di Trieste.

Per la valutazione vibrazionale si è deciso di riunire in un'unica voce i terreni costituiti dai riporti e dai terreni di copertura in quanto non si differenziano significativamente nella propagazione delle vibrazioni, avendo velocità sismiche similari, si differenziano nel fatto che nei terreni di riporto, la variabilità locale è da ritenersi più accentuata.

Si sono quindi formate due classi di terreni a cui si sono attribuiti i seguenti parametri:

- **classe-geolitologica-1: CL-1**
 - (raggruppa i terreni di natura principalmente ghiaie limose e sabbiose / limi ghiaiosi sabbiosi)
- **classe-geolitologica-2: CL-2**
 - costituito dal substrato marnoso arenaceo del Flysch di Trieste

4.2 Studi geognostici utili alla caratterizzazione del modello

4.2.1 Elementi base dello studio dei fenomeni vibratorii

Il presente studio si occupa del fenomeno delle vibrazioni valutati secondo quanto previsto dalla norma UNI 9614-2017.

Si intendono con tale termine i moti delle strutture (in questo caso edili) a frequenze comprese fra 1 e 100 Hz.

La caratterizzazione viene effettuata in termini di valore medio efficace (RMS) della velocità (in mm/s) oppure della accelerazione (in mm/s²).



Il termine velocitario viene usato per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici ed i possibili danni, mentre il valore dell'accelerazione viene usato per valutare la percezione umana del disturbo.

Per entrambe i tipi di misura, si utilizzano degli accelerometri, che forniscono il livello di accelerazione **a**.

Il valore di accelerazione può essere facilmente convertito nel corrispondente valore di velocità **v**, una volta nota la frequenza **f** di vibrazione, 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:

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

Nelle quali compaiono i valori di riferimento **a₀** = 0.001 mm/s² e **v₀** = 1·10⁻⁶ mm/s.

Va osservato che un determinato evento vibratorio dà luogo, in generale, a valori in dB di accelerazione e velocità del tutto diversi, dipendentemente dalle frequenze interessate.

Normalmente un calibratore per accelerometri fornisce un valore di accelerazione RMS pari a 10 m/s², ad una frequenza di 159.15 Hz (cosicché 2·π·f risulta pari a 1000 rad/s).

Tale segnale di calibrazione corrisponde dunque ad una velocità di vibrazione di 10 mm/s.

Il livello di accelerazione L_{acc} risulta pari a 140 dB, ed il livello di velocità risulta pari anch'esso a 140 dB.

Si deve osservare però che la corrispondenza dei due livelli si verifica solo a questa particolare frequenza (che infatti viene usata dal calibratore proprio a tale scopo), mentre in generale, a frequenze più basse, il livello di velocità è più elevato del livello di accelerazione, visto che la frequenza si trova al denominatore nella formula di conversione.

Le vibrazioni generate sul terreno si propagano nel terreno circostante, subendo una attenuazione che è dipendente dalla natura del terreno, dalla frequenza del segnale, e dalla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto.

Si deve distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale:

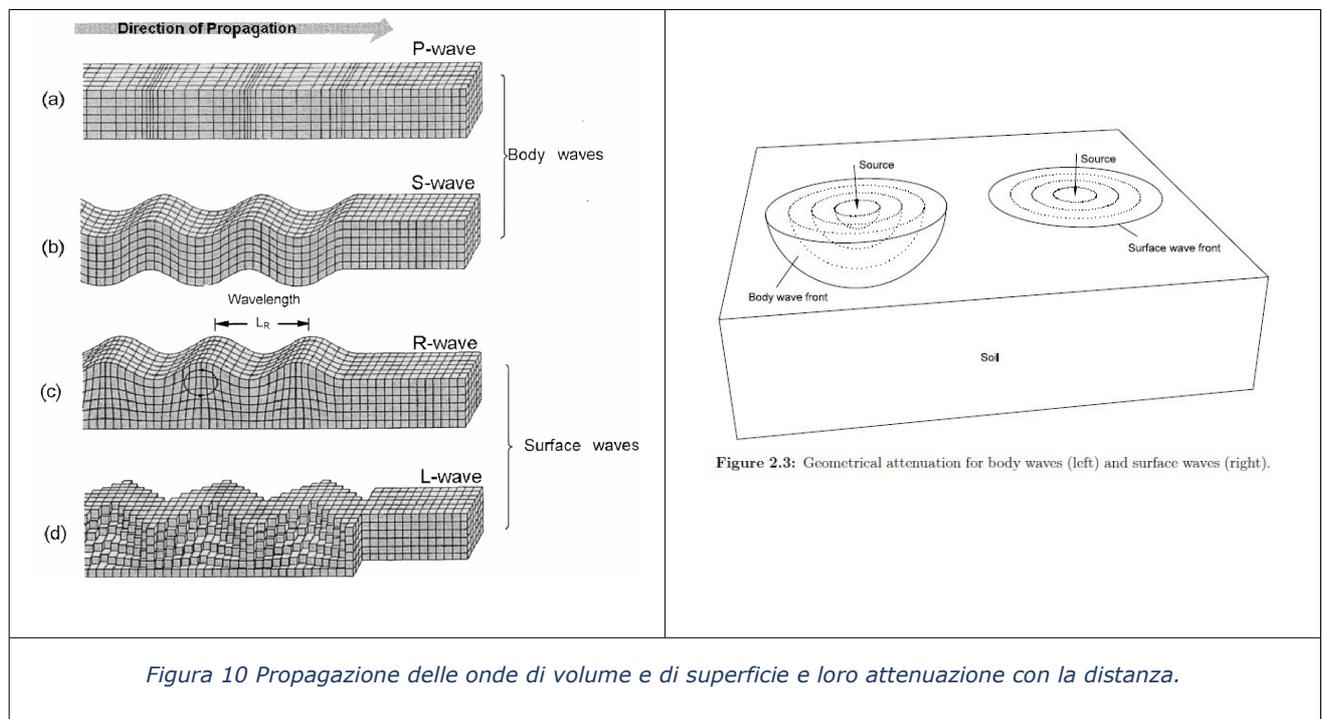
- Onde di compressione (onda P)



- Onde di taglio (onda S)
- Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L)

I primi due tipi sono dette onde di volume ("body-waves"), mentre le onde di superficie, come dice il nome, si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche, principalmente quindi sulla superficie di separazione fra terreno ed aria.

La seguente figura mostra schematicamente i diversi tipi di onde.



L'attenuazione dell'ampiezza del segnale vibratorio con la distanza è anch'esso funzione del tipo di onda, nelle onde di volume l'attenuazione avviene secondo un termine dipendente con il quadrato della distanza ($1/r^2$), mentre per le onde di superficie secondo un termine dipendente dalla distanza ($1/r$).

4.2.2 Propagazione delle vibrazioni nel terreno

La propagazione delle vibrazioni nel terreno è un fenomeno molto complesso da determinare in quanto strettamente dipendente dalle caratteristiche specifiche del sito di studio e dipendente dalle caratteristiche morfologiche, tipologiche del terreno e della sorgente.

In linea generale la propagazione delle onde vibrazionali nel terreno è funzione principalmente di due principali fenomeni di attenuazione:



- L'attenuazione geometrica legata alla distanza sorgente-ricettore;
- L'attenuazione dovuta all'assorbimento del terreno;

La varietà delle conformazioni morfologiche del terreno comporta le maggiori incertezze di valutazione della propagazione delle vibrazioni.

I fattori che possono influire nella determinazione dell'attenuazione nel terreno sono molteplici.

I più determinanti sono costituiti dalla natura del mezzo, dal suo grado di costipazione, dall'attrito statico fra i granuli e quindi dalla granulometria, dalla fratturazione del mezzo, dalla presenza di acqua e da altri fattori la cui differente combinazione può determinare gradi di attenuazione differenti in mezzi litologicamente similari.

Risulta quindi importante la suddivisione tra rocce lapidee (tipo A nella norma UNI 9916) e rocce sciolte (da tipo B a tipo F nella norma UNI 9916) in quanto di differente comportamento se sottoposti a sollecitazioni dinamiche.

In generale le rocce lapidee trasmettono tutta la gamma di frequenze, e principalmente le più alte, mentre le rocce sciolte lasciano passare solo le basse frequenze, che corrispondono anche a quelle in cui gli edifici mostrano la maggior risposta.

Inoltre, mentre le rocce lapidee difficilmente possono subire variazioni di struttura sotto sollecitazioni dinamiche, le rocce sciolte, risultano di gran lunga più sensibili.

Ne è un esempio il fenomeno della liquefazione delle sabbie in seguito ad un sisma.

Inoltre la loro risposta alla azione di disturbo è diversa a seconda che l'intensità del disturbo sia lieve o al contrario forte: in altre parole il comportamento dei materiali sciolti è fortemente non lineare.

Nel primo caso non si ha una vera variazione della struttura mentre nel secondo caso la vibrazione produce per tutte le rocce sciolte un assestamento e quindi una riduzione di porosità.

L'analisi delle caratteristiche geolitologiche degli strati superficiali del terreno è finalizzata al riconoscimento dei parametri correlabili alla propagazione delle vibrazioni nel terreno.

I valori tipici di densità, velocità di propagazione e fattore di perdita, noti esclusivamente per alcune classi geologiche e in presenza di un ammasso omogeneo, sono riassunti nella sottostante tabella 5 tratta da fonti bibliografiche.

In letteratura numerosi modelli che permettono il calcolo della propagazione delle vibrazioni, e modelli che vanno da equazioni di tipo empirico a modelli BEM/FEM, nel caso in oggetto, si è utilizzata una modalità di calcolo avanzata in cui non solo si è analizzata



l'attenuazione geometrica del segnale vibratorio basata sulla distanza dalla sorgente, ma si è analizzato anche come varia il contenuto spettrale della vibrazione con la distanza in modo da sviluppare un modello previsionale efficace con cui fare le valutazioni.

Tabella 5 caratteristiche dei terreni:

Tipo di terreno	densità (t/mc)	velocità di propagazione Vp m/s	fattore di perdita η
roccia compatta	2.65	3500	0.01
roccia fratturata	2.2	1500 - 2000	0,05 - 0,1
Sabbia, limo, ghiaia, loess	1.6	600	0.1
Argilla, terreni argillosi	1.7	1000 - 1500	0,2 - 0,5

4.2.3 Fattore di smorzamento viscoso dei terreni da prove sismiche in sito

Sulla base di alcune prove geognostiche di tipo sismico effettuate per lo studio geotecnico iniziale dell'area e di profili sismici acquisiti durante la campagna di misura vibrazionale si è potuto valutare il fattore di smorzamento viscoso equivalente dei terreni mediante la seguente relazione:

$$\alpha = \xi = \frac{\ln\left(\frac{A_1 R_1}{A_2 R_2}\right)}{R_2 - R_1}$$

nella quale compaiono le ampiezze dei segnali sismici (A_1 e A_2) posti a distanze R_1 e R_2 crescenti rispetto alla sorgente.

L'elaborazione dei dati sismici acquisiti ancora per la campagna geognostica evidenzia che i terreni indagati presentano un fattore di smorzamento di 5,5% per la prima prova MASW1 e di ben 9,2% per il secondo profilo MASW2.

Sono coefficienti abbastanza elevati, sicuramente da attribuire al contributo dissipativo dei terreni più superficiali di natura principalmente limo-argillosa detritica legati agli importanti riporti effettuati nella zona.

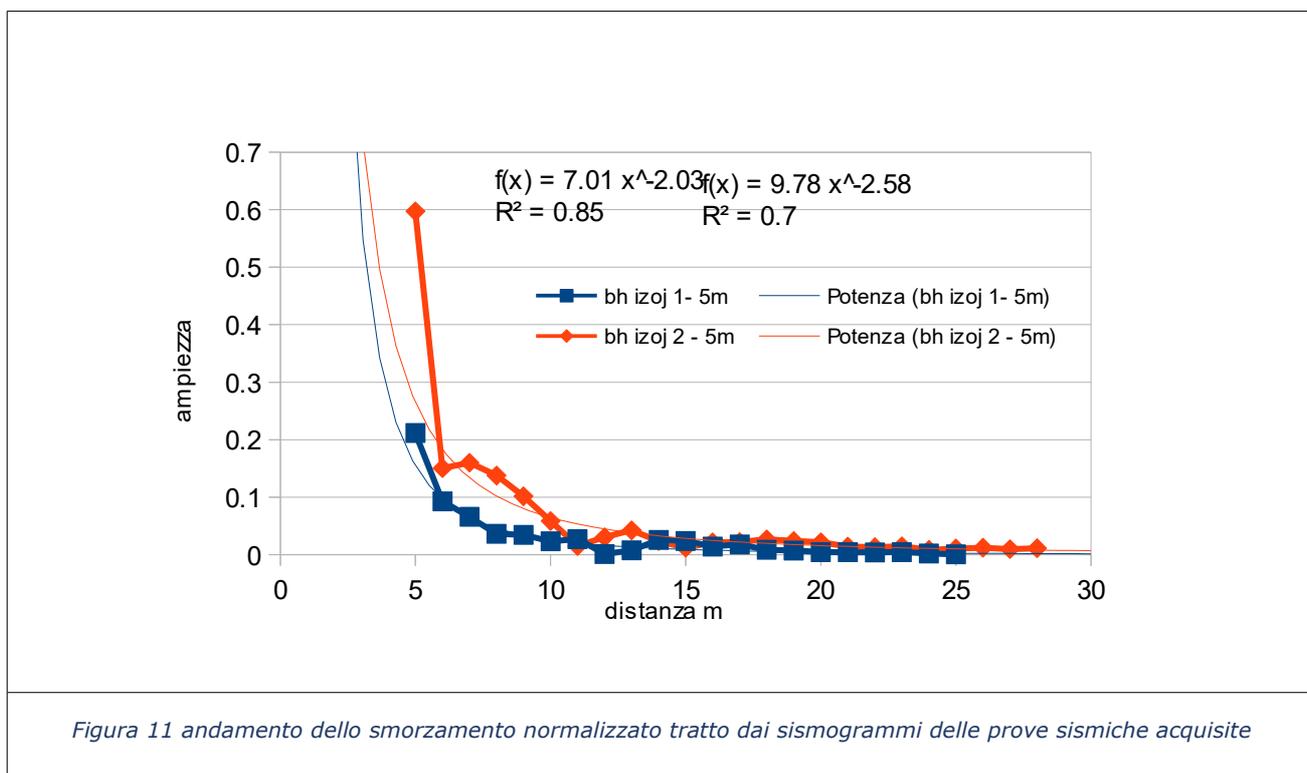


Questi valori sono superiori a quanto normalmente riportato per terreni non rielaborati colluviali fini (limi sabbiosi) $\xi = 1,89\%$, limi fluviali $\xi = 2,16\%$, terreni ghiaiosi sabbiosi $\xi = 1,12\%$.

Nelle successive prove sismiche, acquisite in concomitanza dello studio vibrometrico, si sono misurati valori di attenuazione comparabili a quanto già trovato nelle prime prove.

Il fattore di attenuazione, calcolato sulle nuove prove, mostra valori di $\xi = 4,5\%$ e di $\xi = 5,8\%$, valori concordanti con quanto già misurato e presumibilmente condizionati dalla presenza di un certo spessore di terreni di copertura allo stato sciolto.

Sicuramente i valori di smorzamento da attribuire alla pura formazione rocciosa del Flysch sono sicuramente minori; tuttavia assume un ampio significato anche il suo stato fessurativo.



4.3 Valutazione dell'impatto delle vibrazioni

La costruzione di un modello previsionale per la verifica degli impatti vibrazionali normalmente si basa sull'analisi dei dati sperimentali acquisiti durante la campagna di rilievo nei diversi tratti di studio, per tener conto dei molteplici fattori che la influenzano.

Pur se è possibile sviluppare uno studio su dei parametri orientativi, i dati ottenuti a volte appaiono sensibilmente diversi da quanto rilevato con delle misure sperimentali.



La propagazione del segnale nel sottosuolo è dipendente da numerose variabili legate al tipo di sorgente, alle caratteristiche dei terreni attraversati, alle interferenze distruttive e costruttive dovute alla presenza di sotto-servizi e strutture sepolte, nonché alla profondità della falda ed alla morfologia del territorio.

L'acquisizione dei dati vibrometrici con misure in sito ha permesso di sviluppare in modo più attendibile l'analisi previsionale della propagazione del fenomeno vibratorio nel sottosuolo di Servola e delle aree adiacenti.

Rimane tuttavia un certo grado di indeterminazione dei fenomeni non facilmente valutabili quali riflessioni, focalizzazioni ed amplificazioni dovute a particolari condizioni dell'area ed alla variabilità lito-morfologica del versante e della parte ipogea dei terreni.

Lo studio Vibrazionale, come già esposto nella precedente relazione, si è basato sulla distinzione dell'area in due differenti macro classi litologiche, a cui sono stati attribuiti dei parametri medi, estratti dalla documentazione geologico geotecnica fornitaci, ed esposta nella seguente tabella:

Tabella 6 classi geolitologiche del sito

tipo terreno	velocità onde sismiche Vp (m/s)	velocità onde sismiche Vs (m/s)	fattore di perdita η	tipo di onda e sorgente n	
CL-1 classe-geolitologica-1	1300-1600	200	0.1	body wave	2.0
				surface wave	0.5
CL-2 classe-geolitologica-2	2800-3300	600	0.05	body wave	2.0
				surface wave	0.5

Sulla base di questi dati si è fatto il calcolo della attenuazione con la distanza per le diverse tipologie di sorgente e di terreni in cui ricadono i recettori.



4.4 Metodologia di acquisizione ed analisi dei livelli vibrazionali

Lo studio vibrometrico è stato sviluppato mediante l'acquisizione del livello vibrazionale utilizzando la seguente strumentazione:

- centralina di condizionamento e filtraggio dei dati dagli accelerometri marca ENDEVCO modello 133;
- n°3 accelerometri ENDEVCO mod. 2254-100 posti sui tre assi cartesiani X,Y,Z su opportuna base di appoggio;
- centralina di acquisizione dati Measurement Computing USB-1608FS-plus;
- calibratore di accelerometro Bruel & Kjaer 4294;

L'elaborazione dei dati accelerometrici è stata fatta in differita utilizzando i seguenti software:

- ObserVIEW 2023;
- Vibration Data Tools ver.13.3 su piattaforma di MatLab.

4.5 Propagazione delle vibrazioni nelle strutture edilizie

Le vibrazioni che si propagano nel suolo, raggiunto un edificio, si propagano attraverso le sue fondazioni e successivamente alle altre parti dell'edificio (pareti, pavimenti, soffitti), trasferendo ad esse l'energia vibratoria.

Queste possono essere percepite come vibrazioni trasmesse al corpo delle persone o come rumore re-irradiato di bassa frequenza.

Le vibrazioni possono a loro volta mettere in movimento alcune parti o oggetti delle abitazioni (mobili, vetri, suppellettili) e questi possono generare rumore o causare danni a strumenti sensibili.

In alcuni casi le vibrazioni particolarmente elevate e ripetute nel tempo possono procurare un danno strutturale agli edifici, ma ben raramente questi effetti si verificano con infrastrutture legate ai trasporti.

La propagazione del fenomeno vibratorio nelle strutture, parte dal sistema di fondazione, che può essere sviluppato in vario modo, ed interessando le varie strutture dell'edificio può portare sia ad una attenuazione, sia ad una amplificazione rispetto ai livelli presenti sul terreno.

I diversi sistemi di fondazione possono produrre una attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante.



Questo è condizionato dalla tipologia delle fondazioni (a platea, su plinti isolati, su travi rovesce, su pali, etc.) e quindi dal tipo di terreno in cui le fondazioni sono ancorate.

Nel caso di fondazioni a platea la grande area di contatto con il terreno determina una perdita di accoppiamento praticamente di 0 dB alle basse frequenze, sino alla frequenza di risonanza della fondazione.

Per le altre tipologie di fondazioni possono essere utilizzate curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione della fondazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

Non è da trascurare il fenomeno della risonanza strutturale di elementi dei fabbricati, in particolare dei solai: allorché la frequenza di eccitazione coincide con la frequenza naturale di oscillazione libera della struttura, la stessa manifesta un rilevante aumento dei livelli di vibrazione rispetto a quelli presenti alla base della stessa.

La propagazione delle vibrazioni dalle fondazioni di un edificio all'ambiente ricevente all'interno dell'edificio è un problema estremamente complesso, che richiede peraltro la conoscenza esatta della struttura dell'edificio.

(Le formulazioni più note si basano sugli studi di Kurzweil e Melke, e sono anche disponibili in testi quali *Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control*).

4.6 Accoppiamento terreno – fondazioni edificio

Sulla base di correlazioni della letteratura tecnica si può arrivare a dare una stima della possibile attenuazione od amplificazione del livello vibratorio all'interno di un edificio.

Le vibrazioni che vengono trasmesse agli edifici dipendono dall'accoppiamento fra il terreno e le fondazioni.

Solitamente vi è un'attenuazione delle vibrazioni in questo passaggio.

Tuttavia per fondazioni a platea, a contatto con il terreno sottostante e sottoposte dunque alle stesse vibrazioni non vi è solitamente alcuna attenuazione (0 dB) per le frequenze fino alla frequenza di risonanza della struttura della platea. (Remington et al., 1987).

L'accoppiamento per edifici con strutture leggere è anch'esso stimato essere pari a 0 dB da Kurzweil, 1979.

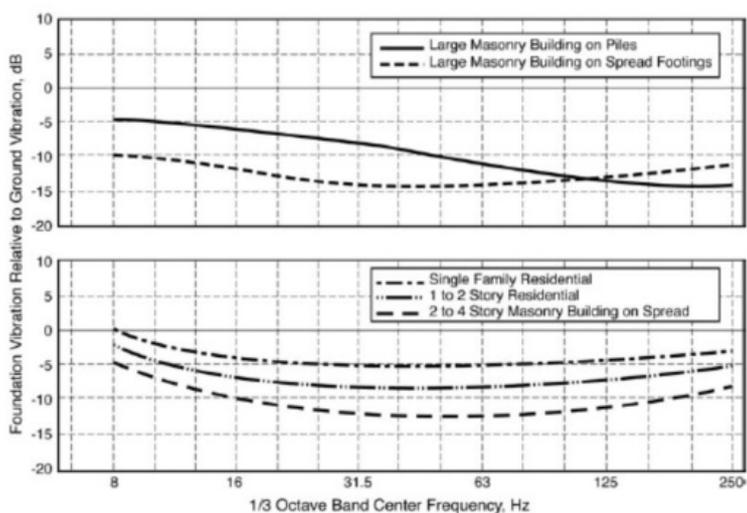


Figura 12 Risposta delle fondazioni per diverse tipologie di edifici (Fonte: FTA, USA)

Per altri tipi di fondazioni (pali, ecc.) l'accoppiamento varia fra 2 e 15 dB in funzione della frequenza e della fondazione (Remington, 1987; Kurzweil, 1979).

Per edifici fondati direttamente su strati rocciosi l'accoppiamento è 0 (Kurzweil, 1979).

Nel presente lavoro i comportamenti strutturali verranno stimati sulla base dei seguenti diagrammi.

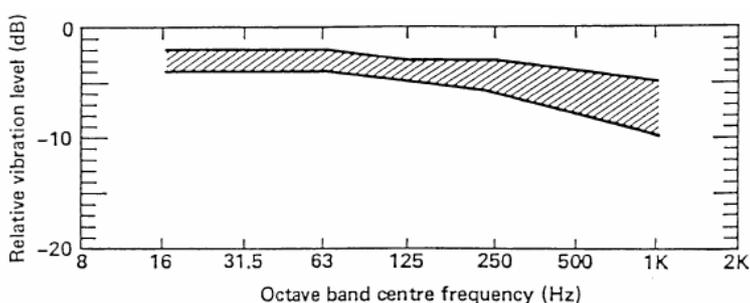


Figura 13 Attenuazione delle vibrazioni da un piano al successivo

4.7 Risonanze strutturali dei solai

Pareti, solai e soffitti di un edificio possono comportarsi come amplificatori delle vibrazioni.

Edifici con strutture leggere in genere non amplificano particolarmente, anche se si possono verificare amplificazioni ai piani superiori (Kurzweil, 1979).



L'amplificazione può variare tra un fattore 0.5 (riduzione) e 2 (amplificazione) nella gamma di frequenza 25 - 30 Hz, anche se si sono osservate amplificazioni fino a un fattore 5 (Leventhall, 1987).

Questo fenomeno è causato dal fatto che parti diverse di un edificio possono avere caratteristiche diverse di rigidità, massa e smorzamento, con conseguenti diverse frequenze naturali di oscillazione.

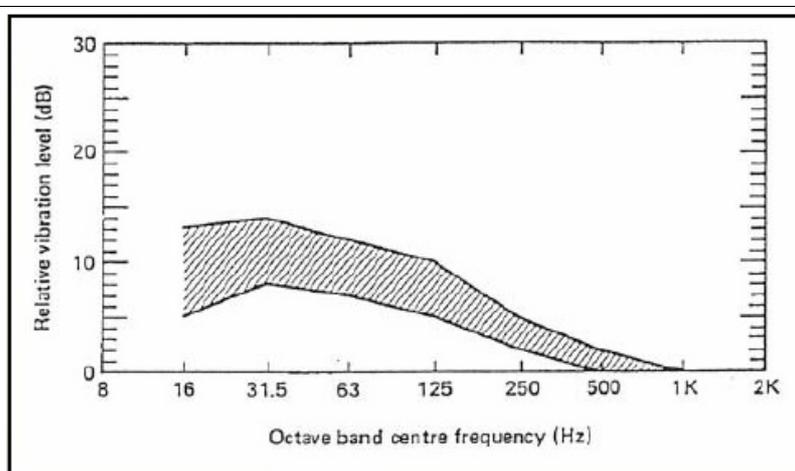


Figura 14 Amplificazione prodotta dai solai

Nella figura Fig.14 viene evidenziato il possibile campo di amplificazione delle vibrazioni dovuto alla risonanza dei solai, che come si nota oscilla fra 5 e 12 dB nel campo di frequenze rilevanti dal punto di vista ferroviario.

Dawn and Stanworth (1979) hanno dimostrato che vi possono essere notevoli differenze nei livelli di vibrazione e nelle frequenze fra due pavimenti di un edificio perlopiù legati alle diverse modalità costruttive e geometriche.

Generalmente l'amplificazione ricade nella gamma 5 - 15 dB per le frequenze comprese tra 16 - 80 Hz (Remington, 1987); mediamente un pavimento amplifica nella gamma 10 - 30 Hz che sono anche le frequenze più tipiche date dal transito di un treno.

Nella seguente tabella vengono riportate alcune frequenze naturali tipiche di vibrazione.



Tabella 7 frequenze naturali di vibrazione

Elemento edilizio	Frequenza naturale (Hz)
Pali	5-50
Pavimenti e solette	10-30
Finestre	10-100
Soffitti intonacati	10-20

Una sintesi dei dati bibliografici analizzati mostra che:

In base ai dati prodotti dalle Ferrovie Tedesche, e desumibili dalla norma DIN 4150, gli incrementi per risonanza possono essere dell'ordine di 3 – 8 volte, con rari casi fino a 15 volte.

Le misure di Ishii e Tachibana mostrano una attenuazione inter piano che varia progressivamente da 3 dB ai piani bassi sino a 1 dB negli ultimi piani di di un edificio a 10 piani con struttura in CLS armato e acciaio.

Le misure effettuate dalla Ferrovie Svizzere hanno mostrato che mediamente i livelli di accelerazione misurati sui pavimenti sono superiori di circa 5 dB rispetto a quelli misurati sul terreno, in alcuni casi si può arrivare ad un incremento anche di 20 dB nel caso del pavimento del piano terra con frequenza di risonanza di circa 40 Hz.

Da questo si può quindi estrarre che la variazione dei livelli di vibrazione, misurati al centro dei solai, può estendersi tra 0 e +12dB rispetto ai livelli sul terreno.

Una stima dell'effetto locale di riduzione/amplificazione di ciascun edificio è possibile parametrizzando gli effetti combinati secondo il seguente schema:

Innanzitutto si valuta l'attenuazione delle fondazioni.

Essa viene assunta pari a 0 dB per le fondazioni a platea, a -3 dB per fondazioni su travi rovescie in CLS, ed a -5 dB nel caso di fondazioni in muratura o comunque nel caso di fondazioni che non abbiano capacità di immorsamento.

Si valuta poi l'amplificazione dovuta alla risonanza dei solai.

Il valore di base assunto è una amplificazione di +5 dB per solai in latero-cemento con frequenza propria di 20 Hz.

A questo valore di base si aggiungono i seguenti effetti:



- Effetto della variazione della frequenza di risonanza: se la stessa è maggiore di 20 Hz e minore di 40 Hz, si incrementa linearmente il valore di base, che viene fatto variare da 5 dB a 20 Hz sino a 20 dB a 40 Hz;
- Effetto dell'incastro del solaio:
 - Appoggio semplice -2.0 dB
 - Incastro imperfetto 0.0 dB
 - Incastro perfetto +5.0 dB
- Rapporto rigidità/peso specifico del materiale
 - Solaio in latero-cemento 0.0 dB
 - Volte o archi in muratura -4.0 dB
- Spessore del solaio:
 - h = 40 cm +8.0 dB
 - h = 30 cm +3.0 dB
 - h = 24 cm 0.0 dB
 - h = 12 cm -2.5 dB
- Luce del solaio
 - L = 10 m -4.0 dB
 - L = 7 m -3.0 dB
 - L = 5 m -2.0 dB
 - L = 4 m 0.0 dB
 - L = 3.5 m +3.0 dB
 - L = 3.0 m +8.0 dB
- Attenuazione interpiano: si assume prudenzialmente una riduzione di 1 dB per ogni piano al di sopra del piano terra.

4.8 Individuazione delle vibrazioni trasmesse ai ricettori e stima della risposta vibrazionale

Sulla base delle parametrizzazioni suddette, diviene possibile stimare in maniera approssimata per ogni edificio, una volta note le sue caratteristiche costruttive, l'eventuale effetto di amplificazione massima sul solaio più critico.

Nel nostro studio tuttavia non avendo a disposizione i dati costruttivi dettagliati degli edifici da analizzare, si è deciso di adottare i seguenti parametri di calcolo:



Le tipologie edilizie prevalenti in adiacenza al tracciato sono rappresentate mediamente da edifici in muratura, con fondazioni direttamente immerse nel terreno e edifici di recente edificazione con ossatura in cemento armato e fondazioni continue.

Nella precedente relazione si era adottato un livello cautelativo di amplificazione di +5 dB per tutti gli edifici di altezza fino a 4 piani e successivamente +1 dB per ogni piano aggiuntivo oltre al secondo.

Questa scelta era stata fatta in modo cautelativo non avendo potuto analizzare gli edifici direttamente.

In ragion veduta della verifica delle caratteristiche dei recettori effettuato durante l'acquisizione delle misure vibrometriche, e delle buone condizioni costruttive e statiche degli stessi, e dallo stesso confronto con alcuni residenti, si ritiene che il livello attribuito nella precedente relazione era eccessivamente cautelativo.

Si ritiene più verosimilmente che si possa attribuire un fattore di amplificazione non superiore a +1-2 dB per gli edifici monofamiliari e palazzine fino a 4 piani e non superiore a +3 dB per gli edifici più alti.

Quest'ultimo valore probabilmente risulta ancora cautelativo, essendo gli edifici alti costruiti mediamente con strutture di c.a.

Tabella 8 tipologia delle fondazioni e fattore correttivo

Tipologia fondazioni	Tipologia edificio	Fattore correttivo [dB]
Fondazioni a platea	Villetta monofamiliare	curva 1
"	Palazzina 1-2 piani	curva 2
"	Palazzina 2-4 piani	curva 3
"	Edificio di grandi dimensioni (industriale, commerciale, palazzo multipiano)	curva 4
Fondazioni su pali	Edificio di grandi dimensioni (industriale, commerciale, palazzo multipiano)	curva 5

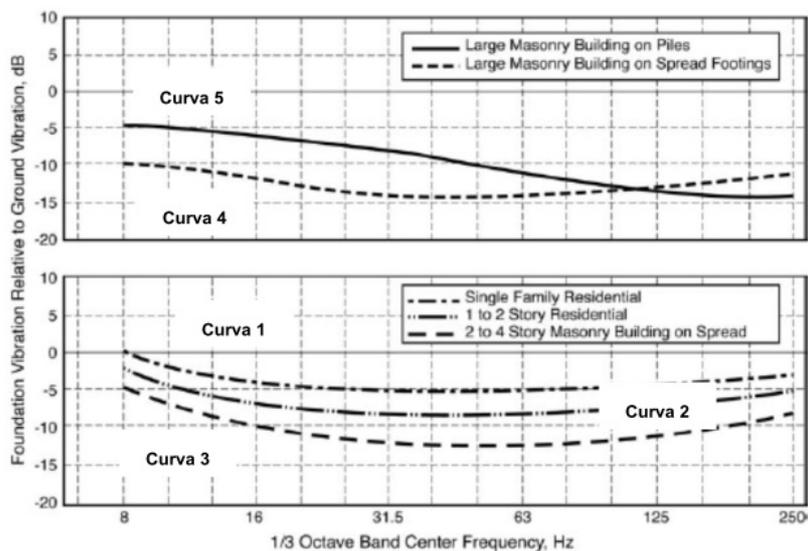


Figura 15 Fattori correttivi adottati in funzione alla tipologia di fondazione

Di seguito si riporta la tabella con i valori di amplificazione valutati ai vari recettori, il livello di vibrazione calcolato ed il livello indicato a riferimento dalla norma UNI 9614-2017 per tipologia di edificio.



4.9 Modello previsionale utilizzato

4.9.1 Specifiche generali di calcolo

Le sorgenti di vibrazioni sono state considerate come sorgenti puntiformi, in quanto la valutazione è più conservativa ed il percorso delle vibrazioni sviluppato lungo la congiungente ricettore-sorgente poste alla minima distanza dalla sorgente.

(§1) **Formulazione di calcolo**

Il modello di propagazione qui impiegato, valido per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R) è basato sulla seguente formulazione (§1):

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

In cui 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.

L'esponente n varia a seconda del tipo di onda e di sorgente di vibrazioni.

In particolare, la seguente tabella mostra i valori di n :

Tabella 9 valori del coeff. di attenuazione per diverse sorgenti

Values of attenuation coefficient due to radiation damping for various combinations of source location and type (from Ref. [9])

Source location	Source type	Induced wave	n
Surface	Point	Body wave	2.0
		Surface wave	0.5
	Infinite line	Body wave	1
		Surface wave	0
In-depth	Point	Body wave	1.0
	Infinite line		0.5



Tabella 10 principali parametri dei tipi di terreno

Tipo di terreno	Velocità di propagazione per onda longitudinale m/s	Fattore di perdita η	Peso di volume ρ (g/cm ³)
Roccia	3500	0.01	2.65
Sabbia	600	0.10	1.60
Argilla	1500	0.50	1.70

Nel precedente lavoro il calcolo del livello vibrazionale e della sua attenuazione con la distanza era stato basato sull'utilizzo di spettri vibrazionali tratti da studi precedenti e da fonti bibliografiche dalla letteratura tecnica.

La firma spettrale di queste sorgenti è stata applicata alle tipologie dei terreni presenti nell'area e sulla base di questi caratteri si sono calcolate le curve di attenuazione specifiche per ogni tipologia di terreno e sorgente.

Su questi dati si è quindi potuto calcolare il livello di vibrazioni stimato per distanze comprese tra 10 e 200 m dalla sorgente, ad intervalli di 10 m.

Si è poi provveduto a redigere un diagramma di attenuazione con la distanza del livello vibratorio, e su questo livello si sono applicate le correzioni di amplificazione legate alla struttura degli edifici.

Con l'acquisizione dei dati sperimentali si è potuto verificare i dati ipotizzati e affinarli.

4.9.2 Specifiche di calcolo vibrazioni realizzazione setti trivellati

La valutazione specifica del livello vibratorio generato e quindi del possibile disturbo legato alla realizzazione dei setti impermeabili trivellati di 880 mm che delimitano l'area di cantiere, è stata fatta inizialmente utilizzando due metodologie di calcolo proposte dalla documentazione tecnica, successivamente si è proceduto ad una campagna di misura sperimentale durante la trivellazione dei pali.

Le due formule utilizzate sono quella di Attewell et al. (1992) e quella di Head and Jardine (1992).



Attewell et al. (1992):

$$v = k \left(\frac{\sqrt{W_0}}{r} \right)^m$$

Where:

v	= predicted vertical velocity	[mm/s]
k	= constant of proportionality	[-]
m	= site specific constant	[-]
W_0	= input energy at source	[J]
r	= horizontal distance from source	[m]

$$W_0 = \frac{1000 \cdot W}{f}$$

Where:

W_0	= energy input	[J]
W	= power input	[kW]
f	= frequency	[Hz]

Con i valori di $0.5 < k < 1.5$ ed $0.5 < m < 1$;

Per una valutazione conservativa l'autore indica di assumere $k = 1.5$ ed $m = 1$ (valore suggerito anche nell'Eurocode3).

I valori di partenza sono stati dedotti dalle caratteristiche costruttive della macchina trivellatrice marca LIEBHERR modello BAT410:

questi sono:

- potenza nominale 400 KW
- velocità di rotazione max sotto carico 41 rpm pari a 1.46 Hz.
- distanza di misura 10 m e 50 m

da cui si ricava una velocità di vibrazione a 10 m:



Pag. 47 di 114

$$W_0 = 1000 \times 400 / 1.46 \text{ Hz} = 273.97$$

$$v = ((273.97)^{0.5} / 10 \text{ m}) = 16.55 / 10 = 1.66 \text{ mm/s (10 m di distanza)}$$

e da cui una accelerazione:

$$a = 15.31 \text{ mm/s}^2 \text{ (10 m di distanza) pari ad un livello di accelerazione di 83.7 dB}$$

questo è un valore di accelerazione sicuramente percepibile, ma che è inferiore al limite di 89 dB previsto come limite per le fabbriche dalla UNI 9614.

da cui si ricava una velocità di vibrazione a 50 m:

$$W_0 = 1000 \times 400 / 1.46 \text{ Hz} = 273.97$$

$$v = ((273.97)^{0.5} / 50 \text{ m}) = 0.33 / 10 = 0.033 \text{ mm/s (50 m di distanza)}$$

e da cui una accelerazione:

$$a = 0.030 \text{ mm/s}^2 \text{ (10 m di distanza) pari ad un livello di accelerazione di 70.4 dB}$$

questo è un valore di accelerazione sicuramente al limite della percezione, il valore di 71 dB è il valore limite previsto nelle aree critiche dalla norma UNI 9614.



5 CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE DI STUDIO

5.1 Identificazione delle principali sorgenti vibratorie

La caratterizzazione vibrazionale sia di cantiere che dell'area dei recettori di Servola è stata sviluppata mediante le seguenti fasi di studio:

1. Analisi geolitologica dell'area e attribuzione della classe geolitologica di riferimento alle varie aree;
2. Identificazione dei ricettori;
3. Determinazione del numero di piani degli edifici recettori;
4. Misura della distanza dalle sorgenti vibratorie dai recettori;
5. Analisi delle fonti vibratorie rappresentative dell'area;
6. Misura e calcolo dei livelli vibrazionali e valutazione alla distanza dai ricettori e confronto con i valori limite applicabili indicati dalla norma UNI 9614-2017.

Allo stato attuale (23-24/01/2024) le sorgenti di vibrazioni esistenti sono riconducibili principalmente ai mezzi transitanti lungo le principali strade presenti nell'area, alla movimentazione merci all'interno delle aree portuali, all'attività del nuovo cantiere ed al transito di convogli ferroviari.

5.1.1 Traffico stradale

La campagna di misure vibrometriche ha permesso di misurare il livello vibrazionale generato dal traffico stradale in prossimità dei seguenti recettori:

- r1, r1b, r4, r6, r7, r8, r8/r8bis, r9/r10, r11, r13

Le misure hanno evidenziato livelli vibratorie sviluppati dal traffico cittadino con livelli di accelerazione ponderata totale efficace A_{w_max} misurati in corrispondenza del piano fondazione dei recettori scelti compresa tra 2.18 mm/s² e 7.76 mm/s².

Questi sono valori di accelerazione che rientrano nei valori medi di accelerazione tipici della tipologia di sorgente (traffico cittadino).



5.1.2 Traffico ferroviario

Non si è potuto fare delle misure del livello vibrazionale nei pressi dei binari ferroviari; per la valutazione si fa riferimento allo spettro di riferimento per il traffico ferroviario tratto dalla documentazione tecnica, in cui si valuta lo spettro medio di accelerazione tratto dal passaggio di treno un cargo alla velocità di 56 km/h, misurato a 8 m di distanza.

Il valore di velocità mediamente più alto di quello che ci si può attendere nell'area ferroviaria di studio, porta sicuramente ad avere un certo margine di sicurezza nella valutazione dei livelli vibrometrici.

5.1.3 Realizzazione setti trivellati

Questa tipologia di lavorazione è quella che verrà utilizzata in modo più esteso durante le fasi di cantiere nei prossimi tempi sia durante la messa in posto dei pali di fondazione della nuova piattaforma portuale sia durante la costruzione del setto impermeabile.

La valutazione specifica del livello vibratorio generato durante le opere di trivellazione per i pali e per la costruzione del setto è stata fatta sia sulla base di due metodologie di calcolo previsionali tratte da pubblicazioni tecniche, sia su misure in posto durante le fasi di trivellazione.

Le due metodologie di calcolo utilizzate nelle formulazioni empiriche sono tratte da pubblicazioni tecniche e sono l'una basata sui dati di potenza della macchina trivellatrice e l'altra sulla base di uno spettro vibrazionale acquisito durante lavori di trivellazione e riportato nella documentazione tecnica.

Lo studio si è inoltre basato sulle misure sperimentali effettuate in cantiere sia durante l'attività di trivellazione sia durante l'utilizzo dei mezzi di cantiere a supporto dell'opera di trivellazione.

Si è potuto constatare che il valore vibrazionale misurato in cantiere evidenzia livelli vibratorii confrontabili ai valori prospettati dallo studio per via analitica, seppur questi appaiano leggermente superiori.

In particolare le misure effettuate in cantiere durante le attività di movimentazione della trivellatrice, le fasi di trivellazione dei terreni ed il loro asporto ad opera di una pala gommata, evidenziano livelli di accelerazione ponderata totale efficace A_{w_max} , in corrispondenza del piano di lavoro di cantiere (p.c.) alla distanza di 10 m dai mezzi, compresi tra 4.88 mm/s^2 e 5.81 mm/s^2 .



con un valore medio comprensivo delle varie fasi di lavorazione di:

$$A_{w,max\ rms} \text{ (mm/s}^2\text{)} = 5.01$$

$$A_{w,95} \text{ (mm/s}^2\text{)} = 6.58$$

$$V_{sor} \text{ (mm/s}^2\text{)} = 4.59$$

Trattasi di valori mediamente bassi per un'area di cantiere e che rimangono confrontabili, se non minori, ai livelli vibrazionali misurati in corrispondenza dei recettori più centrali ed esposti ai momenti di intenso traffico urbano.

Si evidenzia inoltre che il piano di lavoro (p.c.) su cui si muovevano i mezzi era perfettamente piano e senza la presenza di buche od avvallamenti, condizione che sicuramente ha influito in modo significativo a contenere i livelli vibrazionali immessi nel terreno nello spostamento dei mezzi.

L'utilizzo di mezzi con cingoli gommati si è, altresì, dimostrato un efficace mezzo per contenere l'emissione di vibrazioni.

5.1.4 Attività di cantiere

Al fine di quantificare le emissioni di vibrazioni generate da altre macchine impiegate nel cantiere si fa riferimento ai dati disponibili in bibliografia; specificatamente tali dati sono stati reperiti da L.H. Watkins –“Environmental impact of roads and traffic” - Appl. Science Publ. (L.H. Watkins, 1990), che alle pagine 231-241 riporta una serie di dati sperimentali sull'emissione di vibrazioni da parte di svariati tipi di macchine da cantiere, utilizzate nelle costruzioni stradali e ferroviarie, ma anche per la realizzazione del progetto di cui si tratta ed, in particolare, per la realizzazione delle opere civili e per la fase di demolizioni.

La seguente Tabella, tratta dalla documentazione tecnica, riporta una valutazione delle distanze di impatto vibrazionale (distanze oltre le quali gli effetti non sono più significativi) per le macchine da cantiere “tipiche” che sono state prese in esame.



Tabella 11 Distanze di impatto vibrazionali per macchine da cantiere (L.H. Watkins, 1990)

N.	Macchina	Distanza di impatto (m)
1	Camion da cantiere	---
2	Camion ribaltabile	--
3	Compattatore a rullo non vibrante	61
4	Compattatore a rullo vibrante	11
5	Pala gommata carica	11
6	Pala gommata scarica	---
7	Ruspa cingolata grande	34
8	Ruspa cingolata piccola	45

Dalle indicazioni sopra illustrate, si può quindi rilevare che il transito di mezzi pesanti di cantiere alla distanza di 10 m, in assenza di sobbalzi dei carichi o di pavimentazioni particolarmente sconnesse, non è generalmente accompagnato da accelerazioni che superano la soglia di sensibilità umana.

Compattatori, rulli vibranti, pale e ruspe sono viceversa caratterizzate da emissioni significative nei confronti della sensibilità umana e dei possibili effetti di disturbo sui ricettori e potenziale danno sugli edifici.

Con riferimento alle lavorazioni significative dal punto di vista dell'impatto vibrazionale, è possibile stimare il livello di vibrazione immesso in un generico edificio in funzione della distanza della fondazione dalla sorgente, considerando cautelativamente valori minimi di perdita di accoppiamento terreno-fondazione (edifici in c.a.).

Il livello di accelerazione stimato e ponderato, può poi essere confrontato con il limite di disturbo indicato dalla normativa di riferimento UNI 9614 per le abitazioni di giorno e per le aree critiche. Le lavorazioni di cantiere, infatti, sono normalmente limitate al solo periodo diurno.

Le stime previsionali delle emissioni vibrazionali di mezzi di cantiere, possono quindi essere svolte, cautelativamente, per la fase di attività caratterizzata dai valori massimi di emissione vibrazionale, corrispondente alla rullatura per la realizzazione dei sottofondi delle platee considerando 2 tipologie standard di terreni: "sabbie, limi, ghiaie, loess" e "argille, terreni argillosi".

Da quanto sopra illustrato, è possibile dedurre che le attività che necessitano l'impiego di rulli per la compattazione dei sottofondi, considerati i macchinari maggiormente impattanti, in quanto trasmettono vibrazioni direttamente al terreno, determinano livelli vibrazionali



significativi e disturbanti fino a distanze dell'ordine di circa 25/30 m per propagazione attraverso il Flysch e fino a circa 17/20 m nel caso di "argille, terreni argillosi".

Tenuto conto del fatto che i primi recettori che possono essere considerati potenzialmente esposti a fenomeni vibrazionali indotti della fase di realizzazione del setto impermeabile, sono localizzati a distanza minima dal perimetro dell'area di cantiere dell'ordine di 50-70 m (recettori R11 di Via dei Giardini e relative traverse), appare quindi immediato verificare con sufficiente confidenza che per tali recettori sia limitato il rischio del verificarsi di fenomeni di disturbo alle persone o di danno strutturale/estetico, indotto dalle attività di cantiere e di perforazione.

5.2 Identificazione dei recettori

Per la valutazione delle vibrazioni si sono utilizzati i medesimi ricettori utilizzati per la valutazione acustica.

Di ogni ricettore si è valutata la tipologia di suolo predominante, la distanza dalla sorgente vibratoria a livello fondazioni, inoltre ove è disponibile: la tipologia di edificio ed il numero di piani.

Tabella 12 elenco ricettori considerati per lo studio di impatto vibrazionale e limiti indicati norma UNI9614-2017

N	Indirizzo	Descrizione e n. piani	fascia di pertinenza infrastruttura di trasporto D.P.R. 142/2004	UNI9614-2017 limite diurno mm/s ²	UNI9614-2017 limite notturno mm/s ²
1	via italo svevo 19	Casa di riposo Emmaus, pt+4p	D e RFI	3.6	3.6
1b	via italo svevo	Istituto scolastico	D e RFI	5.4	5.4
4	Via di Servola 40	Casa parrocchiale, pt+2p	E	7.2	3.6
6	Via Pitacco 11	Residenza civile, pt+4p	E	7.2	3.6
6b	Via Pitacco 11	Residenza civile, pt+4p	E	7.2	3.6
7	Via S. Lorenzo in Selva	Residenza civile, pt+4p	E	7.2	3.6
8	Via S. Lorenzo in Selva	Residenza civile, pt+3p	D e RFI	7.2	3.6
8bis	Via S. Lorenzo in Selva	Residenza civile, pt+3p,	D e RFI	7.2	3.6
9	Via S. Lorenzo in Selva	Residenza civile, pt+3p	D e RFI	7.2	3.6
10	Via S. Lorenzo in Selva	Residenza civile, pt+4p	D e RFI	7.2	3.6
11	via dei giardini 50	Residenza civile, pt+3p	D e RFI	7.2	3.6
13	via valmaura 75	Residenza civile, pt+9p	D e RFI	7.2	3.6



5.2.1 Mappa recettori

L'immagini seguenti riportano in dettaglio la posizione dei ricettori considerati e la distanza presa a riferimento dal tracciato ferroviario più prossimo.

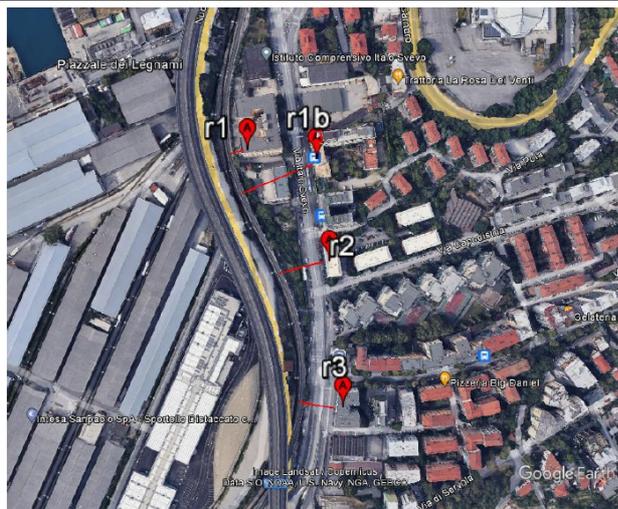


Figura 16 posizione ricettori r1-r3

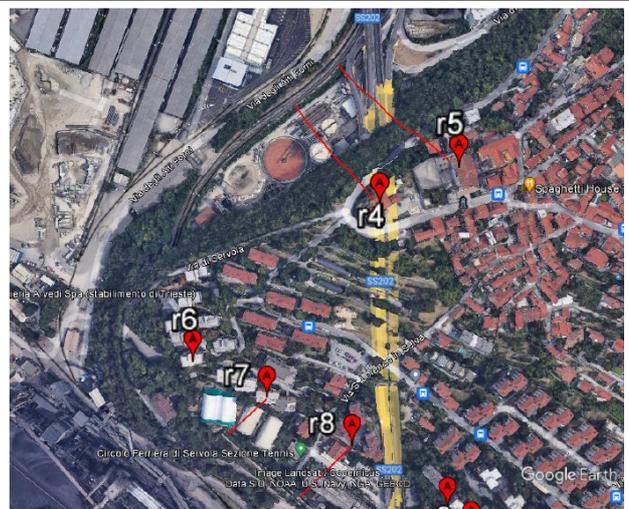


Figura 17 posizione ricettori r4-r8

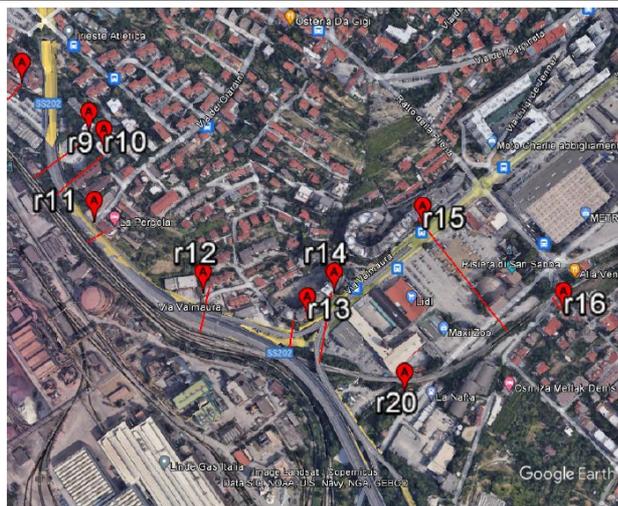


Figura 18 posizione ricettori r9-r16



5.3 Stima dei livelli vibratori ai ricettori nelle condizioni attuali con sorgente: traffico ferroviario e stradale

Nella precedente relazione, si era valutato il livello di accelerazione ponderato in frequenza e corretto per il fattore di attenuazione legato alla distanza dalla sorgente, per la tipologia di suolo e per l'amplificazione legata alla tipologia strutturale degli edifici, stimato su dati della letteratura tecnica.

Si era assunto un fattore medio di amplificazione strutturale di +5 dB per tener conto della propagazione delle vibrazioni all'interno dell'edificio, che cautelativamente è stato considerato come fenomeno di amplificazione seppur non sempre verificato in quanto dipendente dalle caratteristiche strutturali del singolo edificio.

Questo valore di amplificazione era stato attribuito agli edifici sviluppati fino a 4 piani, mentre per gli edifici più alti si era valutato un ulteriore aumento di +1dB per ogni piano aggiuntivo.

Alla luce delle misure effettuate in corrispondenza dei recettori, durante la campagna vibrometrica, si può ritenere che la stima fatta nella precedente relazione era decisamente cautelativa.

Le buone caratteristiche dei terreni in cui sorge l'abitato di Servola, la distanza tra il cantiere ed i recettori ed il livello vibrazionale misurato durante le attività di cantiere, ci permettono di dire che l'incremento vibrazionale, che ci si può aspettare durante l'esecuzione delle opere di progetto più prossime ai ricettori, sarà modesto e difficilmente impattante.

Si è pertanto assunto nei nuovi calcoli un fattore di amplificazione strutturale non superiore a +1-2 dB per gli edifici monofamiliari e palazzine fino a 4 piani e non superiore a +3 dB per gli edifici più alti.

L'incremento potrà interessare più sensibilmente gli edifici di vecchia costruzione ed in cattive condizioni, mentre nelle strutture di recente costruzione, come mediamente appaiono quelle più prossime al cantiere, questo valore sarà decisamente inferiore e verrà mediato nel rumore vibrazionale di fondo.

Questo incremento difficilmente porterà a superare i limiti indicati dalla norma UNI 9614-2017 e portare ad un livello di vibrazioni significativo.

Per la valutazione, in riferimento alla tipologia della sorgente, si è considerata la distanza dalla struttura viaria (strada/ferrovia) più prossima al ricettore e con una certa importanza.

I limiti considerati sono riferiti alla norma UNI9614-2017, che definisce il valore numerico del limite di accettabilità per edifici residenziali di 7.2 mm/s² (diurno) e di 3.6



mm/s² (notturno) corrispondenti ad un valore del livello di accelerazione complessiva ponderata in frequenza pari a 74 dB per il periodo diurno e di 68 dB per il periodo notturno.

Questi valori sono i valori previsti dalla norma UNI 9614-2017 per gli edifici residenziali, per gli edifici "particolarmente sensibili", costituiti dagli ospedali, case di riposo e scuole, si adottano come limite (sia diurno che notturno) valori più contenuti come riportato nella Tabella 3.

Tabella 13 Valori di acc. calcolati ai ricettori sorgente vibraz. stradali e ferroviarie (UNI9614-2017)

Ricettore	tipologia	sorgente	distanza m	cat. suolo	ricettore n° piani	amplific. strutturale calcolata dB	Valore di acc. ponderata calcolata mm/s ²	UNI96 14-2017 limite nott. mm/s ²	UNI96 14-2017 limite diurno mm/s ²
r1	Casa di riposo	sede stradale	20	CL-2	pt	0	1.0	3.6	3.6
					5p	+2	1.3		
	ferrovia	15	CL-2	pt	0	12.6	3.6	3.6	
				5p	+2	15.9			
r1b	Istituto scolastico	sede stradale	7	CL-2	pt	0	2.8	5.4	5.4
					4P	+2	3.5		
	ferrovia	73	CL-2	pt	0	3.5	5.4	5.4	
				4P	+2	4.5			
r2	res.civile	sede stradale	7	CL-2	pt	0	2.8	7.2	3.6
					p4	+2	3.6		
	ferrovia	44	CL-2	pt	0	1.8	7.2	3.6	
				p4	+2	2.2			
r3	res.civile	sede stradale	8.5	CL-2	pt	0	3.2	7.2	3.6
					p5	+2	3.9		
	ferrovia	33	CL-2	pt	0	10.0	7.2	3.6	
				p5	+2	12.6			



Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001

Pag. 56 di 114

r4	res.civile	sede stradale	160	CL-2	pt	0	0.1	7.2	3.6
					p2	+2	0.1		
	ferrovia	143	CL-2	pt	0	1.3	7.2	3.6	
				p2	+2	1.6			
r5	chiesa	sede stradale	41	CL-2	pt	0	0.5	3.6	3.6
					p5	+2	0.6		
	ferrovia	166	CL-2	pt	0	1.0	3.6	3.6	
				p5	+2	1.3			
r6	res.civile	sede stradale	68	CL-2	pt	0	0.3	7.2	3.6
					p3	+2	0.4		
	ferrovia (galleria)	10?	CL-2	pt	0	?	7.2	3.6	
				p3	+2	?			
r7	res.civile	sede stradale	81	CL-2	pt	0	0.3	7.2	3.6
					p5	+2	0.4		
	ferrovia	61	CL-2	pt	0	4.0	7.2	3.6	
				p5	+2	5.0			
r8	res.civile	sede stradale	39	CL-2	pt	0	0.1	7.2	3.6
					p5	+2	0.2		
	ferrovia	79	CL-2	pt	0	3.2	7.2	3.6	
				p5	+2	4.0			
r9	res.civile	sede stradale	47	CL-2	pt	0	0.5	7.2	3.6
					p3	+2	0.6		
	ferrovia	94	CL-2	pt	0	2.5	7.2	3.6	
				p3	+2	3.2			



Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001

Pag. 57 di 114

r10	res.civile	sede stradale	66	CL-2	pt	0	0.3	7.2	3.6
					p3	+2	0.4		
	ferrovia	100		pt	0	2.2	7.2	3.6	
				p3	+2	2.8			
r11	res.civile	sede stradale	96	CL-1 / CL-2	pt	0	0.1	7.2	3.6
					p2	+2	0.1		
	ferrovia	37	CL-1 / CL-2	pt	0	2.0	7.2	3.6	
				p2	+2	2.5			
r12	res.civile	sede stradale	37	CL-1	pt	0	0.2	7.2	3.6
					p2	+2	0.2		
	ferrovia	68	CL-1	pt	0	0.9	7.2	3.6	
				p2	+2	1.1			
r13	res.civile	sede stradale	35	CL-1	pt	0	0.2	7.2	3.6
					p7	+2	0.3		
	ferrovia	54	CL-1	pt	0	1.3	7.2	3.6	
				p7	+2	1.6			
r14	res.civile	sede stradale	15	CL-1	pt	0	1.1	7.2	3.6
					p8	+2	1.4		
	ferrovia	105	CL-1	pt	0	0.4	7.2	3.6	
				p8	+2	0.6			
r15	res.civile	sede stradale	25	CL-1	pt	0	0.4	7.2	3.6
					p9	+2	0.6		
	ferrovia	210	CL-1	pt	0	0.1	7.2	3.6	
				p9	+2	0.1			



r16	res.civile	sede stradale	52	CL-2	pt	0	0.5	7.2	3.6
					p2	+2	0.6		
	ferrovia	19	CL-2	pt	0	15.9	7.2	3.6	
				p2	+2	20.0			
	valori che rispettano i limiti della UNI 9614-2017								
	valori che superano i limiti della UNI 9614-2017, ma non della UNI9614-1990								

Data la metodica di valutazione e l'approssimazione delle strutture e del comportamento del sottosuolo, i valori calcolati si devono considerare di carattere indicativo, pertanto i valori calcolati che approssimano grossomodo i valori di riferimento della norma si devono considerare soddisfacenti.

Come si può ben vedere i valori di accelerazione calcolati sulla base di uno spettro di riferimento di vibrazioni generate da traffico stradale e ferroviario rientrano mediamente entro i limiti indicati dalla norma.

Solo tre edifici posti a breve-brevissima distanza dalla ferrovia, evidenziano valori di accelerazione che si discostano dagli altri.

Questi valori, tuttavia, appaiono inferiori se confrontati ai valori previsti dalla precedente versione della norma, in cui erano indicati i limiti di accelerazione ponderata in frequenza previsti per i treni, con un livello di accelerazione ponderata in frequenza per postura non nota Law di 86.7 dB, pari ad una accelerazione di 21.6 mm/s².

In particolare i valori calcolati per i recettori r1 e r3 ne risultano decisamente inferiori, il valore di accelerazione stimato al recettore r16 risulta maggiore, ma sempre inferiore al limite di 21.6 mm/s².

Analizzando la posizione dei tre recettori si può vedere che si trovano rispettivamente ad una distanza dalla linea ferroviaria di:

- **r1** (casa di riposo, ricettore sensibile) ha una distanza di 15 m dalla ferrovia;
- **r3** (residenza civile) si trova ad una distanza di 24 m dalla ferrovia;
- **r16** (residenza civile) si trova ad una distanza di 19 m dalla ferrovia;

Trattasi comunque di una linea ferroviaria secondaria con un traffico ferroviario molto limitato e quindi con un basso impatto disturbatore sui recettori.



5.4 Stima dei livelli vibratori ai recettori durante l'attività di trivellazione del setto impermeabile

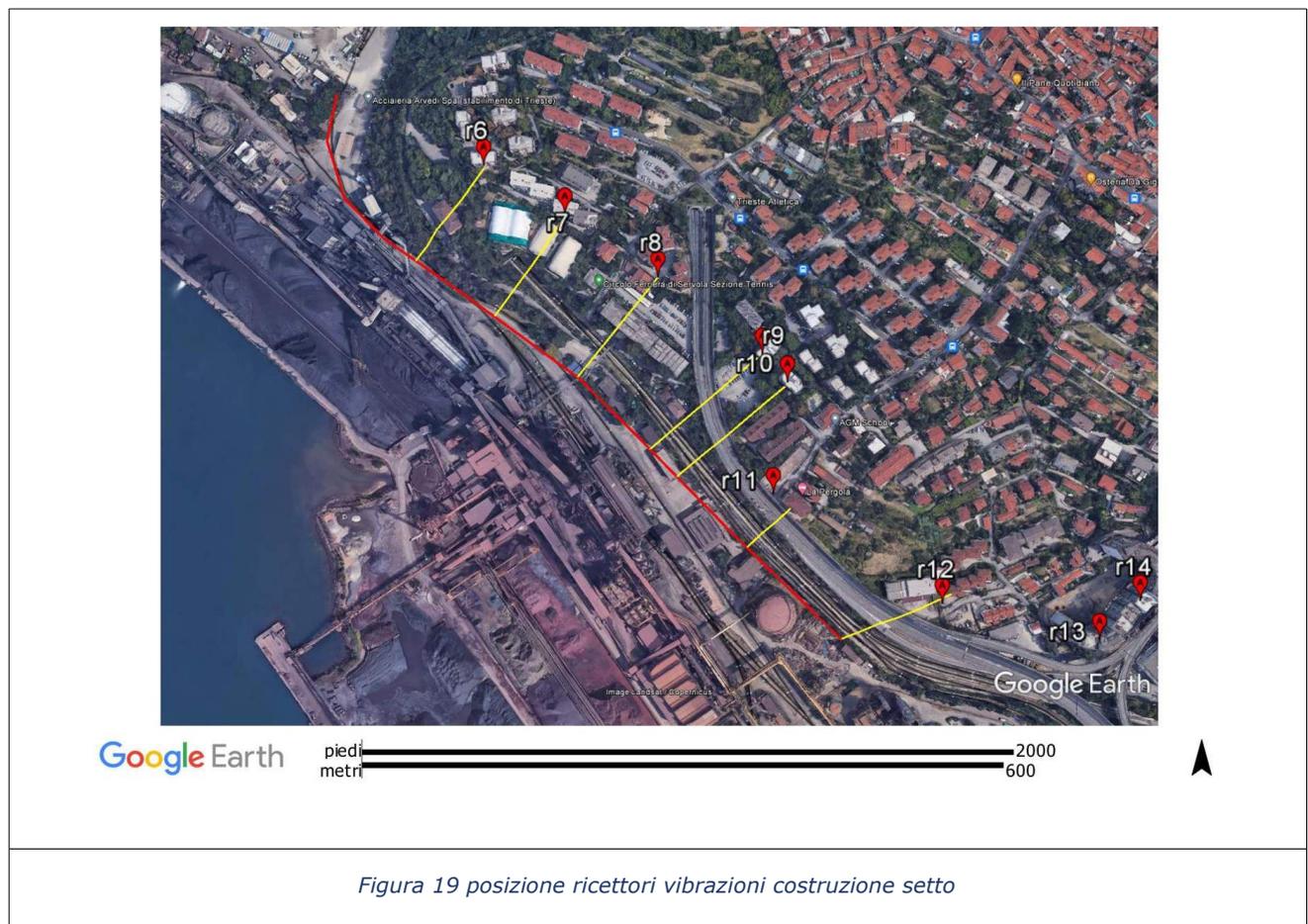
Di seguito si riporta la tabella che riassume la valutazione del valore di accelerazione ponderato in frequenza e corretto per il fattore di attenuazione per le vibrazioni generate durante la trivellazione dei pali del setto impermeabile a contorno dell'area di cantiere.

Nella valutazione si sono analizzati i ricettori più vicini all'asse di esecuzione della trivellazione per la realizzazione del setto impermeabile e che quindi più critici.

Questi sono i recettori n°: r6, r7, r8, r9, r10, r11, r12

Le loro distanze dalla sorgente di vibrazione più vicina sono comprese tra 55 m a 128 m.

Come si può osservare dalla figura 25, il livello di vibrazioni nei metri di distanza per i terreni più superficiali (classe litologica CL-1) appare decisamente elevato, valore che per poi decadere velocemente allorché la trivellazione raggiunge il substrato roccioso, che nell'area a ridosso del versante si presenta ad una modesta profondità, passando quindi alla curca di attenuazione CL-2.



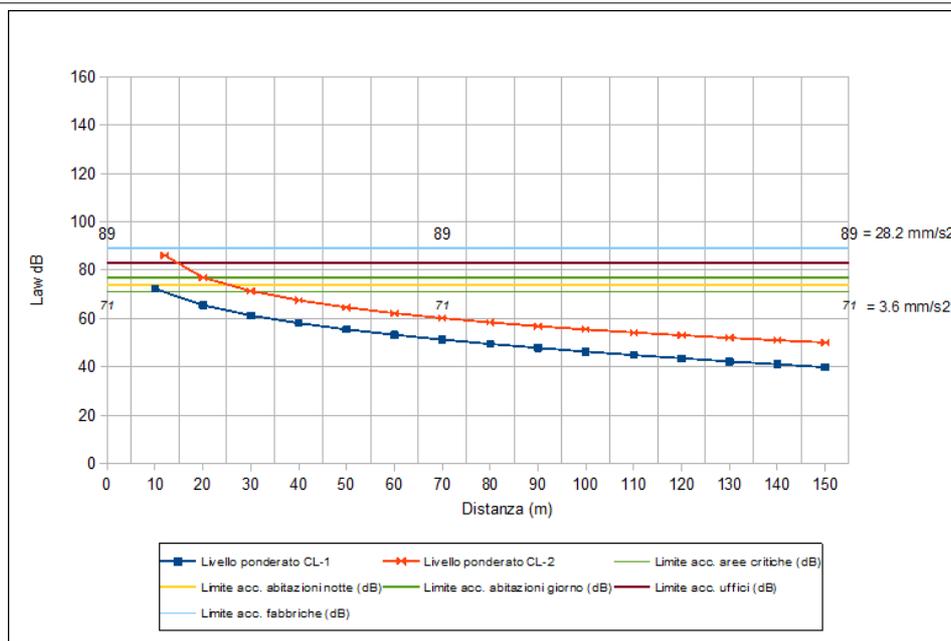


Figura 20 Andamento con la distanza del livello vibratorio in accelerazione ponderata in frequenza durante la realizzazione del setto per le due classi litologiche CL-1 e CL-2, da misura in sito

Tabella 14 Livelli di accelerazione calcolati ai ricettori durante trivellazione setto

Ricettore	ipologia	sorgente	distanza m	cat. suolo	piano	amplific. strutturale e dB	Valore di acc. ponderata calcolata mm/s ²	UNI9614-2017 Limite diurno mm/s ²	UNI9614-2017 Limite notturno mm/s ²
r6	res.civile	trivellazione setto	110	CL-2	pt	0	0.5	7.2	3.6
					p3	+2	0.6		
r7	res.civile	trivellazione setto	112	CL-2	pt	0	0.5	7.2	3.6
					p5	+2	0.6		
r8	res.civile	trivellazione setto	119	CL-2	pt	0	0.4	7.2	3.6
					p5	+2	0.6		
r9	res.civile	trivellazione setto	128	CL-2	pt	0	0.4	7.2	3.6
					p3	+2	0.5		



r10	res.civile	trivellazione setto	128	CL-2	pt	0	0.4	7.2	3.6
					p3	+2	0.5		
r11	res.civile	trivellazione setto	55	CL-1 / CL-2	pt	0	1.3	7.2	3.6
					p2	+2	1.6		
r12	res.civile	trivellazione setto	109	CL-1	pt	0	0.5	7.2	3.6
					p2	+2	0.6		

L'analisi effettuata sulla base dei calcoli previsionali, delle vibrazioni emesse durante l'opera di trivellazione dei pali/setti, evidenzia che in base alla distanza della sorgente dai recettori non ci sarà alcun impatto vibratorio avvertibile a livello dei recettori.

Il valore calcolato ovviamente non tiene conto del valore di sottofondo esistente nelle condizioni reali del sito.

5.5 Misura dei livelli vibratori durante attività di cantiere

5.5.1 attività di trivellazione e di cantiere

E' stata effettuata una campagna di misure vibrometriche all'interno dell'area di cantiere durante l'esecuzione di pali trivellati di 0.88 m di diametro, si è quindi acquisito lo spettro vibratorio generato durante le varie fasi di trivellazione e di lavorazione.

Questa tipologia di sorgente è quella che verrà utilizzata in modo più consistente nei prossimi tempi.

La campagna di misura ha analizzato il livello di accelerazione al suolo generato dalle seguenti macchine operatrici:

- Macchina perforatrice LIEBHERR modello BAT410 con cingoli gommati predisposta per la trivellazione di pali da 0.88m (Fig.21);
- Pala gommata piccola Cat 926M, 930M e 938M, utilizzata per lo sgombero dei terreni di risulta dal processo di trivellazione (Fig.22);
- altre lavorazioni di cantiere di minor conto;



In particolare si sono misurati i livelli di accelerazione in cantiere nelle seguenti fasi operative ed alla distanza di 10 m dalla sorgente:

1. fase di spostamento della trivella (10-50m);
2. fase di trivellazione della parte più superficiale dei terreni di copertura: Argille;
3. fasi di svuotamento del carotiere di trivellazione delle Argille;
4. fase di trivellazione nella formazione del Flysch;
5. fase di svuotamento del carotiere di trivellazione del Flysch;
6. fase di asporto dei terreni di risulta da parte di pala gommata;
7. ciclo completo di carotaggio Flysch, svuotamento carotiere ed asporto terreni di risulta.

Le misure effettuate ed i valori riscontrati sono stati raccolti nella seguente tabella 15 riassuntiva.

Le schede di misura e di calcolo sono riportate in calce alla presente relazione.

Le misure acquisite mostrano che la fase che ha prodotto il livello di accelerazione al suolo più elevato è stata durante le fasi di trivellazione del substrato roccioso (Flysch) e che queste appaiono maggiori secondo l'asse z (verticale). Il valore di accelerazione misurato al suolo non si è dimostrato di valore eccessivamente elevato e confrontabile, seppur con una firma spettrale differente, legata alla macchina ed ai terreni trivellati, con quello tratto dai dati bibliografici (Fig.23, 25) ed utilizzato nella valutazione della precedente tabella n°14.



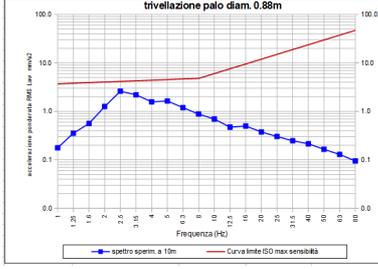
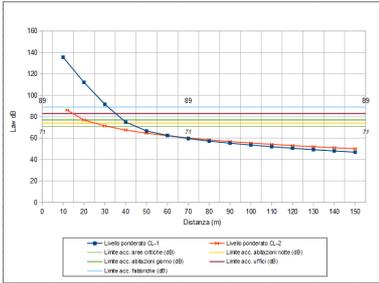
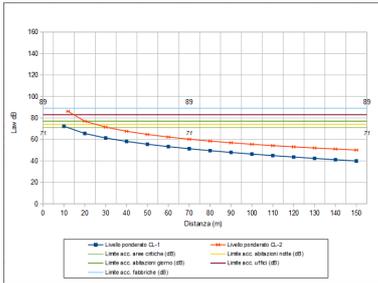
Figura 21 perforatrice LIEBHERR modello BAT410



Figura 22 pala gommata CAT 926



Si riporta di seguito, a confronto, i due diagrammi di accelerazione ponderata in frequenza Law (Fig.23 e 24), l'uno tratto da fonti bibliografiche ed il secondo verificato sperimentalmente durante le fasi di trivellazione con la trivellatrice Liebherr.

	
<p><i>Figura 23 spettro vibraz. di trivellazione da bibliog.tecnica</i></p>	<p><i>Figura 24 spettro sperim. vibraz. di trivellazione</i></p>
	
<p><i>Figura 25 attenuazione con distanza vibraz. trivellazione da bibliog.tecnica</i></p>	<p><i>Figura 26 attenuazione con distanza vibraz. trivellazione trivellatrice LIEBHERR modello BAT410</i></p>

Dai due spettri in terzi d'ottava delle Fig.23 e 24, l'uno tratto dalla bibliografia tecnica e l'altro acquisito nel cantiere attivo durante l'opera di trivellazione, si può vedere che l'andamento del primo spettro è mediamente più orizzontale con valori che rimangono più alti alle medie ed alte frequenze.

Il secondo spettro, acquisito in cantiere, invece assume una forma a campana con un massimo attorno ai 2.5 Hz e con la componente a medio alta frequenza che cala decisamente salendo in frequenza.

Nelle due figure successive (Fig.25 e 26) si può osservare il diverso comportamento nell'attenuazione con la distanza dei due tipi di sorgenti di vibrazioni.

Nella prima (da bibliografia) il livello di accelerazione ponderata in frequenza rientra entro il limite diurno, indicato dalla UNI 9614 per abitazioni, attorno ai 20 o 40m di distanza, a seconda che si consideri un sottosuolo costituito da Flysch (CL-1) o di natura prevalentemente



argillosa/detritica (CL-2): distanza che diviene, per il limite notturno, di almeno 27-43m, variabile a seconda della tipologia di terreni.

Nella seconda (sperimentale) il livello di accelerazione ponderata in frequenza rientra entro il limite diurno, indicato dalla UNI 9614 per abitazioni, attorno ai 10 o 20m di distanza, a seconda che si consideri un sottosuolo costituito da Flysch (CL-1) o di natura prevalente argillosa/detritica (CL-2); questa distanza, per il limite notturno, deve essere portata ad almeno 12-27m, variabile a seconda della tipologia di terreni.

Tabella 15 valori vibratori misurati durante le fasi di lavorazione di cantiere secondo UNI 9614-2017

Misura	data	orario	UNI9614-2014 Aw,max rms mm/s ²	UNI9614-2014 Aw,95 mm/s ²	UNI9614-2014 V _{sor} mm/s ²	Aw,max mm/s ² media	Aw,max mm/s ² std dev	Aw,max mm/s ² max	Aw,max mm/s ² min	Aw,max mm/s ² crest factor
1	23/01/24	10:32:00	4.53	5.63	2.91	4.49	0.61	5.82	2.72	1.29
2	23/01/24	10:36:00	5.00	6.73	5.74	4.93	0.96	10.30	0.99	2.05
3	23/01/24	10:39:00	4.88	6.20	3.36	4.83	0.73	7.39	2.83	1.51
4	23/01/24	10:42:00	5.81	7.97	5.00	5.69	1.20	9.98	2.97	1.72
5	23/01/24	10:45:00	--	--	--	--	--	--	--	--
6	23/01/24	10:59:00	4.89	6.31	5.19	4.82	0.79	7.47	1.12	1.53
7	23/01/24	11:13:00	4.93	6.64	5.34	5.20	0.85	6.72	1.30	1.49
		Media	5.01	6.58	4.59					

Nota: la misura n°5 non è stata processata in quanto è apparsa molto bassa e con poco significato.

Nei calcoli il valore minimo di accelerazione ponderata efficace è stato assunto come valore delle vibrazioni residue V_{res}.



I limiti considerati sono riferiti alla norma UNI9614-2017, che definisce il valore numerico del limite di accettabilità per edifici residenziali di 7.2 mm/s^2 (diurno) e di 3.6 mm/s^2 (notturno).

Si è stimato inoltre il livello vibrazionale, in rapporto alla distanza, prodotto durante le fasi più critiche di cantiere considerando tutte le tipologie di sorgente, e raccolte nella seguente tabella:

Tabella 16 distanza minima a cui il mezzo di cantiere non risulta più impattante

Ricettori	Ricettori sensibili distanza (m) minima per limite 2.0 mm/s^2	Abitazioni notte distanza (m) minima per limite 3.6 mm/s^2	Abitazioni giorno distanza (m) minima per limite 7.2 mm/s^2	Uffici distanza (m) minima per limite 14.0 mm/s^2
Tipologia macchina				
Camion ribaltabile	13	12	10	8
Camion da cantiere (dumper)	10	9	8	7
Compattatore a rullo non vibrante	130	115	94	65
Compattatore a rullo vibrante	17	15	12	8
Pala gommata carica	20	15	11	7
Pala gommata scarica	15	11	10	7
Ruspa cingolata grande	40	30	24	14
Ruspa cingolata piccola	75	60	45	27
trivellazione setti	55	47	45	39



5.6 Misura dei livelli vibratori ai ricettori nelle condizioni attuali

Il monitoraggio vibrazionale è stato fatto presso i seguenti ricettori con misura in esterno alla base dell'edificio: r1, r1b, r4, r6, r7, r8, r8/r8bis, r9/r10, r11, r13

Tabella 17 tab. riassuntiva dei valori vibratori misurati ai ricettori durante le fasi di cantiere (UNI9614-2017)

Rece ttore	data	orar io	Aw,max rms mm/s ²	Aw,95 mm/s ²	Vsor mm/s ²	Aw,max mm/s ² media	Aw,max mm/s ² std dev	Aw,max mm/s ² max	Aw,max mm/s ² min	Aw,max mm/s ² crest factor
R1	23/0 1/24	15:5 9:00	4.51	5.64	0.15	4.47	0.63	6.12	5.49	1.36
R1b	23/0 1/24	16:3 1:00	7.76	13.52	13.44	7.05	3.20	25.90	0.08	3.34
R4	24/0 1/24	14:3 8:00	4.49	5.89	5.15	4.44	0.61	6.62	0.44	1.48
R6	24/0 1/24	12:5 2:00	4.61	5.74	5.29	4.57	0.63	6.87	0.45	1.49
R7	23/0 1/24	12:5 0:00	4.54	5.67	5.15	4.50	0.64	6.61	0.52	1.45
R8	24/0 1/24	13:3 2:00	5.45	7.72	6.77	5.3	1.26	12.4	0.95	2.27
R8/ bis	24/0 1/24	13:4 7:00	2.18	2.90	2.61	2.14	0.40	3.63	0.29	1.66
R9/ R10	23/0 1/24	13:5 3:00	4.48	5.56	5.00	4.44	0.60	6.41	0.56	1.43
R11	23/0 1/24	14:2 0:00	4.59	5.67	5.18	4.55	0.60	6.40	0.49	1.39
R13	23/0 1/24	15:1 5:00	4.86	6.30	5.81	4.79	0.80	7.75	0.49	1.60
	valore che rispetta il limite diurno della UNI 9614-2017									
	valore che supera il limite diurno della UNI 9614-2017									



Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001

Pag. 67 di 114

Nella valutazione si sono analizzati in particolare i recettori più esposti e che possono essere maggiormente interessati dalle vibrazioni indotte dall'attività di cantiere.

Sulla base delle misurazioni vibrometriche effettuate in sito durante le opere di catotaggio dei pali di 0.88 m si può ritenere con un buon grado di sicurezza che il livello delle vibrazioni che può interessare i recettori più prossimi sarà basso e di un livello non disturbante.

La distanza che intercorre tra le sorgenti ed i recettori e il coefficiente di attenuazione intrinseco delle formazioni di natura argillosa più superficiali e successivamente il passaggio alle formazioni rocciose del substrato del Flysch attenuano di buon grado il segnale vibratorio come evidenziato nel capitolo precedente.

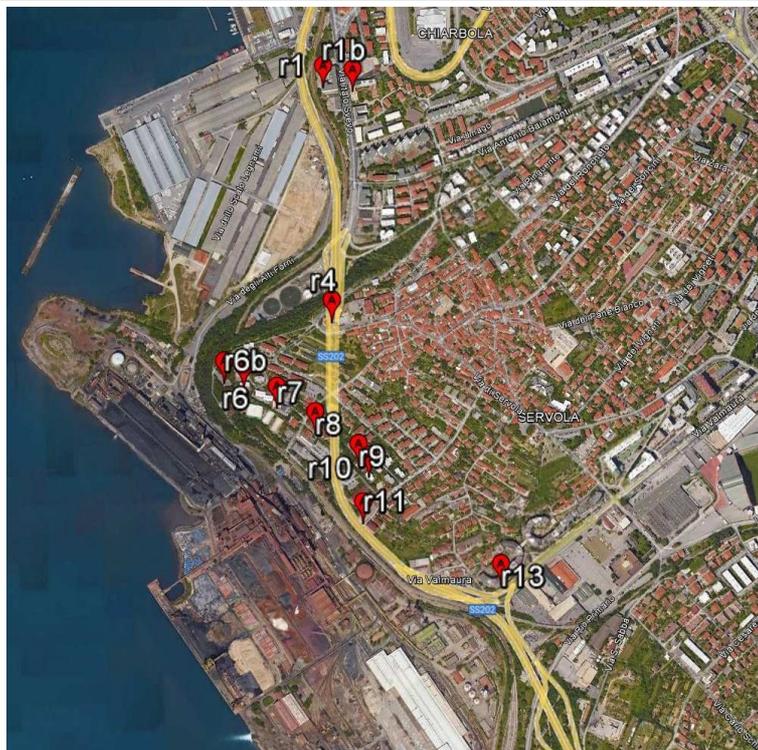


Figura 27 visione dei recettori e loro posizione oggetto delle misure vibrometriche

I recettori più prossimi all'area di cantiere (r6-r13) sono costituiti da residenze private e quindi con un livello di accelerazione di accettabilità per edifici residenziali di 7.2 mm/s^2 (diurno) e di 3.6 mm/s^2 (notturno), secondo quanto indicato dalla UNI 9614-2017.

I recettori più sensibili sono costituiti dai punti r1 e r1b che sono rispettivamente una casa di riposo ed un istituto scolastico.

La UNI 9614-2017 indica come limite di accettabilità per tali strutture rispettivamente di 3.5 mm/s^2 e 5.4 mm/s^2 .



Le misure ambientali acquisite in ambito urbano presso i recettori evidenziano valori di accelerazione vibratoria che rimangono entro il limite diurno previsto dalla UNI 9614-2017, ma non nel limite notturno.

In particolare il valore misurato presso il recettore r1b, costituito dall'Istituto scolastico sito in Via Italo Svevo, supera il limite diurno nei momenti di massimo traffico.

Tabella 18 Livelli di accelerazione misurati ai ricettori e limiti indicati dalla norma Uni 9614-2017

Recettore	tipo	data	orario	Aw,max rms mm/s ²	Aw,95 mm/s ²	Vsor mm/s ²	UNI9614 -2017 Limite diurno mm/s ²	UNI9614 -2017 Limite notturno mm/s ²
r1	Casa di riposo	23/01/24	15:59:00	4.51	5.64	0.15	3.6	3.6
r1b	Istituto scolastico	23/01/24	16:31:00	7.76	13.52	13.44 (*)	5.4	5.4
r4	res.civile	24/01/24	14:38:00	4.49	5.89	5.15	7.2	3.6
r6	res.civile	24/01/24	12:52:00	4.61	5.74	5.29	7.2	3.6
r7	res.civile	23/01/24	12:50:00	4.54	5.67	5.15	7.2	3.6
r8	res.civile	24/01/24	13:32:00	5.45	7.72	6.77	7.2	3.6
r8/bis	res.civile	24/01/24	13:47:00	2.18	2.90	2.61	7.2	3.6
r9/r10	res.civile	23/01/24	13:53:00	4.48	5.56	5.00	7.2	3.6
r11	res.civile	23/01/24	14:20:00	4.59	5.67	5.18	7.2	3.6
r13	res.civile	23/01/24	15:15:00	4.86	6.30	5.81	7.2	3.6
	valore che rispetta il limite diurno della UNI 9614-2017							
	valore che supera il limite diurno della UNI 9614-2017							

(*) NB: l'elevato valore di accelerazione rilevato in corrispondenza dell'istituto scolastico è da attribuirsi al intenso traffico durante il quale sono state effettuate le misure.



5.7 Stima dei livelli vibratori nelle condizioni di esercizio

Le sorgenti di vibrazioni attualmente esistenti sono riconducibili al passaggio di veicoli sulla viabilità esistente ed al transito dei convogli ferroviari lungo le linee ferroviarie esistenti.

Nella situazione di progetto oggetto di questa valutazione non è prevista nessuna variazione alla tipologia di veicoli e di convogli ferroviari, in quanto la realizzazione della Nuova Stazione è legata all'utilizzo da parte del previsto Molo VIII, la cui realizzazione è prevista successivamente al completamento delle opere di Fascicolo A.

Da queste premesse si ricava che le valutazioni relative ai livelli vibratori ai recettori considerati, fatte per la situazione attuale valgono anche per la situazione di esercizio del progetto in valutazione.

Si ricorda infatti che la metodologia di valutazione della norma UNI 9614-2017 prevede l'analisi statistica del massimo valore di accelerazione vibratoria decurtato del valore di fondo.

Rimangono quindi invariati i valori stimati ed analizzati nelle tabella 13 e tabella 18 a cui si rimanda.

Rimangono anche invariate le considerazioni nei confronti dei relativi limiti di riferimento indicati dalla norma UNI 9614-2017.



6 ESITO DELL'ANALISI VIBRAZIONALE

La campagna di misure vibrometriche, effettuata secondo la norma UNI9614-2017, ha permesso di analizzare le vibrazioni generate all'interno dell'area di cantiere, ove si trovano le principali fonti vibratorie, ed analizzarne la propagazione.

Si è provveduto inoltre a censire i recettori, raggruppandoli in gruppi omogenei, sulla base delle caratteristiche del sito, della morfologia e della geologia e della destinazione d'uso, e per ognuno dei quali si è assunto un recettore rappresentativo e maggiormente esposto.

In corrispondenza dei recettori più esposti si è provveduto a misurarne il livello vibrazionale nelle condizioni operative attuali ed a stimarne il livello nelle condizioni operative di progetto e di post operam.

Per facilitare l'identificazione dei recettori, si è mantenuta, per quanto possibile, la stessa numerazione utilizzata per le misure fonometriche, in modo da poter identificare il medesimo recettore con un codice univoco.

Lo studio vibrazionale è stato sviluppato mediante una valutazione ragionata delle caratteristiche del sito, della morfologia e della geologia dell'area; si sono altresì valutate le caratteristiche delle sorgenti vibratorie che più verranno utilizzate durante lo sviluppo del progetto in fase di cantiere e del possibile impatto dell'opera a regime.

Si è valutato l'impatto vibrazionale misurato con macchine di cantiere in funzione, situazione più critica della fase di esercizio.

Sulla base del fattore di attenuazione, derivato dalle prove in sito effettuate, si è quindi verificata la distanza alla quale il fenomeno vibratorio risulta sufficientemente attenuato da risultare non più disturbante in riferimento alla posizione dei recettori e valutato secondo i limiti riportati della norma UNI 9614-2017 per il periodo diurno e notturno.

Sulla base delle misure effettuate in sito e dell'analisi della estesa documentazione tecnica acquisita si possono fare le seguenti considerazioni conclusive:

- le misure effettuate all'interno dell'area di cantiere durante la realizzazione di pali trivellati da 0.88 m, di scavo e di movimentazione di terra, hanno evidenziato che il valore della accelerazione ponderata efficace a_{w_rms} ed il valore V_{sor} , parametri utilizzati per la valutazione del disturbo da vibrazioni, è risultato di valore medio e rientrante entro i limiti diurni previsti dalla UNI 9614-2017 per ambiente abitativo ad una distanza di circa 15/20m dalla sorgente, per il limite notturno invece la distanza deve essere portata ad almeno 20-25m, variabile a seconda della tipologia di terreni;



- le misure effettuate all'interno dell'area di cantiere durante le fasi di movimentazione delle terre con la pala gommata, valutato mediante la misura della accelerazione ponderata efficace a_{w_rms} ed il valore V_{sor} , è risultato anch'esso molto basso tale da non arrecare disturbo vibratorio e rientrare nel limite diurno indicato dalla norma già a circa 12/18m di distanza, mentre per il limite notturno la distanza è bene sia di almeno 18-24m; da cui, considerato che tutte i ricettori sono a distanze decisamente superiori ai 25/30 m, si conclude che i limiti indicati dalla norma UNI 9614-2017 sono rispettati;
- altre lavorazioni interne al cantiere, quale svuotamento del carotiere di trivellazione, spostamento di terre di risulta, mostrano valori di accelerazione ponderata efficace a_{w_rms} ed il valore V_{sor} , mediamente bassi tali da non influire significativamente sullo spettro diffuso, la loro efficacia quale possibile disturbo è limitata a poche decine di metri al più;
- i livelli vibrazionali misurati durante le misure ambientali in corrispondenza dei recettori in ambito urbano evidenziano dei livelli di accelerazione vibratoria di valore talora superiore ai livelli rilevati all'interno del cantiere, questi sono per lo più da imputarsi all'intenso traffico urbano nelle ore di punta, ed in particolare alle sconnessioni del manto stradale; in particolare i valori vibratorii misurati presso il recettore r1b, costituito dall'Istituto scolastico in Via Italo Svevo, superano decisamente il limite diurno nei momenti di massimo traffico;
- infine, per quanto riguarda i fenomeni di potenziale impatto da vibrazioni generate dal traffico indotto da e per l'area di cantiere, anche in questo caso possono essere scongiurati possibili fenomeni di disturbo alle persone e/o di danno strutturale/estetico agli edifici. Numerosi studi hanno mostrato che il passaggio di autocarri ed autoarticolati pesanti a 70 km/h, lungo strade non particolarmente dissestate, non produce significative alterazioni del clima vibrazionale già a partire da circa 10-15 m di distanza dalla traiettoria di transito; a velocità inferiori, come quelle presumibilmente stimabili per la viabilità di interesse, la distanza di potenziale significativo impatto diminuisce ulteriormente.

Bisogna tuttavia sottolineare che assume grande importanza la condizione del sottofondo stradale, piccole buche, avvallamenti o dossi, possono incrementare in modo deciso il valore vibratorio diffuso nell'ambiente.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, non si ritiene quindi che le attività che verranno svolte entro l'area di cantiere per la realizzazione della nuova area produttiva possano indurre significativi cambiamenti ed impatti da vibrazioni, e conseguenti potenziali disturbi alle



persone e/o danni strutturali/estetici agli edifici, presso i recettori più vicini all'area di cantiere stessa, costituiti sostanzialmente dagli edifici di civile abitazione.

Dato che non si sono evidenziate particolari criticità da imputarsi all'attività di cantiere non si prevedono necessarie opere di mitigazione.

Si fa notare che la stessa costruzione del setto impermeabile, per le sue caratteristiche, si comporterà come una barriera vibro-assorbente sotterranea e smorzerà ulteriormente i fenomeni vibratorii generati durante le lavorazioni di cantiere.

Si evidenzia anche che la stessa norma UNI 9614-2017 presa a riferimento, prevede nella Appendice C , in calce alla norma, per talune attività di cantiere quali:

- demolizioni, battitura od infissione di pali, perforazioni di pali, scavo di diaframmi, impiego di esplosivi o demolizioni, vibro compattazione di terreni o rilevati, movimento di veicoli pesanti su terreni sconnessi,

la possibilità di deroghe ai limiti di riferimento per attività temporanee o attività per le quali le misure mitigative adeguate non sono implementabili o non sono economicamente sensate, quando viste all'interno della breve durata dell'attività disturbante.



Nello specifico sulla base di quanto richiesto:

VIBRAZIONI	
5.1 Per caratterizzare lo scenario di base (ante operam) il Proponente dovrà:	
5.1.a eseguire una campagna di rilievi vibrometrici secondo le modalità indicate dalla norma UNI 9614:2017	Lo studio è stato effettuato e gli esiti delle misure sono riportate nella tabella 15: misura vibrazioni sorgenti cantiere - tabella 17: misura vibrazioni ai ricettori durante cantiere
5.1.b censire ed indicare tutti i ricettori presenti nell'area di influenza anche caratterizzati da differente geomorfologia, identificati con un codice univoco, indicando per ciascuno la destinazione d'uso e i limiti di riferimento;	Sono indicati nella tabella 12 e 14: ricettori maggiormente esposti
5.1.c valutare e riportare i livelli vibrazionali sui ricettori censiti nelle condizioni operative attuali, attraverso stime e/o misure, da effettuarsi presso i ricettori i più esposti all'intervento di progetto. L'analisi dello scenario di base dovrà essere condotta secondo quanto indicato nella norma UNI 9614:2017.	Si è analizzata la situazione attuale e gli esiti delle misure in condizioni attuali sono riportate nella tabella 13-17:
5.2 Il Proponente dovrà inoltre:	L'analisi delle stime delle misure in condizioni post operam è la medesima della condizione attuale riportate nella tabelle 13-18:
5.2.a aggiornare lo studio di compatibilità dell'opera in relazione alle vibrazioni, stimando sui ricettori presenti nell'area di influenza i livelli vibrazionali nelle condizioni operative di progetto (post operam), secondo la norma UNI 9614:2017;	Si è fatta la stima delle attività di cantiere sono riportate nel Cap.5:
5.2.b stimare i livelli vibrazionali prodotti dalle attività di cantiere (cantieri operativi, fronte avanzamento lavori), nelle fasi più critiche per tipologia di lavorazioni, considerando tutte le sorgenti/macchinari/impianti previsti nel cantiere. I livelli vibrazionali prodotti dalle attività di realizzazione dell'opera di progetto dovranno essere stimati sui ricettori più prossimi alle aree di cantiere, secondo i parametri previsti dalla norma UNI 9614:2017, evidenziando potenziali situazioni di criticità;	Non si prevedono potenziali criticità la descrizione nelle conclusioni e quindi opere di mitigazione; la realizzazione del setto, per sua natura porterà benefici nel contenere le vibrazioni facendo da schermo
5.2.c restituire le analisi (post-operam e fase di cantiere) in forma tabellare, riportando per i ricettori individuati la destinazione d'uso, i limiti di riferimento, i livelli vibrazionali stimati e il confronto con i limiti di riferimento.	
5.3 Nel caso in cui le valutazioni degli impatti vibrazionali effettuate ai sensi della norma UNI 9614:2017 evidenziassero situazioni di potenziale criticità, si chiede al Proponente di:	
5.3.a individuare gli opportuni interventi di mitigazione. Gli interventi dovranno essere descritti dal punto di vista dimensionale e delle caratteristiche di smorzamento del fenomeno vibratorio e dovranno essere localizzati su cartografia per entrambi le fasi.	



7 **BIBLIOGRAFIA**

- #1)** G.A. Athanasopoulos, P.C. Pelekis, G.A. Anagnostopoulos - "Effect of soil stiffness in the attenuation of Rayleigh-wave motions from field measurements" - Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19 (2000) 277-288;
- #2)** Dong-Soo Kim, Jin-Sun Lee - "Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations" - Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19 (2000) 115-126;
- #3)** L.H. Watkins - *"Environmental impact of roads and traffic"* - Appl. Science Publ.;
- #4)** Raffaele Pisani *"Origine, Propagazione e Modelli Previsionali delle Vibrazioni dei Mezzi di Trasporto"*, Studio di Ingegneria Acustica Rivoli (Torino);
- #5)** Kym Burgemeister, Kai Fisher and Kathy Franklin *"Measurement and Prediction of Construction Vibration Affecting Sensitive Laboratories"*, Paper Number 33, Proceedings of ACOUSTICS 2011;

	<p>PROGETTO AdSP 1951</p> <p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuova nel porto di Trieste</p>	<p>Pag. 75 di 114</p>
--	---	-----------------------

ALLEGATI

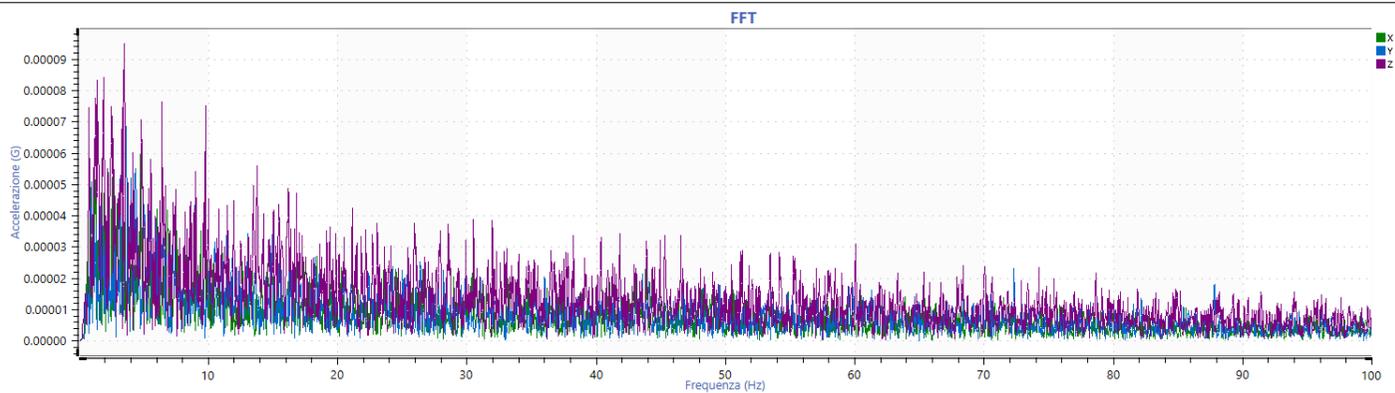
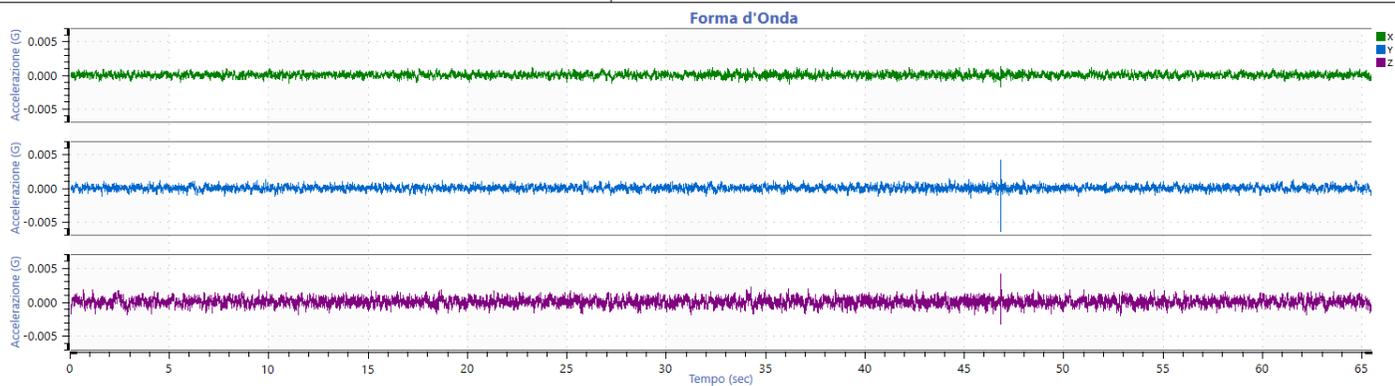
- **ALLEGATO 1 – Schede rilievi vibrometrici: Area di cantiere**
- **ALLEGATO 2 – Schede rilievi vibrometrici: Area Recettori**

	<p style="text-align: center;">PROGETTO AdSP 1951</p> <p style="text-align: center;">Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuova nel porto di Trieste</p>	<p>Pag. 76 di 114</p>
--	---	-----------------------

ALLEGATO 1 - Schede rilievi vibrometrici

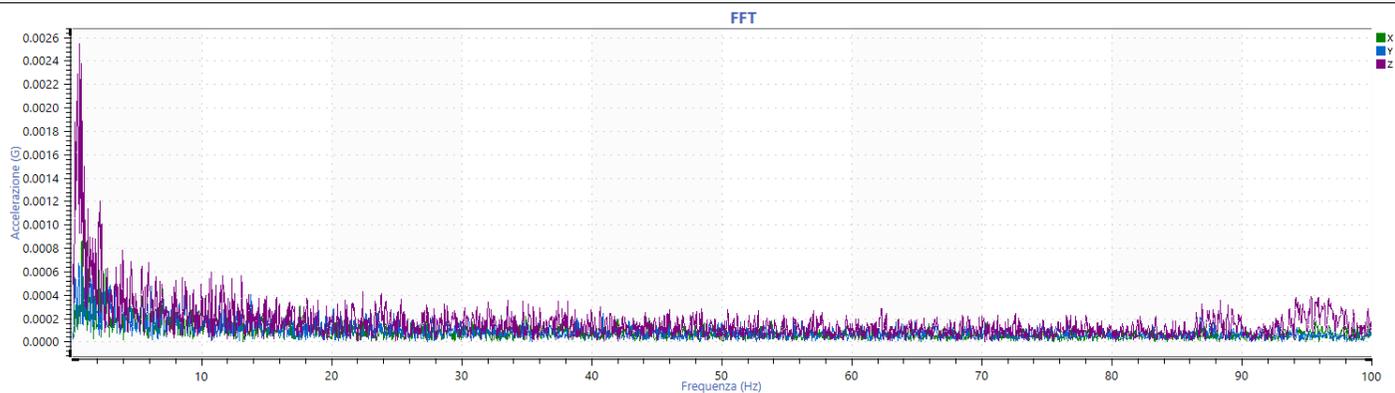
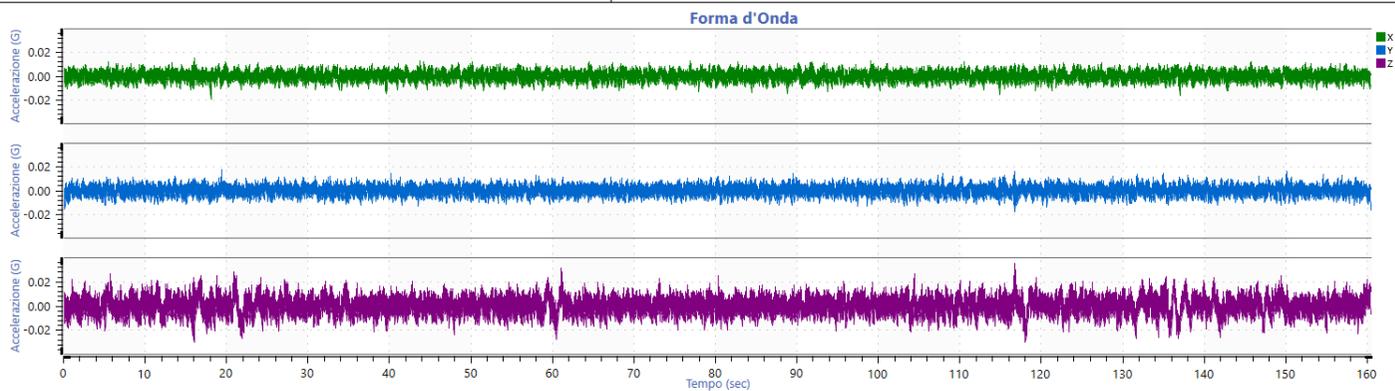
AREA CANTIERE

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 1A
Posizione: CANTIERE, movimentazione trivella	Inizio misure: 23/01/24:10.35		Fine misure:	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z: distanza sorgente = 50-10m	Note:			



Scheda rilievo vibrometrico		Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 1B
Posizione: CANTIERE, movimentazione trivella			Inizio misure: 23/01/24:10.35		Fine misure:
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max		distribuzione cumulativa
Posizione rilievo/foto			Distribuzione assoluta valori di picco		Amplitude Stats: aw,max mean = 0.00449 std dev = 0.0006078 Crest Factor = 1.286

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 2A
Posizione: CANTIERE, carotaggio argille		Inizio misure: 23/01/24:10.37		Fine misure:
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23		accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A
Time history x, y, z: distanza sorgente = 10m		Note:		

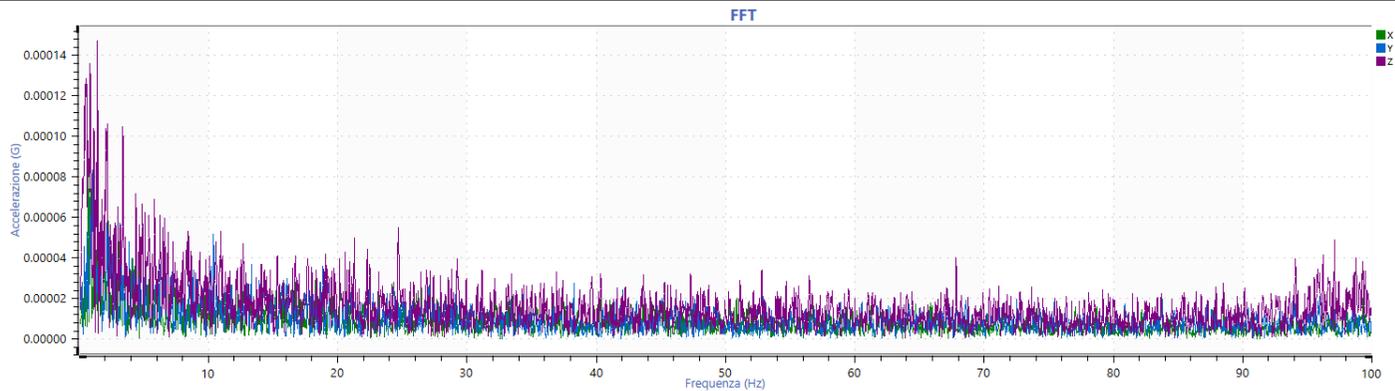
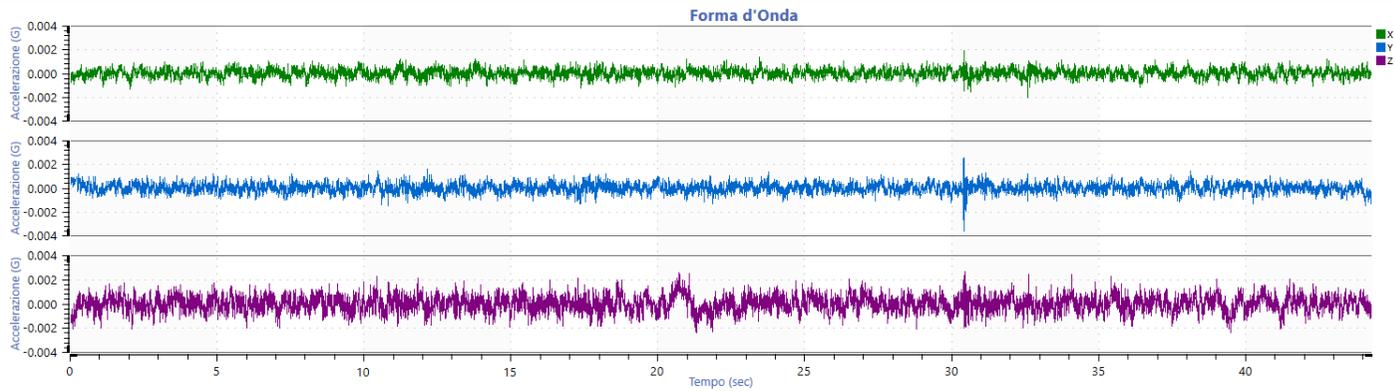


Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 2B
Posizione: CANTIERE, carotaggio argille		Inizio misure: 23/01/24:10.37		Fine misure:
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max	distribuzione cumulativa
<p>Wm Weighted Time History 1 sec segments, 0% overlap</p> <p>Y-axis: Accel (m/sec²) RMS X-axis: Time (sec)</p> <p>Key points: X: 5.5 Y: 0.002987 X: 19.5 Y: 0.003278 X: 68.5 Y: 0.003156 X: 135.5 Y: 0.002900 X: 149.5 Y: 0.002824</p>	<p>Wm Weighted Time History 1 sec segments, 0% overlap</p> <p>Y-axis: Accel (m/sec²) RMS X-axis: Time (sec)</p> <p>Key points: X: 5.5 Y: 0.003488 X: 33.5 Y: 0.003069 X: 34.5 Y: 0.003112 X: 80.5 Y: 0.003481 X: 150.5 Y: 0.003322</p>	<p>Wm Weighted Time History 1 sec segments, 0% overlap</p> <p>Y-axis: Accel (m/sec²) RMS X-axis: Time (sec)</p> <p>Key points: X: 21.5 Y: 0.007084 X: 104.5 Y: 0.006078 X: 118.5 Y: 0.00722 X: 147.5 Y: 0.006551</p>	<p>Time History Y-axis: awt (m/s²) X-axis: Time(sec)</p> <p>Histogram Y-axis: awt (m/s²) X-axis: Counts</p>	<p>Cumulative Histogram Y-axis: Counts X-axis: awt (m/s²) × 10⁻³</p>
Posizione rilievo/foto			Distribuzione assoluta valori di picco <p>Absolute Peak Value Distribution Y-axis: Counts X-axis: awt (m/s²) × 10⁻³</p>	Amplitude Stats: aw,max mean = 0.004932 std dev = 0.0009596 RMS = 0.005025 skewness = 1.266 kurtosis = 10.24 Maximum = 0.0103 Minimum = 0.0009855

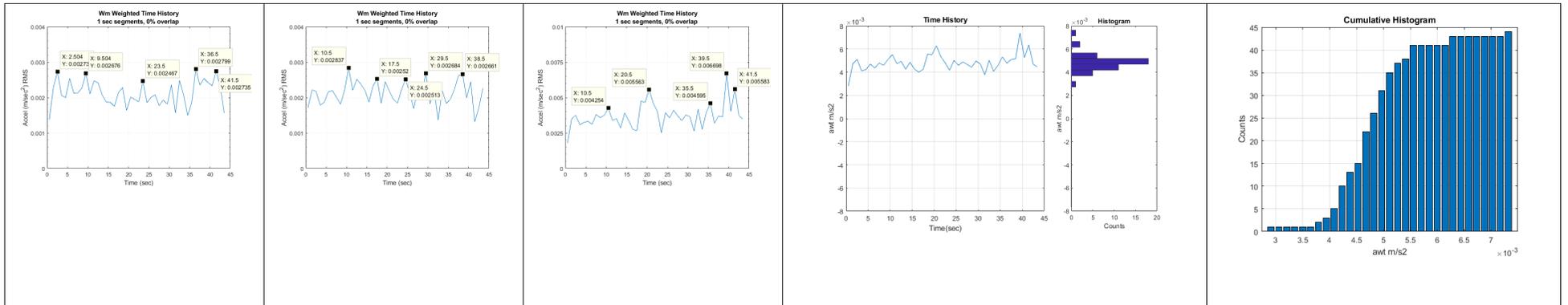


Crest Factor = 2.051

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste		Rapporto Prova n°: 3A
Posizione: CANTIERE, svuotamento carotiere argille		Inizio misure: 23/01/24:10.42			Fine misure:
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23		accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z: distanza sorgente = 10m		Note:			



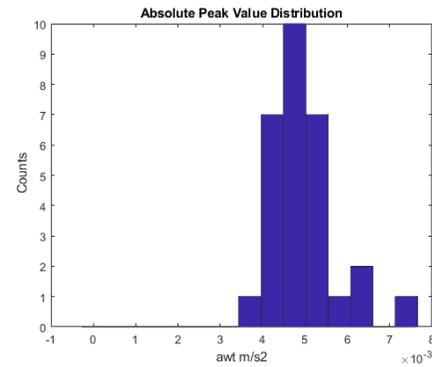
Scheda rilievo vibrometrico		Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 3B
Posizione: CANTIERE, svuotamento carotiere argille			Inizio misure: 23/01/24:10.42		Fine misure:
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max		distribuzione cumulativa



Posizione rilievo/foto



Distribuzione assoluta valori di picco



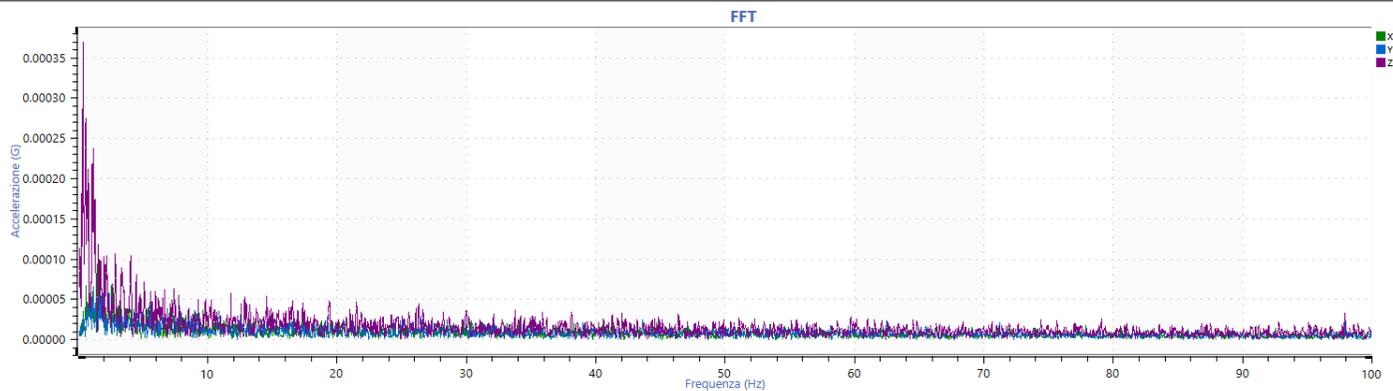
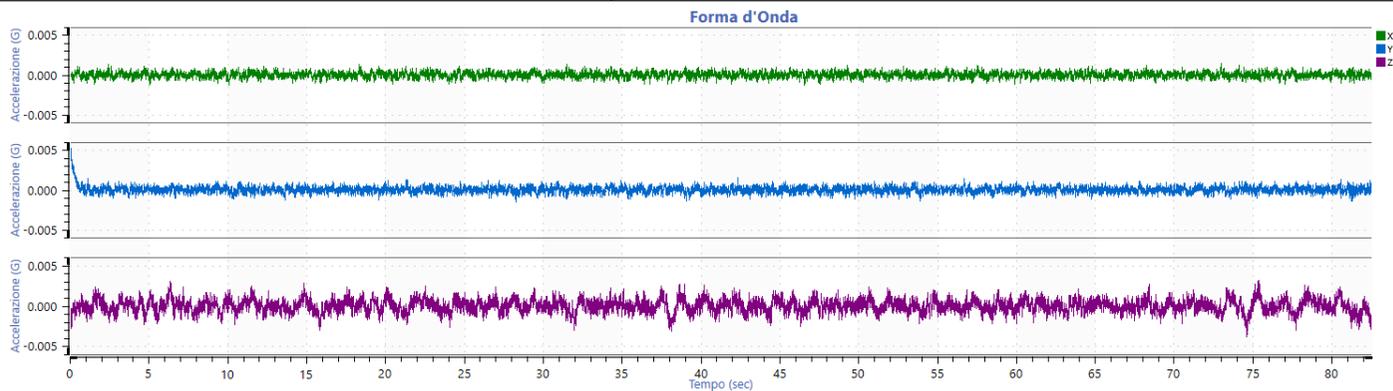
Amplitude Stats: aw,max

mean = 0.004827
 std dev = 0.000734
 RMS = 0.004883
 skewness = 0.7742
 kurtosis = 5.737
 Maximum = 0.007393
 Minimum = 0.002835
 Crest Factor = 1.514

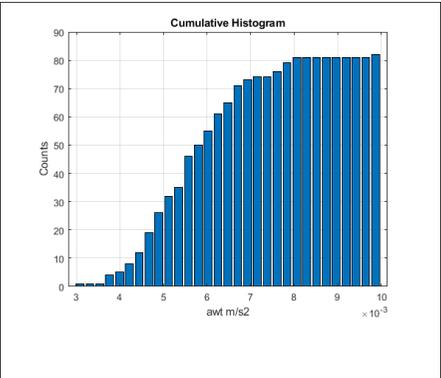
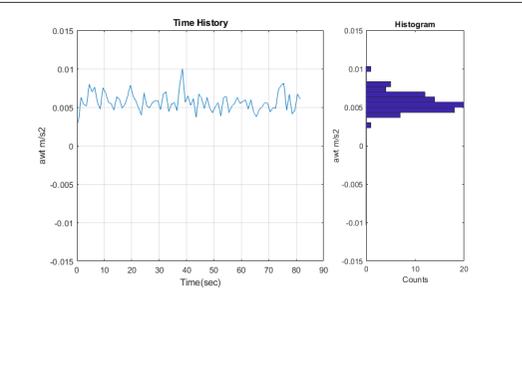
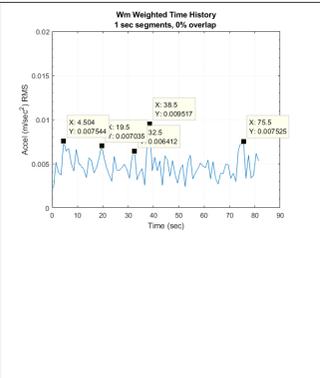
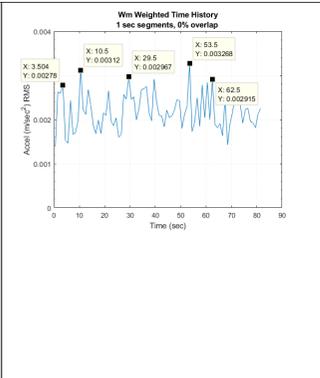
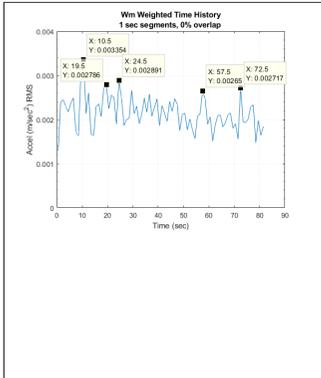
Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 4A
Posizione: CANTIERE, carotaggio Flysch		Inizio misure: 23/01/24:10.45		Fine misure:
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23		accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A

Time history x, y, z: distanza sorgente = 10m

Note:

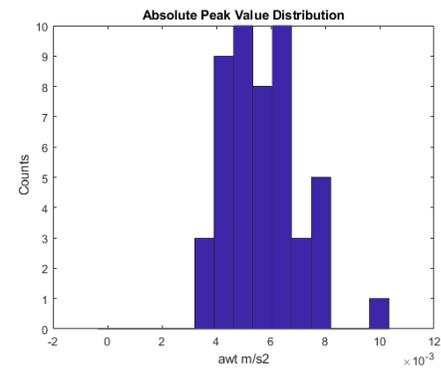


Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 4B
Posizione: CANTIERE, carotaggio Flysch		Inizio misure: 23/01/24:10.45		Fine misure:
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max	distribuzione cumulativa



Posizione rilievo/foto

Distribuzione assoluta valori di picco



Amplitude Stats: aw,max

mean = 0.005693

std dev = 0.0012

RMS = 0.005818

skewness = 0.6427

kurtosis = 3.847

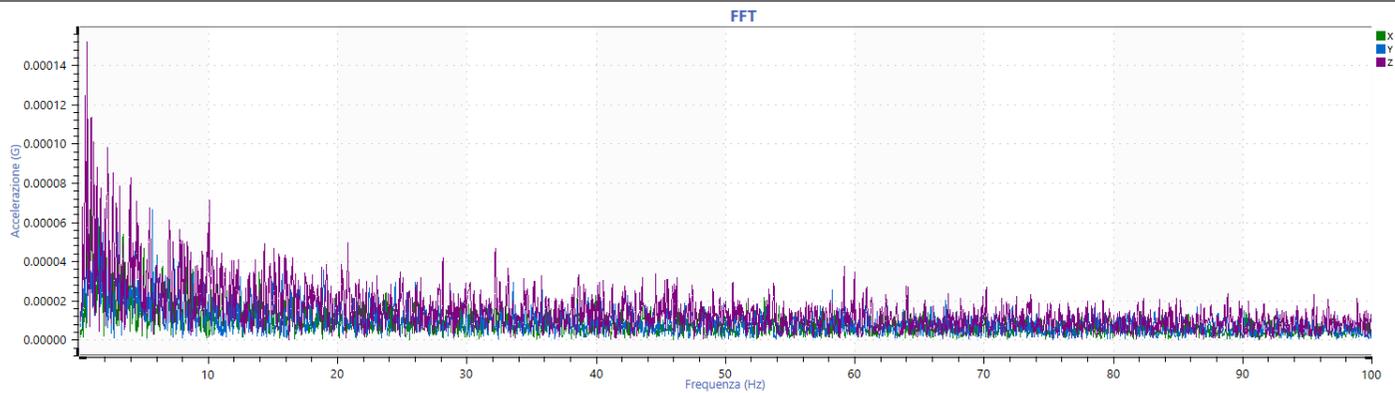
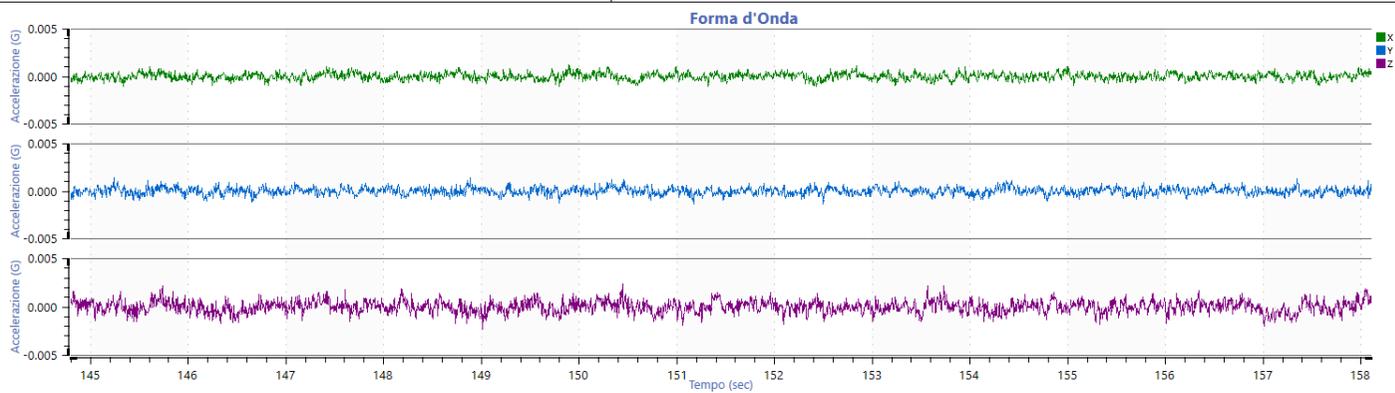
Maximum = 0.009983

Minimum = 0.002972

Crest Factor = 1.716

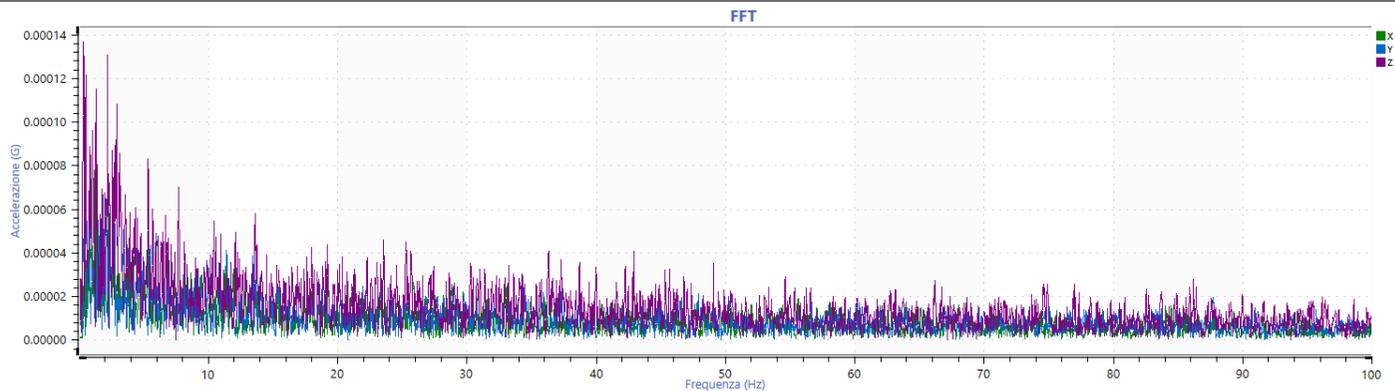
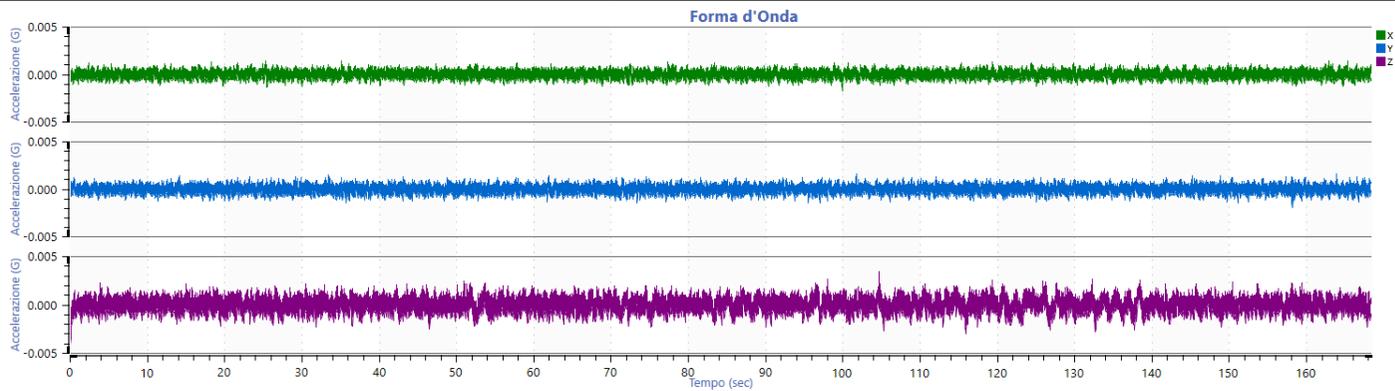


Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 5A
Posizione: CANTIERE, moviment. pala gommata	Inizio misure: 23/01/24:11.10		Fine misure:	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z: distanza sorgente = 10-50m	Note: i valori di accelerazione sui tre assi appaiono m.bassi, non appare necessaria l'analisi completa			



Scheda rilievo vibrometrico		Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 5B
Posizione: CANTIERE, moviment. pala gommata			Inizio misure: 23/01/24:11.10		Fine misure:
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max		distribuzione cumulativa
nc	nc	nc	nc		nc
Posizione rilievo/foto 			Distribuzione assoluta valori di picco nc		<u>Amplitude Stats: aw,max</u> mean = std dev = RMS = skewness = kurtosis = Maximum = Minimum = Crest Factor =

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 6A
Posizione: CANTIERE, sequenza completa trivell.	Inizio misure: 23/01/24:11.16		Fine misure:	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z: distanza sorgente = 10m	Note: i valori di accelerazione sui tre assi appaiono m.bassi, non appare necessaria l'analisi completa			



Scheda rilievo vibrometrico

Data: 23/01/2024

Ditta:

Molo-8 Trieste

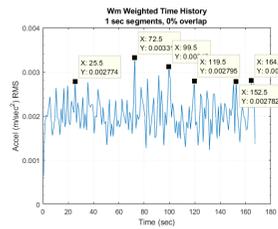
Rapporto Prova n°: **6B**

Posizione: CANTIERE, sequenza completa trivell.

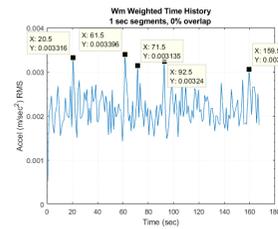
Inizio misure: 23/01/24:11.16

Fine misure:

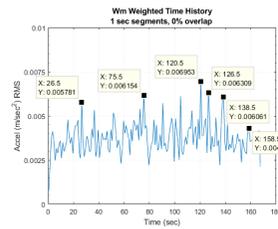
aw,rms x



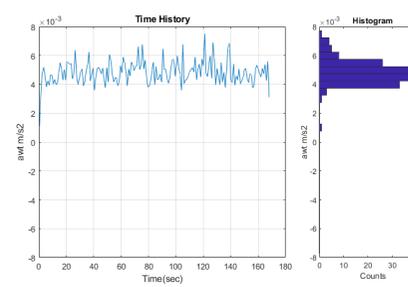
aw,rms y



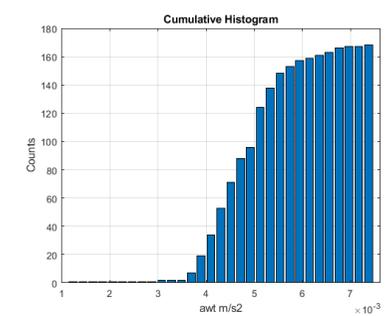
aw,rms z



aw,max



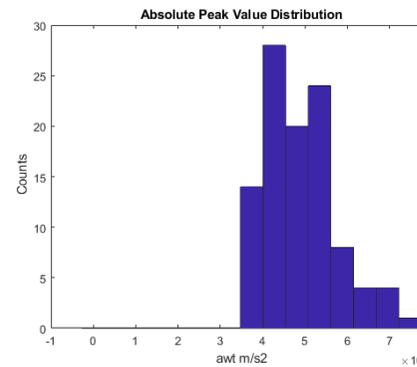
distribuzione cumulativa



Posizione rilievo/foto



Distribuzione assoluta valori di picco



Amplitude Stats: aw,max

mean = 0.004828

std dev = 0.0007998

RMS = 0.004894

skewness = 0.06827

kurtosis = 5.609

Maximum = 0.007479

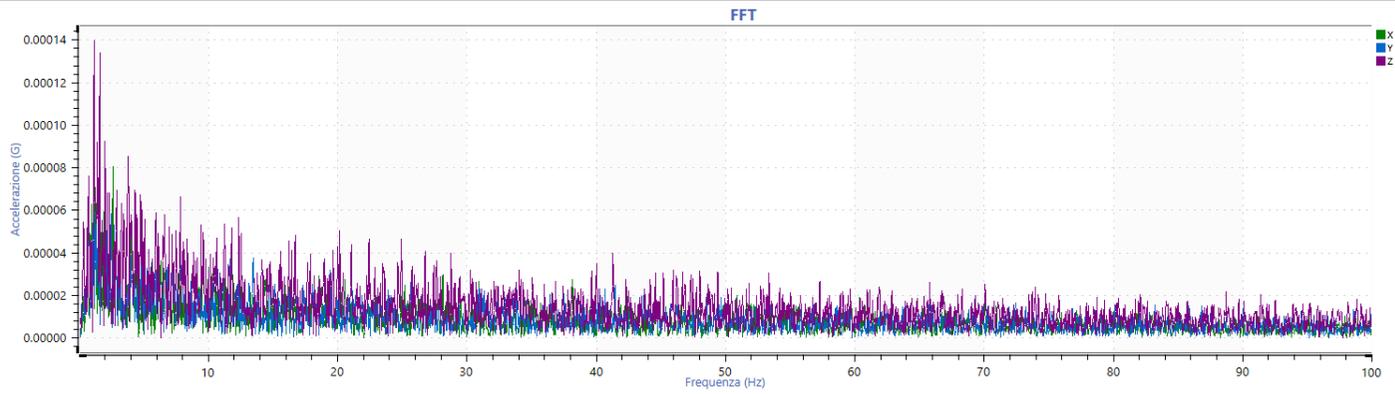
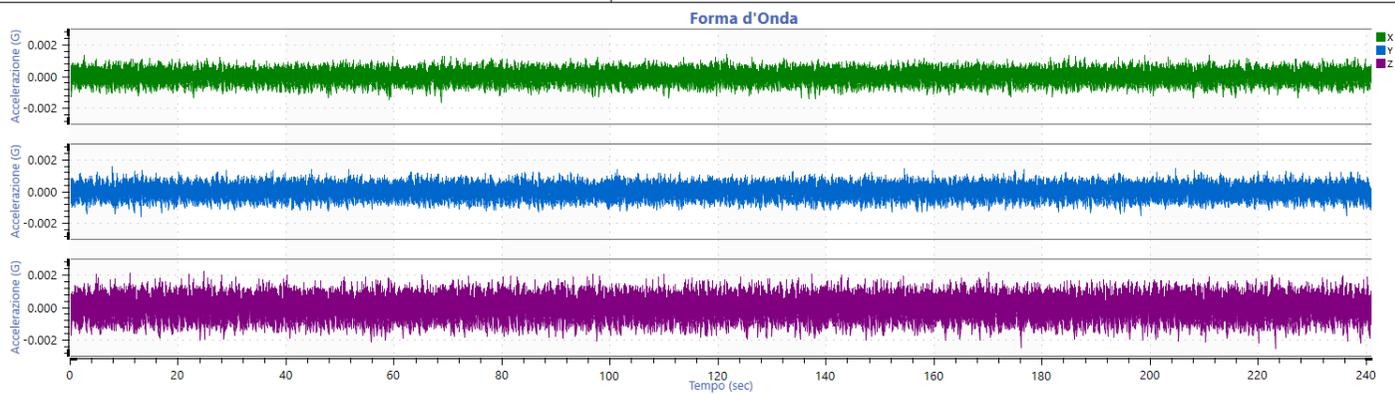
Minimum = 0.001128

Crest Factor = 1.528

ALLEGATO 2 - Schede rilievi vibrometrici

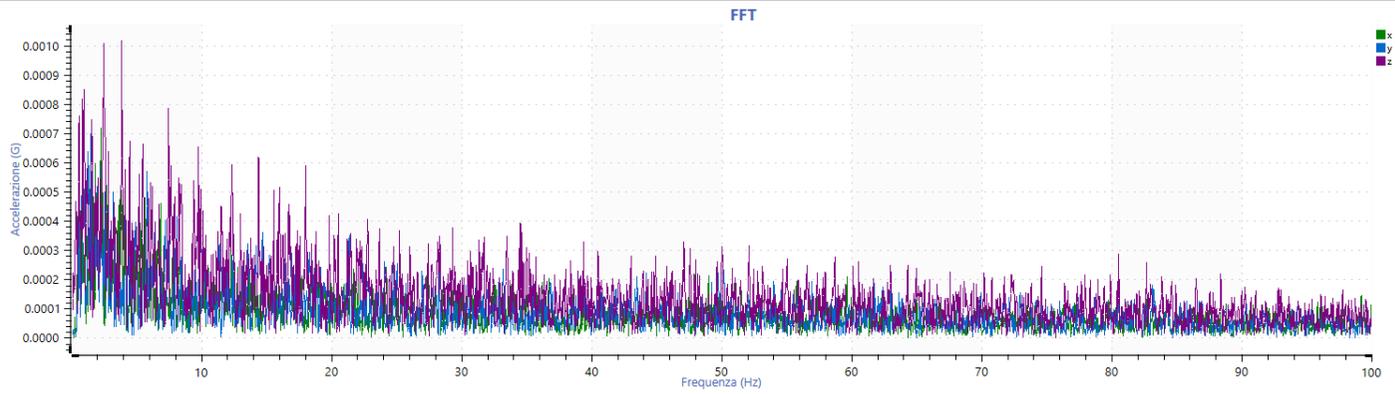
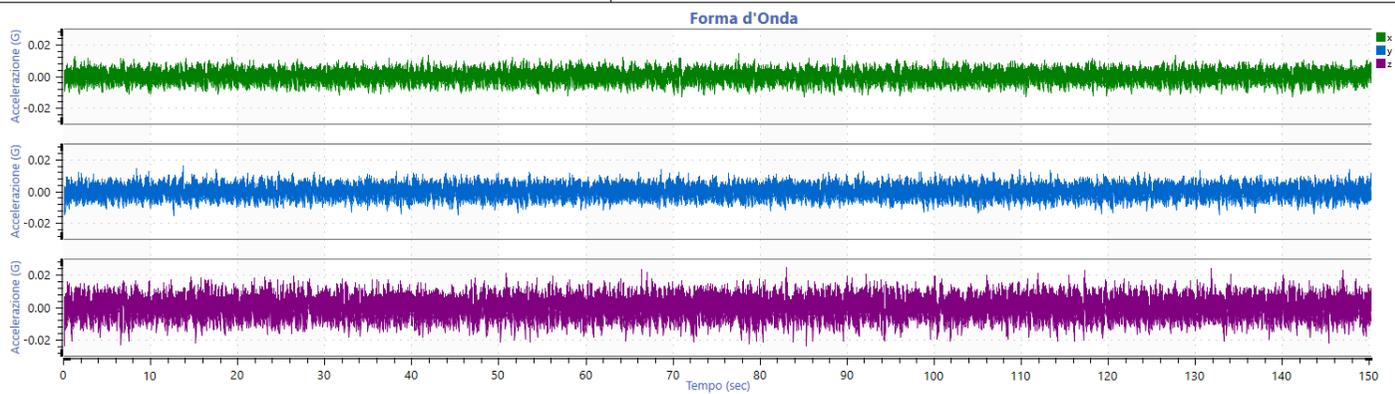
AREA RICETTORI

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 7A
Posizione: R1 , Via Italo Svevo 19, Casa di riposo Emmaus	Inizio misure: 23/01/24:15.59		Fine misure:	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z:	Note:			



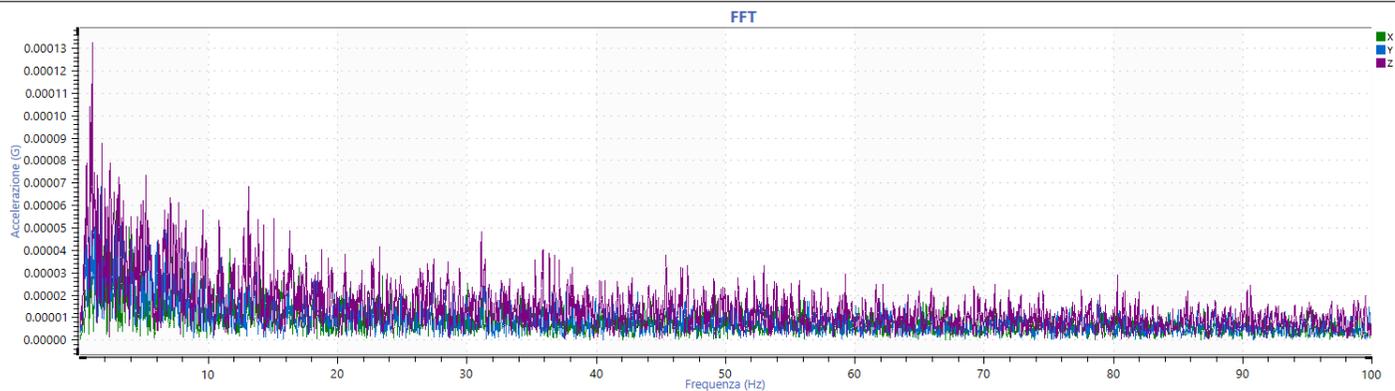
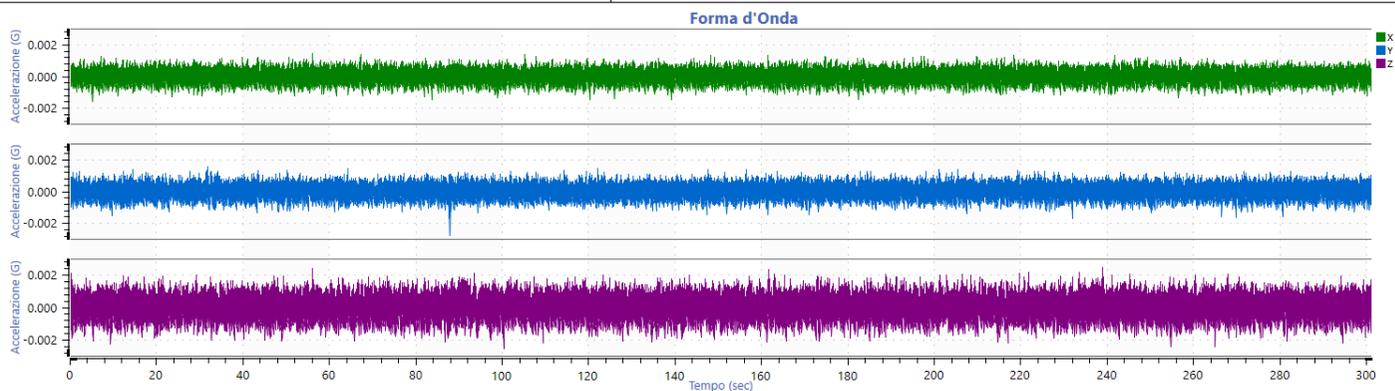
Scheda rilievo vibrometrico		Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 7B
Posizione: R1 , Via Italo Svevo 19, Casa di riposo Emmaus			Inizio misure: 23/01/24:15.59		Fine misure:
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max		distribuzione cumulativa
<p>Posizione rilievo/foto</p>			<p>Distribuzione assoluta valori di picco</p>		<p>Amplitude Stats: aw,max</p> <p>mean = 0.004474</p> <p>std dev = 0.0006302</p> <p>RMS = 0.004519</p> <p>skewness = -1.502</p> <p>kurtosis = 11.54</p> <p>Maximum = 0.00612</p> <p>Minimum = 0.0005487</p> <p>Crest Factor = 1.355</p>

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 8A
Posizione: R1b , Via Italo Svevo Istituto scolastico	Inizio misure: 23/01/24:16.31		Fine misure:	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z:	Note: misura ambientale esterna			



Scheda rilievo vibrometrico		Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 8B
Posizione: R1b , Via Italo Svevo Istituto scolastico			Inizio misure: 23/01/24:16.31		Fine misure:
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max		distribuzione cumulativa
Posizione rilievo/foto 			Distribuzione assoluta valori di picco 		Amplitude Stats: aw,max mean = 0.007058 std dev = 0.003234 RMS = 0.007763 skewness = 0.7695 kurtosis = 3.871 Maximum = 0.02588 Minimum = 8.085e-05 Crest Factor = 3.334

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 9A
Posizione: R4 , Via di Servola 40 fronte Casa parrocchiale	Inizio misure: 24/01/24:14.38		Fine misure: 24/01/24:14.51	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z:	Note: misura ambientale esterna			



Scheda rilievo vibrometrico

Data: 23/01/2024

Ditta:

Molo-8 Trieste

Rapporto Prova n°: **9B**

Posizione: **R4**, Via di Servola 40 fronte Casa parrocchiale

Inizio misure: 24/01/24:14.38

Fine misure: 24/01/24:14.51

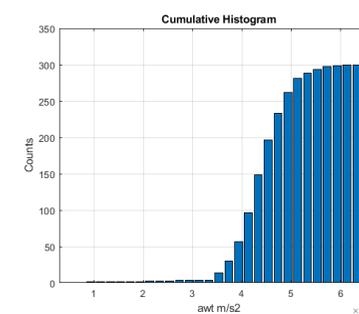
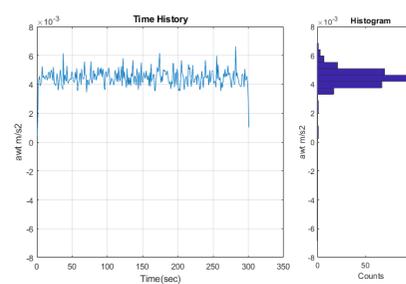
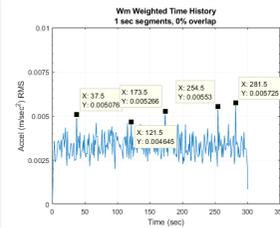
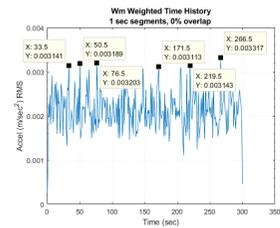
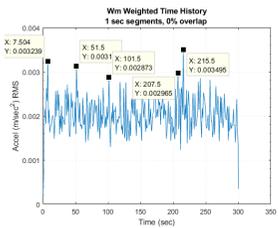
aw,rms x

aw,rms y

aw,rms z

aw,max

distribuzione cumulativa



Posizione rilievo/foto

Distribuzione assoluta valori di picco

Amplitude Stats: aw,max

mean = 0.004449

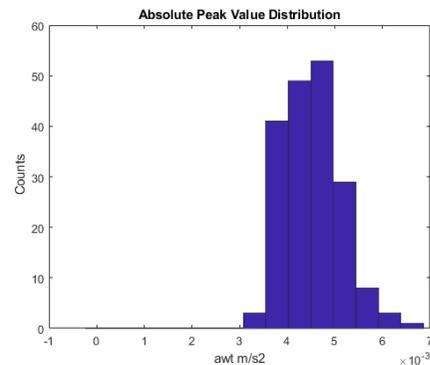
std dev = 0.0006109

RMS = 0.004491

skewness = -1.268

kurtosis = 12.32

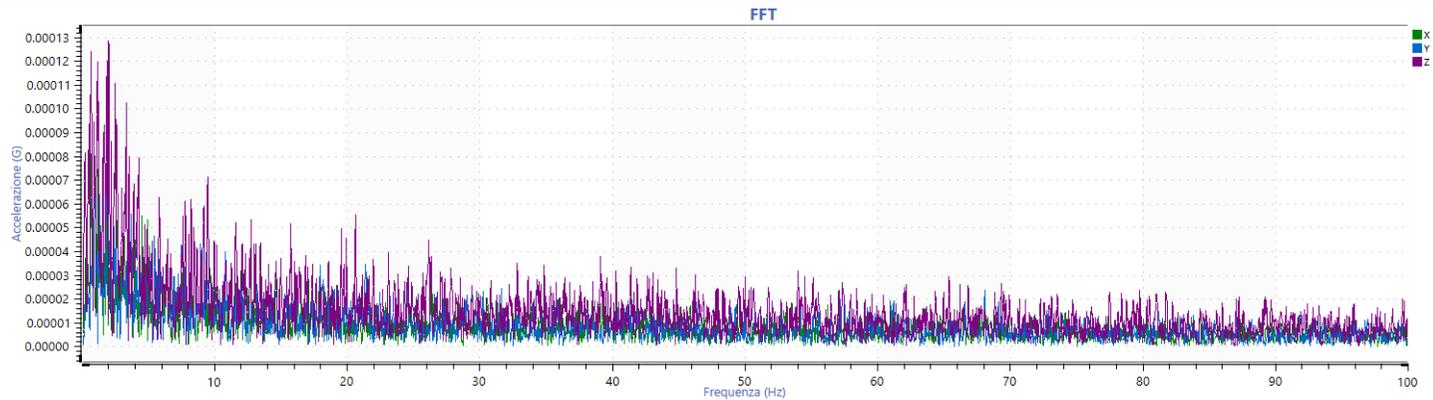
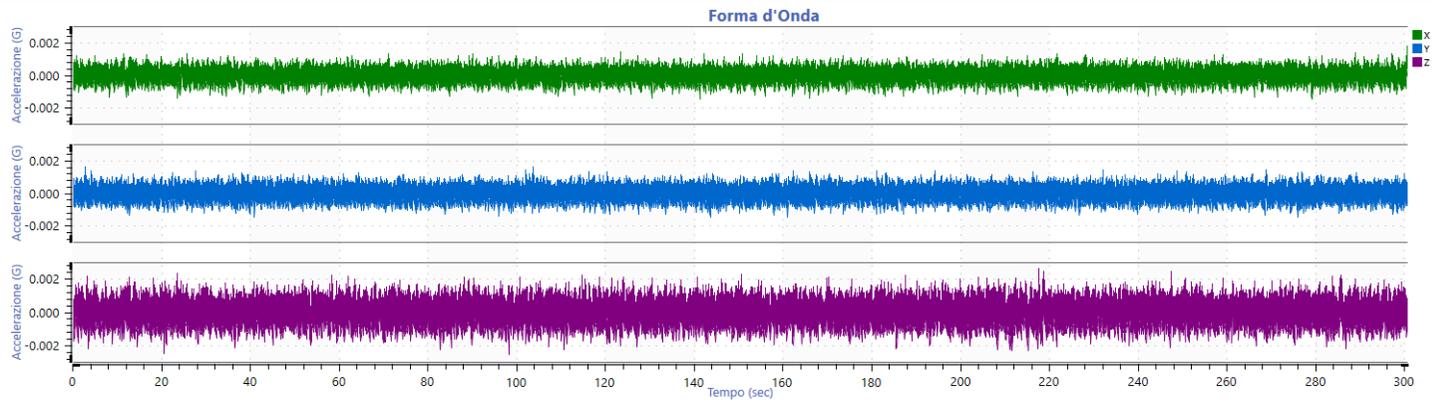
Maximum = 0.006627



Minimum = 0.0004382

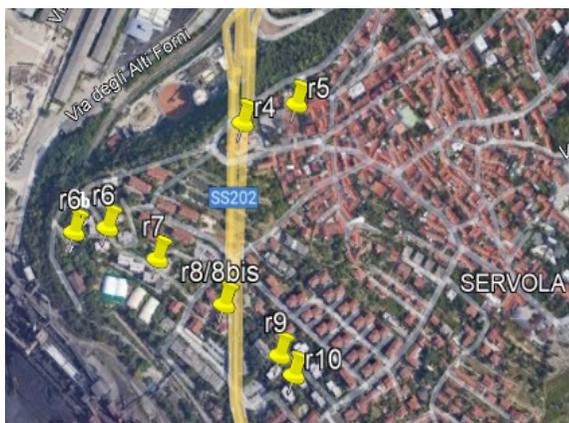
Crest Factor = 1.476

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 10A
Posizione: R6 , Via Pitacco 11 Residenza civile	Inizio misure: 23/01/24:12.52		Fine misure:	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z:	Note: misura ambientale esterna			

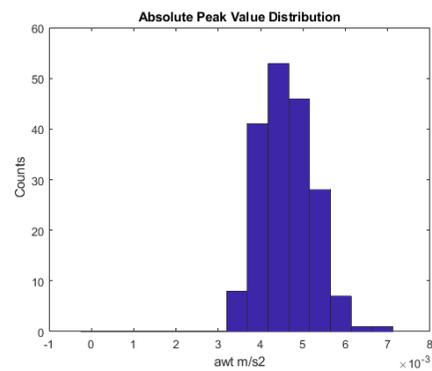


Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 10B
Posizione: R6 , Via Pitacco 11 Residenza civile		Inizio misure: 23/01/24:12.52		Fine misure:
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max	distribuzione cumulativa

Posizione rilievo/foto



Distribuzione assoluta valori di picco



Amplitude Stats: *aw,max*

mean = 0.004572

std dev = 0.0006356

RMS = 0.004616

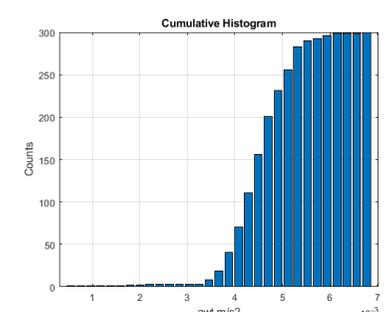
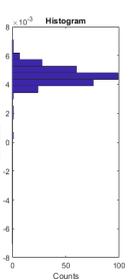
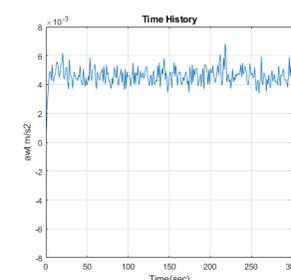
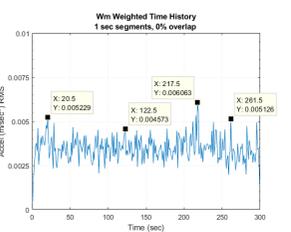
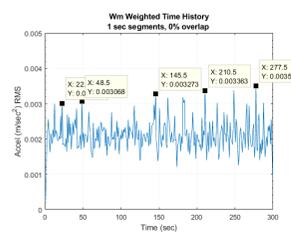
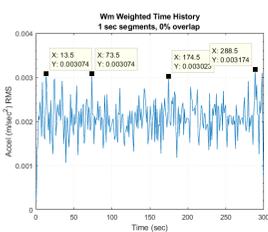
skewness = -0.9264

kurtosis = 9.824

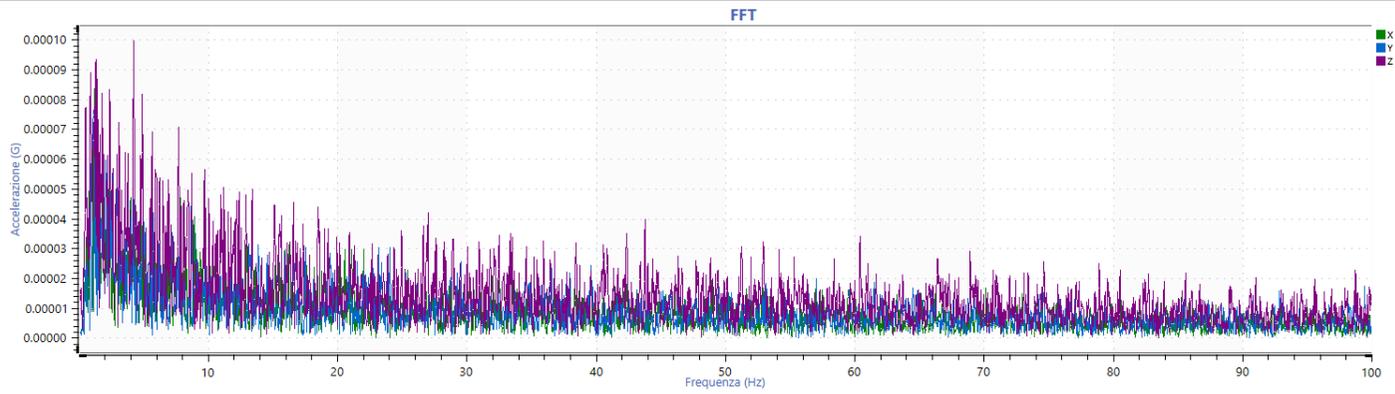
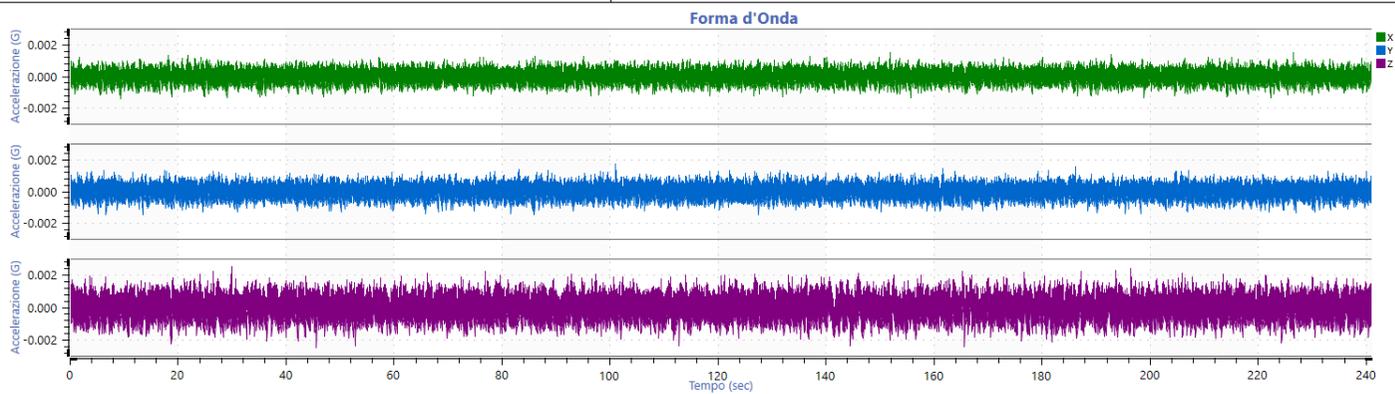
Maximum = 0.006874

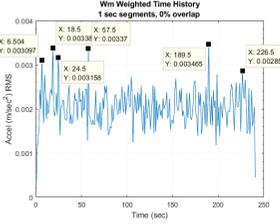
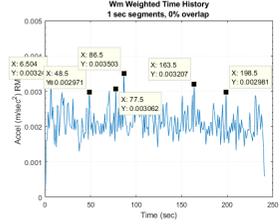
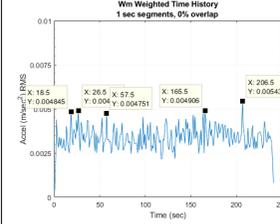
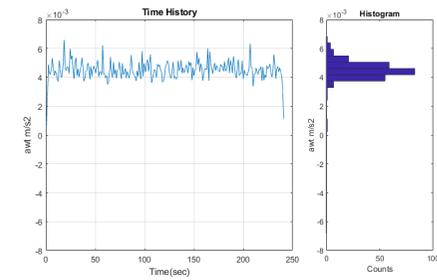
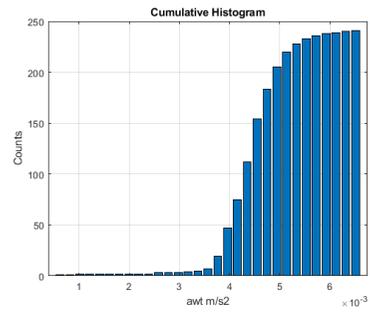
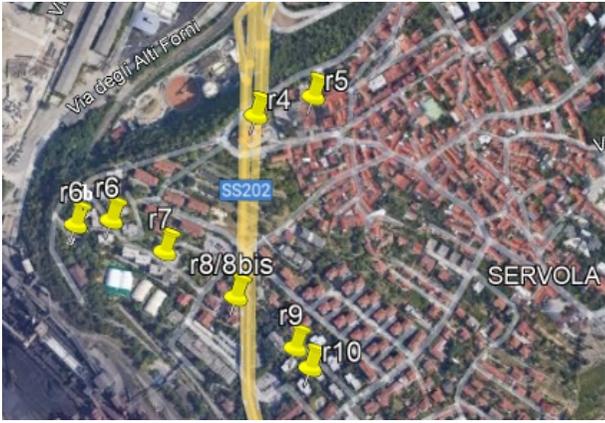
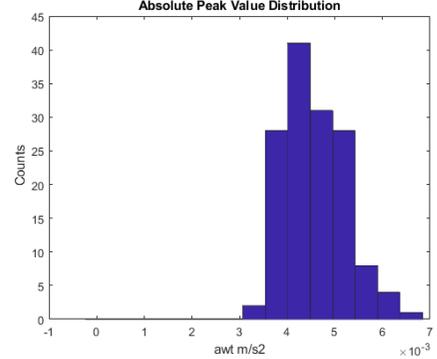
Minimum = 0.0004467

Crest Factor = 1.489

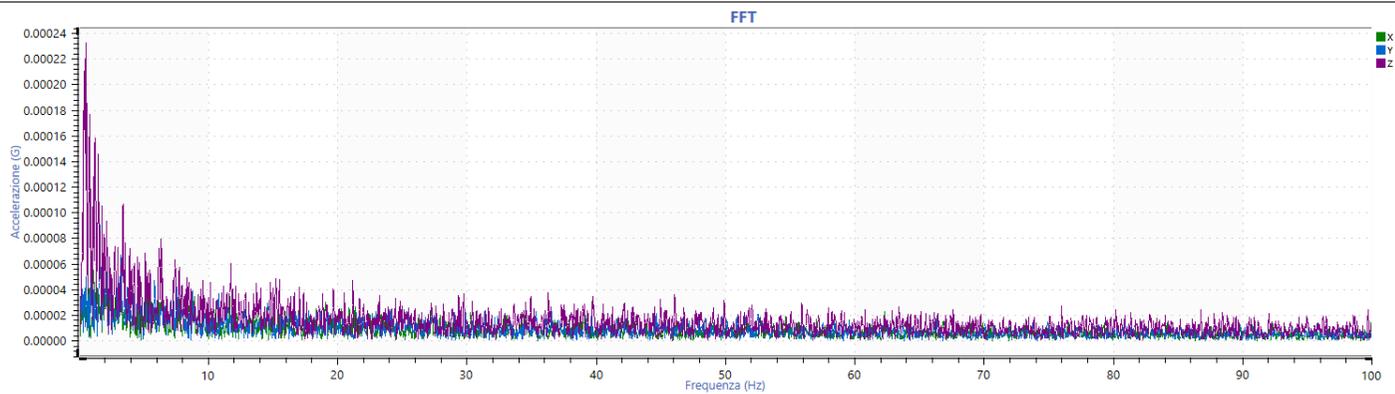
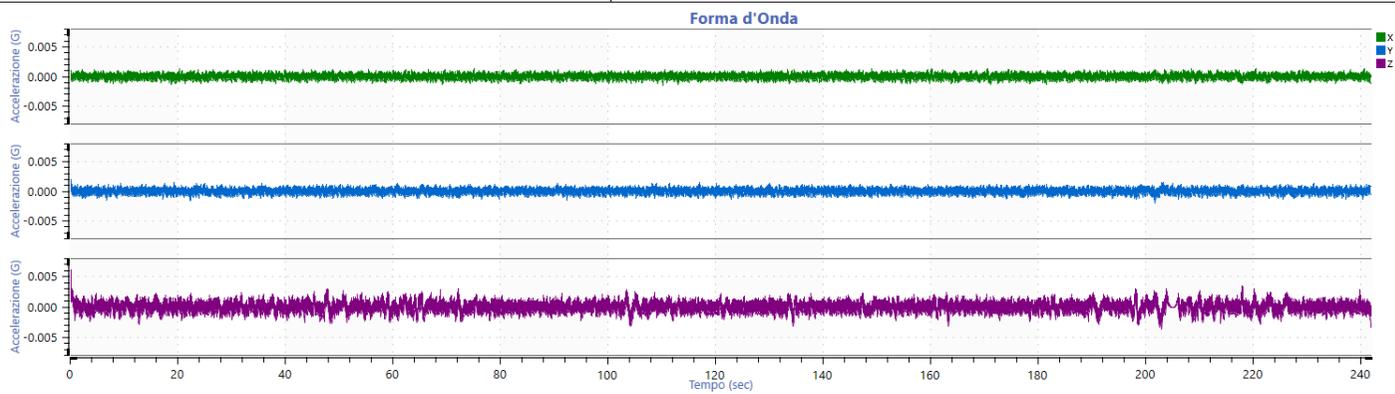


Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 11A
Posizione: R6b , Via Pitacco 11 parcheggio sotto res. civile	Inizio misure: 24/01/24:12.50		Fine misure: 24/01/24:13.08	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z:	Note: misura ambientale esterna			



Scheda rilievo vibrometrico		Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 11B
Posizione: R6b , Via Pitacco parcheggio sotto res. civile			Inizio misure: 24/01/24:12.50		Fine misure: 24/01/24:13.08
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max		distribuzione cumulativa
					
<p>Posizione rilievo/foto</p> 			<p>Distribuzione assoluta valori di picco</p> 		<p>Amplitude Stats: aw,max</p> <p>mean = 0.0045</p> <p>std dev = 0.0006406</p> <p>RMS = 0.004545</p> <p>skewness = -1.182</p> <p>kurtosis = 11.91</p> <p>Maximum = 0.006609</p> <p>Minimum = 0.0005221</p> <p>Crest Factor = 1.454</p>

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 12A
Posizione: R7 , Via S. Lorenzo in Selva res. civile	Inizio misure: 23/01/24:13.32		Fine misure:	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z:	Note: misura ambientale esterna; i residenti riportano di non avvertire vibrazioni particolari solo rumore			



Scheda rilievo vibrometrico

Data: 23/01/2024

Ditta:

Molo-8 Trieste

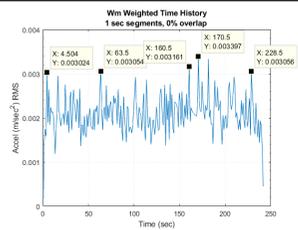
Rapporto Prova n°: **12B**

Posizione: **R7**, Via S. Lorenzo in Selva res, civile

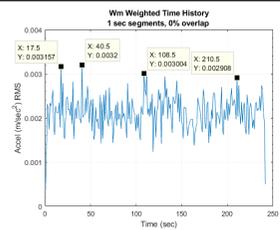
Inizio misure: 23/01/24:13.32

Fine misure:

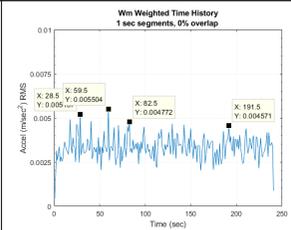
aw,rms x



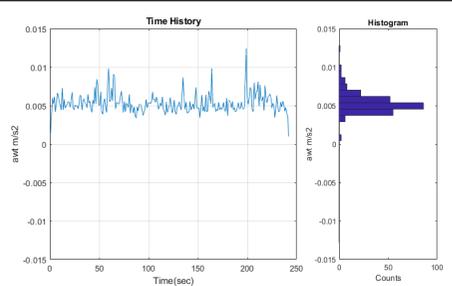
aw,rms y



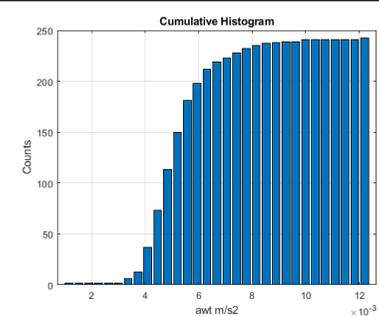
aw,rms z



aw,max



distribuzione cumulativa



Posizione rilievo/foto

Distribuzione assoluta valori di picco

Amplitude Stats: aw,max

mean = 0.005301

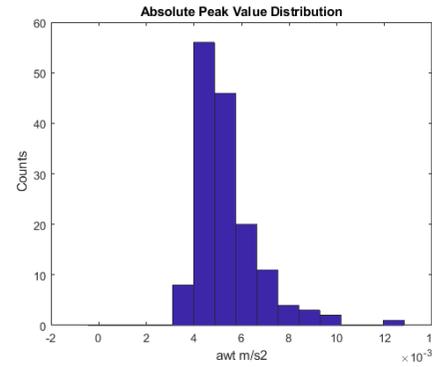
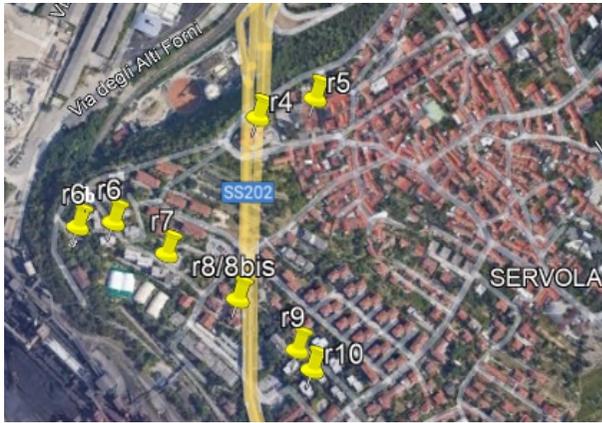
std dev = 0.001268

RMS = 0.005451

skewness = 1.318

kurtosis = 8.334

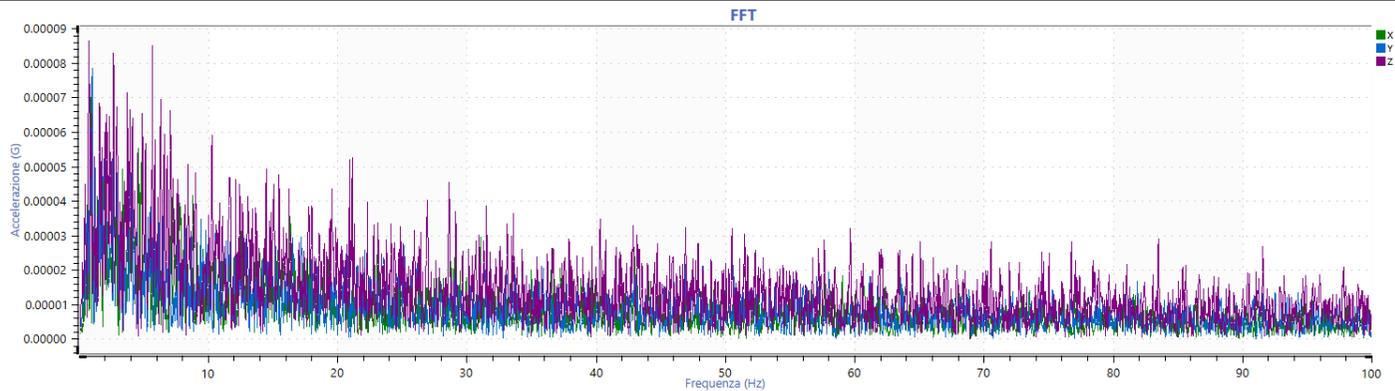
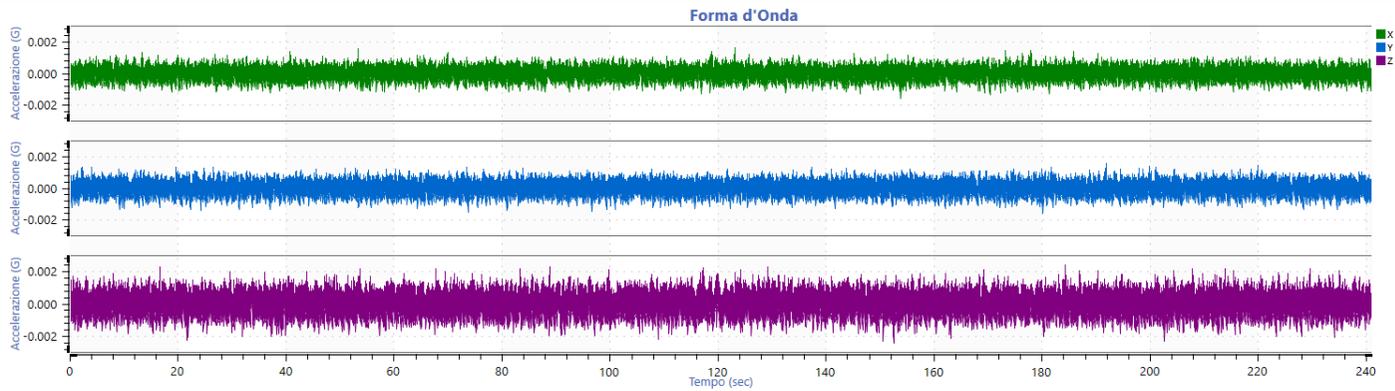
Maximum = 0.01238



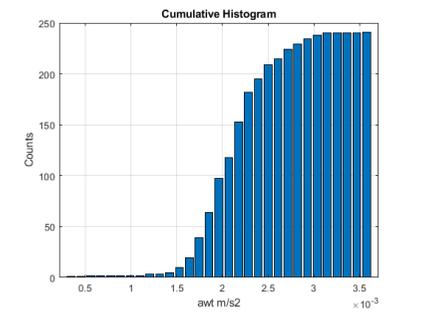
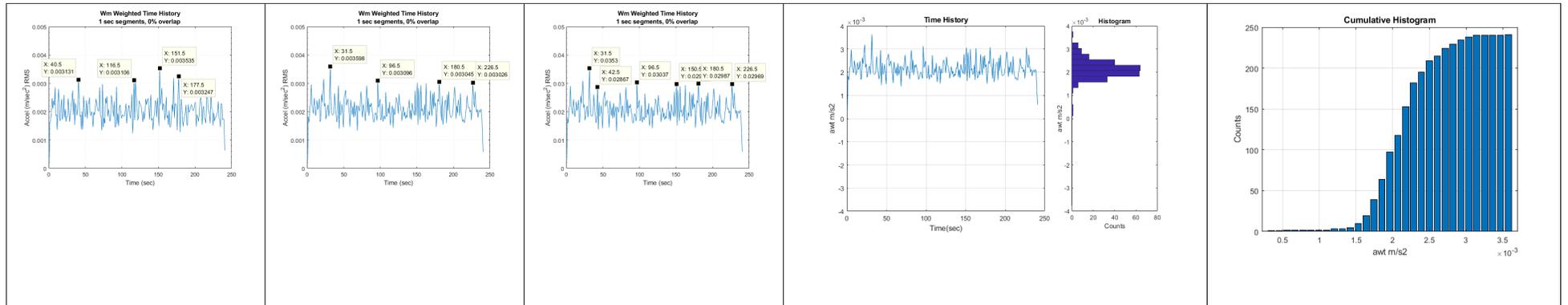
Minimum = 0.0009598

Crest Factor = 2.272

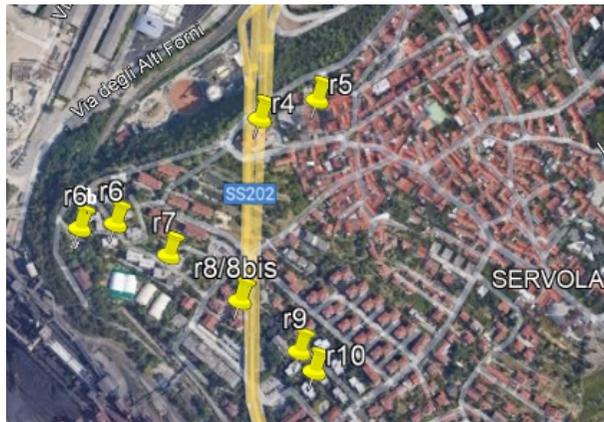
Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 13A
Posizione: R8 , Via S. Lorenzo in Selva res. civile	Inizio misure: 24/01/24:13.47		Fine misure: 24/01/24:14.18	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z: distanza sorgente cantiere 530m	Note: misura ambientale esterna; i residenti riportano di non avvertire vibrazioni particolari ma rumore stradale			



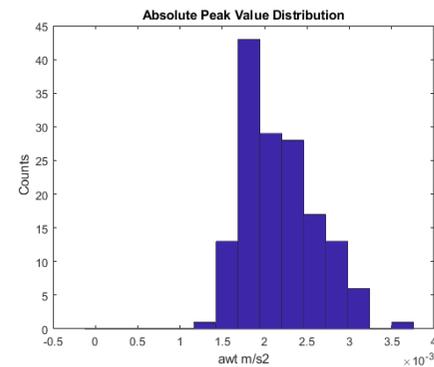
Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 13B
Posizione: R8 , Via S. Lorenzo in Selva res, civile		Inizio misure: 24/01/24:13.47		Fine misure: 24/01/24:14.18
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max	distribuzione cumulativa



Posizione rilievo/foto



Distribuzione assoluta valori di picco



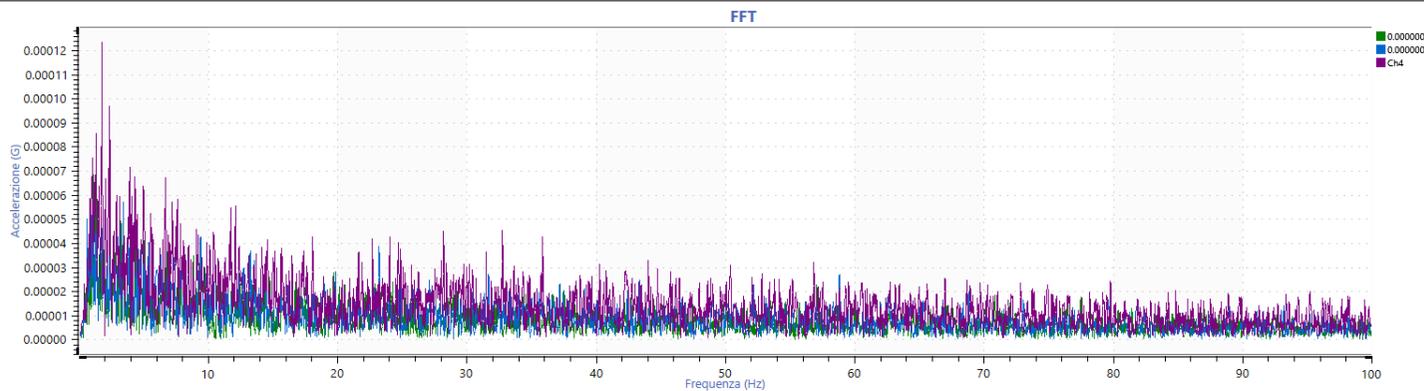
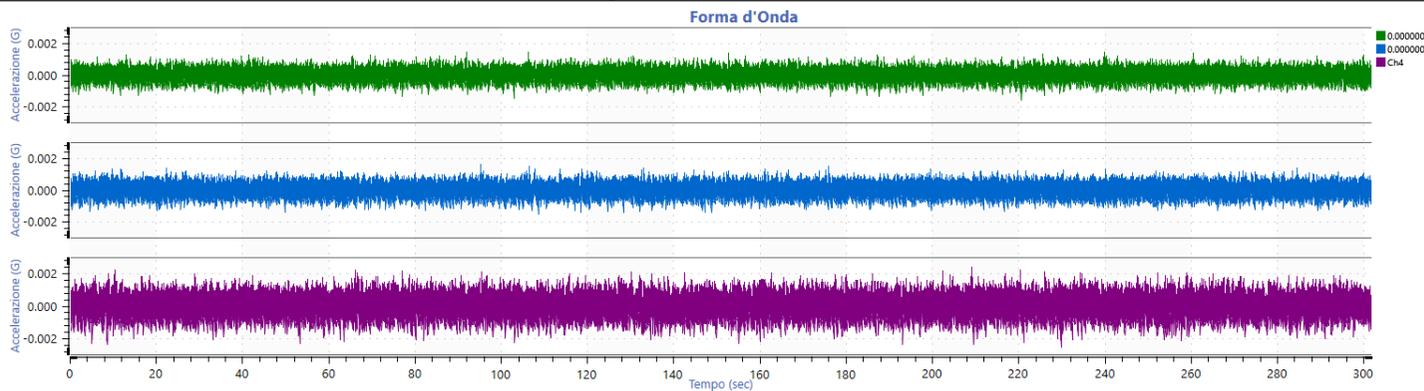
Amplitude Stats: aw,max

mean = 0.002144
 std dev = 0.0004013
 RMS = 0.002182
 skewness = -0.02529
 kurtosis = 5.608
 Maximum = 0.003631
 Minimum = 0.0002902
 Crest Factor = 1.664

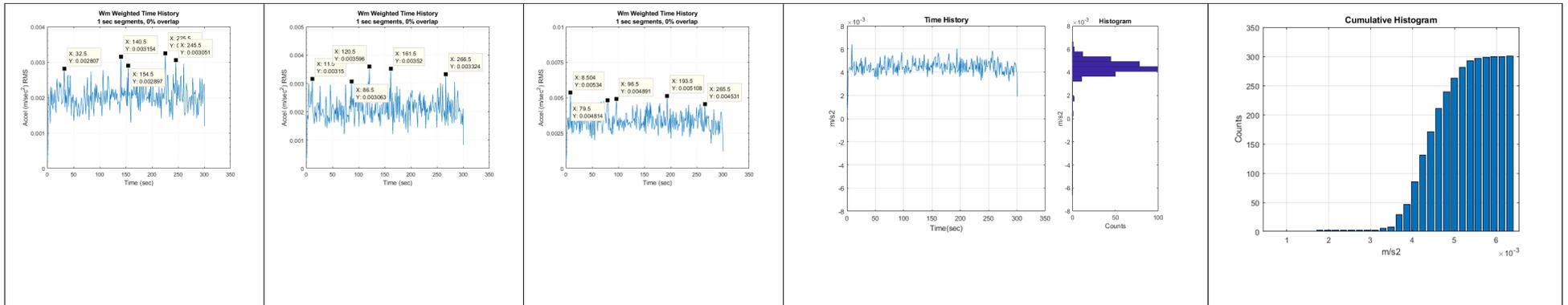
Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 14A
Posizione: R9/R10 , Via S. Lorenzo in Selva res. civile		Inizio misure: 23/01/24:13.53		Fine misure: 23/01/24:14.15
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23		accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A

Time history x, y, z: distanza sorgente cantiere 530m

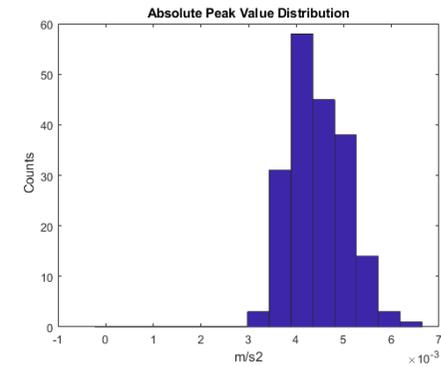
Note: misura ambientale esterna



Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 14B
Posizione: R9/R10 , Via S. Lorenzo in Selva res, civile		Inizio misure: 23/01/24:13.53		Fine misure: 23/01/24:14.15
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max	distribuzione cumulativa



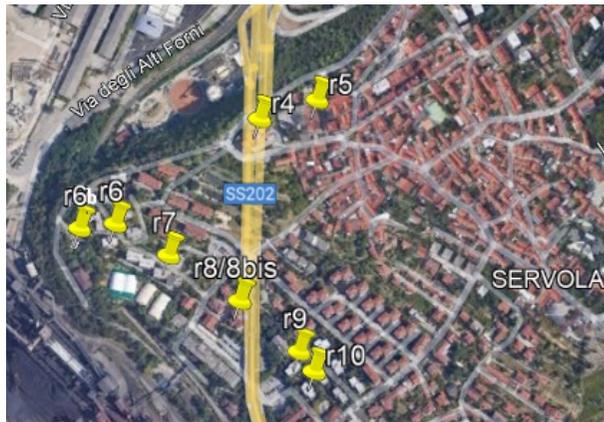
Distribuzione assoluta valori di picco



Amplitude Stats: *aw,max*

mean = 0.004441
 std dev = 0.0006002
 RMS = 0.004482
 skewness = -1.052
 kurtosis = 9.855
 Maximum = 0.006412
 Minimum = 0.000561
 Crest Factor = 1.431

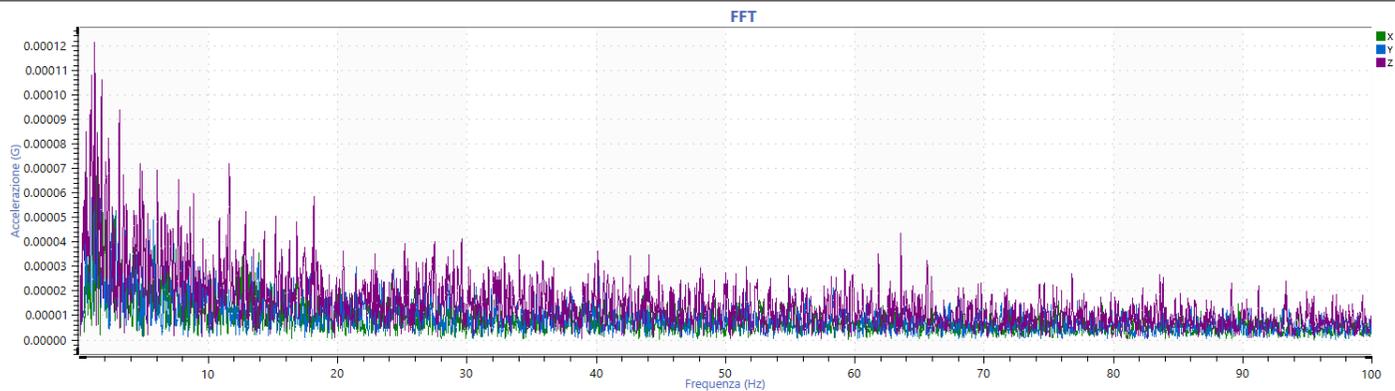
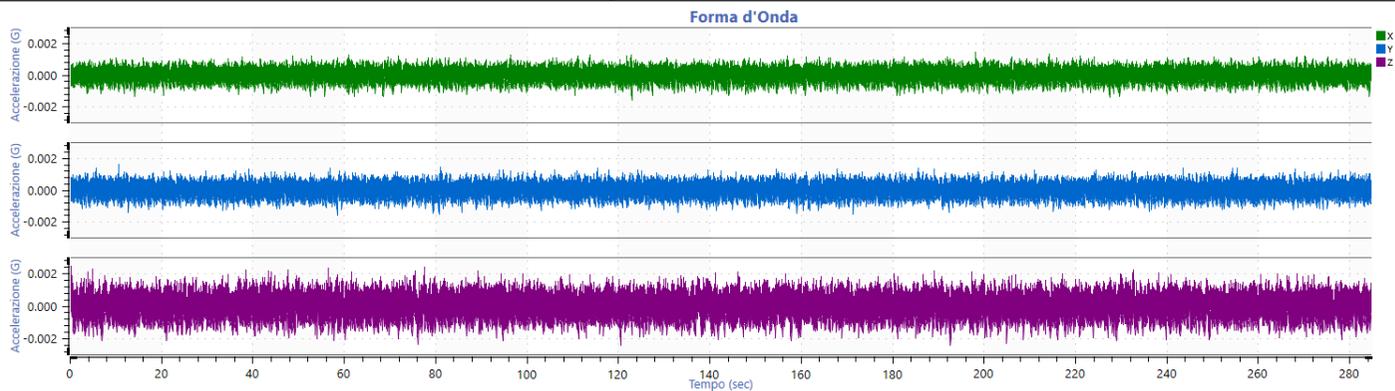
Posizione rilievo/foto



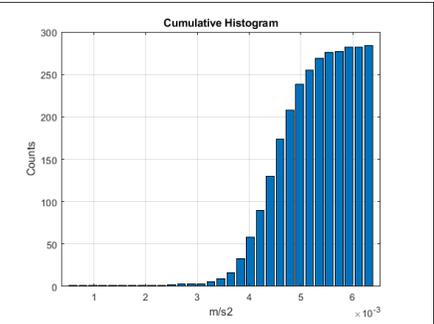
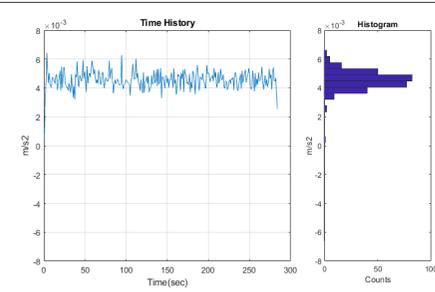
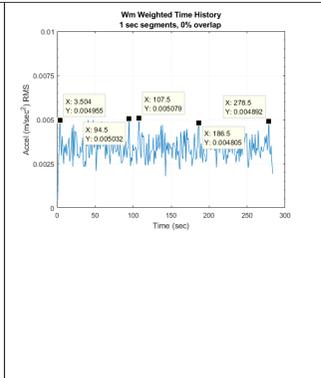
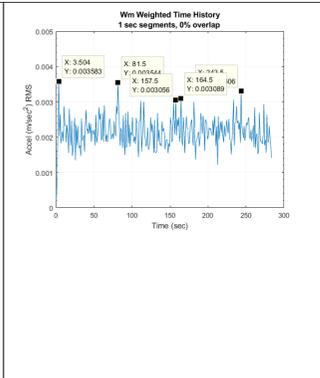
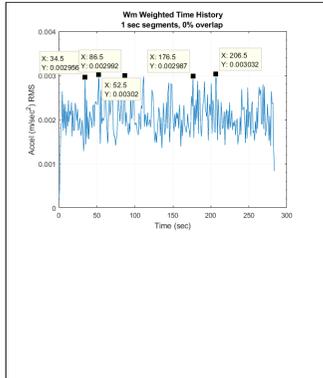
Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 15A
Posizione: R11 , Via S. Lorenzo in Selva res. civile		Inizio misure: 23/01/24:14.20		Fine misure: 23/01/24:14.36
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23		accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A

Time history x, y, z:

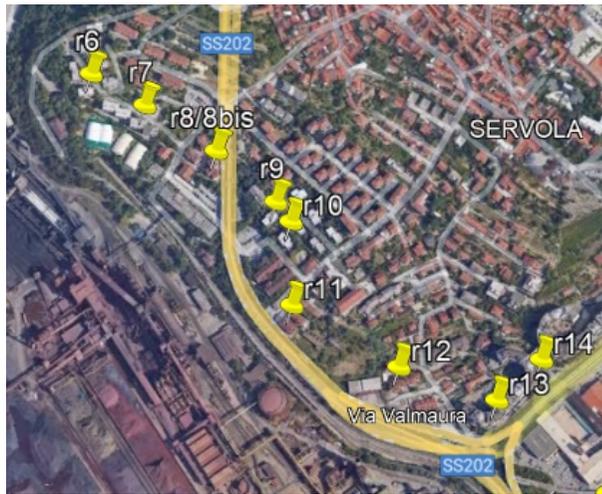
Note: misura ambientale esterna



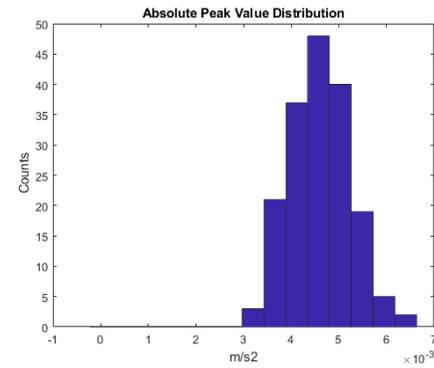
Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 15B
Posizione: R11 , Via S. Lorenzo in Selva res, civile		Inizio misure: 23/01/24:14.20		Fine misure: 23/01/24:14.36
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max	distribuzione cumulativa



Posizione rilievo/foto



Distribuzione assoluta valori di picco



Amplitude Stats: *aw,max*

mean = 0.004553

std dev = 0.0006062

RMS = 0.004593

skewness = -0.9738

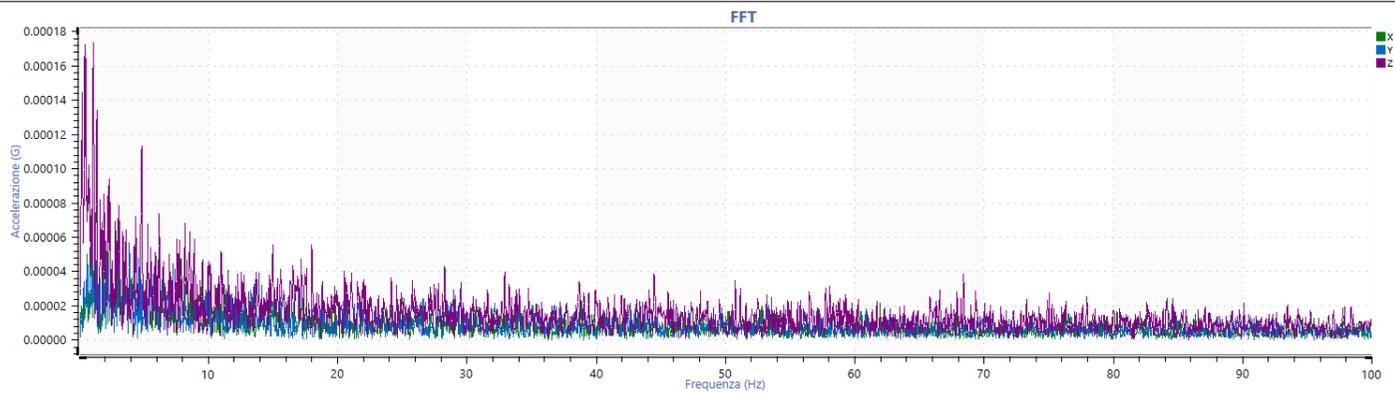
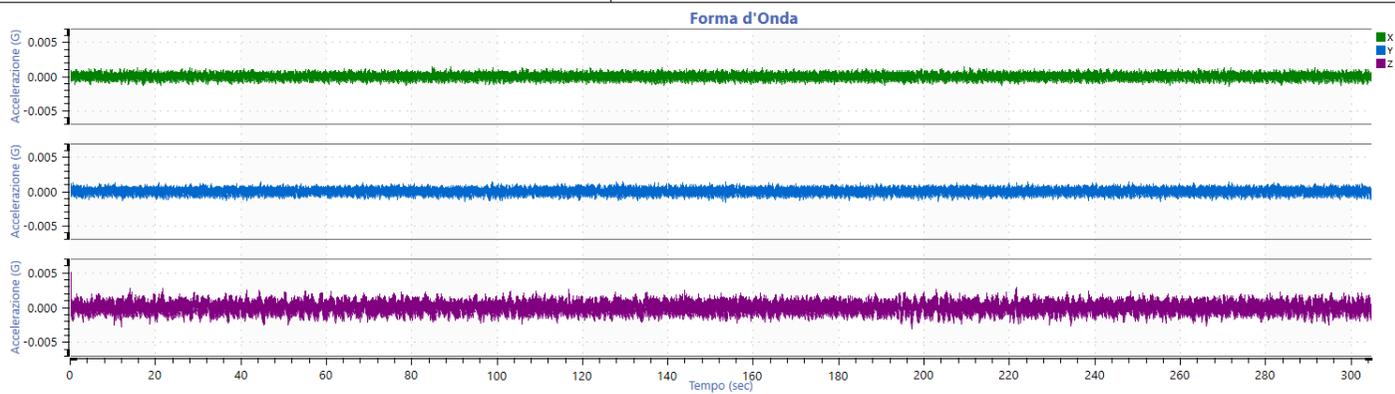
kurtosis = 9.822

Maximum = 0.006403

Minimum = 0.0004983

Crest Factor = 1.394

Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 16A
Posizione: R13 , Via Valmaura 75 res. civile	Inizio misure: 23/01/24:15.15		Fine misure: 23/01/24:15.37	
Strumento: ENDEVCO 133 sn. AN23	accel. X sn.: A30A	accel. Y sn.: AG58	accel. Z sn.: A39A	
Time history x, y, z:	Note: misura ambientale esterna			



Scheda rilievo vibrometrico	Data: 23/01/2024	Ditta:	Molo-8 Trieste	Rapporto Prova n°: 15B
Posizione: R13 , Via Valmaura 75 res, civile		Inizio misure: 23/01/24:15.15		Fine misure: 23/01/24:15.37
aw,rms x	aw,rms y	aw,rms z	aw,max	distribuzione cumulativa
Posizione rilievo/foto			Distribuzione assoluta valori di picco	Amplitude Stats: <i>aw,max</i>
				<p>mean = 0.004795 std dev = 0.0008027 RMS = 0.004862 skewness = -0.0006021 kurtosis = 6.302 Maximum = 0.007755 Minimum = 0.0004869 Crest Factor = 1.595</p>