

OTTOBRE 2022



**Sardeolica S.r.l. - Gruppo SARAS**  
**PARCO EOLICO ON-SHORE "ASTIA"**

**POTENZA NOMINALE 31,7 MWp**

**COMUNE DI VILLAMASSARGIA (Sulcis Iglesiente)**

**Montana**

**ELABORATO R38**

**ANALISI DEGLI IMPATTI DA  
VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE**

**Progettista**

*Ing. Laura Conti / Ordine Ing. Prov. Pavia n.1726*

**Coordinamento**

*Riccardo Festante*

*Eleonora Lamanna*

*Carla Marcis*

**Codice elaborato**

*2527-4953-VM\_VIA\_R40\_Analisi vibrazioni.docx*

## Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2527-4953-VM_VIA_R38_Analisi vibrazioni.docx	31/10/2022	Prima emissione	CM	EL/CM	L.Conti

## Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Conti	Direttore Tecnico - Progettista	Ord. Ing. Prov. PV n. 1726
Riccardo Festante	Coordinamento Progettazione, Tecnico competente in acustica	ENTECA n. 3965
Eleonora Lamanna	Coordinamento Studi Specialistici, Studio di Impatto Ambientale	
Carla Marcis	Coordinamento Progettazione, Ingegnere per l'Ambiente ed il Territorio, Tecnico competente in acustica	Ord. Ing. Prov. CA n. 6664 – Sez. A ENTECA n. 4200
Ali Basharзад	Progettazione civile e viabilità	Ord. Ing. Prov. PV n. 2301
Massimiliano Kovacs	Geologo - Progettazione Civile	Ord. Geologi Lombardia n. 1021
Massimo Busnelli	Geologo – Progettazione Civile	
Giuseppe Ferranti	Architetto – Progettazione Civile	Ord. Arch. Prov. Palermo – Sez. A Pianificatore Territoriale n. 6328
Fabio Lassini	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	Ord. Ing. Prov. MI n. A29719
Vincenzo Gionti	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	
Lia Buvoli	Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale	
Sonia Morgese	Ingegnere Civile Ambientale – Esperto Ambientale Idraulica Junior	
Lorenzo Griso	Esperto GIS - Esperto Ambientale Junior	

### Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156

Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)





<i>Sara Zucca</i>	<i>Architetto – Esperto GIS - Esperto Ambientale</i>	
<i>Andrea Mastio</i>	<i>Ingegnere per l'Ambiente e il Territorio - Esperto Ambientale Junior</i>	
<i>Andrea Fronteddu</i>	<i>Ingegnere Elettrico – Progettazione Elettrica</i>	<i>Ord. Ing. Cagliari n. 8788 – Sez. A</i>
<i>Matthew Piscedda</i>	<i>Esperto in Discipline Elettriche</i>	
<i>Francesca Casero</i>	<i>Architetto – Esperto GIS - Esperto Ambientale Junior</i>	

**Montana S.p.A.**

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156  
Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)





## INDICE

1. PREMESSA GENERALE .....	5
1.1 PRESENTAZIONE DEL PROGETTO .....	5
1.2 LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERVENTO.....	5
1.3 DATI GENERALI DEL PROGETTO .....	6
1.4 SCOPO DEL DOCUMENTO.....	7
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8
2.1 NORMA UNI 9614-17, ISO 2631-2.....	8
2.2 NORMA UNI 9916-14.....	9
2.3 LIMITI DI RIFERIMENTO.....	11
3. CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO .....	12
3.1 INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	12
3.2 INQUADRAMENTO SISMICO .....	12
4. CENSIMENTO DEI RECETTORI.....	14
4.1 CENSIMENTO DEI RECETTORI POTENZIALMENTE IMPATTATI.....	14
4.2 CRITERI PER L'INDIVIDUAZIONE DI POTENZIALI CRITICITÀ .....	17
5. DETERMINAZIONE DELLO SPETTRO SORGENTE .....	18
6. APPROCCIO METODOLOGICO DI STIMA PREVISIONALE DEGLI IMPATTI.....	20
7. CONCLUSIONI.....	22

## ELABORATI GRAFICI

2527-4953-VM\_VIA\_T41\_Rev0\_Carta dei fabbricati censiti

## 1. PREMESSA GENERALE

### 1.1 PRESENTAZIONE DEL PROGETTO

Il presente documento costituisce parte integrante del progetto definitivo per la realizzazione di un nuovo Parco eolico della potenza complessiva di 31,7 MW, che prevede l'installazione di 5 aerogeneratori (di cui 4 da 6,8 MW e 1 da 4,5 MW), nel territorio comunale di Villamassargia (Sulcis-Iglesiente), la realizzazione delle relative opere di connessione, nonché la predisposizione della viabilità, delle opere di regimentazione delle acque meteoriche e delle reti tecnologiche a servizio del Parco.

Nella Tabella 1.1 in forma sintetica, vengono riportate le principali caratteristiche tecniche dell'impianto in progetto e le relative coordinate geografiche.

La Società proponente è la Sardeolica S.r.l., con sede legale in VI strada Ovest, Z. I. Macchiareddu 09068 Uta (Cagliari) e sede amministrativa in Milano, c/o Saras S.p.A., Galleria Passarella 2, 20122 – Milano.

### 1.2 LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERVENTO

L'area oggetto di studio ricade interamente all'interno del Comune di Villamassargia, in un territorio caratterizzato da rilievi boscosi, tra la pianura campidanese e le aree montuose dell'Iglesiente. La successiva Figura 1-1 illustra l'inquadramento territoriale dell'area di interesse su ortofoto.

Il Comune di Villamassargia cadeva nella Provincia Sud Sardegna, secondo la riforma della L.R. n. 2 del 4 febbraio 2016 - "Riordino del sistema delle autonomie locali della Sardegna". La LR n.7 del 12 aprile 2021 riorganizza la Regione in 8 Province: Città metropolitana di Sassari, Città metropolitana di Cagliari, Nord-Est Sardegna, Oristano, Ogliastra, Sulcis Iglesiente, Medio Campidano, Nuoro e Oristano; sulla base di questa legge il Comune di Villamassargia rientra nella Provincia Sulcis Iglesiente.

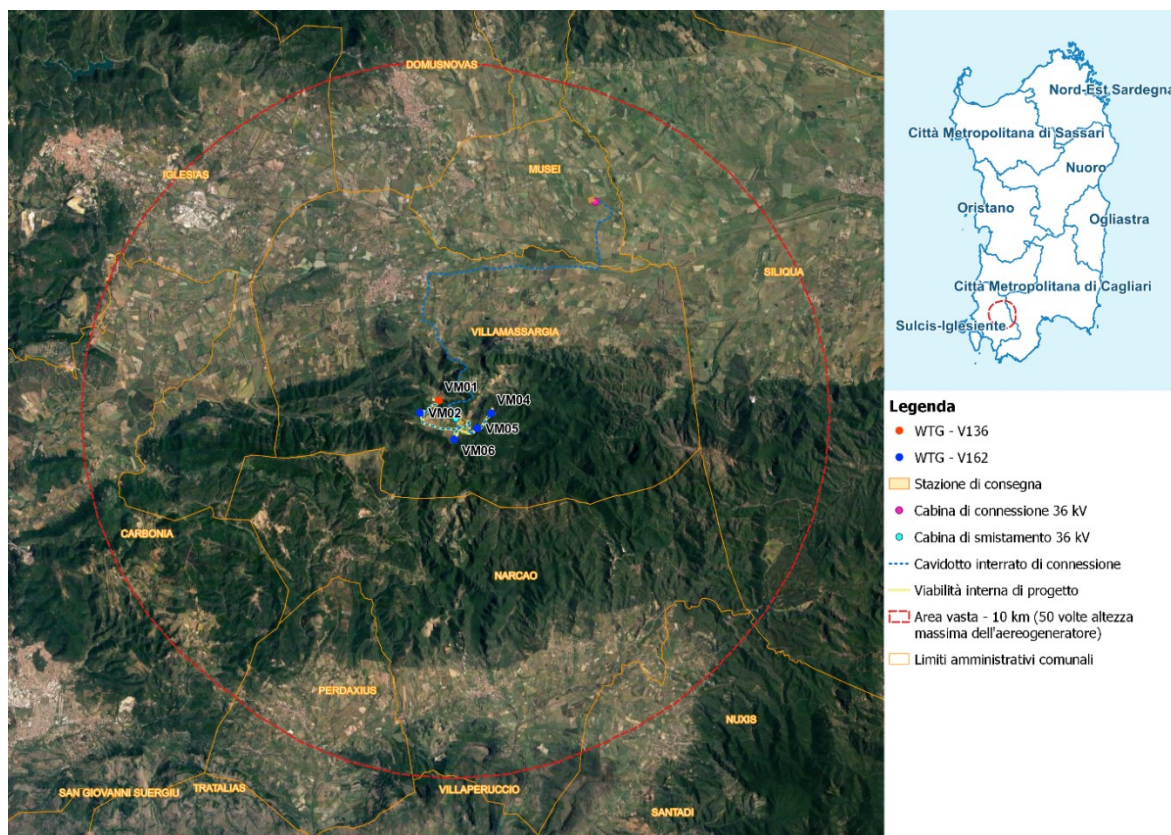


Figura 1-1: Inquadramento generale dell'area di progetto

Allo stato attuale, la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) elaborata, prevede che l'impianto eolico venga collegato in antenna a 36 kV alla sezione 36 kV della Stazione Elettrica (SE) di successiva realizzazione, ipotizzata nel territorio comunale di Musei.

La connessione alla suddetta Stazione elettrica sarà realizzata mediante una linea elettrica 36 kV di circa 100 m in partenza da una cabina denominata di connessione e raccolta; a quest'ultima arriveranno le linee di alimentazione da una seconda cabina, detta di smistamento, in cavo interrato 36 kV posizionata ad una distanza di circa 14 km dalla prima. Alla cabina di smistamento arriveranno le linee a servizio delle WTG collegate tra loro in configurazione entra-esce.

### 1.3 DATI GENERALI DEL PROGETTO

*Nella Tabella 1.1 sono riepilogati i dati principali del progetto, mentre in*

Tabella 1-2, in forma sintetica le principali caratteristiche tecniche dell'impianto e delle singole WTG che si prevede di installare.

*Tabella 1.1: Dati di progetto*

PARAMETRO	DESCRIZIONE
Richiedente	Sardeglica S.r.l.
Luogo installazione	Territorio comunale di Villamassargia
Denominazione impianto	Astia
Potenza nominale parco eolico	31,7 MW
Numero aerogeneratori	5
Connessione	Interfacciamento alla rete mediante connessione in MT su stazione elettrica (SE) della RTN da realizzare (STMG prot. N. GRUPPO TERNA/P20210104707-23/12/2021)
Coordinate impianto (accesso al sito)	39°14'14.54"N 8°39'57.64"E

*Tabella 1-2: Coordinate WTG proposte (sistema di coordinate Monte Mario – fuso ovest – EPSG 3003) e principali caratteristiche degli aerogeneratori*

WTG	COORDINATE GEOGRAFICHE		TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE AEROGENERATORE				
	Latitudine N	Longitudine E	Modello	Potenza nominale [MW]	Altezza al mozzo [m]	Diametro rotore [m]	Altezza totale [m]
VM01	4343971	1470579	Vestas V136	4,5	82	136	150
VM02	4343602	1470021	Vestas V162	6,8	119	162	200
VM04	4343588	1472121	Vestas V162	6,8	119	162	200
VM05	4343143	1471713	Vestas V162	6,8	119	162	200
VM06	4342815	1471030	Vestas V162	6,8	119	162	200

## 1.4 SCOPO DEL DOCUMENTO

La costruzione delle opere in progetto implica l'utilizzo di mezzi e macchinari che possono essere considerati sorgenti vibranti. I moti vibratori così generati si propagano nel terreno a ridosso delle zone di immissione e possono interessare edifici situati in prossimità delle aree di lavorazione. Tali moti vibratorii, filtrati dall'accoppiamento terreno-fondazioni, interessano tutta la struttura del recettore e sono percepite dalle persone che abitano gli edifici direttamente o indirettamente attraverso il "solido" emesso dalle strutture e dagli oggetti posti in vibrazione.

Nei ricettori prossimi alle aree in cui si eseguono lavorazioni si possono verificare criticità causate da attività come le operazioni di scavo all'aperto e in sotterraneo. Altre criticità possono essere dovute al transito di mezzi pesanti di cantiere su strade e piste estremamente prossime ai ricettori in particolare modo nel caso in cui queste siano dissestate. Alle diverse caratteristiche delle sorgenti vanno affiancate, in tema di valutazione delle problematiche prodotte in questa fase, gli effetti di attenuazione o di amplificazione indotti dalla natura dei terreni presenti e le caratteristiche tipologiche dei ricettori stessi. L'obiettivo del presente studio è quello di individuare le criticità presenti in relazione alle vibrazioni indotte dalle attività lavorative necessarie alla costruzione delle opere in progetto.

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- Censimento ricettori.
- Stima spettro sorgente.
- Caratterizzazione geotecnica/geodinamica del suolo.

In questa fase di progettazione dell'opera, i livelli di vibrazioni stimati sono preliminari essendo in mancanza di alcuni dati di input come rilievi geognostici, le macchine ed attrezzature effettivamente presenti in cantiere, tenuto conto soprattutto della transitorietà e discontinuità del fenomeno vibratorio associato all'operatività stessa del cantiere.

Per gli aspetti di inquadramento territoriale, geologico ed idrogeologico generale, la fonte dei dati deriva dal Piano Urbanistico Comunale "PUC" vigente del Comune di Villamassargia, nonché dal geoportale cartografico della Regione Sardegna (<https://www.sardegnageoportale.it/>).



## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo studio del fenomeno vibratorio, sia da un punto di vista fisico, che da un punto di vista dei livelli di soglia sull'esposizione dell'uomo e degli edifici, è ampiamente trattato all'interno delle seguenti norme:

- ISO 2631, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 2014.
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Vibration in buildings (1 to 80 Hz), 2003.
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of fixed structures – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures, 2010.
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference values for acoustical and vibratory levels, 2015.
- UNI 9916, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, 2014.
- UNI 9614, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, 2017.
- DIN 4150, Structural vibration. Part 1: Prediction on vibration parameters, 2001.
- DIN 4150, Structural vibration. Part 2: Human exposure to vibration in buildings, 1999.
- DIN 4150, Vibration in buildings. Part 3: Effects on structures, 2016.

Al fine di valutare l'impatto vibrazionale all'interno degli edifici in termini di disturbo indotto sulle persone, la norma di riferimento adottata nel presente studio è la UNI 9614 (con riferimento esterno alla ISO 2631-2).

Si noti che i livelli massimi di vibrazione imposti per la limitazione del disturbo sulla persona sono generalmente più restrittivi di quelli relativi al danneggiamento degli edifici (normativa ISO 4866 e UNI 9916). Quindi, si assume che, nel caso la vibrazione non superi i limiti fissati per il disturbo sugli individui, non si abbiano effetti seppur minimi di danneggiamento sugli edifici.

### 2.1 NORMA UNI 9614-17, ISO 2631-2

Al fine di valutare il livello di disturbo si impiegano i valori limite riportati in Tabella 2-1 e in Tabella 2-2, rispettivamente per ambienti ad uso abitativo e casi particolari.

Poiché le vibrazioni indotte dal cantiere ricadono in quelle di livello non costante (secondo UNI 9614), il parametro da stimare per valutare se il fenomeno misurato sia disturbante è il livello equivalente dell'accelerazione ponderata in frequenza ( $L_w$ ). Il valore così determinato viene confrontato con i limiti indicati dalla norma UNI 9614.

Quando i valori dei livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto. Il giudizio sull'accettabilità (tollerabilità) del disturbo oggettivamente riscontrata dovrà ovviamente tenere conto di fattori quali la frequenza con cui si verifica il fenomeno vibratorio, la sua durata, ecc..

Tabella 2-1: Valori ( $A$ ) e livelli limite della massima accelerazione ponderata in frequenza ( $L$ ), per ambienti ad uso abitativo (UNI 9614, 2017)

USO ABITATIVO	$A$ ( $m/s^2$ )	$L$ (dB)
Periodo diurno	$7.2 * 10^{-3}$	77
Periodo notturno	$3.6 * 10^{-3}$	71
Periodo notturno di giorni festivi	$5.4 * 10^{-3}$	75



Tabella 2-2: Valori (A) e livelli limite della massima accelerazione complessiva ponderata in frequenza (L), per casi particolari (UNI 9614, 2017).

CASI PARTICOLARI	A (m/s <sup>2</sup> )	L (dB)
Luoghi lavorativi	14 * 10 <sup>-3</sup>	83
Ospedali, case di cura	2 * 10 <sup>-3</sup>	66
Asili e case di riposo	3.6 * 10 <sup>-3</sup>	71
Scuole	5.4 * 10 <sup>-3</sup>	75

La UNI 9617-17 indica che l'orientamento del sistema di riferimento non influisce sul risultato delle elaborazioni successive, necessarie per la valutazione del disturbo, che fanno riferimento alla combinazione delle elaborazioni delle accelerazioni assiali. Comunque è suggerito il mantenimento della traccia delle singole componenti assiali dell'accelerazione misurata, per una miglior comprensione dei fenomeni meccanici che generano la vibrazione.

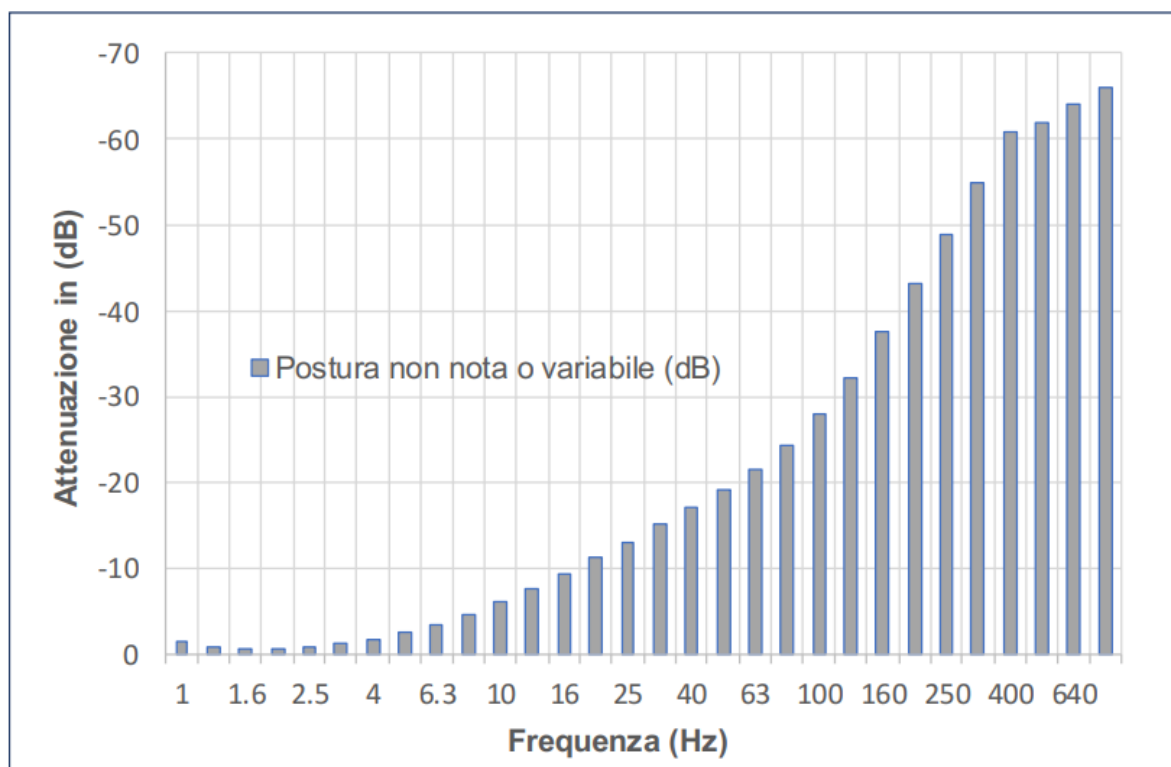


Figura 2-1: Filtro di ponderazione per posture non nota o variabile dell'individuo (ISO 2631-2)

## 2.2 NORMA UNI 9916-14

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, ed in cui vengono richiamate altre norme nazionali estere, DIN 4150 e BS 7385.

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 quello di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime.

Vengono inoltre fornite metodologie per ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o anche su edifici diversi a parità di eccitazione.

Le gamme di frequenza presa in considerazione sono variabili da 0,1 Hz a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale come per esempio il vento, nonché ad eccitazione causata dall'uomo. In alcuni casi l'intervallo di frequenza può essere più ampio, come ad esempio vibrazioni indotte da macchinari all'interno degli edifici stessi, tuttavia eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono in grado di influenzare significativamente la risposta dell'edificio. Le vibrazioni causate da urti prodotti da esplosioni, da battiture di pali o da altre sorgenti a ridosso della struttura non sono incluse nella sopraccitata gamma di frequenza, ma lo sono però i loro effetti sulla struttura.

Tabella 2-3: Gamme di frequenza caratteristiche per diverse sorgenti di vibrazioni (Appendice A-UNI 9916 (2004)).

SORGENTI DI VIBRAZIONE	GAMME DI FREQUENZA (HZ)
Traffico (su strada e rotaia)	1 ÷ 80
Esplosioni	1 ÷ 300
Battitura di pali	1 ÷ 100
Macchine esterne all'edificio	1 ÷ 300
Macchine interne all'edificio	1 ÷ 1000
Attività umane interessanti indirettamente l'edificio	0,1 ÷ 100
Attività umane interessanti direttamente l'edificio	0,1 ÷ 12
Vento	0,1 ÷ 10

Al paragrafo 9 della norma UNI 9916 viene precisato che danni strutturali all'edificio nel suo assieme attribuiti 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 frequenza maggiori di 80 Hz, si potrebbe sottostimare il problema verificando il rispetto delle norme ISO 2631-2 e UNI 9916.

Inoltre, se si volessero confrontare i limiti delle due "famiglie" di norme esprimendoli entrambi in termini di velocità, bisognerebbe tenere conto che quelli relativi al disturbo per gli individui sono riferiti a valori efficaci di velocità mentre quelli relativi alla stabilità degli edifici a valori di picco. Nei casi in cui la gamma di frequenze caratteristiche delle vibrazioni indotte negli edifici sia compresa tra 1 a 80 Hz si può ritenere sufficiente la verifica dei livelli per il disturbo agli individui.



### **2.3 LIMITI DI RIFERIMENTO**

Ai fini della valutazione delle vibrazioni in termini di disturbo alle persone si fa riferimento alla norma UNI 9614, che indica i valori limite per il livello dell'accelerazione ponderato in frequenza  $L_w$  oltre i quali un fenomeno sismico può essere considerato "oggettivamente disturbante". Tali valori limite dipendono dalla tipologia di vibrazione, dalla destinazione d'uso del locale interessato dalla sismicità e dal periodo temporale (diurno-notturno), di cui alle Tabella 2-1 e in Tabella 2-2, precedentemente riportate.

### 3. CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO

A seguito dell'analisi del territorio, per i cui dettagli si rimanda all'elaborato specialistico 2527-4953-VM\_VIA\_R25\_Relazione Geologica, si evincono le seguenti osservazioni:

- L'area in esame è situata su una zona collinare alla quota variabile da circa 420 m a circa 470 m sul livello del mare.
- Il terreno esistente in esame, è composto da rocce metamorfiche di età cambriana appartenenti alla Formazione di Nebida, sormontate dalla potente successione carbonatica della Formazione di Gonnese ("Metallifero", Auct.) per passare poi alla formazione carbonatica terrigena di Campo Pisano ("Calcescisti", Auct.) e infine a quella terrigena di Cabitza.
- L'area, per la natura geologica e per l'assetto geomorfologico, esclude movimenti franosi che possano interferire con le stesse strutture. Si tratta per lo più, infatti, di rocce molto competenti, nelle quali l'avanzamento del versante avviene per erosione dello stesso.
- Dal punto di vista sismico il territorio del comune di Villamassargia e Musei come tutta la regione Sardegna ricade nella zona sismica 4, in particolare l'area in esame presenta un valore di  $a_g$  compreso tra 0,025 e 0,050 g, che significa un valore di rischio sismico molto basso, quasi nullo.

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Come descritto nell'elaborato specialistico 2527-4953-VM\_VIA\_R25\_Relazione Geologica, nell'area in esame affiorano successioni sedimentarie e corpi magmatici di età molto antica, intensamente fratturati, affioranti al di sotto di una coltre costituita da terreno vegetale della profondità di circa un metro.

Attualmente non si rilevano né sono noti dissesti, cedimenti o deformazioni anomale dei terreni che saranno oggetto di intervento.

Per poter effettuare una valutazione sulle caratteristiche geotecniche dei terreni sarà necessario effettuare delle indagini dirette in sito, in una successiva fase ben prima della progettazione esecutiva delle opere.

#### 3.2 INQUADRAMENTO SISMICO

Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione ( $a_g$ ), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).

<i>Zona sismica</i>	<i>Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (<math>a_g</math>)</i>
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Il territorio dei comuni di Villamassargia e Musei come tutta la regione Sardegna ricade nella zona sismica 4, come indicato nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004.

In particolare l'area in esame presenta un valore di ag compreso tra 0,025 e 0,050 g.

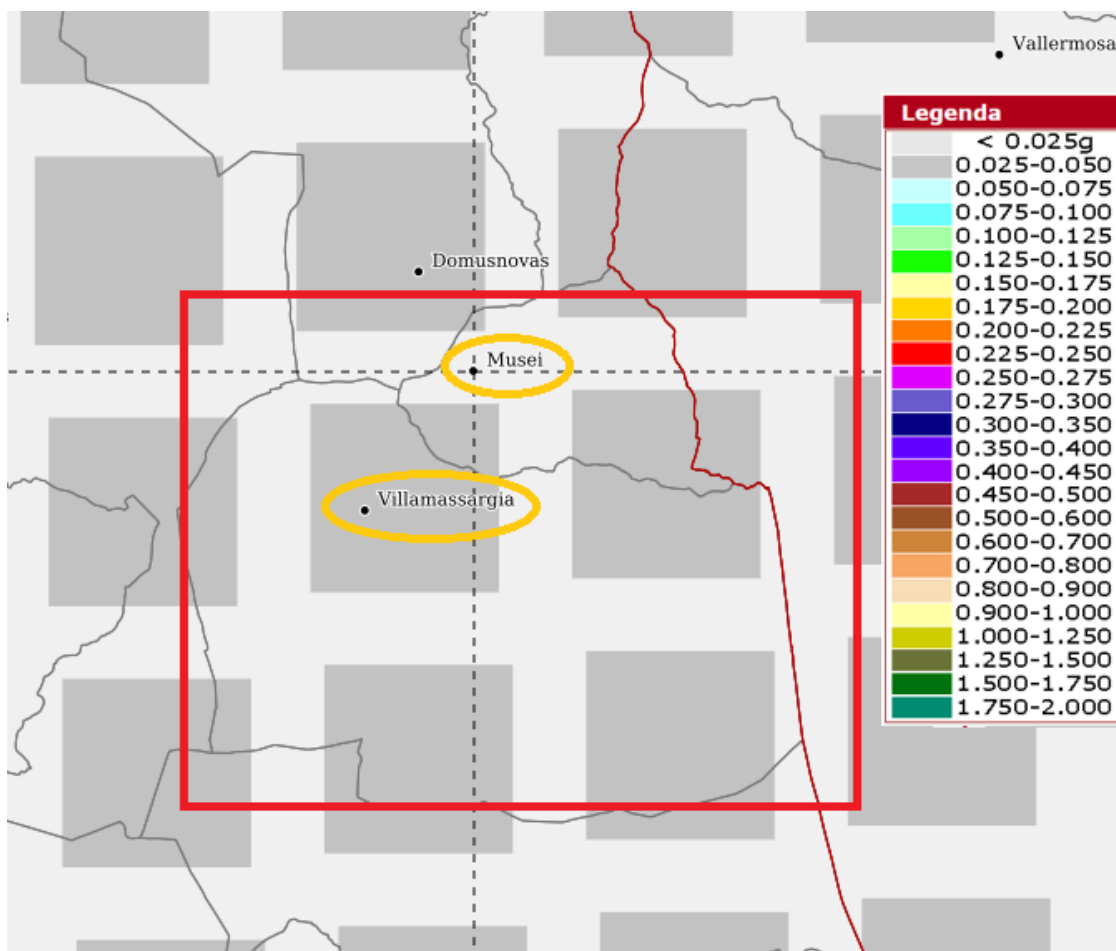


Figura 3-1: stralcio carta pericolosità sismica

## 4. CENSIMENTO DEI RECETTORI

Il censimento dei ricettori rappresenta la fase iniziale dello studio dell'impatto vibrazionale e si propone, mediante l'esecuzione di sopralluoghi diretti, di individuare le caratteristiche dei ricettori interessati dall'impatto. In questa fase, sono state individuati/numerati gli edifici ubicati entro 50 metri dalle opere previste in progetto.

Il metodo seguito per il censimento ricettori è stato articolato in tre fasi:

- l'individuazione dei ricettori potenzialmente impattati: secondo la distanza del ricettore dal tracciato planimetrico (paragrafo 6.1);
- l'identificazione, all'interno dei ricettori censiti, di potenziali criticità: secondo la destinazione d'uso (paragrafo 6.2);
- l'analisi dei risultati ottenuti e la categorizzazione dei ricettori potenzialmente critici (paragrafo 6.3).

### 4.1 CENSIMENTO DEI RECETTORI POTENZIALMENTE IMPATTATI

La prima fase del censimento ricettori consiste nell'identificazione degli edifici potenzialmente interessati dalle vibrazioni indotte dalle lavorazioni. In questa fase di valutazione preliminare, la distanza dalle aree di cantiere è il fattore principale da considerare per la selezione. A tale proposito, sono stati individuati i fabbricati all'interno del buffer di 50 metri dalle aree interessate dalle lavorazioni, che risultano essere i ricettori individuati in prossimità del percorso di connessione, non essendo presenti edifici in prossimità dell'installazione degli aerogeneratori. Nel caso di più fabbricati adiacenti è stato considerato come recettore più rappresentativo l'edificio ad uso abitativo o quello con categoria catastale più "critica"; mentre in caso di più recettori adiacenti con stessa destinazione d'uso, si è scelto quello meno distante dalle aree di cantiere (Figura 4.1).

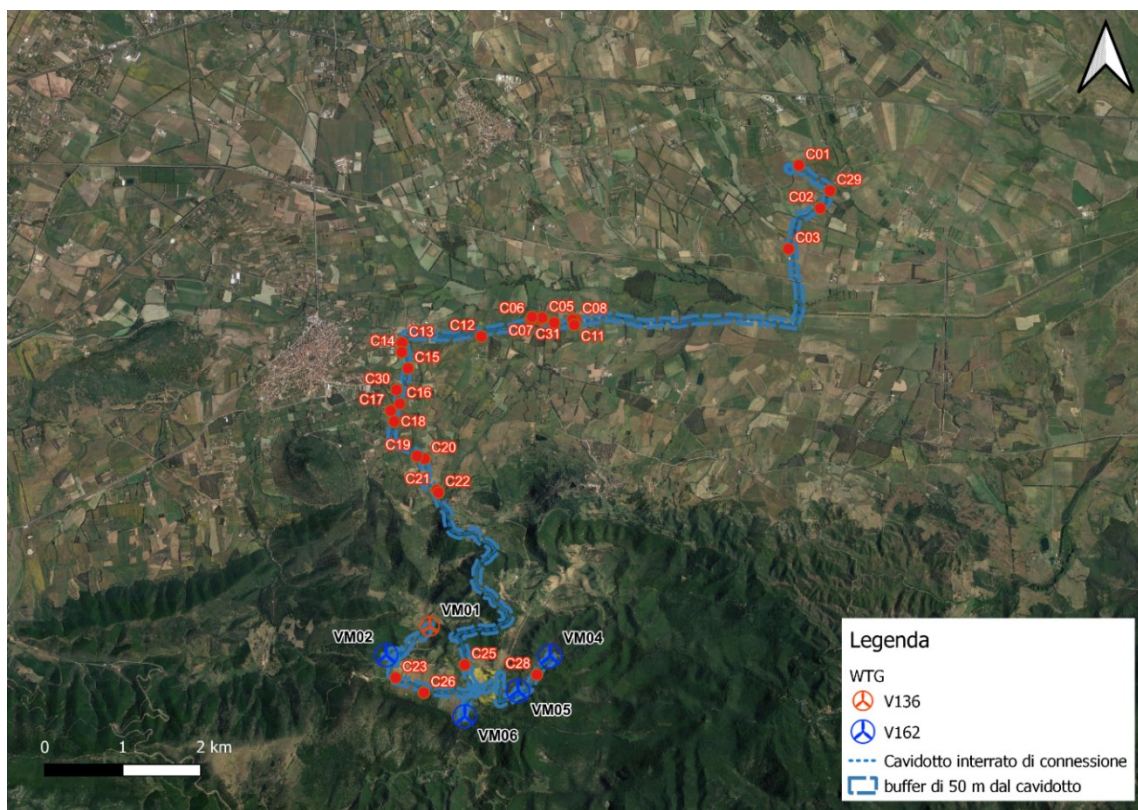


Figura 4.1: Recettori individuati in un buffer di 50m dalle aree di cantiere





Tabella 4.1: Censimento dei potenziali recettori all'interno di un buffer di 50m dalla linea di connessione e dalle aree di cantiere

ID RECETTORE	ID FABBRICATO	MONTE MARIO ITALIA ZONA 1 EPSG 3003		COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA	DESCRIZIONE	CATEGORIA CATASTALE	DISTANZA (M)
		E	N						
C01	80	1475315	4349884	Musei	206	698	Abitazione	nd	37,3
C02	81	1475588	4349335	Musei	208	127	Azienda agricola	A03	13,3
C03	82	1475182	4348813	Musei	210	465	Azienda agricola	nd	44,3
C04	83	1472451	4347908	Villamassargia	401	139	Azienda agricola	A03	41,4
C05	84	1472413	4347902	Villamassargia	401	121	Magazzino	A03	38,7
C06	85	1472433	4347837	Villamassargia	405	438	Abitazione	A03	27,7
C07	86	1472017	4347905	Villamassargia	303	159	Magazzino	nd	18,4
C08	87	1471993	4347909	Villamassargia	303	154	Abitazione	nd	15,4
C09	88	1472023	4347932	Villamassargia	303	159	Abitazione	nd	45,3
C10	89	1471878	4347912	Villamassargia	303	361	Abitazione	A02	20,3
C11	90	1471891	4347941	Villamassargia	303	364	Abitazione	D10	45,6
C12	91	1471242	4347690	Villamassargia	303	367	Abitazione	nd	51
C13	92	1470227	4347609	Villamassargia	304	968	Azienda agricola	D07	29,8
C14	93	1470221	4347488	Villamassargia	304	677	Azienda agricola	D07	48
C15	94	1470302	4347281	Villamassargia	305	177	Magazzino	C02	13,6
C16	95	1470197	4346827	Villamassargia	306	137	Abitazione	A02	36,3
C17	96	1470080	4346737	Villamassargia	306	3	Abitazione	nd	52,9
C18	97	1470124	4346599	Villamassargia	306	131	Abitazione	A02	9,6
C19	98	1470515	4346122	Villamassargia	306	135	Abitazione	A02	37,8
C20	99	1470417	4346155	Villamassargia	503	126	Azienda agricola	nd	26
C21	100	1470671	4345721	Villamassargia	504	195	Abitazione	nd	22,6
C22	101	1470693	4345687	Villamassargia	504	219	Azienda agricola	C02	24,5
C23	R09	1470144	4343313	Villamassargia	512	137	Azienda agricola	C06	24,9
C25	3	1471032	4343477	Villamassargia	512	*	Magazzino	nd	17,7
C26	R10	1470506	4343118	Villamassargia	512	14	Ricovero Attrezzi	nd	45,6
C28	103	1471955	4343351	Villamassargia	702	56	Stalla	nd	40,1





ID RECETTORE	ID FABBRICATO	MONTE MARIO ITALIA ZONA 1 EPSG 3003		COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA	DESCRIZIONE	CATEGORIA CATASTALE	DISTANZA (M)
		E	N						
<b>C29</b>	104	1475713	4349559	Musei	208	86	Magazzino	D01	8,8
<b>C30</b>	105	1470154	4347005	Villamassargia	304	910	Magazzino	nd	53,6
<b>C31</b>	106	1472175	4347867	Villamassargia	401	6	Magazzino	nd	11,3



## 4.2 CRITERI PER L'INDIVIDUAZIONE DI POTENZIALI CRITICITÀ

La potenziale criticità del ricettore in relazione all'impatto vibrazionale viene usualmente evidenziata principalmente in funzione della destinazione d'uso. Inoltre, nella valutazione della criticità si tiene conto anche delle caratteristiche strutturali dell'edificio stesso e del suo stato di conservazione. In particolare, si considerano come potenzialmente critici gli edifici seguenti:

- Ospedali e case di cura, la cui criticità è relativa alla presenza di attività ambulatoriali, sale operatorie, strumenti di precisione, e strutture dedicate alla degenza e al ricovero dei pazienti, caratterizzate da elevata sensibilità alle vibrazioni;
- Laboratori di precisione, presenti generalmente nelle strutture ospedaliere sopra citate, in alcuni studi dentistici-ortodontici, nei centri oculistici ed in alcune strutture industriali;
- Sale di registrazione dove il rumore solido indotto può inficiare l'attività di registrazione;
- Monumenti ed edifici di particolare valore architettonico e/o storico;
- Chiese, teatri e biblioteche con presenza di attività quali seminari religiosi, collegi e sale di lettura, dove è elevata la sensibilità al rumore solido indotto in ambienti caratterizzati, per le attività svolte, da basso livello di rumore di fondo.

Nessun edificio identificato come recettore nel presente studio, risulta potenzialmente critico.

Sono stati tuttavia rilevati n. 12 edifici adibiti ad abitazione, per i quali valgono i valori di riferimento indicati in

Tabella 2-1.

## 5. DETERMINAZIONE DELLO SPETTRO SORGENTE

Lo spettro sorgente utilizzato in fase previsionale risulta essere quello associato alle operazioni di costruzione del parco eolico e delle relative opere di connessione, descritte nell'elaborato 2527-4953-VM\_VIA\_R03\_Rev0\_Descrizione al quale si fa integrale riferimento.

Nel caso specifico le attività a maggior impatto, sono quelle relative alle opere di movimento terra. In particolare, le operazioni di scavo per il cavidotto consistono nella realizzazione di una trincea larga circa 1 m e profonda circa 1,3 m. Tale scavo verrà realizzato mediante l'impiego di escavatori di cui uno eventualmente dotato di martellone, atti alla eventuale demolizione del manto stradale e attività di scavo. A valle dello scavo verrà posato un letto di sabbia vagliata ed il cavo elettrico. A fine posa la trincea verrà riempita con il materiale precedentemente impiegato.

È stata prevista una velocità del cantiere lineare di circa 100+300 m/d. Gli altri mezzi presenti nell'area di cantiere non avranno una incidenza rilevante sulla emissione totale di vibrazioni in quanto impiegati in modo limitato.

Nella seguente figura si riportano una rappresentazione schematica del layout del cantiere.

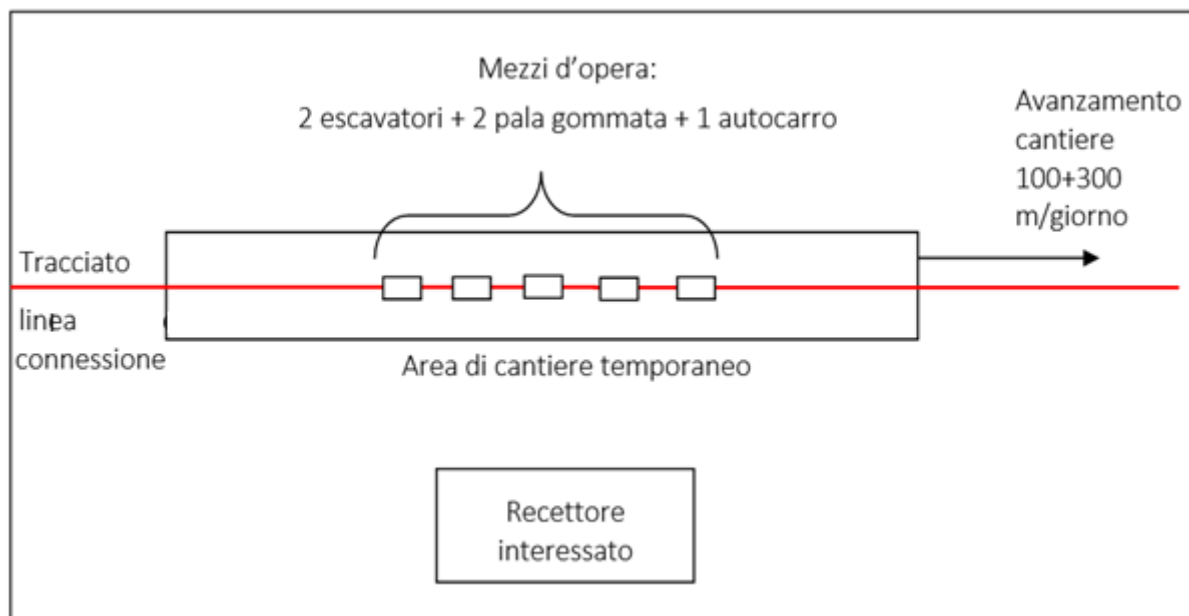


Figura 5.1: Rappresentazione schematica dell'area di cantiere durante le lavorazioni

Le sorgenti vibrazionali più significative, dal punto di vista emissivo, dovuto alla presenza di ricettori nelle immediate vicinanze, possono essere pertanto ricondotte in primis all'impiego dell'escavatore cingolato per la realizzazione dello scavo del cavidotto. Il potenziale impatto delle attività correlate con l'utilizzo dei mezzi è sostanzialmente determinato dalla geometria sorgente-ricettore, dal mezzo geolitologico e dal mezzo utilizzato per la lavorazione. In presenza di caratteristiche geolitologiche simili nell'area di lavoro e a parità di attrezzatura utilizzata, l'impatto vibroacustico dipende dalla distanza del fronte in fase di lavorazione dalle fondazioni degli edifici. Come spettro di sorgente del macchinario si impiega lo spettro vibrazionale relativo alla sorgente escavatore cingolato a qualche metro di distanza dalla sorgente.

Tabella 5-1: Spettro di emissione dei livelli di vibrazione per escavatore cingolato.

FREQUENZA Hz	ATTENUAZIONE CURVA UNI9614 POSTURA NON NOTA O VARIABILE dB	L <sub>i</sub> <sup>1</sup> dB
1	0	50
1,25	0	48
1,6	0	48
2	0	40
2,5	2	48
3,2	4	48
4	6	48
5	8	48
6,3	10	48
8	12	48
10	14	58
12,5	16	62
16	18	80
20	20	81
25	22	82
31,5	24	81
440	26	80
50	28	85
63	30	90
80	32	75

Pertanto dall'analisi dell'accelerazione in terzi di ottava nell'intervallo 1-80 Hz il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza (L<sub>w</sub>) sarà dato dalla seguente relazione:

$$L_w = 10 \log_{10} \sum_i 10^{L_{i,w}/10}$$

dove: L<sub>i,w</sub> sono i livelli rilevati per terzi di ottava ponderati in frequenza come anzidetto. Nello specifico il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza (L<sub>w</sub>) corrisponderà a 69 dB per escavatore cingolato.

<sup>1</sup> Si intendono i livelli di emissione in termini di vibrazioni corrispondentemente alla frequenza centrale di banda.

## 6. APPROCCIO METODOLOGICO DI STIMA PREVISIONALE DEGLI IMPATTI

Gli impatti dovuti alle vibrazioni in fase di cantiere possono derivare da emissioni dirette di vibrazioni nel corso delle lavorazioni e da emissioni di rumore a bassa frequenza.

Le emissioni dirette di vibrazioni sono principalmente correlate all'utilizzo di mezzi d'opera quali escavatori e attrezzature di superficie quali rulli vibranti, vibrocompattatori, martelli pneumatici.

La diversità delle possibili sorgenti vibratorie (tipologia di escavatori utilizzati per gli scavi e per le demolizioni ecc...), la complessità dei fenomeni di interazione tra sorgente e terreno, la complessità dei fenomeni di propagazione della vibrazione nel terreno e negli edifici fanno sì che i soli metodi disponibili per la previsione del livello di vibrazione indotta da tali attività all'interno delle abitazioni maggiormente esposte siano di natura empirica.

I dati di input utilizzati dal modello sono: gli spettri di vibrazioni delle macchine di cantiere, la tipologia del terreno, la distanza degli edifici dalle aree di cantiere.

Nelle aree di cantiere ove sono presenti gli impianti fissi (betonaggio, lavorazioni di dettaglio su eventuali prefabbricati prima della loro posa in opera, etc...) le emissioni di vibrazioni risultano usualmente più contenute rispetto a quelle presenti sul fronte avanzamento lavori poiché la natura stessa delle lavorazioni determina minori sollecitazioni meccaniche sul terreno e, di conseguenza, minore trasmissione di energia meccanica verso i potenziali ricettori sensibili. Nel caso specifico tali aree verranno organizzate in zone distanti dai fabbricati esistenti minimizzando l'impatto complessivo da vibrazioni.

Nel caso specifico, in fase previsionale, sono state considerate come attività a maggior impatto quelle relative alle opere di movimento terra per la realizzazione della trincea di posa del cavidotto. Come detto precedentemente, verranno eseguiti scavi fino ad una profondità di circa 1,3 metri con l'utilizzo di escavatori con benna ed eventualmente, nei tratti dove è presente terreno roccioso, verranno impiegati escavatori cingolati con martello pneumatico.

L'attenuazione materiale è un fenomeno complesso risultante dall'interazione di diversi meccanismi, tra cui quelli più importanti sono le perdite di energia per attrito tra le particelle di terreno e le perdite dovute al moto relativo tra fase solida e fluida del terreno.

In questo studio la modellazione del fenomeno di attenuazione del campo vibratorio con la distanza, per distanze inferiori a 30 m dall'area di cantiere, è stata compiuta utilizzando un approccio di tipo empirico.

La relazione utilizzata fornisce l'attenuazione in ampiezza delle vibrazioni in funzione della distanza dalla sorgente:

$$\Delta L = k \log \frac{(R - R_0) f}{V}$$

dove:

- $\Delta L$  è l'attenuazione espressa in dB;
- $k$  è un parametro che dipende dal tipo di terreno (Sabbia asciutte e bagnate - 10, Depositi alluvionali - 11, Sabbie asciutte - 12, Argilla satura 14, Argilla - 20);
- $R$  e  $R_0$  sono le distanze dalla sorgente dei due punti tra i quali viene valutato il livello di attenuazione;
- $V$  è la velocità di propagazione delle onde di superficie (in questo caso delle onde di Rayleigh) pari a 670 per metamorfiti;
- $f$  è la frequenza centrale della banda considerata.

Si assume per il parametro  $k$  il valore di 11.

La relazione anzidetta per distanze  $(R - R_0)$  inferiori ad una lunghezza d'onda predice valori negativi dell'attenuazione e cioè amplificazione del livello vibrazionale. Tale previsione è attribuibile all'effetto combinato del campo vicino e della dispersione geometrica legata all'eterogeneità del mezzo.

Per la successiva caratterizzazione della propagazione delle vibrazioni negli edifici si è proceduto alla valutazione dell'attenuazione/amplificazione del livello di vibrazione dall'esterno dell'edificio al piano interrato (effetto dell'accoppiamento terreno/fondazioni) e dal piano interrato al primo piano abitato (effetto della risposta della struttura verticale dell'edificio).

Pertanto per determinare i livelli di vibrazione prodotti durante la fase di lavorazione e per verificare il rispetto delle accelerazioni massime consentite dalle norme UNI 9614 è stato utilizzato un modello in grado di valutare i livelli di vibrazione all'interno dell'edificio maggiormente impattato.

La procedura di indagine dei livelli di vibrazione si articola secondo le seguenti fasi:

1. determinazione degli spettri di sorgente dei macchinari più impattanti (escavatori cingolati) misurati sul terreno;
2. identificazione delle caratteristiche geotecniche del terreno;
3. stima dei livelli di vibrazione del terreno in corrispondenza dei ricettori, utilizzando le matrici di attenuazione del terreno;
4. confronto dei risultati con i limiti massimi imposti dalla normativa.

Per quanto riguarda l'eventualità di danneggiamenti agli edifici, la durata delle lavorazioni e la natura delle stesse non presuppone nessuna criticità potenziale.

Tabella 6-1: Stima del livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza ( $L_w$ ) presso i ricettori

ID RECCETTORE	ID FABBRICATO	DESCRIZIONE	CATEGORIA CATASTALE	DISTANZA (M)	ACCELERAZIONE COMPLESSIVA PONDERATA IN FREQUENZA $L_w$ (dB)
C01	80	Abitazione	nd	37.3	72,9
C06	85	Abitazione	A03	27.7	71,4
C08	87	Abitazione	nd	15.4	68,6
C09	88	Abitazione	nd	45.3	73,8
C10	89	Abitazione	A02	20.3	70,0
C11	90	Abitazione	D10	45.6	73,8
C12	91	Abitazione	nd	51	74,4
C16	95	Abitazione	A02	36.3	72,7
C17	96	Abitazione	nd	52.9	74,4
C18	97	Abitazione	A02	9.6	66,4
C19	98	Abitazione	A02	37.8	72,9
C21	100	Abitazione	nd	22.6	70,5

Da ciò ne segue che il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza ( $L_w$ ) stimato presso i ricettori, per lo spettro di emissione corrispondente all'utilizzo dell'escavatore cingolato, risulta inferiore al valore limite per abitazioni-giorno pari a 77 dB.

Nell'ambito della stima degli impatti vibrazionali in fase di cantierizzazione, si segnala che il disturbo alle persone dovuto alle lavorazioni sul fronte di avanzamento lavori ha, per sua natura, una durata limitata al tempo necessario a consentire l'avanzamento del fronte. Dal censimento dei ricettori più impattati (cfr paragrafo 4) non si rileva la presenza di laboratori di precisione tra quelli più prossimi alle aree di cantiere in progetto, pertanto, l'effetto di vibrazioni anche per fenomeni vibratorii modesti non dovrebbe comportare alcuna criticità.

## 7. CONCLUSIONI

Gli unici impatti attesi sono quelli legati alle lavorazioni necessarie per la realizzazione dell'intervento in progetto piuttosto che quelli connessi alle attività di approvvigionamento del cantiere legati alla movimentazione dei pezzi speciali.

Di conseguenza l'area di indagine comprende l'area direttamente interessata dai lavori.

Come detto, i macchinari utilizzati in fase di cantiere possono costituire sorgenti vibranti in grado di interferire con gli edifici presenti in prossimità delle aree operative.

Pertanto, in linea generale, le maggiori criticità vanno ricercate nelle aree di attenzione (costruzioni comprese entro la distanza critica stimata rispetto alle lavorazioni) a ridosso delle aree di cantiere (aree di scavo).

Dalle analisi effettuate si può assumere che il fenomeno di vibrazioni, per lo spettro di emissione corrispondente all'utilizzo dell'escavatore cingolato, risulta inferiore al valore limite per abitazioni-giorno pari a 77 dB.

Nell'ambito della stima degli impatti vibrazionali in fase di cantierizzazione, si segnala che il disturbo alle persone dovuto alle lavorazioni sul fronte di avanzamento lavori ha, per sua natura, una durata limitata al tempo necessario a consentire l'avanzamento del fronte. Dal censimento dei ricettori più impattati (cfr paragrafo 4) non si rileva la presenza di laboratori di precisione tra quelli più prossimi alle aree di cantiere in progetto, pertanto, l'effetto di vibrazioni anche per fenomeni vibratorii modesti non dovrebbe comportare alcuna criticità.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte si può dunque affermare che l'impatto vibrazionale sui recettori censiti, causato dalla realizzazione delle opere in progetto, risulta di entità trascurabile.

Tuttavia, preliminarmente alla realizzazione, saranno eseguiti gli studi che, oltre ottemperare a quanto richiesto in merito dal D.M. 17 gennaio 2018, saranno finalizzati alla definizione della profondità, morfologia e consistenza del substrato, previa esecuzione di idonee indagini geognostiche (quali sondaggi e prove penetrometriche).

Le indagini geotecniche e sismiche di dettaglio, consentiranno la definizione della locale situazione idrogeologica e dei parametri geomeccanici caratteristici, al fine della corretta valutazione delle analisi degli impatti da vibrazione in fase di cantiere, per tutte le opere in progetto.

Si predisporranno, cautelativamente comunque, come misure gestionali per contenere le emissioni di vibrazioni durante le attività di cantiere, opportune campagne di monitoraggio atte a guidare la scelta dei macchinari e le tecniche di scavo, specie in corrispondenza degli edifici situati a ridosso delle lavorazioni a maggior impatto e al controllo costante dello stato dei ricettori e dei livelli di disturbo. La riduzione delle emissioni direttamente sulla fonte può essere ottenuta tramite una corretta scelta delle macchine e delle attrezzature con opportune procedure di manutenzione dei mezzi e delle attrezzature, intervenendo, quando possibile, sulle modalità operazionali e di predisposizione del cantiere.

Pertanto, le azioni preventive e di controllo si estrinsecheranno nel monitoraggio dei livelli di disturbo per i residenti negli edifici per valutare i potenziali effetti indotti dalle lavorazioni.

Tale monitoraggio sarà svolto durante le fasi di lavorazioni ritenute più critiche con l'ausilio di analizzatore a otto canali e terne accelerometriche per la valutazione del disturbo per la popolazione (norma UNI 9614).