



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA PROVINCIA DI SASSARI

Comuni di:



Buddusò



Pattada

REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI COMUNI DI
BUDDUSÒ E PATTADA COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI DI
6,6 MW CIASCUNO E POTENZA COMPLESSIVA PARI A 79,2MW

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

TITOLO

RELAZIONE PREVISIONALE SULL'IMPATTO
DOVUTO ALLE VIBRAZIONI

COMMITTENTE:

AME ENERGY S.r.l.

via Pietro Cossa, 5
20122 Milano (MI)

GRUPPO DI LAVORO

TIMBRI

Studio di Ingegneria - Progettazione e coordinamento

Dott. Ing. Sandro Balloi
Via Monsignor Virgilio, 39
08040 Arzana (OG)

MEDICI & PARTNERS - Studio di Ingegneria civile - strutture

Dott. Ing. Mauro Medici
via Papa Sisto V n. 14
09134 Cagliari (CA)

Tecnoprogetti Energy Connecting S.r.l. - Parte impiantistica

Dott. Ing. Marco Angelo Luigi Murru
via Pietro Nenni, 11
09042 Monserrato (CA)

GAIA Consulting - Studio tecnico di Geologia Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente

Dott. Geol. Cosima Atzori
via Bologna, 30
09033 Decimomannu (CA)

SIATER S.r.l. - Parte Ambientale Acustica

Dott. Piero Angelo Rubiu
via Deffenu, 51
08049 Villagrande Strisaili (NU)

Rev.	n. Documento	Fg/Fgg	Scala	Redatto	Verificato	Approvato	Data
00	2370A 60100	1/1	NA	P.A. Rubiu	P.A. Rubiu	S. Balloi	MAGGIO 2024

SOMMARIO

SOMMARIO	2
1. PREMESSA	5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE	6
4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA.....	9
5. PROPRIETA' MECCANICHE DEI TERRENI.....	12
5.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO	12
6. CAMPAGNA DI INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	19
6.1. MASW – TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI	20
6.2. Specifiche delle indagini svolte	21
6.3. Caratteristiche della strumentazione impiegata.....	22
6.4. Elaborazione dei dati.....	22
6.5. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	23
6.6. Risultati delle indagini del sito WTGP1	25
6.6.1. MASW M1-WTGP1.....	25
6.7. Risultati delle indagini del sito WTGB3.....	27
6.7.1. MASW M2- WTGB3.....	27
6.8. Risultati delle indagini del sito WTGP5.....	29
6.8.1. MASW M3-WTGP5.....	29
6.9. Risultati delle indagini del sito WTGP6.....	31
6.9.1. MASW M4- WTGP6.....	31
6.10. MODELLAZIONE GEOLOGICA	34
6.11. Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse.....	35
7. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO	36
7.1. Modello di propagazione dell'onda nel terreno	38
7.2. Valutazione della propagazione delle vibrazioni	39

8.	SORGENTI DI VIBRAZIONE.....	40
8.1.	Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto.....	40
8.2.	Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale.....	41
8.3.	Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere.....	41
8.4.	Scenari di riferimento di cantiere.....	42
8.1.	Recettori.....	44
8.2.	Scenari di riferimento di esercizio.....	45
8.3.	Limiti di riferimento	47
9.	SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI.....	51
9.1.	Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante.....	51
9.2.	Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata.....	52
9.3.	Propagazione delle vibrazioni di un autocarro.....	53
9.4.	Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato	54
9.5.	Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico	55
10.	MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI.....	56
9.6.	Criteri di azione e misure di mitigazione	56
11.	CONCLUSIONI	59

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Localizzazione del progetto	6
Figura 2	Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000.....	7
Figura 3	Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000	8
Figura 4	Aerogeneratore tipo SIEMENS Gamesa SGRE ON SG 6.6	11
Figura 5	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	26
Figura 6	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	28
Figura 7	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	30
Figura 8	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	32

Figura 9 Ubicazione delle indagini MASW.....	33
Figura 10 - Curva di ponderazione asse generico	37
Figura 11 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie	37
Figura 12 - rapporto tra le velocità di propagazione V_p e V_r	38
Figura 13 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 01-03) - 231m	44
Figura 14 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 02) - 157m.....	45
Figura 15 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza.....	47
Figura 16 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta.....	48
Figura 17 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614.....	48
Figura 18 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014)	50
Figura 19 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere.....	51
Figura 20 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	51
Figura 21 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere.....	52
Figura 22 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	52
Figura 23 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere	53
Figura 24 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	53
Figura 25 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere.....	54
Figura 26 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	54
Figura 27 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere	55
Figura 28 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	55

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del procedimento di Valutazione d'Impatto Ambientale ai sensi del Decreto Legislativo numero 152 del 2006, e di Autorizzazione Unica Regionale ai sensi dell'articolo 12 del Decreto Legislativo numero 387 del 2003 e del D. G. R. 3/15 del 23 Gennaio 2018. La caratterizzazione della qualità dell'ambiente in relazione agli effetti delle vibrazioni deve consentire di individuare e stimare le modifiche e/o le interferenze introdotte dall'intervento proposto e valutarne la compatibilità con gli standard esistenti, in riferimento alla verifica sia del disturbo da esse potenzialmente generate sull'uomo, sia di un eventuale potenziale danno agli edifici, per la salvaguardia del patrimonio architettonico/archeologico.

Il presente documento tecnico riporta la valutazione previsionale dei livelli di vibrazione previste, durante le fasi di cantiere, sui ricettori sensibili più vicini alle aree di installazione degli aerogeneratori del Parco Eolico e alla viabilità interessata, nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico dislocato nei **territori di Pattada e Buddusò**- Provincia di Sassari e sulla viabilità laddove sono previste lavorazioni (es. posa del cavidotto o realizzazione ex-novo/adeguamento stradale). La stima dei livelli di vibrazione attesi presso i ricettori sensibili identificati secondo quanto indicato nella normativa vigente all'area di progetto ed il loro confronto con i limiti vibrazionali sono stati eseguiti secondo le prescrizioni, le indicazioni e le modalità contenute nelle normative tecniche vigenti.

La vibrazione prodotta da macchine e strumenti di cantiere, nel seguito definite **sorgenti**, si propaga attraverso il **substrato geologico** che su di essa agisce operando un filtraggio in funzione della natura geolitologica dei terreni e si attenua con l'aumentare della **distanza dai recettori**.

La vibrazione, quindi, arriva ad interagire con le fondazioni delle strutture edificate e tale interazione dipende dal tipo di fondazione, dal tipo di costruzione e dal suo stato di conservazione.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In Italia non esiste ancora una normativa specifica di settore, pertanto, la presente è redatta facendo riferimento a normativa UNI ed ISO con particolare riferimento a:

1. **UNI 9614/2017** "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
2. **UNI 9916/2014** "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni negli edifici";

3. **ISO 2631-2:2003** Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz) Regione n. 14 del 7/2/2022 dal Comitato Istituzionale.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

L'area di interesse al progetto è situata nei comuni di Pattada e Buddusò nelle località "Sa Rosa Frida" alle pendici di Monte Ruju, "Bidda Capone", "Isterri Dulzu" e "Sa Zura". L'altitudine media è intorno ai 650m slmm. L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Foglio 481 sez. I "Buddusò" dell'IGM (scala 1: 25.000);
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Sez. 481-030 "Lago Lerno".
-

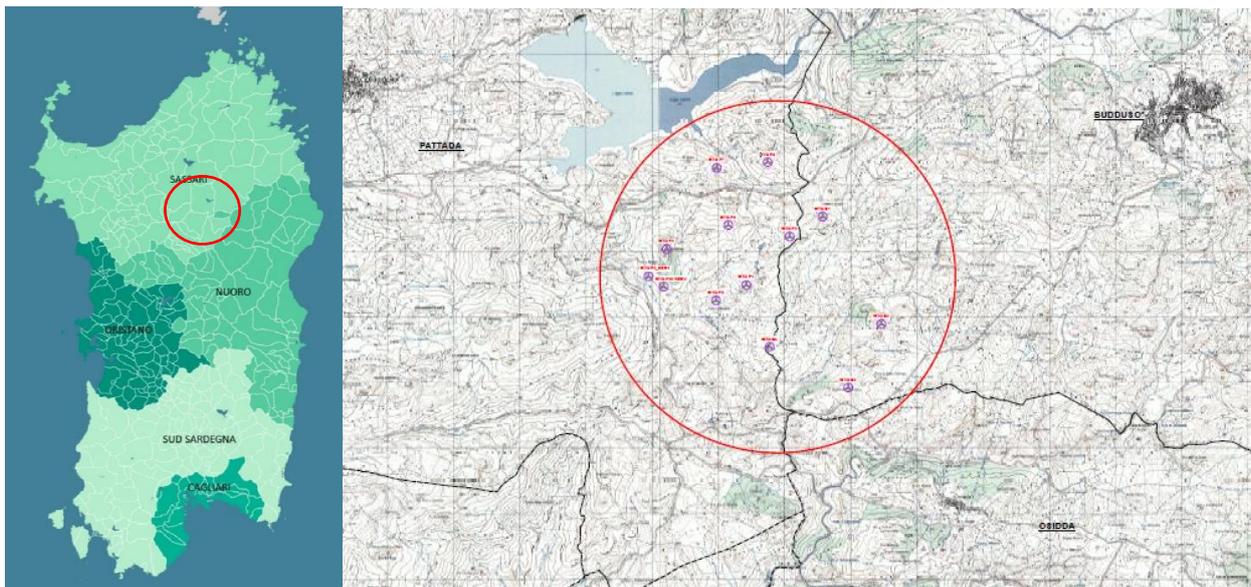


Figura 1 Localizzazione del progetto

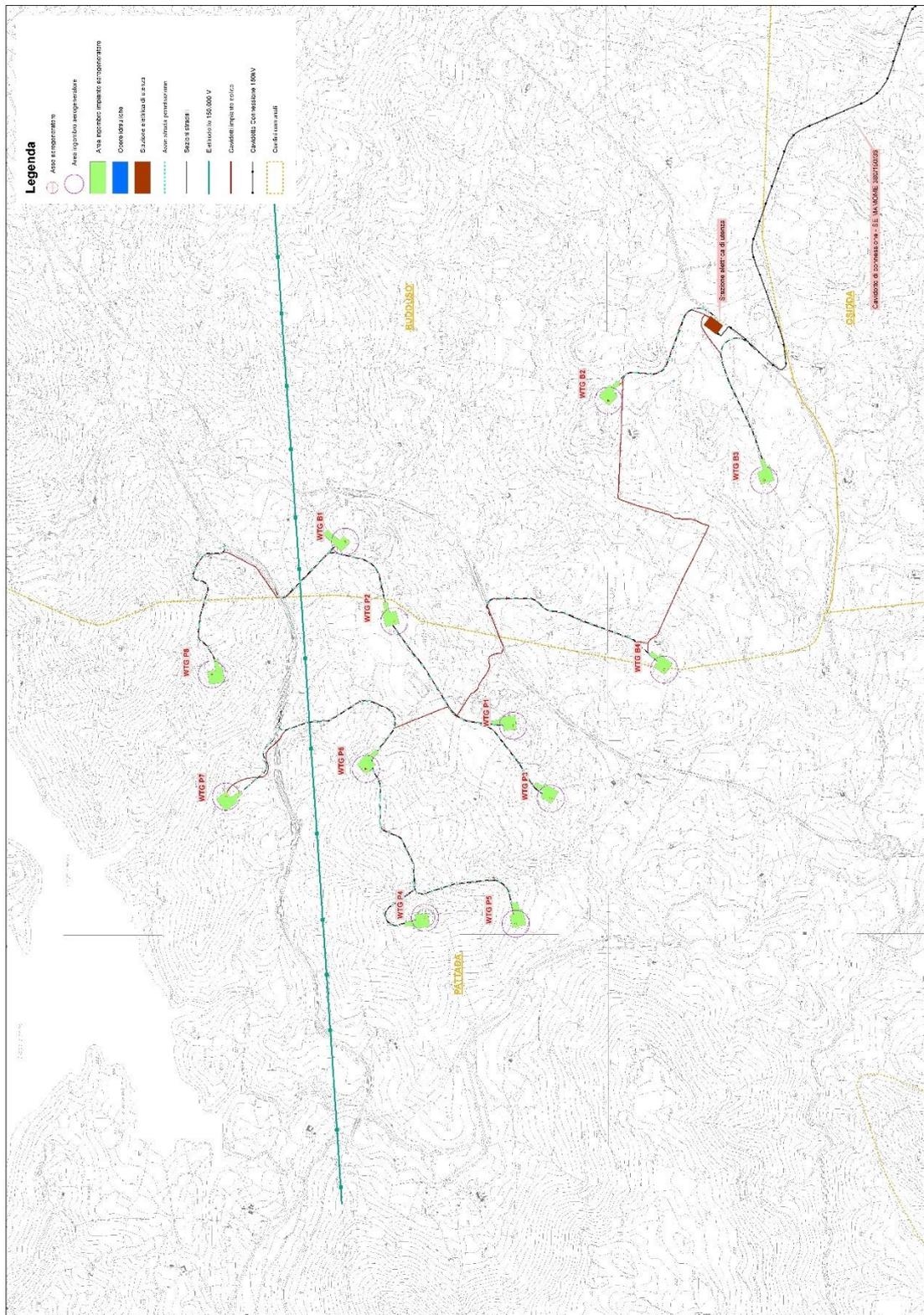


Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000

4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

Il parco eolico avrà una potenza totale pari a 79,2 MW ed è costituito da: 12 aerogeneratori, di potenza nominale pari a 6,6 MW, con altezza della torre pari a 135 m al mozzo e diametro del rotore pari a 170 m, con lunghezza della singola pala pari a 85m, con elica a 3 pale. E' previsto l'impiego di aerogeneratori SIEMENS Gamesa SGRE ON SG 6.6 - 170, 135m.

Gli aerogeneratori saranno collegati tra loro mediante un cavidotto interrato in Media Tensione 33 kV che convoglia l'elettricità presso una Stazione Elettrica Utente (SEU) di trasformazione 150/33 kV, al fine di collegarsi alla Stazione Elettrica (SE) 150 kV della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) Terna in Località Mamone, in Provincia di Nuoro (NU), di nuova realizzazione, attraverso un cavidotto interrato a 150 kV.

L'impianto interessa prevalentemente il Comune di Pattada, dove ricadono 8 aerogeneratori, e il Comune di Buddusò dove ricadono 4 aerogeneratori e la Stazione Elettrica Utente (SEU) di trasformazione 150/33 kV.

Gli aerogeneratori, come già esposto, saranno collegati mediante un sistema di linee elettriche interrate di Media Tensione a 33 kV allocate prevalentemente in corrispondenza del sistema di viabilità interna, necessario alla costruzione e alla gestione futura dell'impianto e realizzato prevalentemente adeguando il sistema viario esistente e realizzando nuovi tratti di raccordo per consentire il transito dei mezzi eccezionali.

Le linee elettriche in Media Tensione verranno collegate alla SEU 150/33 kV, posizionata ad Sud Est rispetto agli aerogeneratori di progetto, in comune di Buddusò, e a sua volta sarà collegata alla Stazione Elettrica 150 kV della RTN Terna, da realizzarsi in Loc. Mamone, mediante una linea elettrica interrata a 150 kV.

La Soluzione Tecnica Minima Generale (CP202200734-1), fornita da Terna, prevede che l'impianto eolico in progetto venga collegato a 150 kV sulla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN 150 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150 kV "Taloro - Siniscola 2", previa realizzazione del nuovo elettrodotto a 150 kV tra la nuova SE e il futuro ampliamento a 150 kV della SE RTN "Ottana".

Il trasporto degli aerogeneratori dal porto di sbarco al sito di installazione seguirà le viabilità statale, provinciale e comunale asfaltata, all'interno del sito produttivo per il raggiungimento delle piazzole verranno utilizzate strade comunali e vicinali sterrate esistenti che saranno preventivamente adeguate, in alcuni tratti verranno realizzati nuovi brevi tratti di pista per l'accesso alle piazzole di montaggio.

Il generatore scelto per il presente progetto è il SIEMENS Gamesa SGRE ON SG 6.6 - 170, 135m: generatore da 6,6 MW, con diametro del rotore pari a 170m e altezza del mozzo dalla base del fusto pari a 135m, per un'altezza massima complessiva pari a 220m.

Si allega di seguito la scheda tecnica in cui vengono riassunte le caratteristiche tecniche salienti.

Scheda tecnica	
Potere	
Potenza nominale:	6,600.0 kW
Potenza nominale flessibile:	5,600.0 - 6,600.0 kW
Velocità di accensione:	3.0 m/s
Velocità nominale del vento:	6.6 m/s
Velocità di spegnimento:	25.0 m/s
Velocità di sopravvivenza:	59.5 m/s
Wind zone (DIBt):	-
Wind class (IEC):	S, IIb, IIIa
Rotore	
Diametro:	170.0 m
Superficie del rotore:	22,697.0 m ²
Numero di foglie:	3
Velocità, max:	10.3 U/min
Velocità di punta:	92 m/s
Designazione del tipo:	LM 83.3 / SG170
Sostanza:	Glass fibre reinforced plastics with pultruded carbon. balsa and foam
Produttore:	Siemens Gamesa / LM Wind Power
Densità di potenza 1:	290.8 W/m ²
Densità di potenza 2:	3.4 m ² /kW
Cambio	
Progetto:	Planetary / Helical
Livelli:	3.0
Conversione:	0,129166667
Produttore:	ZF Wind Power / Winergy
Generatore	
Progetto:	doubly-fed induction (DFIG)
Cifra:	1
Velocità, max:	1,299.0 U/min
Tensione:	690.0 V
Collegamento alla rete elettrica:	Back to back partial load converter
Frequenza di rete:	50/60 Hz
Produttore:	Siemens Gamesa / INDAR
Traliccio	
Altezza mozzo:	90 / 100 / 102.5 / 107 / 110.5 / 115 / 122.5 / 135 / 145 / 150 / 155 / 165 m
Progetto:	steel tube / hybrid
Sagoma:	-
Protezione anticorrosione:	-
Produttore:	-
Masse / Pesì	
Peso singolo foglio:	-
Peso del mozzo:	-
Peso del rotore:	-
Peso della carlinga:	-
Peso della torre, max:	-
Peso totale:	-
Altro	
Data di costruzione:	2021
Offshore:	No
Onshore:	SI

5. PROPRIETA' MECCANICHE DEI TERRENI

5.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

L'isola riflette pertanto una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni.

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvengono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è soggetto a magmatismo, intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

Si tratta di plutoni messi in posto durante le fasi estensionali di collasso gravitativo della catena ercinica, e che caratterizzano l'area di studio.

In particolare, l'area vasta del comune di Buddusò è compresa all'interno del Complesso granitico del Goceano-Bittese, facente parte del Complesso plutonico del Carbonifero superiore-Permiano (monzograniti equigranulari, leucograniti a granato, granitoidi a cordierite). Sono inoltre presenti rocce metamorfiche del Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica (micascisti e paragneiss), e depositi di copertura alluvionale e eluvio-colluviale di età quaternaria.

Secondo la ricostruzione geodinamica di CARMIGNANI et al. (1994b), il Complesso migmatitico deriva dalla crosta continentale armoricana, sovrascorsa sul margine gondwaniano subdotto nel quale sono stati riconosciuti:

a) il cuneo di accrezione (Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica);

6) le coperture del margine paleozoico del Gondwana precedentemente descritte (Complesso metamorfico ercinico in facies degli scisti verdi e anchimetamorfico, suddiviso in Falde interne, Falde esterne e Zona esterna).

In Sardegna il Complesso migmatitico ercinico ed il Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica sono separati dalla Linea Posada-Asinara: una fascia milonitica, costituita da micascisti, paragneiss in facies anfibolitica e quarziti, che attraversa tutta la Sardegna settentrionale dalla foce del fiume Posada fino all'Isola dell' Asinara e lungo la quale affiorano relitti di crosta oceanica.

Come le suture oceaniche descritte nella zona assiale della Catena ercinica europea, anche la Linea Posada-Asinara è caratterizzata per tutta la sua lunghezza da corpi di anfiboliti derivate da basalti di crosta oceanica, con relitti di metamorfismo di alta pressione. I corpi principali affiorano nella valle del Posada, nella bassa Gallura e all'Isola dell'Asinara.

Queste anfiboliti contengono relitti di ambientazione granulitica e, nella bassa Gallura, di ambientazione eclogitica. In termini di elementi maggiori tutte le anfiboliti mostrano composizioni simili a quelle riportate per le tholeiiti oceaniche e le concentrazioni degli elementi con alta forza di campo (HFSE) indicano che i protoliti delle anfiboliti derivano da basalti ad affinità MORB. Anche i pattern delle terre rare indicano una fusione parziale di una sorgente di tipo MORB impoverita, seguita da frazionamento.

La forte anomalia magnetica che marca tutta la Linea Posada-Asinara potrebbe indicare importanti corpi mafici in profondità e suggerisce che tale lineamento rappresenti una struttura di importanza crostale. La Linea Posada-Asinara ha costituito una "zona di debolezza" persistente fino al Terziario. E' caratterizzata da un'importante metamorfismo retrogrado in facies a scisti verdi coevo con movimenti trascorrenti destri tardo-ercinici che interessano entrambi i complessi che essa mette a contatto.

Inoltre, nella valle del Posada lo stesso lineamento è riattivato come faglia trascorrente destra anche nel Terziario. Gli originari rapporti tra i due complessi metamorfici conseguenti alla collisione ercinica sono stati quindi modificati a più riprese.

I granitoidi tardo-ercinici costituiscono circa un terzo della superficie dell'Isola e insieme con quelli della Corsica formano il Batolite sardo-corso (vedi anche la Carta Geologica e Strutturale della Sardegna e della Corsica allegata). È questo uno dei batoliti più importanti della Catena ercinica europea, affiorando per una lunghezza di 400 km ed una larghezza di oltre 50. Il batolite è notoriamente composito; ha una grande variabilità strutturale, e si è messo in posto in un lasso di tempo piuttosto lungo. Considerando infatti che i granitoidi della Corsica settentrionale hanno età

viseana-namuriana e che i massicci leucogranitici come quelli di Tempio Pausania (Gallura) hanno età permiana inferiore, la messa in posto dell'intero batolite sarebbe avvenuta in un intervallo di tempo di circa 40 Ma (da circa 320 a circa 280 Ma).

In un tale intervallo di tempo è lecito aspettarsi cambiamenti del quadro geodinamico che si riflettono sui caratteri strutturali e composizionali delle diverse intrusioni. Nel Batolite sardo-corso, infatti, vengono distinte due associazioni principali: una magnesio-potassica di età viseana-namuriana, presente solo nella Corsica settentrionale, ed una calcalalina riferibile essenzialmente al Carbonifero superiore-Permiano inferiore, la quale costituisce la quasi totalità dei granitoidi della Corsica meridionale e della Sardegna.

Per quanto concerne i rapporti tra messa in posto dei vari plutoni e la tettonica ercinica, alcuni Autori hanno distinto tra plutoni sin-tardo- e post-tettoniche in riferimento all'ultima fase deformativa ercinica, ritenuta da questi Autori

ancora compressiva e, quindi, collocata all'interno della dinamica collisionale della catena. Tuttavia, solo le età radiometriche e le strutture esibite dai granitoidi appartenenti all'associazione magnesio-potassica della Corsica settentrionale sono compatibili con una messa in posto durante un regime compressivo ercinico ancora attivo.

In Sardegna, dove è presente soltanto l'associazione calcalalina, le età radiometriche e i rapporti tra foliazioni interne alle intrusioni e la strutturazione generale della catena indicano che l'acquisizione della deformazione, anche in condizioni di solid state flow, da parte delle intrusioni, sia da mettere in relazione a zone di taglio transtensive successive all'impilamento delle falde, come al M. Grighini, o comunque a zone di taglio connesse con una tettonica decompressiva, come nella bassa Gallura.

In definitiva, è da ritenere che la messa in posto del Batolite sardo-corso sia da ricondurre alla tettonica estensionale legata al collasso gravitativo della Catena ercinica.

Per ciò che concerne gli aspetti composizionali, il carattere calcalalino dell'associazione granitoide sarda è stato messo in evidenza da tempo. La maggioranza delle intrusioni mostra una grande variabilità che va dalle quarzodioriti fino ai leucograniti a due miche, definendo trend da calcalalino-trondjemitici a calcalalino-monzogranitici. La tipologia calcalalina è indicata anche da alcuni caratteri minero-petrografici come la biotite ferri-ferrosa con tendenza evolutiva verso alti tenori in Fe+ Mn, l'anfibolo di tipo ferro-omeblenda a tendenza tchernakitica, il plagioclasio con zonature tipo patchy-zoning.

Le proporzioni dei vari termini dell'associazione calcalalina, secondo ORSINI (1980), sono così schematizzabili:

- a) granitoidi di composizione intermedia con SiO₂ 60-65% (tonaliti e granodioriti), 6-7% del totale in affioramento;
- b) granitoidi a composizione acida con SiO₂ 65- 75% (granodioriti e monzograniti), 60% del totale in affioramento;
- c) granitoidi super acidi con SiO₂ 75-78% (monzograniti e alaskiti, leucograniti s.l.), occupanti circa il 30% del totale dell'affiorante;
- cl) rocce intrusive basiche (gabbri e gabbro-tonaliti), occupanti l'1% del totale dell'affiorante.

Nell'area vasta, tale Complesso è costituito da diverse unità intrusive: Unità intrusiva di Sos Canales, Unità intrusiva di Monte Lerno-Punta Senalonga, Unità intrusiva di Buddusò, Unità intrusiva di Benetutti, e Unità intrusiva di Osidda.

Le diverse unità intrusive si distinguono per composizione, in:

1. Leucograniti: Sono rocce a composizione super-acida, con tenore in silice compreso tra 75-78% e struttura analoga a quella di un granito, povere di minerali ferromagnesiaci e con indice di colore più basso del normale, che porta una colorazione grigio biancastro-rosato. La paragenesi mineralogica è data da quarzo, feldspato potassico, plagioclasio, poca biotite e talora muscovite (apatite, allanite, zircone, magnetite e titanite come accessori). Si distinguono due unità intrusive, a loro volta suddivise in diverse facies:

- a. Unità Intrusiva di Sos Canales:
 - Facies Bultei (leucograniti a due miche)
 - Facies Loelle (leucograniti a granato): affiora nella porzione orientale dell'area in esame
- b. Unità intrusiva di Monte Lerno – Punta Senalonga (leucograniti biotitici rosati).

2. Granodioriti: Sono rocce granitoidi di composizione da intermedia ad acida, con percentuale in silice compresa tra 60-75%. Sono caratterizzate dalla predominanza di plagioclasio sodico-calcico (costituisce i 2/3 dei minerali presenti) e da una percentuale di quarzo (8-10%), oltre che da una percentuale di biotite che arriva anche al 20%. Si distinguono in:

- a. Unità intrusiva di Buddusò:
 - Facies Nuraghe Oddastra (granodioriti monzogranitiche)
- b. Unità intrusiva di Benetutti:
 - Facies Nule (granodioriti tonalitiche)

3. Monzograniti: Affioranti nel settore centrale dell'area in esame, sono rocce intrusive sature (percentuale di quarzo >5%) a chimismo acido (percentuale di silice tra 65-75%) caratterizzate dalla predominanza di feldspato potassico e plagioclasio (labradorite), pirosseno monoclinico, orneblenda.

4. Plutoniti basiche dell'Unità intrusiva basica di Osidda: costituite da:
- Facies Badu Luras (Carbonifero sup.- Permiano): plutoniti basiche costituite da gabbrì anfibolitici più o meno quarziferi, associati ad un insieme eterogeneo, composizionalmente e tessituralmente, di termini dioritici e tonalitici.

Il corteo filoniano è costituito da filoni e ammassi aplitici, filoni idrotermali a prevalente quarzo, filoni basaltici, filoni acidi, filoni microgranitici. Seppur rappresentati da rocce a differente chimismo, tali corpi intrusivi derivano dalla stessa camera magmatica. Il corteo filoniano è legato alla tettonica distensiva dell'Orogenesi Ercinica.

(mg) Filoni e ammassi di micrograniti: costituiti da corpi ipoabissali affioranti in masse e filoni di estensione chilometrica e spessore ettometrici. Sono costituiti da micrograniti biotitici, da grigio-biancastri a giallastri se alterati, a grana da fine a microgranulare, con tessitura da isotropa a porfirica per K-feldspato biancastro euedrale subcentimetrico e quarzo globulare, con rare biotite e muscovite, immersi in una massa di fondo granofirica.

Carbonifero superiore - Permiano.

(fp) Filoni e ammassi di porfidi granitici: rappresentati da strutture filoniane o ammassi, subverticali, di estensione plurichilometrica e spessore fino ad ettometrico. Costituiti da rocce di colore rosso-rosato fino a biancastro, a grana medio-fine, porfiriche per fenocristalli di K-feldspato euedrale di taglia centimetrica, quarzo globulare, subordinata biotite e rara muscovite, immersi in una massa di fondo granofirica.

Carbonifero superiore - Permiano.

(fa) Filoni aplopegmatitici: sono rappresentati da filoni aplopegmatitici incassati nei granitoidi, di dimensioni decametriche con spessore decimetrico, con le porzioni pegmatitiche costituite da quarzo, K-feldspato, plagioclasio albitico e raramente miche.

Carbonifero superiore - Permiano.

(fp) Filoni femici: sono rappresentati da filoni lamprofirici di tipo spessartitico che intersecano graniti e basamento metamorfico, a struttura sub-afirica o debolmente porfirica, fenocristalli di plagioclasio zonato, anfibolo verde zonato, pirosseno e rara olivina, in massa di fondo da intersertale a subofitica. Normalmente molto alterati, presentano spessore non superiore ai 7 m.

Carbonifero superiore – Permiano.

(fq) Filoni idrotermali a quarzo prevalenti: sono rappresentati da filoni idrotermali a quarzo prevalente, di colore biancastro e dimensioni e sviluppo notevoli. Spesso mineralizzati a barite e fluorite, talora anche con solfuri metallici (Pb, Cu, Zn, Fe, ecc...).

Carbonifero superiore – Permiano.

(fb) filoni basaltici: a serialità transizionale, di composizione basaltica olivinica e trachibasaltica, a struttura porfirica per fenocristalli di plagioclasio, olivina e clinopirosseno, tessitura intersertale-ofitica. Carbonifero sup. – Permiano.

(ap) Filoni e ammassi aplitici: Carbonifero sup. – Permiano.

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi di versante e coltri eluvio-colluviali, depositi alluvionali, e depositi antropici.

(a) Depositi di versante: si tratta di depositi monigenici ed eterometrici, con clasti spigolosi o scarsamente elaborati ed una notevole matrice fine, accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti. Di solito la cementazione è scarsa, e il loro spessore è limitato a pochi metri.

Olocene.

(b2) Coltri eluvio-colluviali: sono rappresentati da terreni clastici eluviali e colluviali, costituiti da sedimenti spesso monogenici, fini (silt e sabbie), incoerenti, talora anche grossolani con lenti di ghiaie angolose, più o meno pedogenizzati ed arricchiti nella frazione organica. Lo spessore massimo di questi depositi, sviluppati nelle vallecole piane o nelle xizone sub-pianeggianti, raggiunge massimo 5 m.

Olocene.

I depositi eluvio-colluviali e il detrito di versante costituiscono coltri mediamente poco potenti derivanti dal lento disfacimento delle rocce del bedrock granitoide, trasportate in prevalenza da acque di ruscellamento diffuso o discese per gravità.

In condizioni naturali il prodotto della alterazione del bedrock, in relazione alla pendenza dei versanti ed alla copertura vegetale, in parte permane in situ ed in parte tende ad accumularsi nelle aree morfologicamente depresse (compluvi, conche, etc.).

In generale è possibile affermare che le formazioni alloctone sono costituite da depositi clastici granulari poco elaborati di genesi colluviale ed eluviale, prevalentemente costituiti da frammenti litici spigolosi policristallini mediamente centimetrici di roccia granitoide più o meno alterata associati a singoli cristalli di quarzo, immersi in una matrice a granulometria variabile da sabbiosa a limo-argillosa. L'alterazione della componente feldspaticoplagioclasica e dei minerali femici della roccia madre produce una discreta componente fine ascrivibile granulometricamente ai limi e alle argille, che va a costituire la matrice fine dei depositi terrigeni, normalmente preponderante percentualmente rispetto allo scheletro clastico più grossolano.

Tali sedimenti, ad esclusione della parte superiore pedogenizzata, a meno di rimaneggiamenti antropici, risultano in genere ben addensati, pseudocoerenti, con colorazione che può tendere al marrone chiaro fino all'ocra, a causa di fenomeni di ossidazione, caratteristici in particolare dei livelli più antichi.

(b) Depositi alluvionali: si sviluppano lungo le aste terminali dei corsi d'acqua e dei loro affluenti. Sono costituiti da depositi alluvionali grossolani, talora terrazzati, eterometrici e poligenici con elementi di rocce granitoidi e filoniane; la granulometria di questi depositi, di spessore variabile non superiore ai 5m, è sabbioso-ghiaiosa con intercalazioni siltose. Olocene.

La granulometria è in prevalenza sabbioso-ghiaiosa, ma non mancano i livelli a carattere maggiormente limoso. Trattasi quindi di depositi eterogenei, in quanto la sedimentazione fluviale è tipicamente rapida e discontinua, con condizione di deposizione dei sedimenti variabili in relazione a diversi fattori, primo fra tutti l'alternarsi delle stagioni.

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento delle rocce plutoniche del Complesso intrusivo tardo ercinico del Carbonifero superiore- Permiano, dai Paraderivati (micascisti paleozoici), e dai depositi quaternari principalmente costituiti da depositi alluvionali e coltri eluvio-colluviali.

L'area vasta è caratterizzata da una faglia a direzione ENE-WSW (settore sud-orientale e nord-orientale dell'area vasta).

Le faglie, o le strutture tettoniche presenti, determinano il controllo tettonico delle valli incise, che corrono ENE-WSW o N-S. Di queste strutture tettoniche presenti, le faglie determinano il controllo tettonico delle principali valli incise. La giacitura dei piani è abbastanza costante, sebbene possa

esser influenzata dalle faglie. Nei diversi siti di installazione la dinamica geostrutturale ha creato piani di fratturazione a diversa scala.

6. CAMPAGNA DI INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del **modello geologico di riferimento di sito** funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap. 6.2.1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

- Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
- Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni, piazzole, trincee e rilevati stradali, stabilità dei pendii)

La metodica utilizzata è quella indiretta in sito, ovvero l'indagine geofisica, questa costituisce parte integrante delle indagini geognostiche dirette e indirette legate alla caratterizzazione dei terreni di fondazione. In particolare, si pone come obiettivo la ricostruzione dell'assetto sismo-stratigrafico dei terreni sede di posa delle opere di fondazione nonché la classificazione del suolo di fondazione per le categorie semplificate indicate nel Decreto 17 gennaio 2018 - NTC 2018 aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

Sono stati eseguiti di **n°4 stendimenti di sismica** con tecnica **MASW**, È stato inoltre eseguito il Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot, elettrodi /picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di tomografia elettrica e sismica. Sono stati infine elaborati i dati ottenuti tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

Sigla stendimento	Intervallo geofoni (m)	Lunghezza (m)
M1-WTGP1	5.00	55.00
M2-WTGB3	5.00	55.00
M3-WTGP5	5.00	55.00
M4-WTGP6	5.00	55.00

Tabella 1 Ubicazione degli stendimenti

6.1. MASW – TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI

Metodologia

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio

trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

6.2. SPECIFICHE DELLE INDAGINI SVOLTE

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 2,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e

pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema), oltre che una battuta al centro della base sismica.

Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.



6.3. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, ci siamo avvalsi di una strumentazione di acquisizione GEA24,

prodotto dalla PASI Geophysics, con frequenza di campionamento 1500 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz. Per l'energizzazione è stata usata una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg..

6.4. ELABORAZIONE DEI DATI

Il metodo interpretativo della M.A.S.W. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

L'elaborazione dei dati che ha prodotto il profilo di velocità è stata realizzata grazie all'impiego del software ZondST2D.

6.5. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato H è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Tabella 3.2.II. Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

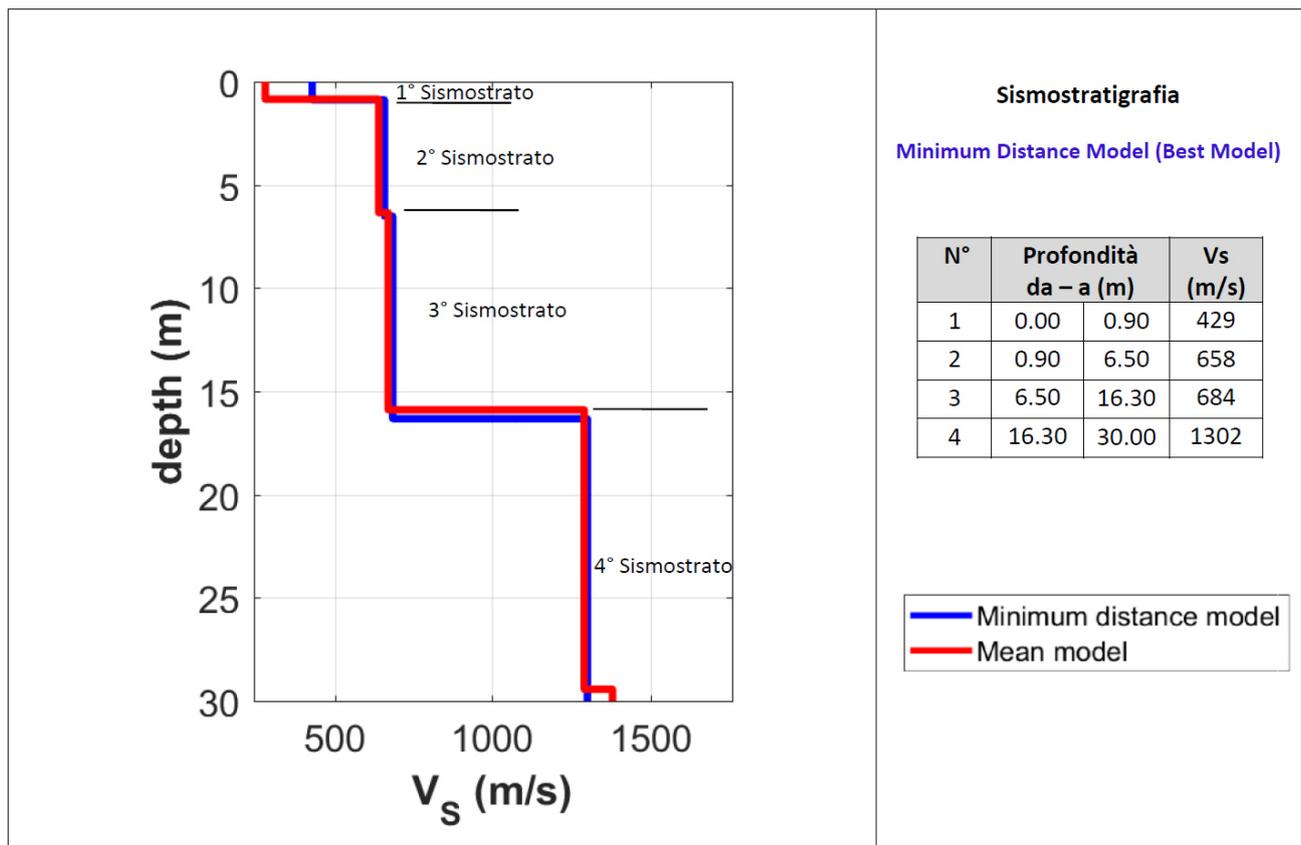
6.6. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO WTGP1

6.6.1. MASW M1-WTGP1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali V_s dello stendimento M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio V_s .

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0.00 – 0.90	1° sismostrato con V_s di 429 m/s , suolo e/o coltre arenizzata del granito
0.90 – 6.50	2° sismostrato con V_s di 658 m/s , Granito arenizzato
6.50 – 16.30	3° sismostrato con V_s di 684 m/s , Granito da arenizzato a poco fratturato
16.30 – 30.00	4° sismostrato con V_s di 1302 m/s , Granito da poco fratturato a integro

MASW M1 - PROFILO V_s (V_{seq} da p.c. = 653.67 m/s)



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{seq} (in m/s), definita dall'espressione con:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

hi spessore dell'i-esimo strato;

VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs la profondità del substrato è posta a **16.30 m** dal p.c. ($V_s > 800$ m/s);

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato è pari a:

$$V_{seq} = 16.30 \text{ m} / 0,02494 \text{ s} = 653.67 \text{ m/s}$$

Ciò consente di classificare il terreno come **Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Vs	Densità y	Modulo di Young dinamico Ed _{dyn}	Modulo di taglio iniziale Go	Modulo di comprimibilità o di Bulk K
	m/s	kg/m ³	MPa	MPa	MPa
1	429	1900	932,47	349,68	932,47
2	658	2100	2424,60	909,22	2424,60
3	684	2100	2619,99	982,50	2619,99
4	1302	2500	11301,36	4238,01	11301,36

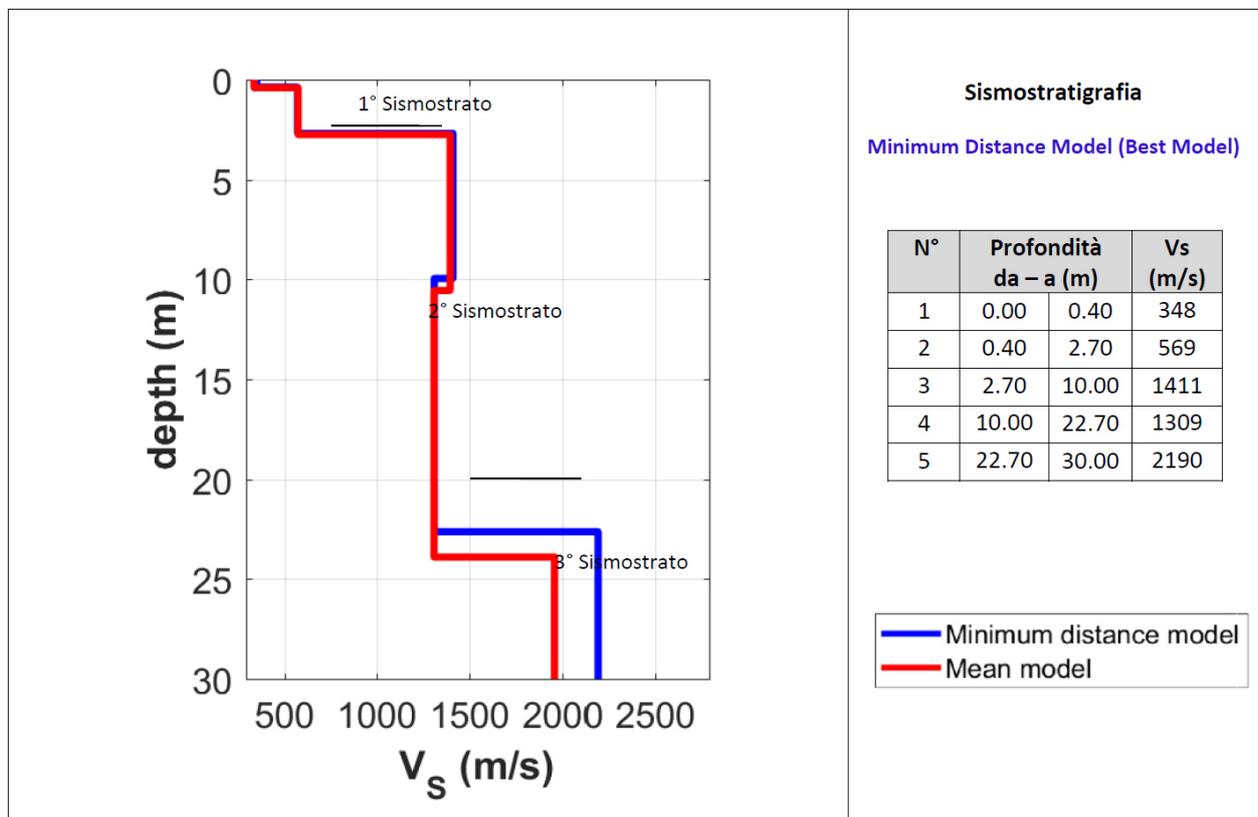
Figura 5 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

6.7. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO WTGB3

6.7.1. MASW M2- WTGB3

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0.00 – 0.40	1° sismostrato con Vs di 348 m/s , suolo e/o coltre arenizzata del granito
0.40 – 2.70	2° sismostrato con Vs di 569 m/s , Granito arenizzato
2.70 – 22.70	3° sismostrato con Vs tra 1411 e 1309 m/s , Granito da poco fratturato a integro
22.70 – 30.00	4° sismostrato con Vs di 2190 m/s , Granito integro



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione con:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

- hi spessore dell'i-esimo strato;
 VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs la profondità del substrato è posta a **30 m** dal p.c. ($V_s > 800$ m/s);

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato è pari a:

$$V_{seq} > 800 \text{ m/s}$$

Le inversioni di velocità riscontrate lungo la verticale indagata sono tali da poter essere ritenute non rilevanti, permettendo quindi l'approccio semplificato per l'attribuzione della categoria di sottosuolo [si vedano le indicazioni riportate in "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica - Parti I e II" (Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - 2008)].

Ciò consente di classificare il terreno come **Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.**

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Vs	Densità y	Modulo di Young dinamico Ed _{dyn}	Modulo di taglio iniziale Go	Modulo di comprimibilità o di Bulk K
	m/s	kg/m ³	MPa	MPa	MPa
1	348	1800	581,30	217,99	581,30
2	569	2000	1726,73	647,52	1726,73
3	1411	2550	13538,26	5076,85	13538,26
4	1309	2500	11423,21	4283,70	11423,21
5	2190	2700	34531,92	12949,47	34531,92

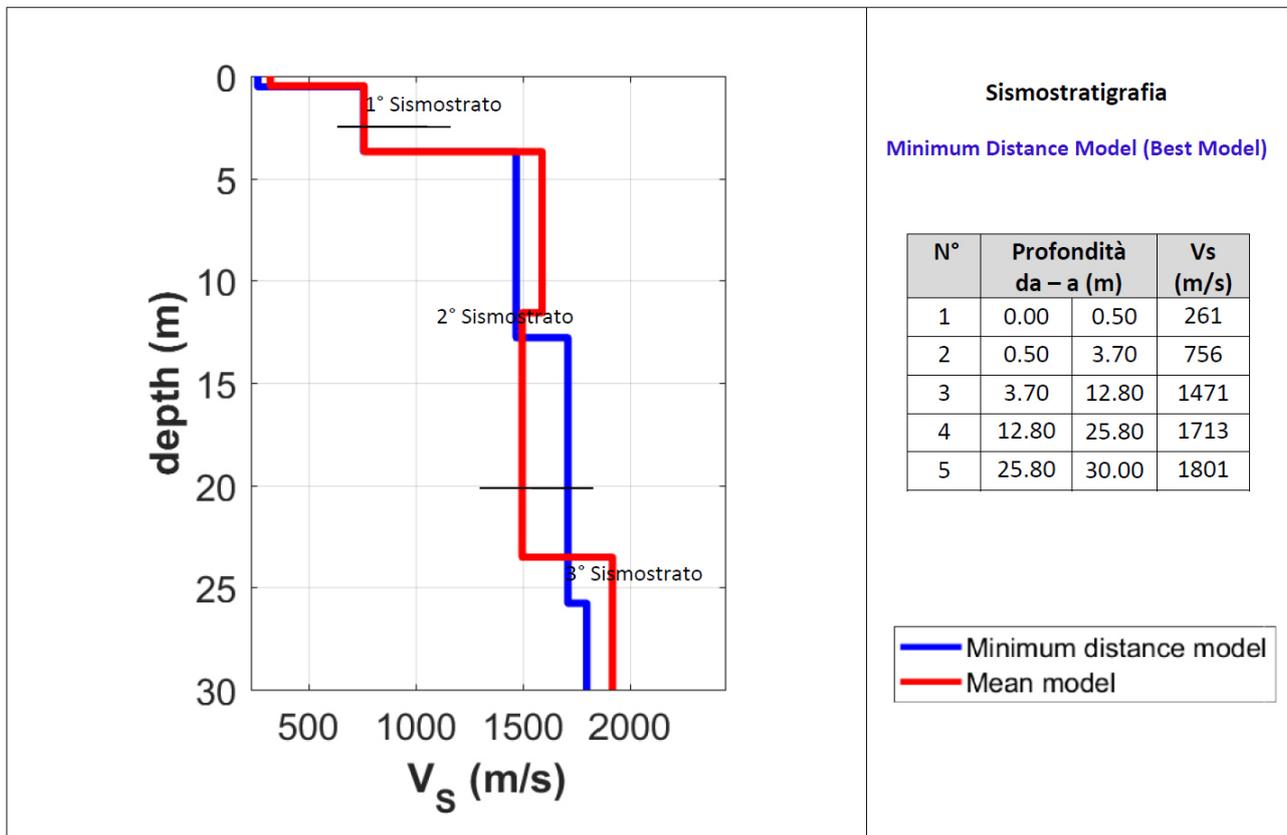
Figura 6 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

6.8. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO WTGP5

6.8.1. MASW M3-WTGP5

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0.00 – 0.50	1° sismostrato con Vs di 261 m/s , suolo e/o coltre arenizzata del granito
0.50 – 3.70	2° sismostrato con Vs di 756 m/s , Granito arenizzato
3.70 – 12.80	3° sismostrato con Vs di 1471 m/s , Granito da poco fratturato a sano
12.80 – 30.00	4° sismostrato con Vs tra 1713 e 1801 m/s , Granito sano



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione con:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

- hi spessore dell'i-esimo strato;
 VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs la profondità del substrato è posta a **3.70 m** dal p.c. ($V_s > 800$ m/s);
 La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato è pari a:

$$V_{seq} = 3.70 \text{ m} / 0.00615 \text{ s} = 601.77 \text{ m/s}$$

Ciò consente di classificare il terreno come **Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Vs	Densità y	Modulo di Young dinamico Ed _{dyn}	Modulo di taglio iniziale Go	Modulo di comprimibilità o di Bulk K
	m/s	kg/m ³	MPa	MPa	MPa
1	261	1700	308,82	115,81	308,82
2	756	2100	3200,60	1200,23	3200,60
3	1471	2500	14425,61	5409,60	14425,61
4	1713	2600	20344,96	7629,36	20344,96
5	1801	2650	22921,45	8595,54	22921,45

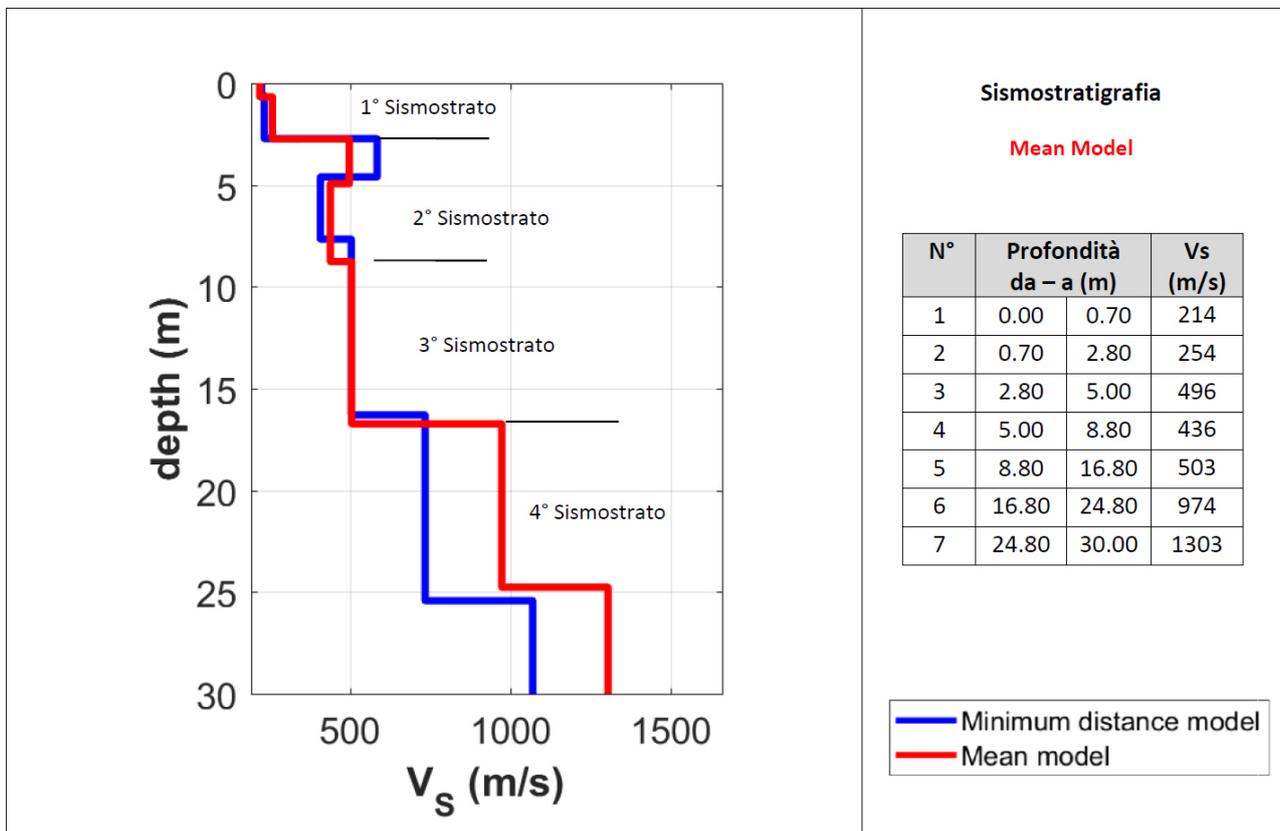
Figura 7 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

6.9. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO WTGP6

6.9.1. MASW M4- WTGP6

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M4, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0.00 – 2.80	1° sismostrato con Vs tra 214 e 254 m/s , suolo e/o coltre arenizzata del granito
2.80 – 8.80	2° sismostrato con Vs tra 496 e 436 m/s , Granito arenizzato
8.80 – 16.80	3° sismostrato con Vs di 503 m/s , Granito da arenizzato a poco fratturato
16.80 – 30.00	4° sismostrato con Vs tra 974 e 1303 m/s , Granito da poco fratturato a sano



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione con:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

- hi spessore dell'i-esimo strato;
 VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs la profondità del substrato è posta a **16.80 m** dal p.c. ($V_s > 800$ m/s);

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato è pari a:

$$V_{seq} = 16.80 \text{ m} / 0.040059 \text{ s} = 413.85 \text{ m/s}$$

Ciò consente di classificare il terreno come **Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Vs	Densità y	Modulo di Young dinamico Ed _{dyn}	Modulo di taglio iniziale Go	Modulo di comprimibilità o di Bulk K
	<i>m/s</i>	<i>kg/m³</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>
1	214	1700	207,61	77,85	207,61
2	254	1700	292,47	109,68	292,47
3	496	1900	1246,48	467,43	1246,48
4	436	1900	963,15	361,18	963,15
5	503	2000	1349,38	506,02	1349,38
6	974	2300	5818,55	2181,95	5818,55
7	1303	2500	11318,73	4244,52	11318,73

Figura 8 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

<p>TAVOLA 1 PLANIMETRIA GENERALE UBICAZIONE INDAGINI Comune di Buddusò e Pattada(SS) Progetto: Realizzazione di un impianto eolico in agro di Buddusò e Pattada</p>	<p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none">● Sondaggi— Stendimenti sismici MASW. (Lunghezza G1-G12=55,00 m)
---	---



Figura 9 Ubicazione delle indagini MASW

6.10. MODELLAZIONE GEOLOGICA

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione esecutiva dell'opera e nelle varie fasi di realizzazione.

L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti. Nello specifico:

1. Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione ai livelli meno competenti sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio. I sistemi di fratturazione presenti generano variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
2. Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia – pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito ed in particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, è stato individuato nr.01 modello geologico rappresentativo descritto di seguito:

In generale l'intera area interessata dal progetto è interessata da un substrato roccioso da fratturato a sano costituito dalle facies granitiche descritte nei capitoli precedenti al cui tetto (profondità variabile dai 2 ai 7m) poggiano senza soluzione di continuità depositi più o meno sciolti incoerenti costituite da roccia del basamento intensamente fratturata e/o alterata (regolite) che, via via al diminuire della profondità, si fondono in eteropia di facies laterale e verticale con i depositi eluvio-colluviali superficiali.

Pertanto, nell'ottica dell'individuazione di un modello geologico rappresentativo del sito si propone il seguente schema:

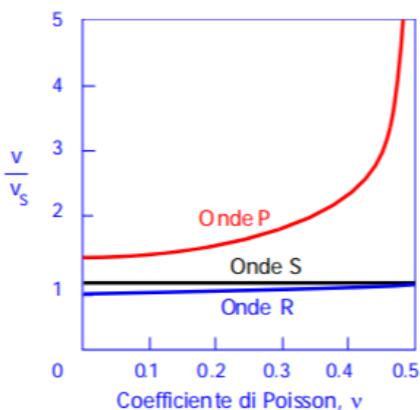
0,00-0,40m	suolo e/o depositi eluvio-colluviali (S1)
0,40-2,70m	granito arenizzato (regolite) (S2)
2,70-22,70m	granito da poco fratturato a integro (S3)
22,70 -30m	granito integro (S4)

6.11. TABELLA DI SINTESI DELLE PROPRIETÀ DI SINTESI DEI TERRENI DI INTERESSE

Per la valutazione della distanza di sicurezza verrà preso in considerazione il modello geologico più cautelativo. Facendo riferimento ad una profondità di propagazione di circa 2m il valore di Vs di riferimento per le valutazioni seguenti sarà uguale a **756m/sec (MASW M3)**

Di seguito si riporta la stima del valore di Vr (m/sec) in relazione alla misura di Vs effettuata mediante l'indagine geofisica tipo MASW correlate come da schema riportato di fianco:

il rapporto Vp/Vs dipende dal coefficiente di Poisson; in genere la Vr è sempre di poco minore della Vs.



per $v = 0.25$ $V_R = 0.919 V_S$
 $v = 0.33$ $V_R = 0.933 V_S$
 $v = 0.40$ $V_R = 0.943 V_S$
 $v = 0.50$ $V_R = 0.955 V_S$

Modello Geologico di sito- Profilo sismico M3
 $v = 0,33$ $V_r = 0,933 V_s$

Profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0,00 – 0,40	261	0,33	243
0,40 – 2,70	756	0,33	705
2,70 – 22,70	1471	0,33	1372
22,70 – 30,00	1801	0,33	1680

7. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO

Le caratteristiche dei fenomeni vibratorii che possono interessare un edificio variano in modo sostanziale in funzione della natura della sorgente di eccitazione e delle caratteristiche dinamiche dell'edificio stesso. Per una corretta esecuzione delle misurazioni, premessa necessaria per giungere a descrivere completamente il fenomeno e valutare quindi la possibilità che esso produca danni, è necessario tenere conto dei seguenti fattori:

- meccanismo di eccitazione e trasmissione;
- durata del fenomeno;
- natura deterministica o aleatoria del fenomeno;
- distribuzione spettrale dell'energia.

L'energia immessa nel terreno dalla **sorgente**, quando questa è esterna all'edificio, genera onde "elastiche" che raggiungono la fondazione modificandosi nel loro contenuto spettrale per effetto delle **caratteristiche fisico-meccaniche del terreno attraversato**.

Il fenomeno si traduce, nella generalità dei casi, in **un'attenuazione dell'intensità del moto**, man mano che ci si allontana dalla sorgente, per effetto delle **proprietà dissipative del terreno** e per un effetto geometrico. Usualmente tale fenomeno è più sensibile per le componenti del moto alle alte frequenze e nei terreni incoerenti e di tipo sciolto e dà quindi luogo ad uno spettro (del moto alla base) caratterizzato da un contenuto spettrale più ricco in basse frequenze.

In alcuni casi, quando si è in presenza di condizioni stratigrafiche particolari, possono verificarsi fenomeni di risonanza che tendono ad amplificare alcuni valori spettrali rispetto ad altri.

La norma UNI 9614/2017, che richiama e fa riferimento primario alla ISO 2631-2:2003 prevede di valutare il livello complessivo di accelerazione ponderata nell'intervallo da 1 ad 80 Hz: se il segnale disturbante è caratterizzato da un'emissione concentrata entro una singola banda di 1/3 di ottava, è sufficiente correggere il valore misurato applicando la correzione riportata in Fig. 14 (ad esempio essa vale -19 dB a 50 Hz). Se viceversa lo spettro è continuo ed esteso a più bande, occorre anzitutto calcolare il livello di accelerazione corretto a ciascuna frequenza, indi sommare energeticamente i livelli di accelerazione alle varie frequenze onde ricavare il valore complessivo:

$$L_{acc,w,tot} = 10 \cdot \lg \left[\sum_i 10^{(L_{acc,i} + C_i)/10} \right]$$

Questa metodica rende tuttavia le cose molto complicate in presenza di fenomeni di propagazione che producono un'attenuazione con la distanza che dipende fortemente dalla frequenza. Occorre,

infatti, effettuare un calcolo separato della propagazione a ciascuna frequenza, e ricalcolare poi, punto per punto, il livello di accelerazione complessiva ponderata.

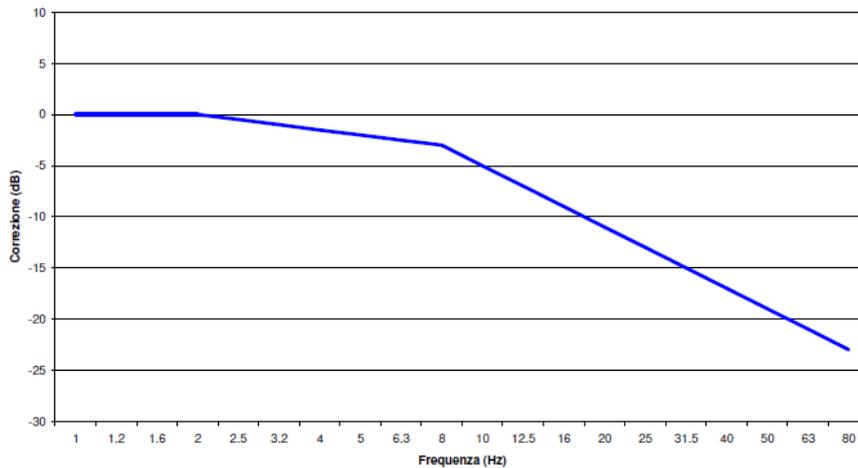


Figura 10 - Curva di ponderazione asse generico

I primi due tipi sono 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.

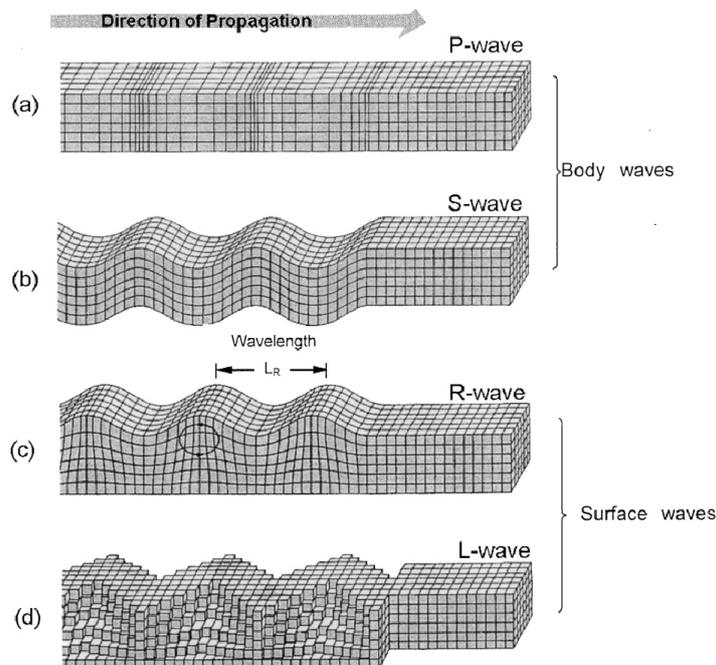


Figura 11 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie

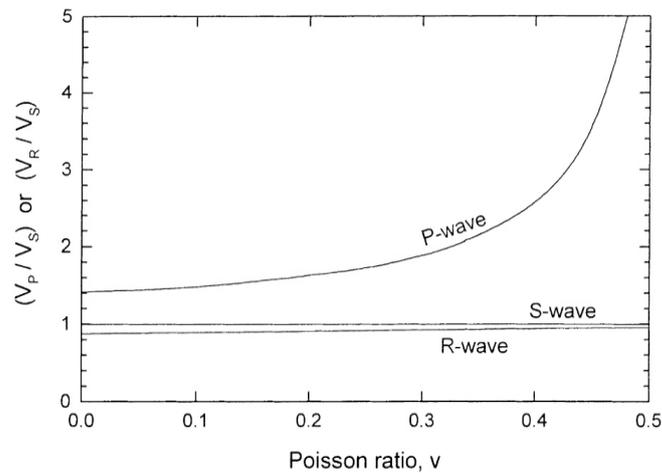


Figura 12 - rapporto tra le velocità di propagazione V_p e V_r

La velocità di propagazione dei diversi tipi di onde non è la stessa: le onde di compressione (onde P) sono le più veloci, mentre le onde di taglio e di superficie viaggiano con velocità più basse, in dipendenza del valore del modulo di Poisson del terreno. La fig.12 mostra il rapporto fra velocità di propagazione delle onde P ed R riferito alla velocità di propagazione delle onde di superficie S.

Ne consegue che l'onda che maggiormente interagisce con gli elementi strutturali (fondazioni, murature portanti, tramezzi e solai) degli edifici sono le onde di superficie V_r .

Nell'effettuare un calcolo analitico della propagazione di vibrazioni si effettuano diverse ipotesi semplificatrici:

1. si considera il terreno omogeneo e isotropo
2. la propagazione dell'energia vibrazionale avviene sulla superficie del suolo per mezzo di onde di Rayleigh; l'effetto delle onde primarie, secondarie e di Love è trascurato
3. ogni sorgente emette energia vibrazionale in superficie in modo omnidirezionale.

7.1. MODELLO DI PROPAGAZIONE DELL'ONDA NEL TERRENO

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

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

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 è funzione della tipologia di sorgente e dalla profondità. Pertanto, per sorgenti poste in superficie (es. fondazioni superficiali, scavi poco profondi, etc) si assume $n=0,5$ e $n=1$ per sorgenti profonde (fondazioni su pali, perforazioni, etc).

Il fattore di smorzamento o di perdita del terreno η è funzione della natura del terreno ed è in generale pari a 0,1 per sabbie, ghiaie, o simili e 0,01 per gli elementi lapidei.

Tipo di terreno	η
Roccia	0.01
Sabbia, ghiaia, ciottoli	0.1
Limi, argille	0.2 -0.5

7.2. VALUTAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI

Sulla base dei dati relativi ai singoli modelli geologici rappresentativi del sito di interesse si sono definiti i valori del fattore di smorzamento η e dell'esponente n di seguito riportati.

Poiché i lavori interesseranno solo gli strati superficiali verranno valutate le vibrazioni prodotte dai mezzi meccanici fino a 2m tenendo conto degli sismostrati rilevati e delle relative velocità V_r calcolate per ognuno di essi.

Modello Geologico di sito – Profilo sismico $M3 \nu = 0,33 \quad V_r = 0,933 V_s$

Profondità in m (da-a)	V_s (m/sec)	ν	V_r (m/sec)	η	n
0,00 – 0,40	261	0,33	243	0,05	0,5
0,40 – 2,70	756	0,33	705	0,01	0,5
2,70 – 22,70	1471	0,33	1372	0,01	0,5
22,70 – 30,00	1801	0,33	1680	0,01	0,5

Se da una parte la **caratterizzazione geotecnica di dettaglio del sito** ha permesso di risalire con una buona approssimazione al **reale comportamento della propagazione delle onde superficiali** che generano la maggiore componente vibrazionale, allo stato attuale non è possibile effettuare **misure dirette sulle configurazioni di cantiere** previste (macchine e attrezzature) per **l'assenza di mezzi analoghi nel sito di progetto** ma anche in quelli più prossimi e geologicamente simili **assimilabili a quello in progetto**. Le misure su cantieri non assimilabili si riferirebbero a contesti non realistici e perciò **non rappresentativi**.

Pertanto, al fine di poter avere un quadro di riferimento della situazione benché non esaustivo per le ragioni appena espresse, verrà effettuata una disamina degli scenari maggiormente impattanti attraverso l'utilizzo di dati di letteratura (ammessa dalla norma – App.C punto C.4) rimandando alla fase esecutiva l'effettuazione di tutte le **misure dirette e relative elaborazioni** da effettuarsi secondo quanto previsto al punto 6 e 8 della UNI 9614/2017.

8. SORGENTI DI VIBRAZIONE

La norma UNI 9614/2017 al punto 5 suddivide le sorgenti per tipologia in funzione di:

1. posizione rispetto agli edifici,
2. funzione,
3. caratteristiche della durata della vibrazione prodotta ovvero in funzione al periodo di attività della sorgente.

Nel caso specifico in studio le sorgenti sono:

1. rispetto alla posizione – **esterne agli edifici**;
2. rispetto alla funzione – **legate ad attività non essenziali e legate ad attività che non possono essere contemplate tra quelle interrompibili con successivi danni ad impianti, pericolo di incidenti e danni a produzioni**.
3. rispetto al periodo di attività della sorgente – **tra le sorgenti temporanee presenti per gran parte della giornata (cantieri)**.

8.1. ANALISI DELLA FASE DI CANTIERE PER LA COSTRUZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

In fase di valutazione previsionale, per quantificare il potenziale impatto delle vibrazioni relativo alla fase di costruzione e di installazione dei generatori si fa riferimento ad un programma di massima delle attività di cantiere ed in particolare alle fasi di lavorazione che possono risultare maggiormente gravose sotto il profilo vibratorio perché, ad esempio, comprendono l'impiego di attrezzature e macchinari che devono funzionare all'aperto.

In particolare, la fase di sbancamento preliminare alla erezione delle torri e di getto di calcestruzzo per costituire le platee ed i basamenti delle torri medesime e la realizzazione della nuova viabilità di servizio costituiscono potenzialmente la fase di attività più importante, senza sottovalutare quella relativa alla movimentazione di attrezzature e mezzi mediante autocarri che andranno ad incidere sulla viabilità. Si prevede infatti l'impiego di escavatori, dumpers, betoniere, attrezzi ed utensili manuali. Inoltre, il cantiere può indurre un incremento di traffico stradale sulla viabilità locale.

Tali attività non vengono svolte simultaneamente in tutti i siti di installazione degli aerogeneratori, ma vengono compiute un sito per volta ed inoltre, benché la valutazione degli impatti negli scenari a seguire sarà fatta considerando la contemporaneità di attività dei mezzi, questo nella realtà non avviene.

Si prevede che le attività saranno svolte unicamente in periodo diurno ed in normale orario lavorativo e, pertanto, **non si fa riferimento al periodo notturno. Non sono altresì previsti, in questa**

fase lavorazioni nei giorni festivi. Tuttavia, se per qualche ragione non prevedibile in questa fase, si dovesse necessariamente lavorare in uno dei periodi sopracitati, verrà messo in atto quanto contenuto nel **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

8.2. POTENZIALE INCREMENTO DEI FLUSSI DI TRAFFICO INDOTTO DAL CANTIERE SULLA VIABILITÀ LOCALE

Per quanto riguarda il traffico indotto dal cantiere, si prevede un flusso di mezzi per il trasporto di materiali, componenti e personale quantificabile punte di 100-120 transiti giornalieri concentrati per una decina di giorni in occasione dell'approntamento delle materie necessarie alla realizzazione delle opere fondanti e della struttura degli aerogeneratori, in aggiunta al flusso di traffico locale attualmente presente (poche decine di veicoli/giorno) sulla viabilità di accesso al cantiere.

8.3. MODELLO PER IL CALCOLO DELL'IMPATTO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

Sulla base del cronoprogramma indicato negli elaborati progettuali con riferimento allo spettro di emissione delle macchine operatrici e dell'incremento previsto nei flussi di traffico stradale, è stato sviluppato un modello di calcolo previsionale dell'impatto della componente vibrazioni da applicare a scenari individuati come rappresentativi delle attività e indicati di seguito, in prossimità dei ricettori maggiormente sensibili.

Sono stati individuati i seguenti scenari maggiormente impattanti dal punto di vista della propagazione di vibrazioni:

Scenario 01 – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili sottostazione di trasformazione;

Scenario 02 – attività di posa dei cavidotti;

Scenario 03 – attività di realizzazione delle fondazioni delle torri di supporto;

Gli scenari di calcolo considerano la **contemporaneità nell'utilizzo dei mezzi di cantiere** (condizione più sfavorevole) e le **peggiori condizioni di trasmissione delle vibrazioni dal mezzo substrato** in un orario di lavoro compreso tra le 7:30 e le 13:00 e poi tra le 14:00 e le 16:30.

Il calcolo è stato effettuato utilizzando la regola cosiddetta **SRSS** ovvero **Square Root of the Sum of Squares** che viene utilizzata in presenza di sorgenti multiple. Normalmente i mezzi d'opera non saranno impiegati continuativamente e contemporaneamente. Inoltre, durante l'orario di cantiere è previsto che i macchinari abbiano delle fermate legate alle necessità produttive.

La norma **UNI 9614/2017** prevede che sia considerata periodo diurno la fascia oraria dalle **6.00 alle 22.00** (punto 3.17) e fissa il limite per la massima accelerazione a **7,2 mm/sec²** (punto 9.1).

Altresì nella valutazione del disturbo e sempre cautelativamente, i macchinari verranno considerati posizionati nel punto più vicino al ricettore in relazione all'attività da essi svolta.

Non è tuttavia possibile escludere il verificarsi di eventuali superamenti temporanei dei limiti differenziali solamente in occasione di specifiche o particolari lavorazioni svolte in vicinanza dei ricettori.

In questi casi si deve fare riferimento alla **gestione di attività temporanee (cantieri) in deroga ai limiti massimi** previsti dalla norma **UNI 9614/2017** al punto 9.5 e contenuta nell'**Appendice C** che prevede la stesura del **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

Al fine della valutazione della distanza oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alle soglie limite dettate dalla norma si sono prese in considerazione le caratteristiche geologiche del **modello geologico di sito rappresentativo**.

8.4. SCENARI DI RIFERIMENTO DI CANTIERE

Scenario 01 – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili sottostazione di trasformazione: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

1. Pala cingolata
2. Autocarro
3. Rullo vibrante
4. Escavatore

Scenario 02 – attività di posa dei cavidotti: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

1. Escavatore
2. Autocarro

Scenario 03 – attività di realizzazione delle fondazioni e piazzole delle torri di supporto agli aerogeneratori: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

1. Escavatore
2. Martellone idraulico
3. Autocarro

4. Pala cingolata
5. Betoniera*
6. Gru*

MOD. GEO.01	Distanza minima oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alla soglia limite di 7,2 mm/sec ²
Scenario 01	231 m
Scenario 02	157 m
Scenario 03**	231 m

*Gli spettri di emissione per questi macchinari non sono reperibili in letteratura; pertanto, per la loro valutazione si rimanda alla campagna di misure prevista nel piano di cantierizzazione in fase esecutiva.

** valore indicativo ottenuto senza il contributo di autobetoniera e gru.

8.1. RECETTORI

L'analisi dei ricettori è stata effettuata entro un raggio di 1000m dalle aree di cantiere e dalla viabilità di servizio. Successivamente si sono presi in considerazione gli scenari di cantiere maggiormente impattanti e da questi si sono derivate le distanze massime oltre le quali le vibrazioni potenzialmente prodotte non superano i valori soglia dettati dalla norma 9614/2017.

All'interno di queste distanze ricadono solamente due recettori sensibili quali abitazioni:

- R20 ("Abitazione / Deposito attrezzi ") per entrambe le fasce;
- R50 ("Abitazione / Deposito attrezzi ") limitatamente alla fascia derivanti dagli scenari 01 e 03;

Altrimenti, ricadono all'interno diversi recettori con attività lavorative diurne.

Nello specifico in fase esecutiva dovrà essere valutato l'eventuale impatto sulle strutture e adeguatamente pianificato il cronoprogramma lavori prevedendo ancorché il momentaneo allontanamento dei proprietari negli orari di lavoro

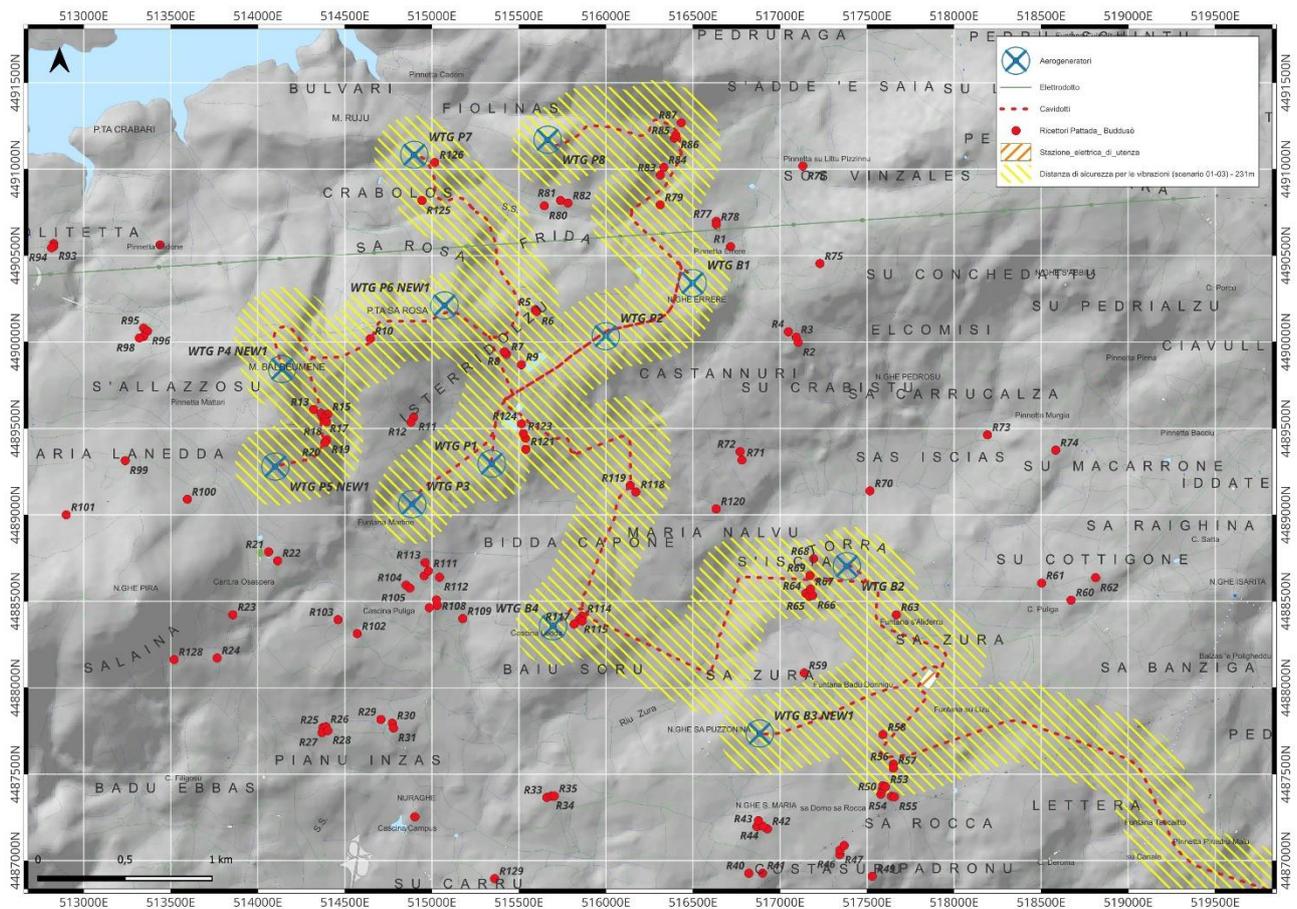


Figura 13 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 01-03) - 231m

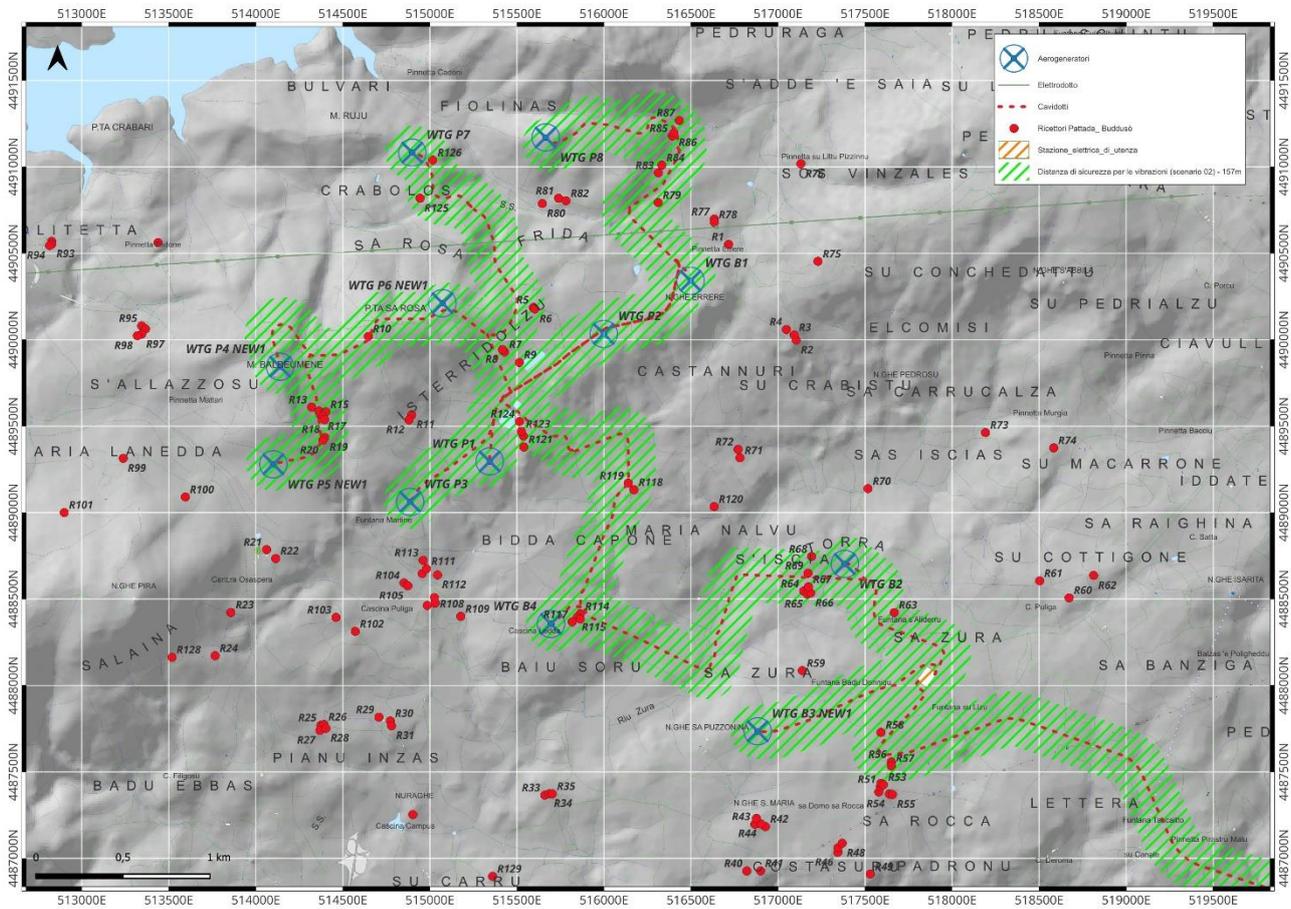


Figura 14 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 02) - 157m

8.2. SCENARI DI RIFERIMENTO DI ESERCIZIO

Relativamente alla valutazione del disturbo in fase di esercizio e perciò dovuto a vibrazioni provenienti dal funzionamento degli aerogeneratori, poiché queste vengono totalmente dissipate dai corpi di fondazione non propagandosi nell'ambiente circostante, non si manifestano problematiche legate al disturbo alla persona e/o a eventuali danni alle strutture.

Qualora, in fase di esercizio, si dovesse eseguire un intervento di manutenzione straordinaria che prevede l'utilizzo di macchine operatrici le cui vibrazioni in fase di attività sono potenzialmente impattanti, verrà opportunamente redatto un apposito piano di monitoraggio e si farà riferimento a tutte le direttive previste dalla UNI 9614/2017 all'Appendice C per la gestione degli effetti prodotti da vibrazioni in attività temporanee (cantieri).

Le fonti di rumore e vibrazione emesse da una turbina eolica sono essenzialmente di natura aerodinamica, (causate dall'interazione tra il vento e le pale), meccanica (generate dagli attriti meccanici dei componenti del rotore e del sistema di trasmissione del generatore) e cinetica (generate dalle oscillazioni e dal passaggio e cambiamento di stato da stazionario a combinato.

Le oscillazioni sono causate dal vento che insiste sul piano del rotore degli aerogeneratori generando momenti forzanti opportunamente controllati dalle strutture di fondazione, nonché dall'interazione aerodinamica e meccanica delle pale con la torre.

Diversi studi della BWEA (British Wind Energy Association) hanno mostrato che a distanza di poche decine di metri il rumore risultante dalle esigue vibrazioni prodotte dalle turbine eoliche risulta sostanzialmente poco distinguibile rispetto al rumore residuo.

In particolare, per i fenomeni vibratorii è possibile analizzare come questi si trasmettono nel terreno circostante le fondazioni di sostegno delle torri degli aerogeneratori.

Le vibrazioni perdono energia durante la propagazione nel terreno e la loro ampiezza diminuisce con l'aumentare della distanza dalla sorgente.

Vari studi inerenti a Wind Farm realizzate con questo modello di pala eolica¹ riportano che le vibrazioni associate al funzionamento delle turbine eoliche possono essere rilevate con gli strumenti, ma lo sono sotto la soglia di percezione, anche all'interno di un parco eolico, rilevando valori ben al di sotto dei limiti di percezione umana. Anche da monitoraggi diretti attraverso accelerometri risulta che i movimenti sismici (vibrazioni) indotti sul terreno sono così basse da difficilmente indurre qualsiasi risposta fisica e/o strutturale. Due studi MA DEP review (Styles 200521; Schofield 201022) indicano che a 100m di distanza da una turbina il moto massimo indotto è pari a circa 120 nanometri (circa 1Hz). Infine, il Ministero dell'Ambiente, del Clima e dell'Energia dello Stato federale del BadenWuerttemberg, Germania, ha pubblicato uno studio dettagliato sugli infrasuoni e le vibrazioni indotte da turbine eoliche. I risultati hanno rilevato che i livelli di velocità di vibrazione di una turbina Nordex N117 da 2,4 MW a distanze inferiori a 300 metri erano inferiori a $0,1 \times 10^{-4}$ metri/sec.

Le misurazioni delle vibrazioni trasmesse al suolo sono state effettuate da Epsilon su turbine Siemens 2.3 e GE 1.5sle.

¹ HERITAGE WIND PROJECT PRE-CONSTRUCTION SOUND LEVEL IMPACT ASSESSMENT ,2020

Le velocità di vibrazione RMS massime al suolo erano 0,071 mm/secondo ($0,71 \times 10^{-4}$ metri/secondo) nella banda di un terzo di ottava a 8 Hz. Questo è stato misurato circa 300m sottovento da un WTG GE 1.5sle sotto la massima potenza e maggior condizione di vento al suolo.

La velocità di vibrazione terrestre di fondo RMS alla stessa posizione era di 0,085 mm/sec. Nessuna vibrazione percettibile è stata avvertita dal funzionamento delle turbine eoliche. Il GE 1.5sle ha una velocità di rotazione massima di 20 rpm (frequenza di passaggio della lama di 1 Hz) e Siemens 2.3 ha a velocità di rotazione massima di 15,4 giri/min (frequenza di passaggio lama di 0,77 Hz).

Le frequenze massime di rotazione per le turbine eoliche del progetto proposto sono:

◆ SIEMENS Gamesa SGRE ON SG 6.6 – 170 = 10,3 giri/min

Pertanto, la vibrazione trasmessa dal suolo può essere rilevata dagli strumenti ma non è diversa dalla vibrazione di fondo sempre presente e non preoccupante.

In fase di esercizio sarà definito un piano di monitoraggio nel tempo che consideri anche le eventuali variazioni di livello di vibrazioni al suolo dovute all'usura delle strutture.

8.3. LIMITI DI RIFERIMENTO

Il problema della percezione umana delle vibrazioni in termini di disturbo (annoyance) dipende dalla tipologia di attività svolta e dall'intensità e frequenza che essa genera e che produce la vibrazione. I limiti di riferimento sono riportati dalla norma **UNI 9614/2017** che suddivide gli edifici in base alla loro destinazione d'uso in 5 classi, ipotizzando quindi una differente sensibilità alle vibrazioni e al punto 9, ai fini della valutazione del disturbo dovuto a vibrazioni e indica dei limiti per le accelerazioni con riferimento alla tollerabilità a fenomeni vibratorii.

Di seguito vengono riportati per i diversi tipi di ambiente e per i diversi periodi della giornata i valori limite di disturbo.

Ricettore	Periodo	Accelerazione ponderata della sorgente (mm/sec ²)
Ambienti ad uso abitativo (punto 9.1)	Diurno	7,2
	Notturmo	3,6
	Diurno di giornate festive	5,4
Luoghi lavorativi (punto 9.2.1)	Non specificato	14
Ospedali, case di cura ed affini (punto 9.2.2)	Non specificato	2
Asili e case di riposo (punto 9.2.3)	Limitatamente ai periodi in cui è previsto riposo diurno	3,6
Scuole (punto 9.2.4)	Limitatamente nel periodo di fruizione	5,4

Figura 15 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

La sensibilità umana è variabile con la frequenza, e dipende dall'asse cartesiano considerato rispetto al riferimento relativo al corpo umano. Le curve di sensibilità umana sono codificate dalla norma tecnica UNI 9614/2017, rispetto ai sistemi di riferimento per persone sdraiate, sedute o in piedi, riportato nelle seguenti figure:

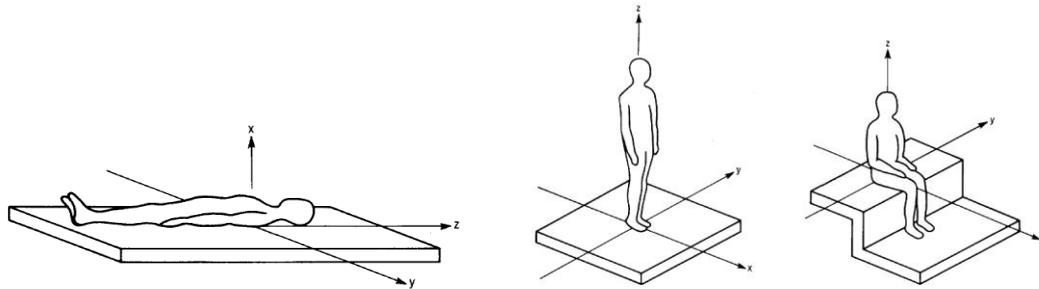


Figura 16 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

Il campo di frequenze considerato è 1-80 Hz. Al segnale di accelerazione rilevato devono essere applicati per le singole frequenze dei valori di attenuazione (curve di ponderazione) al fine di rendere equivalente la percezione umana alle varie frequenze.

Nel caso considerato, tuttavia, la popolazione si troverà esposta indifferentemente su uno dei tre assi, a seconda della giacitura dei soggetti, che è ovviamente non predeterminale e variabile nel corso delle 24 ore. In tali casi, la norma UNI 9614/2017 prevede l'impiego di una curva di ponderazione per asse generico (o meglio, per asse non definibile), che è riportata nella seguente figura.

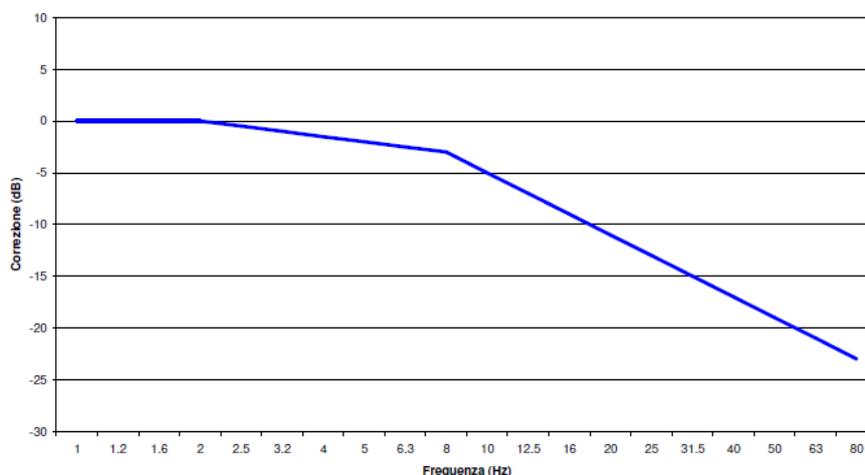


Figura 17 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614

Per quanto concerne il danno strutturale i limiti presi in considerazione nella norma UNI 9614/2017, risultano più elevati per almeno un ordine di grandezza a ciascuna frequenza, dei limiti individuati dalla norma UNI 9916/2014 nei riguardi del danno potenziale alle strutture. Ne consegue che la verifica dei limiti secondo la norma 9614/2017 esclude il generarsi di effetti dannosi sulle strutture dei ricettori considerati. **Tuttavia, in fase esecutiva, sarà effettuata una campagna di misure sui fabbricati qualificati come ricettori sensibili secondo quanto previsto dalla norma 9916/2014 ai punti 6,7 e 8.**

Di seguito si riportano i Valori di Riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni secondo la DIN 4150 a cui fa riferimento la UNI 9916/2014 al punto 9.

La DIN4150-3 considera 3 classi di edifici:

1. Edifici industriali e ostruzioni strutturalmente simili;
2. Edifici residenziali e costruzioni simili;
3. Costruzioni che non appartengono alle prime due categorie e sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)

E considera due tipi di vibrazione:

1. Vibrazione di breve durata;
2. Vibrazione permanente

prospetto D.1 Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di 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 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz ^{*)}	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f=10$ Hz) a 40 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ($f=50$ Hz) a 50 ($f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ($f=10$ Hz) a 15 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ($f=50$ Hz) a 20 ($f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ($f=10$ Hz) a 8 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ($f=50$ Hz) a 10 ($f=100$ Hz)	8	3/4

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

prospetto D.2 **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 costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

Figura 18 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014)

9. SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI

9.1. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN RULLO VIBRANTE

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un rullo vibrante e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

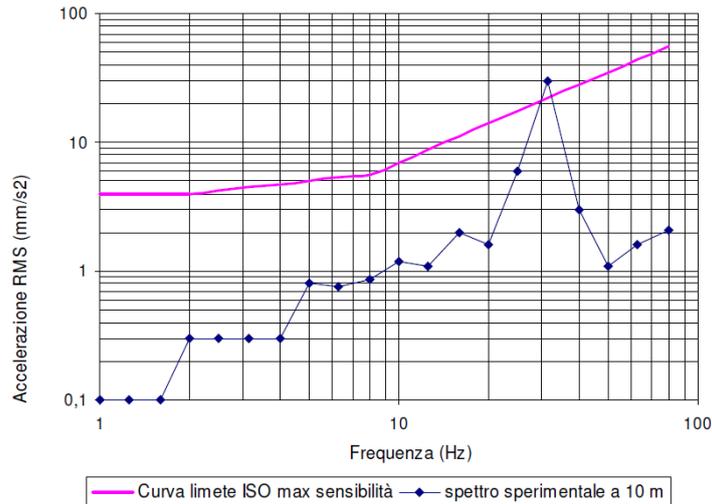


Figura 19 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere

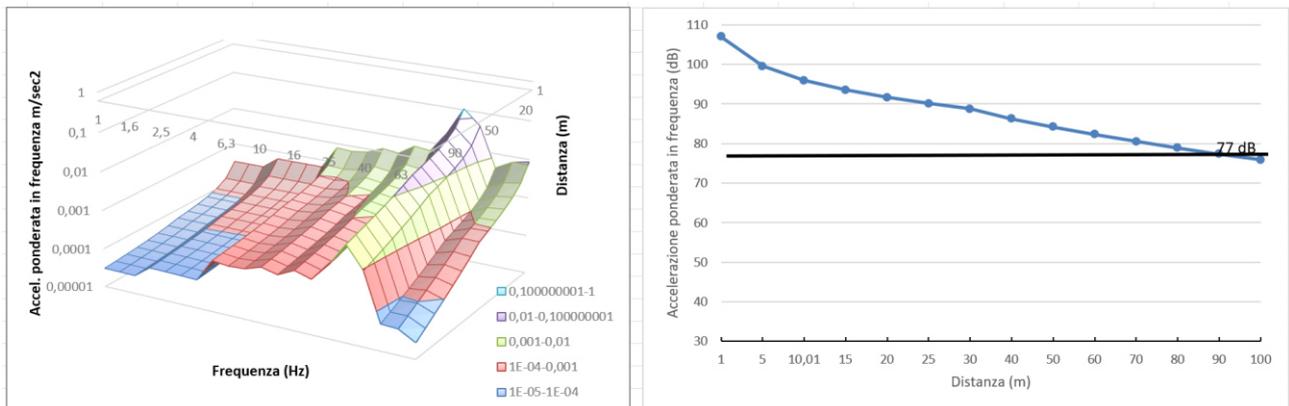


Figura 20 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.2. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UNA PALA CINGOLATA

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per una pala cingolata e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

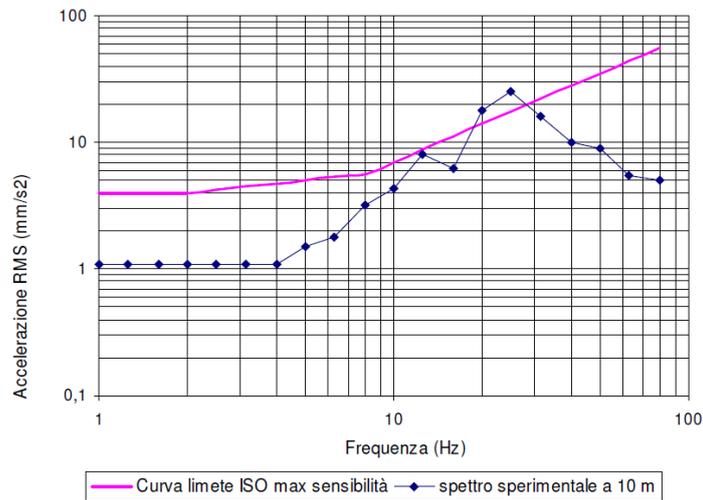


Figura 21 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere

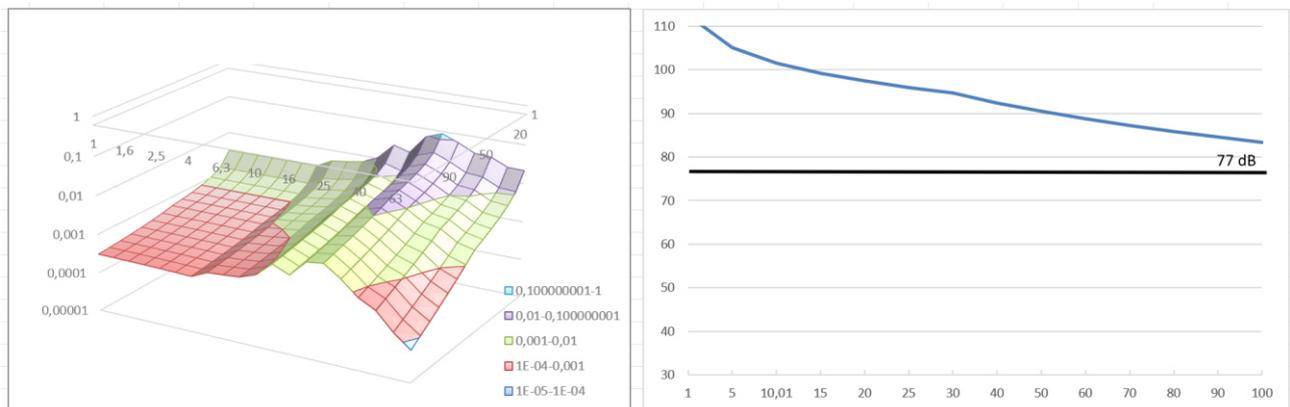


Figura 22 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.3. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN AUTOCARRO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un autocarro e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

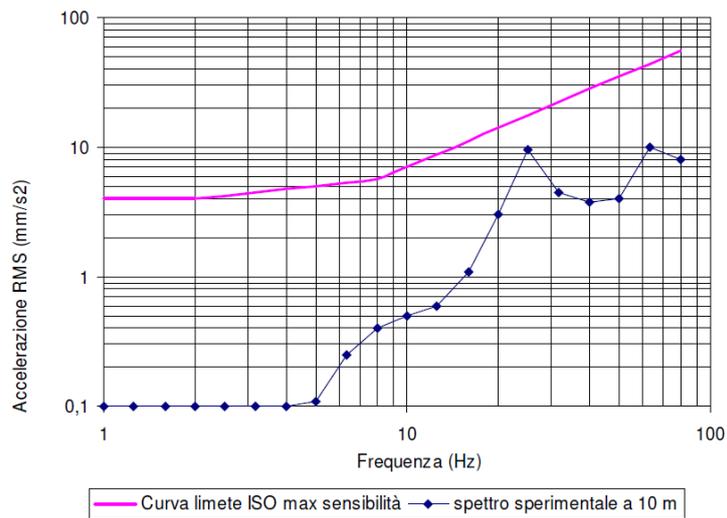


Figura 23 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere

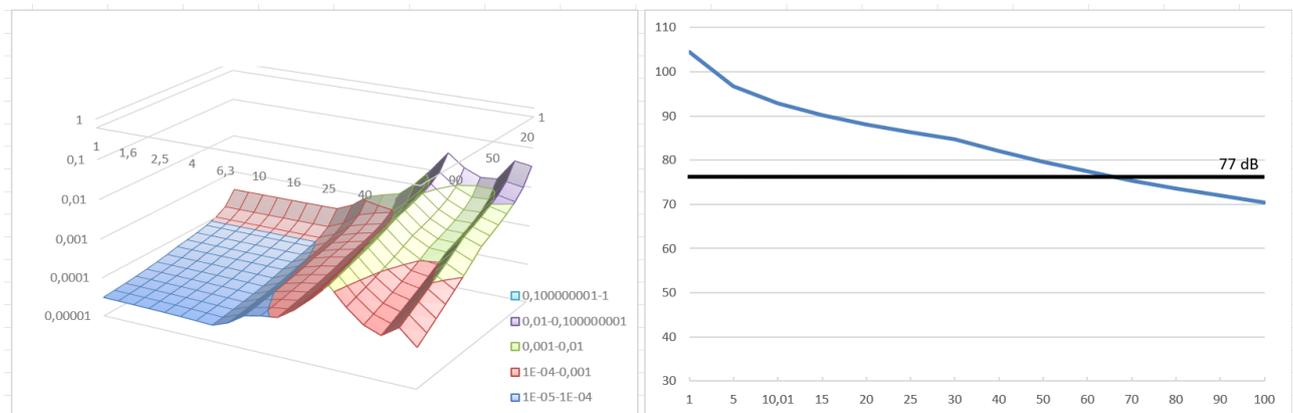


Figura 24 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.4. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN ESCAVATORE CINGOLATO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un escavatore cingolato e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

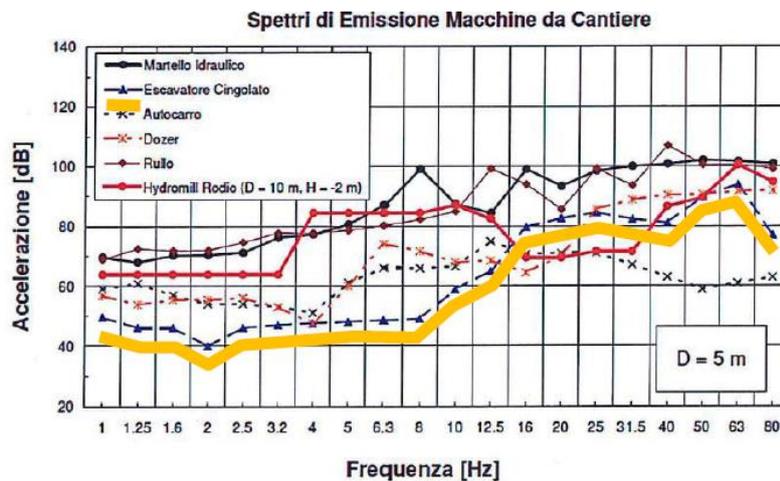


Figura 25 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere

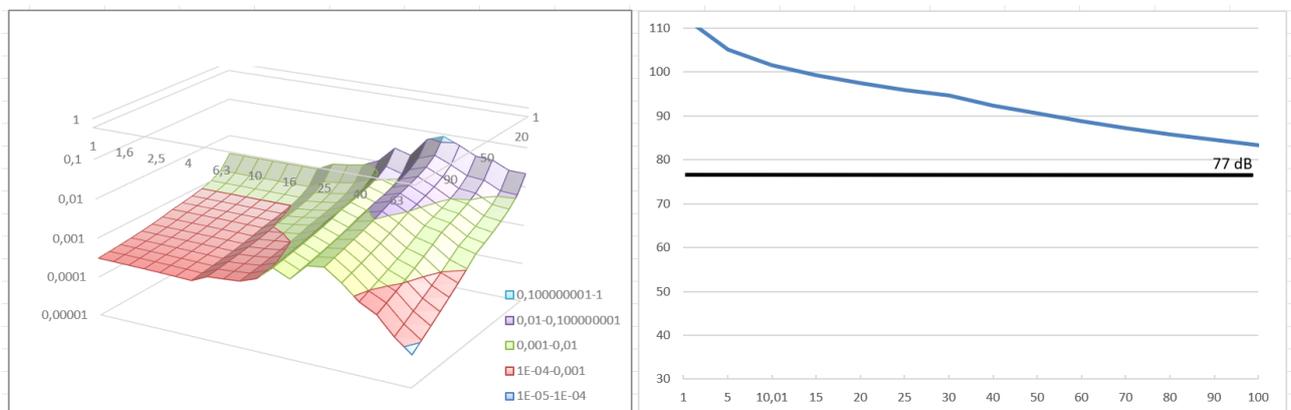


Figura 26 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.5. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN MARTELLO IDRAULICO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un martello idraulico e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

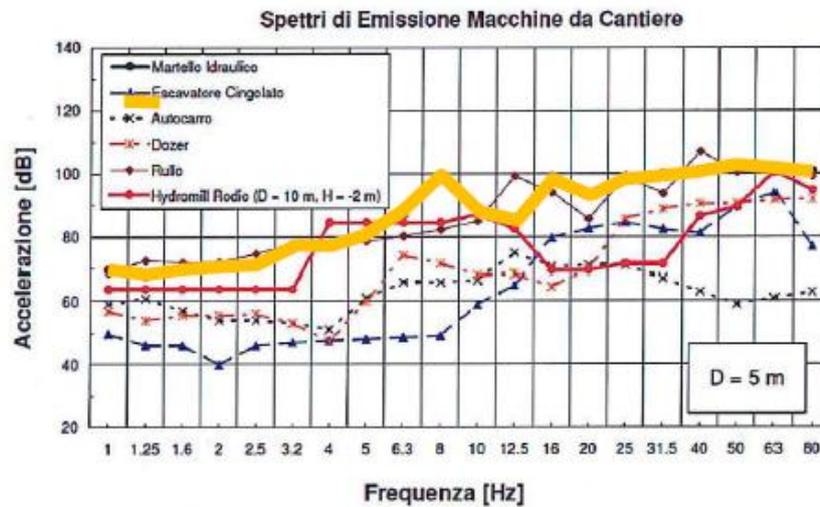


Figura 27 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere

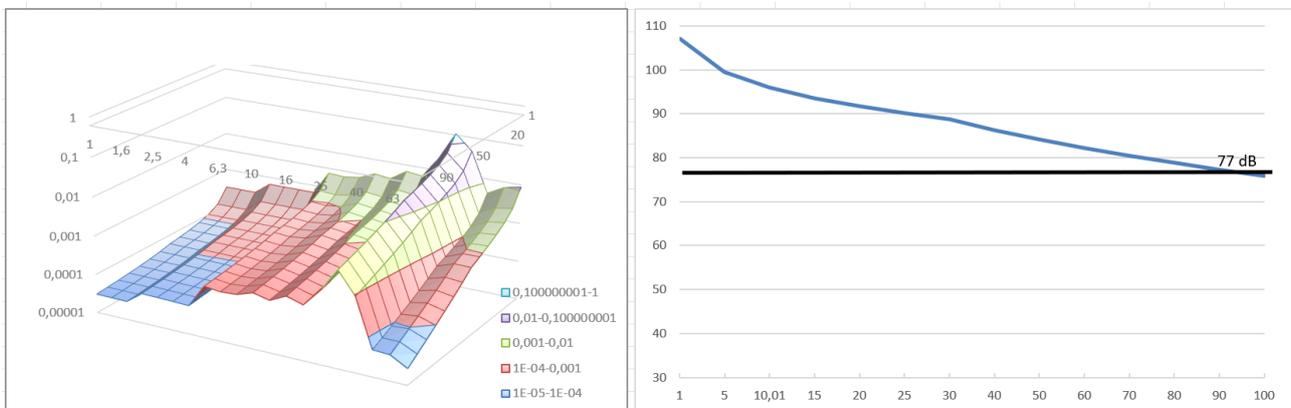


Figura 28 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10. MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI

Le attività di cantiere quali il passaggio di veicoli pesanti, le demolizioni, la battitura di pali, ecc. costituiscono una sorgente di disturbo con caratteristiche molto diverse da caso a caso; nella maggioranza dei casi si tratta di fenomeni transitori di breve durata facilmente isolabili e pertanto nella maggior parte dei casi gestibili. Qualora non fosse tecnicamente possibile o economicamente giustificabile mettere in atto soluzioni lavorative differenti a quelle previste e si dovessero verificare condizioni per cui si abbia evidenza del superamento dei limiti di riferimento, in accordo con quanto indicato al punto 9.5 della norma UNI 9614/2017 che dispone la possibilità di deroghe a tali limiti concedibili in alcuni casi per **attività temporanee o di cantiere**, verranno attuate le attività previste dalle linee guida all'**Appendice C** della stessa norma.

9.6. CRITERI DI AZIONE E MISURE DI MITIGAZIONE

Sebbene i limiti di riferimento relativi al disturbo non siano, in certi casi, esplicitabili, in generale il primo criterio con cui affrontare la gestione del disturbo generato da vibrazioni è che:

1. **le vibrazioni dovrebbero essere contenute in modo da evitare danni alle strutture più prossime** (la norma di riferimento per tali valutazioni è la UNI 9916/2014)

Per quanto concerne invece il disturbo alle persone, il primo criterio che dovrebbe essere garantito è:

2. **Il rispetto del periodo di riposo notturno** ovvero evitare tutte quelle attività che possano portare al risveglio durante il periodo dalle ore 22.00 alle ore 6.00 o, in adiacenza a strutture quali scuole, case di riposo in cui è previsto il riposo pomeridiano per la durata dello stesso.

Un altro criterio da tenere in considerazione è:

3. **la valutazione di modalità esecutive a minore impatto e posizionamento di sorgenti fisse lontano dai ricettori** ovvero la rivalutazione delle attività lavorative previste con l'intento di abbassare il complessivo livello di vibrazione generato e la dislocazione delle sorgenti a maggiore impatto a distanze maggiori per garantire una maggiore dissipazione della vibrazione immessa.

Risulta evidente che il miglior approccio alla gestione di tale tematica nel suo complesso venga studiato approfonditamente dall'impresa esecutrice dei lavori in base alla propria dotazione di attrezzature e mezzi e alla sua organizzazione. L'analisi preventiva di tutte le situazioni di impatto e delle relative modalità di gestione sarà contenuta in un documento che l'impresa dovrà fornire

all'ente o al soggetto controllore prima dell'inizio dei lavori contenente le misure di mitigazione che verranno adottate nell'ambito di una più ampia strategia di gestione dell'impatto e di tutte quelle azioni risolutive anche in presenza di lamentele e/o esposti.

Tale documento, individuato con il nome di **PIANO di GESTIONE dell'IMPATTO VIBRAZIONALE di CANTIERE (PGIVC)** ha l'obbiettivo, per quanto ragionevolmente attuabile in relazione agli obbiettivi di progetto, di limitare i livelli di vibrazione così che le residenze interessate o altri ricettori sensibili siano protetti da eccessivi livelli di vibrazione associati alle attività di cantiere. Di seguito vengono riportati i contenuti minimi richiesti per le lavorazioni in progetto:

1. censimento dei ricettori: deve essere fornita la lista completa e aggiornata dei ricettori ritenuti sensibili e di questi devono essere fornite le seguenti informazioni: destinazione d'uso, attività in esso svolte, caratteristiche costruttive e condizioni di conservazione. I ricettori verranno classificati in base a queste caratteristiche e alle fasce orarie di rispetto del riposo.
2. tipologia di lavorazioni: deve essere stilata una precisa lista delle lavorazioni ed in particolar modo di quelle fasi che prevedono sovrapposizione di sorgenti potenzialmente impattanti. Di essi si dovrà conoscere il potenziale di impatto ottenuto da misure dirette o da dati di letteratura. Questa fase è di fondamentale importanza e propedeutica alla valutazione dell'entità del disturbo e della sua durata.
3. attività informativa preventiva: il piano di gestione dell'impatto vibrazionale di cantiere deve contenere un accurato programma di informazione preventiva rivolto alla popolazione ritenuta sensibile. L'informazione, esplicitata mediante i mezzi di divulgazione locali (volantini, riunioni della popolazione, avvisi e/o ordinanze comunali, porta a porta) devono contenere tutti gli elementi necessari alla corretta informazione degli eventi previsti: valori limite, orario delle lavorazioni, durata, tipologia. Le comunicazioni dovranno altresì informare chiaramente che le vibrazioni non saranno tali da recare danni permanenti alle strutture.
4. monitoraggi: prima dell'inizio delle attività di cantiere previste, dovrà essere effettuato un piano di monitoraggio con misure dirette su ciascuna di quelle più impattanti con particolare riferimento a quelle la cui interferenza può potenzialmente generare superamenti delle soglie limite. Le modalità esecutive delle misure, il numero e la successiva elaborazione dei dati deve essere eseguita con le modalità descritte al punto 6 della UNI 9614/2017. La strumentazione da utilizzare avrà le caratteristiche previste al punto 7 della stessa norma e sarà opportunamente calibrata e tarata, dandone evidenza allegando al piano di monitoraggio la documentazione rilasciata dall'ente certificatore. Qualora ci si trovasse in presenza di lamentele e/o esposti, al fine di verificare con la massima cura l'entità del disturbo, il tecnico misuratore utilizzerà il questionario predisposto all'Appendice B della UNI 9614/2017, finalizzato ad una raccolta dati efficace e completa.
5. mitigazioni: il PGIVC dovrà contenere tutte le misure di mitigazione individuate per limitare il disturbo generato dalla vibrazione. Sarà indicata al suo interno un'analisi ex-ante ed ex-post da cui si possa evincere l'efficacia delle misure di mitigazione individuate.

6. controlli: il PGIVC deve prevedere un piano di controllo e audit interno finalizzato alla corretta applicazione delle misure di mitigazione e in generale di tutte le azioni strutturali e non strutturali in esso evidenziate. Verrà predisposto un accurato calendario minimo dei controlli da attuare per tutta la durata delle lavorazioni.

Per quanto non esplicitamente esposto nella presente, si rimanda all'Appendice C della norma UNI 9614/2017.

11. CONCLUSIONI

Lo studio ha permesso di analizzare il potenziale impatto dovuto a vibrazioni prodotte dalle macchine operatrici, in accordo con quanto previsto alle norme 9416/2017 e 9916/2014, che verranno impiegate per la realizzazione del Parco Eolico e successivamente durante il suo esercizio. A tal fine e con l'intento di valutare efficacemente le attività previste sono stati individuati tre scenari di riferimento per la fase di cantiere. Quindi sono state valutate le distanze oltre le quali il livello di vibrazione prodotto complessivamente dalle attività risulta minore dei limiti prefissati dalla norma ovvero con accelerazione ponderata minore di 7,2 mm/sec².

L'analisi porta ad un range di distanze di sicurezza, nella peggiore delle ipotesi (considerando la contemporaneità dei mezzi in azione per le diverse attività di cantiere), compreso tra i 157m (posa dei cavidotti) e i 231m (fase di realizzazione delle fondazioni delle torri a supporto degli aerogeneratori e delle piazzole di servizio).

I risultati dello studio mostrano che la componente vibrazioni non comporta in generale incompatibilità di alcuna natura tra le attività previste e l'assetto ambientale esistente sia nei confronti della salute umana e quindi nella percezione del disturbo, che relativamente ad eventuali ripercussioni sulle strutture.

All'interno di queste distanze ricadono solamente due recettori sensibili quali abitazioni:

- R20 ("Abitazione / Deposito attrezzi ") per entrambe le fasce;
- R50 ("Abitazione / Deposito attrezzi ") limitatamente alla fascia derivanti dagli scenari 01 e 03;

Altresì, ricadono all'interno diversi recettori con attività lavorative diurne.

Nello specifico in fase esecutiva dovrà essere valutato l'eventuale impatto sulle strutture e adeguatamente pianificato il cronoprogramma lavori prevedendo ancorché il momentaneo allontanamento dei proprietari negli orari di lavoro.

Eventuali superamenti dei limiti, ammessi dalla normativa per attività temporanee quali i cantieri, verranno gestiti secondo quanto riportato nel Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere da redigere prima dell'inizio dei lavori.