



## SOMMARIO

SOMMARIO.....	2
1. PREMESSA .....	5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	6
4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA.....	13
5. PROPRIETA' MECCANICHE DEI TERRENI .....	17
5.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO... 17	
5.1. Depositi Quaternari dell'area continentale .....	20
5.2. Successione vulcano-sedimentaria tardo-paleozoica .....	21
5.3. Unità tettonica di Meana Sardo.....	22
(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria.....	22
(ORR) Formazione di Orroledu.....	23
(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.).....	23
5.4. Unità Tettonica della Barbagia.....	23
6. CAMPAGNA DI INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA.....	26
6.1. MASW – TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI.....	27
6.2. Specifiche delle indagini svolte.....	28
6.3. Caratteristiche della strumentazione impiegata.....	29
6.4. Elaborazione dei dati .....	29
6.5. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018) .....	29
6.1. Risultati delle indagini del sito SM01-TURBINA SE_05 .....	31
6.1.1. SE_SM01-SE_05: MASW M1 .....	31
6.1. Risultati delle indagini del sito SM04-TURBINA SE_07 .....	33
6.1.1. SM04-SE_02: MASW M2 .....	33
7. MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	36
7.1. Modello Geologico di sito .....	36
7.1.1. Modello Geologico 01 .....	36

7.1.2.	Modello Geologico 02.....	37
7.2.	Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse.....	38
8.	PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO.....	39
8.1.	Modello di propagazione dell'onda nel terreno.....	41
8.2.	Valutazione della propagazione delle vibrazioni.....	42
9.	SORGENTI DI VIBRAZIONE.....	43
9.1.	Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto.....	43
9.2.	Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale.....	44
9.3.	Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere.....	44
9.4.	Scenari di riferimento di cantiere.....	45
9.1.	Recettori.....	46
9.2.	Scenari di riferimento di esercizio.....	49
9.3.	Limiti di riferimento.....	50
10.	SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI.....	54
10.1.	Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante.....	54
10.2.	Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata.....	55
10.3.	Propagazione delle vibrazioni di un autocarro.....	56
10.4.	Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato.....	57
10.5.	Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico.....	58
11.	MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI.....	59
10.6.	Criteri di azione e misure di mitigazione.....	59
12.	CONCLUSIONI.....	61

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Localizzazione del progetto.....	7
Figura 2	Panoramica nei pressi dell'area di studio.....	7
Figura 3	Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto.....	8

Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000.....	9
Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Est - impianto .....	10
Figura 6 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore ovest – tracciato del cavidotto .....	11
Figura 7 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore sud-ovest – tracciato del cavidotto e sottostazione .....	12
Figura 8 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 6,8MW .....	14
Figura 9 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1: 100,000 – Foglio 518 "Isili", Nel riquadro l'area di progetto.....	19
Figura 10 – Schema Tettonico stratigrafico dell'area di studio (tratto da Fg,218 "Isili", 1976 .....	19
Figura 11 Depositi di versante, ciottoli di filladi e metarenarie in matrice sabbioso-limoso .....	21
Figura 12 Formazione del Monte Santa Vittoria (MSV) .....	22
Figura 13 Affioramento della Formazione delle Filladi del Gennargentu e particolare della struttura della roccia metamorfica .....	24
Figura 14 Stralcio carta geologica (Fonte RAS) .....	25
Figura 15 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche .....	32
Figura 16 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche .....	34
Figura 17 - Curva di ponderazione asse generico .....	40
Figura 18 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie .....	40
Figura 19 - rapporto tra le velocità di propagazione $V_p$ e $V_r$ .....	41
Figura 20 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 01-03) - 234m .....	47
Figura 21 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 02) - 160m.....	48
Figura 22 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza.....	51
Figura 23 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta.....	51
Figura 24 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614 .....	52
Figura 25 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014) .....	53
Figura 26 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere.....	54
Figura 27 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	54
Figura 28 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere.....	55
Figura 29 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	55
Figura 30 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere .....	56
Figura 31 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	56
Figura 32 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere.....	57
Figura 33 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	57
Figura 34 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere .....	58
Figura 35 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	58

## 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 nel **territorio comunale di Seui** - Provincia del Sud Sardegna (SU) 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

**Seui** è il più importante centro della Barbagia di Seulo e fino al 2005 faceva parte della provincia di Nuoro, in seguito all'istituzione della Provincia dell'Ogliastra, Seui venne annessa a quest'ultima, Nel 2016 a seguito della riforma delle province sarde il paese è stato aggregato alla nuova provincia del Sud Sardegna, Si trova ad una quota di circa 820m abbarbicato sul versante sud-ovest del monte Pizzu Longu e si affaccia sulla valle del Rio s'Arriossu.

Intorno alla metà del XVII secolo nel centro storico del paese fu costruito un carcere spagnolo per l'amministrazione della giustizia in tutta la Barbagia di Seulo che venne utilizzato fino al 1975.

Nei pressi del centro abitato è situato un importante complesso minerario in località "Fundu 'e Corongiu" sorto nel 1850 e successivamente chiuso nel 1960, dedito allo sfruttamento di un giacimento di antracite, La scoperta del giacimento carbonifero è da attribuirsi ad Alberto La Marmora nel 1827; il sito minerario è rimasto attivo dal 1870 sino al 1958.

A sud del centro abitato, nella zona denominata Pirastu 'e Pranu, lungo i crinali di Genna Argiola (812,31m), Bruncu 'e Murtas (795,49m) e Genna Argiola Jossu (772,67m) si sviluppa l'impianto in progetto.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I,G,M scala 1:25 000, Serie 25 -Fogli: **541 sez, IV** "Genna su Ludu";
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Foglio: **541010** "Nuraghe Salei",

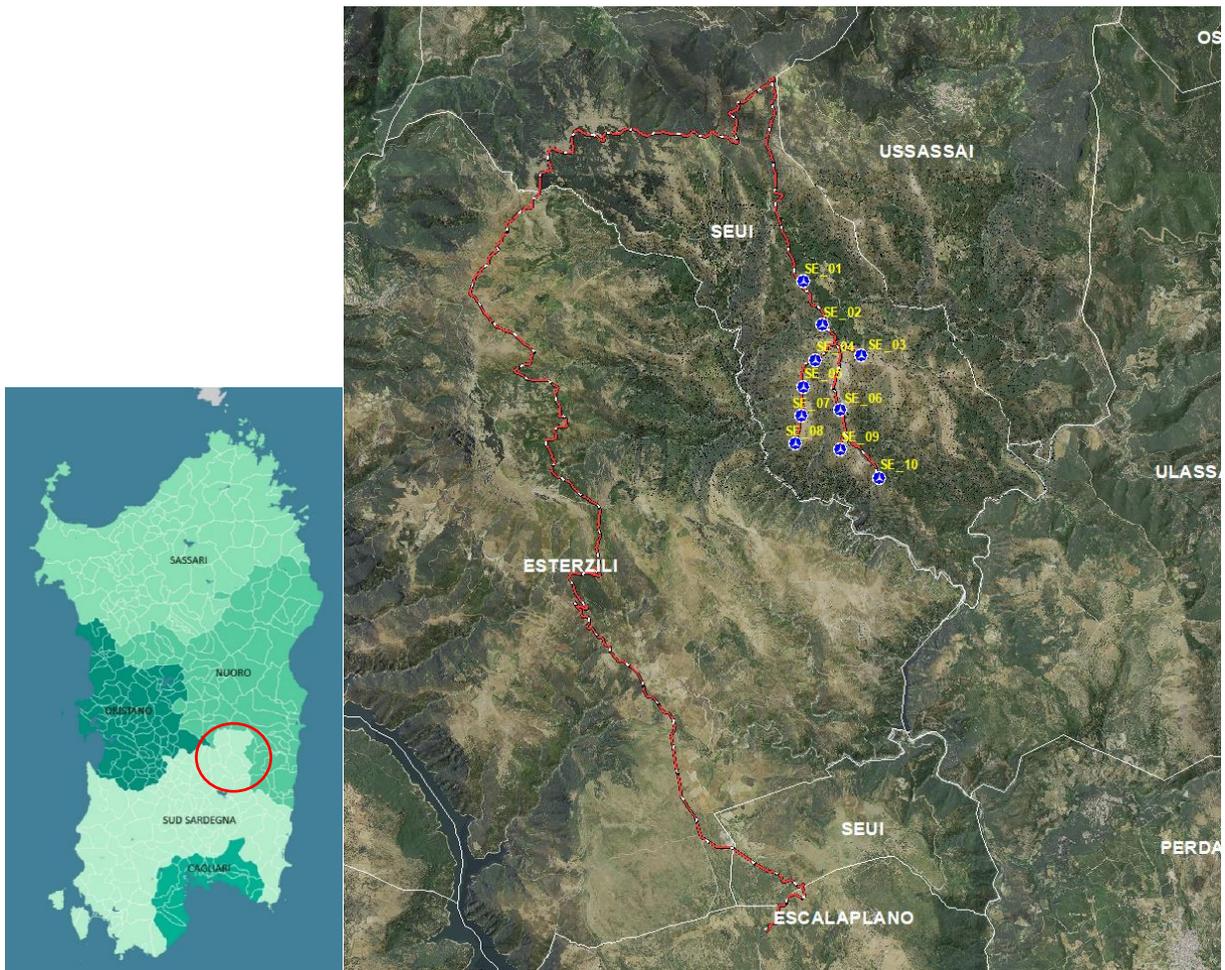


Figura 1 Localizzazione del progetto



Figura 2 Panoramica nei pressi dell'area di studio

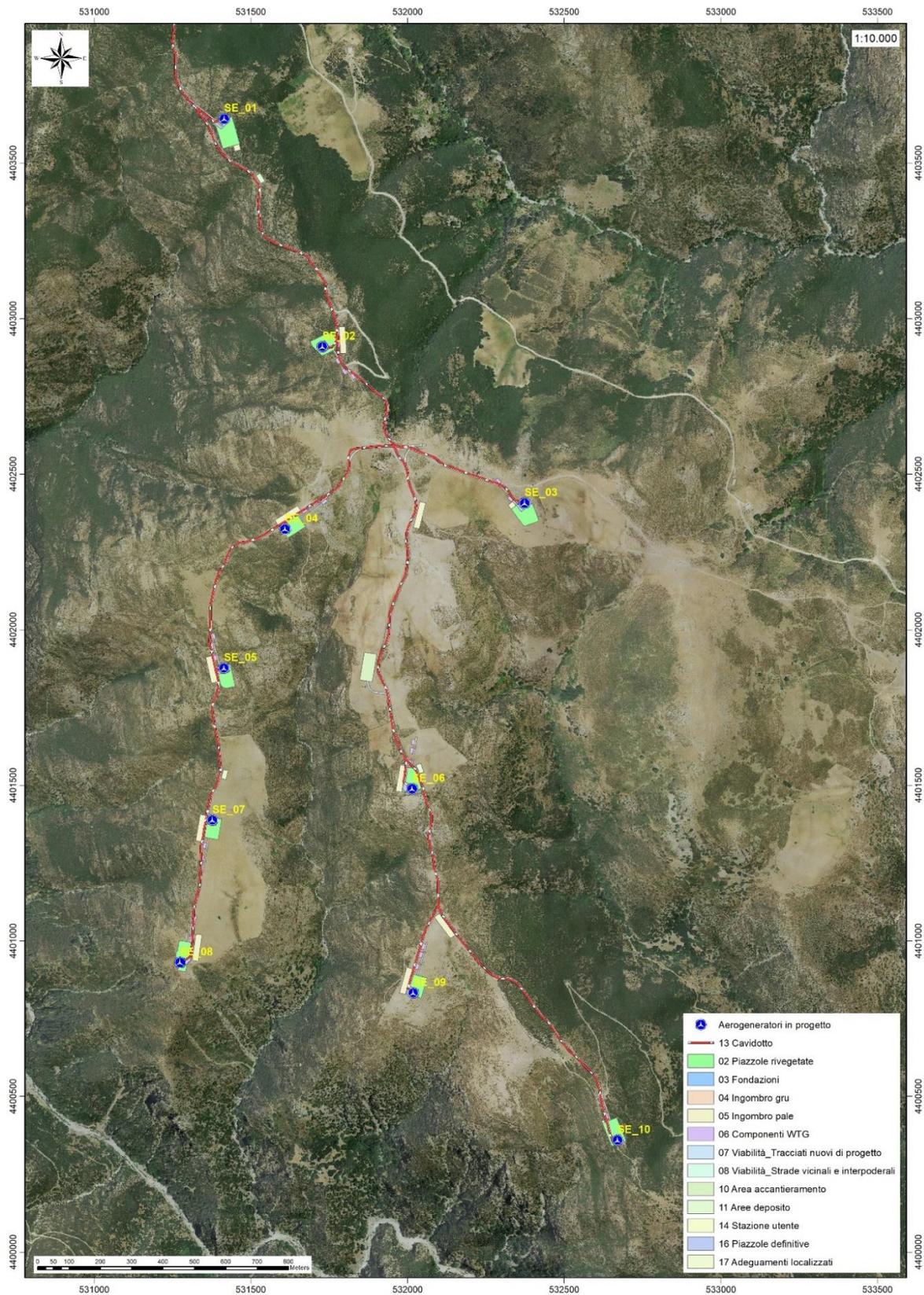


Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

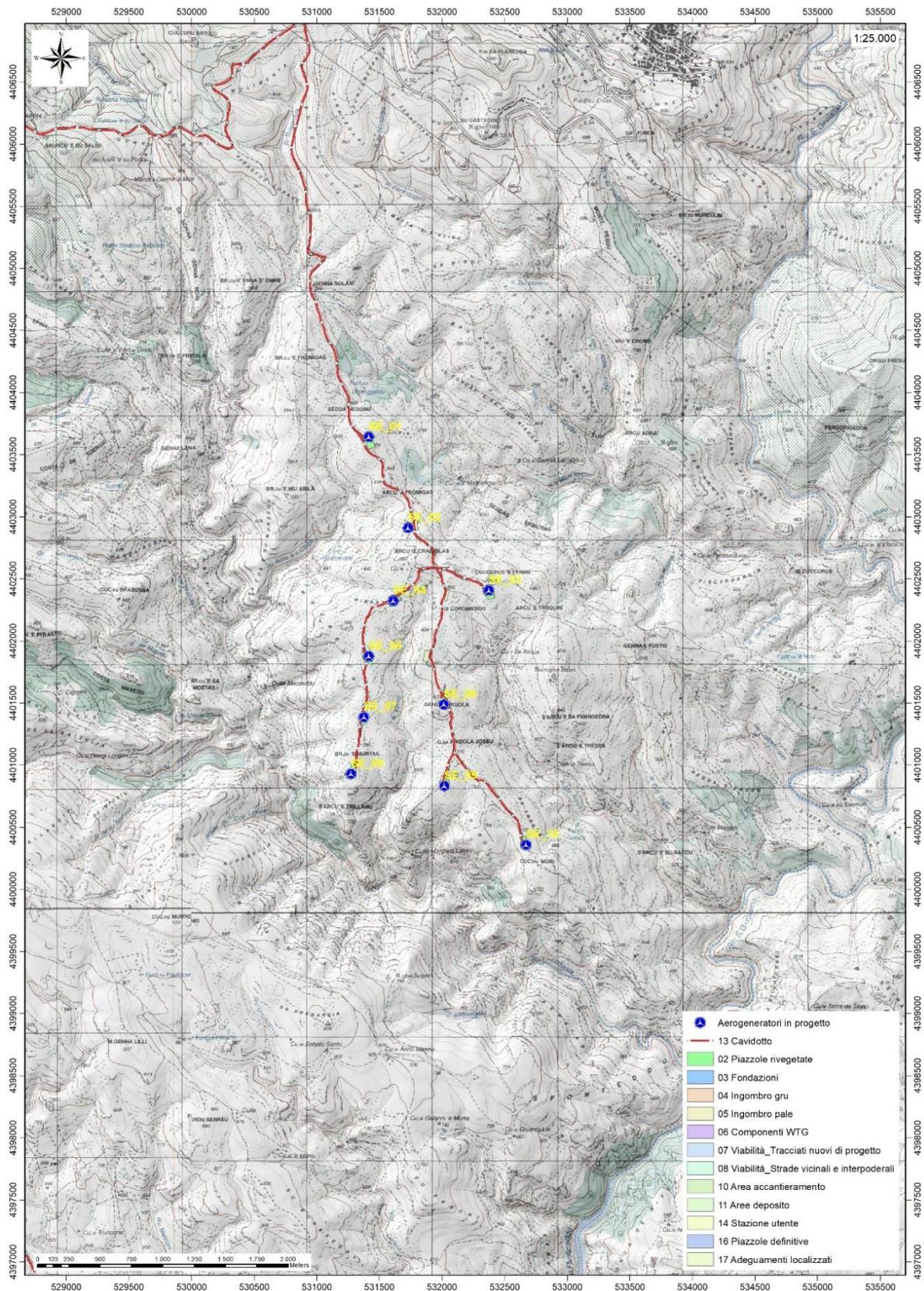


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

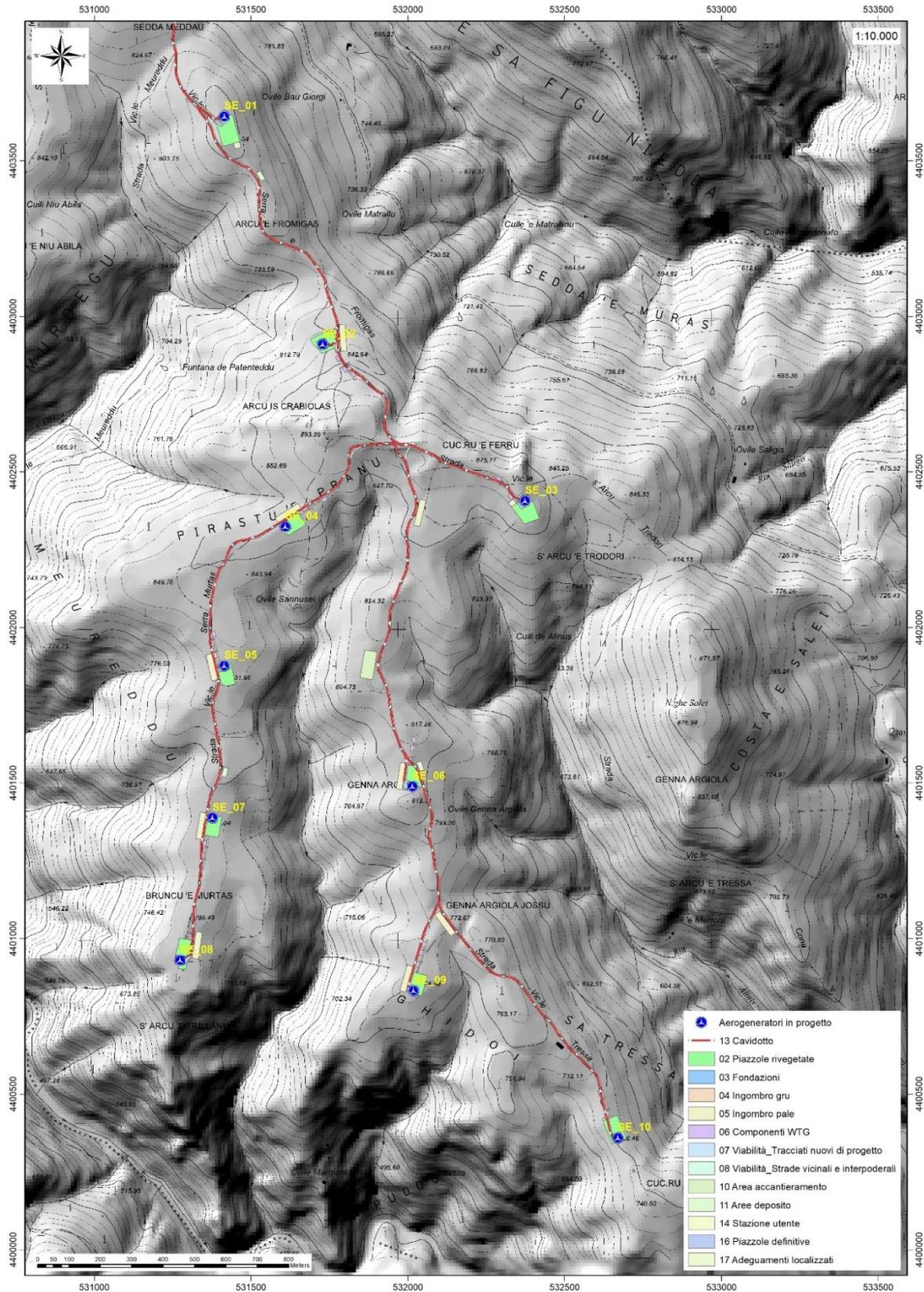


Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Est - impianto

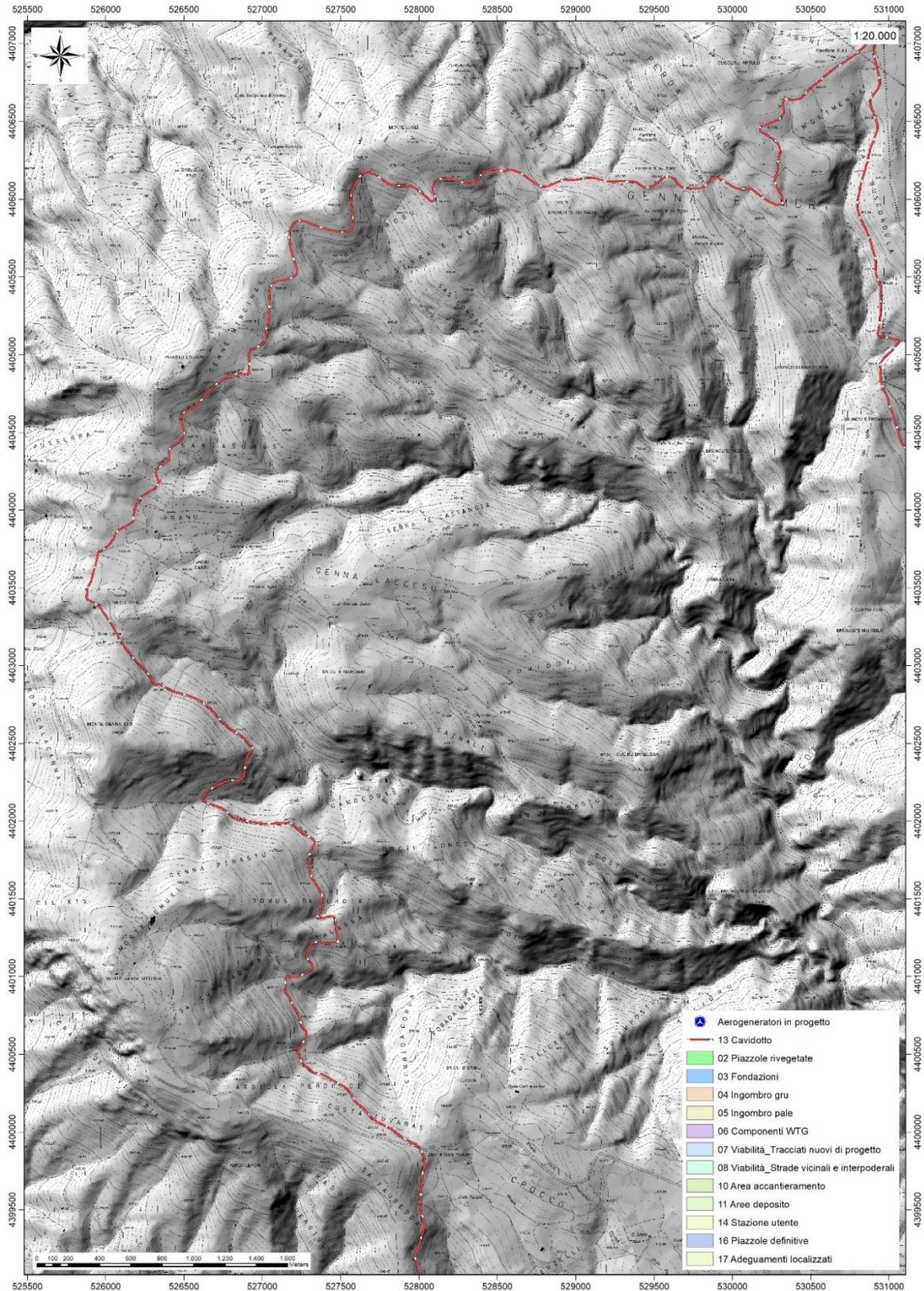


Figura 6 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore ovest – tracciato del cavidotto

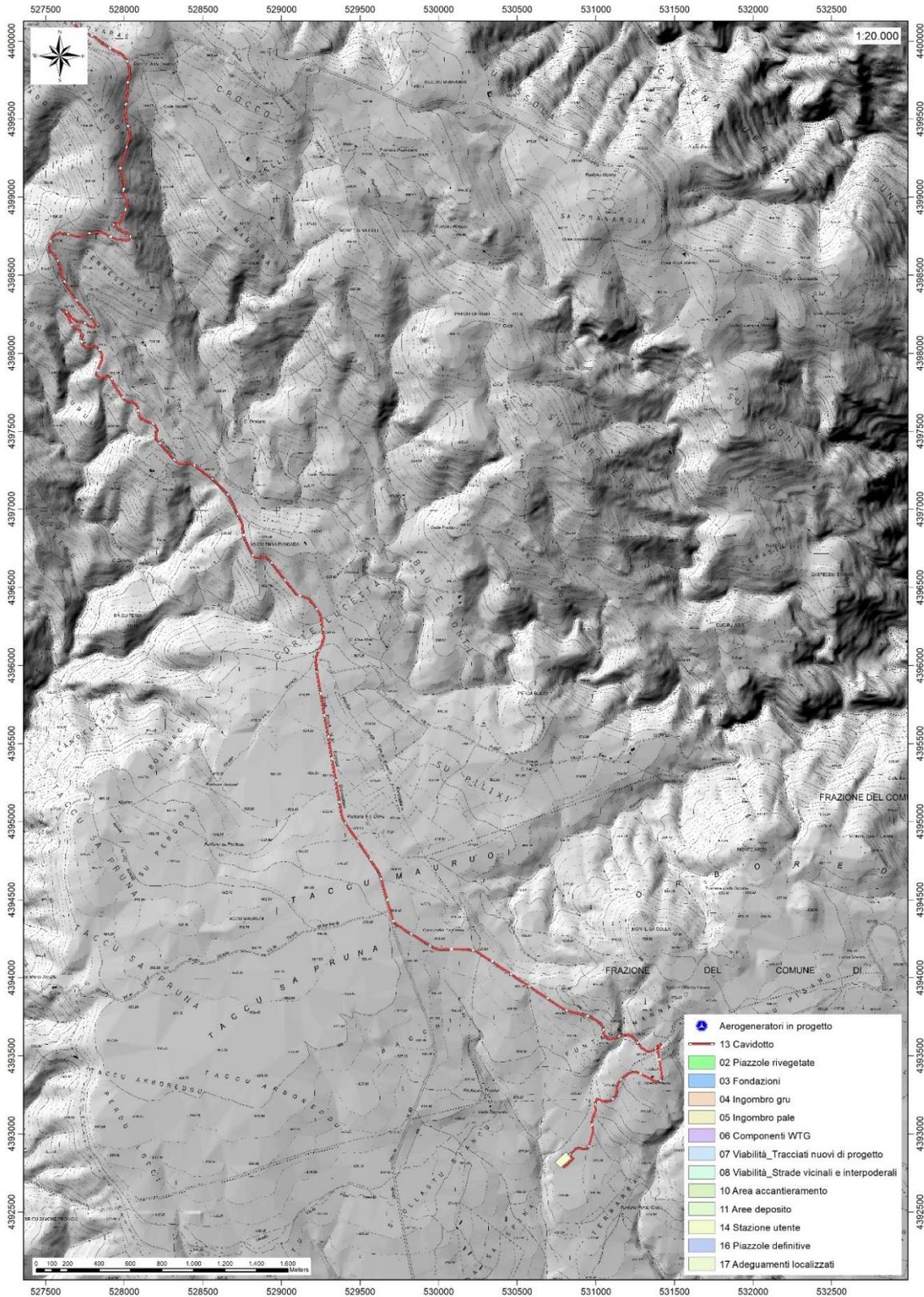


Figura 7 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore sud-ovest – tracciato del cavidotto e sottostazione

## 4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

L'impianto sarà costituito dai 10 aerogeneratori da 6,8 MW ciascuno, L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà convogliata, attraverso una rete a 30 kV realizzata con cavo interrato sino alla sottostazione 30/150 kW sita nel territorio comunale di Escalaplano e poi immessa sulla rete a 150 kV del Gestore della Rete mediante la stazione elettrica di nuova installazione illustrata nel progetto delle opere di rete del progetto eolico "Amistade".

Il Parco eolico "Alientu" si sviluppa su un paesaggio di tipo collinare e i settori di ubicazione degli aerogeneratori presentano valori di pendenza ricadenti in classe 0-15%, il contesto è caratterizzato dalla presenza di appezzamenti di terreno di grandi dimensioni adibiti prevalentemente a pascolo. L'energia prodotta dalla centrale eolica verrà fornita alla rete elettrica nazionale mediante immessa sulla rete a 150 kV del Gestore della Rete mediante la stazione elettrica di nuova installazione illustrata nel progetto delle opere di rete del progetto eolico "Amistade".

La sottostazione utente è collocata nel comune di Escalaplano raggiungibile dalla SP53 attraverso la viabilità principale locale, Il collegamento avverrà attraverso la costruzione di un raccordo di lunghezza pari a circa 36000 m in cavo MT interrato. Il collegamento elettrico tra gli aerogeneratori e la Sottostazione utente avverrà mediante un elettrodotto interrato che seguirà in gran parte il tracciato delle strade esistenti e in piccola parte di quello delle strade di nuova realizzazione necessarie per l'accesso ad alcune piazzole. Tale collegamento sarà realizzato attraverso la costruzione di un raccordo di lunghezza pari a circa 36000 m in cavo MT interrato. 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.

Le coordinate relative ai punti di installazione degli aerogeneratori sono riportate nella tabella di seguito:

WTG	Italy GAUSS-BOAGA		Geografiche WGS84		QUOTA base torre m s.l.m.	ALTEZZA HUB torre m
	EST	NORD	EST	NORD		
SE_01	1531446,8843	4403649,6585	9°22'0,98"	39°46'55,70"	855,80	119
SE_02	1531760,1164	4402917,2809	9°22'14,02"	39°46'31,91"	835,00	119
SE_03	1532404,957	4402414,0743	9°22'41,04"	39°46'15,50"	864,00	119
SE_04	1531640,4897	4402330,9761	9°22'8,89"	39°46'12,91"	856,00	119
SE_05	1531445,8862	4401883,7954	9°22'0,64"	39°45'58,43"	832,00	119
SE_06	1532045,764	4401496,2774	9°22'25,78"	39°45'45,78"	807,00	119
SE_07	1531408,1381	4401395,0591	9°21'58,97"	39°45'42,58"	794,50	119
SE_08	1531305,0632	4400937,569	9°21'54,55"	39°45'27,76"	795,00	119
SE_09	1532049,0444	4400839,4208	9°22'25,80"	39°45'24,47"	773,50	119
SE_10	1532701,7622	4400366,3425	9°22'53,15"	39°45'9,04"	725,20	119

Gli aerogeneratori individuati per la realizzazione del parco eolico hanno potenza nominale di 6800 kW (Potenza massima di esercizio in progetto 6,600 kW) e sono posti in cima a torri tronco coniche in acciaio con un'altezza massima fuori terra, misurata al mozzo, di 119 m; il generatore è azionato da elica tripala con diametro di 162 m (vedi tav, SE\_PC\_T009).

L'aerogeneratore è essenzialmente costituito da:

- rotore a tre pale che capta l'energia del vento, avente il mozzo collegato ad una navicella in cui avviene il processo di trasformazione dell'energia cinetica del vento in energia elettrica;
- torre o sostegno che ha il compito di sostenere l'apparato di produzione (navicella+rotore) alla quota individuata come ideale attraverso le simulazioni di produttività.

L'aerogeneratore ipotizzato per le valutazioni progettuali è stato scelto tra quelli maggiormente efficienti e sofisticati presenti attualmente sul mercato, tuttavia in fase di installazione si potranno vere variazioni tipologiche con macchine simili per caratteristiche dimensionali e tecnico-produttive, ferme restando le caratteristiche dimensionali massime dell'aerogeneratore.

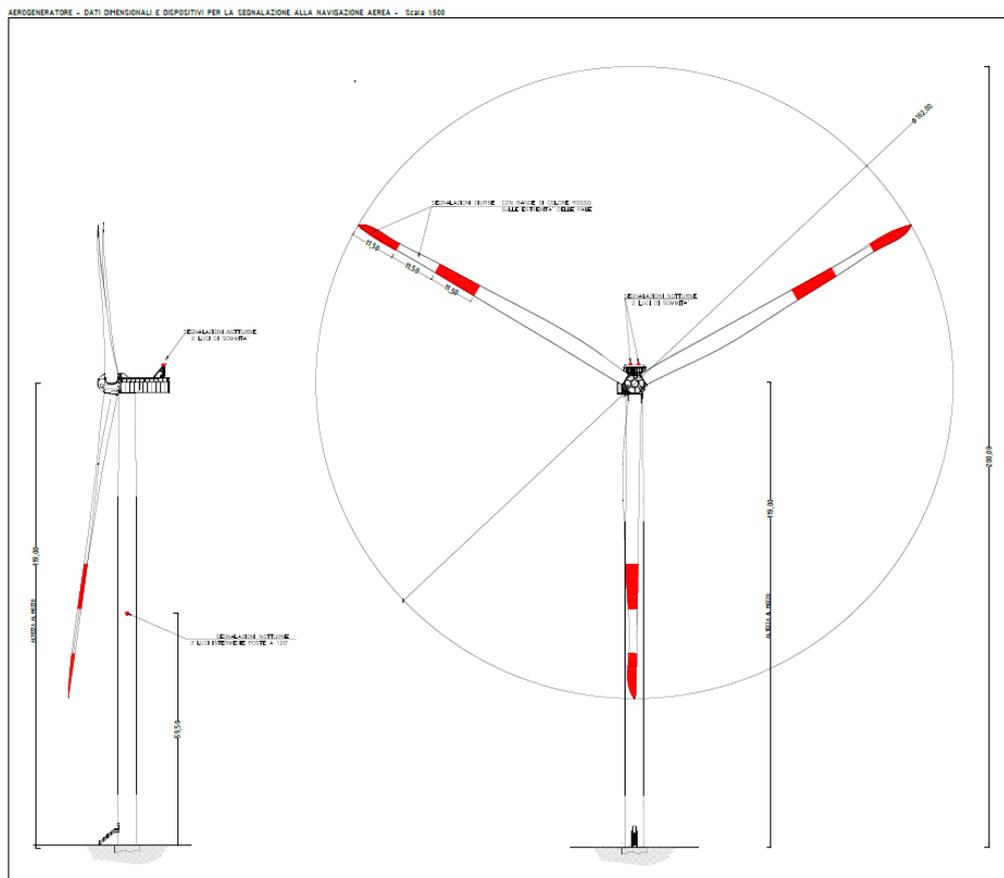


Figura 8 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 6.8MW

<b>DATI TIPOLOGICI E DIMENSIONALI AEROGENERATORI</b>	
<b>NUMERO TOTALE AEROGENERATORI IN PROGETTO</b>	<b>10</b>
<b>POTENZA NOMINALE AEROGENERATORE</b>	<b>6800 KW</b>
<b>POTENZA MASSIMA DI ESERCIZIO IN PROGETTO DELL' AEROGENERATORE</b>	<b>6600 KW</b>
<b>ALTEZZA MASSIMA HUB</b>	<b>119 m</b>
<b>DIAMETRO ROTORE</b>	<b>162 m</b>
<b>ALTEZZA MASSIMA RAGGIUNGIBILE</b>	<b>200 m</b>
<b>AREA SPAZZATA DAL ROTORE</b>	<b>20612 mq</b>
<b>NUMERO PALE</b>	<b>3</b>
<b>LUNGHEZZA PALE</b>	<b>79,35 m</b>

**Dati tecnici:**

- Potenza nominale: 6800 kW e tensione nominale di 800 volt;
- Potenza massima di esercizio in progetto 6,600 kW
- Potenza unitaria generatore: fino a 7600 kW;
- Frequenza: 0 – 126 Hz;
- Numero pale: 3;
- Lunghezza pale: 79,35 m;
- Raggio del rotore: 81 m;
- Area spazzata: 20612 m<sup>2</sup>;
- Tipo di sostegno: tubolare metallico;
- Altezza da terra del rotore: max 119 m;
- Fondazioni: piastra in C,A, dimensioni di circa 26 m di diametro; completamente interrata ad una profondità massima di 4,11 m;
- Piazzola di servizio: circa 3300 m<sup>2</sup> (variabile da 3185 a 5727 m<sup>2</sup>);
- Superficie impronta fondazione 530,93 m<sup>2</sup>;
- Ingombro scavo fondazione: circa 849,09 m<sup>2</sup>,

L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà convogliata, attraverso una rete a 30 kV, realizzata con cavo interrato, in uno stallo disponibile nella Sottostazione Utente del parco eolico Amistade attualmente in fase di procedura di Valutazione di Impatto Ambientale Ministeriale Codice identificazione ID 9693, e da qui alla futura Stazione Elettrica (SE) a 150 kV RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN 150 kV "Goni – Ulassai", mediante un collegamento in antenna. La soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) P2023 0027905-10,03,2023 Codice Pratica: 202000436 elaborata

da Terna per la connessione alla Rete Nazionale prevede oltre alla realizzazione della nuova stazione Terna su menzionata, anche la realizzazione di due nuovi elettrodotti RTN a 150 kV, con una nuova SE di trasformazione RTN a 380/150 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV "Ittiri – Selargius", All'interno della sottostazione "Amistade" già progettata verrà allestito un nuovo stallo di trasformazione a servizio del presente progetto eolico denominato "Alientu" costituito dalle seguenti apparecchiature di trasformazione:

- a) n, 1 Sezionatori orizzontali tripolari con lame di terra;
- b) n, 3 Trasformatori di tensione capacitivi unipolari;
- c) n, 1 Interruttore uni-tripolare in SF6;
- d) n, 3 Trasformatori di corrente unipolari;
- f) n, 3 Scaricatori di tensione unipolari;
- h) n, 1 Trasformatore AT/MT ;
- i) n, 2 Portali sbarra

Per il collegamento di tutti i 10 aerogeneratori e per la connessione alla sottostazione sarà necessario realizzare circa 36 km di elettrodotti interrati, I cavi per tutto il tracciato seguiranno la viabilità esistente e di progetto.

**Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.**

## 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.

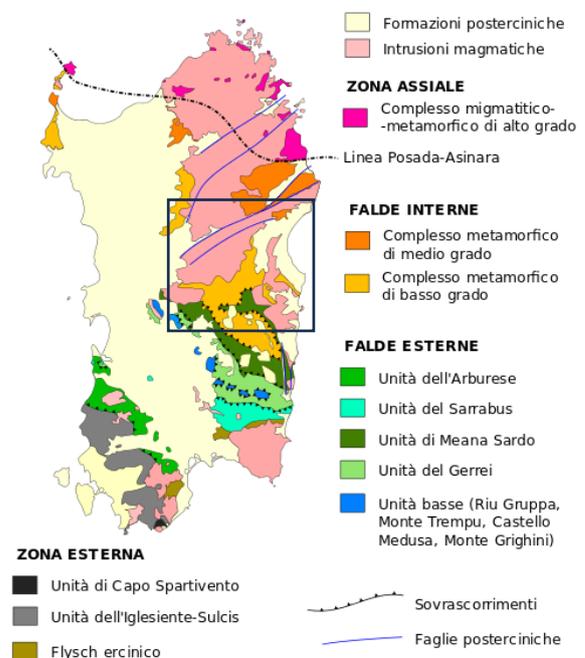
Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

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.

Nel resto dell'Isola affiorano plutoni isolati, anch'essi compositi, di minori dimensioni, quali quelli dell'Iglesiente e del Sarrabus.

L'area di studio ricade nella zona a Falde interne del basamento varisico sardo; A N dell'Unità di Meana Sardo fino al Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica della Sardegna nord-orientale, affiorano metamorfiti di

basso e medio grado che costituiscono il complesso delle Falde interne. Il metamorfismo più intenso, la rarità dei livelli guida, come il complesso vulcanico dell'Ordoviciano medio, e la estrema rarità di



reperi fossiliferi, rendono spesso incerta l'attribuzione litostratigrafica dei protoliti delle rocce di questo complesso.

Nell'alto Sarcidano e Barbagia, tettonicamente sovrapposto al di sopra delle formazioni silurianodevoniane dell'Unità di Meana Sardo, affiora un potente complesso epimetamorfico costituito prevalentemente da una successione terrigena (VAI & Coccozza, 1974), noto in letteratura come "Postgotlandiano",

Tale complesso costituisce il nucleo della Sinforme della Barbagia e, più a N, buona parte dei monti del Gennargentu, Recentemente è stata correlata con questo complesso l'Unità di Fiorentini, affiorante nel Goceano (OGGIANO, 1994)<sup>1</sup>.

Le unità tettoniche sono interessate da una serie di fasi plicative compressive, tardo compressive e distensive che generano sistemi di pieghe e una foliazione pervasiva di piano assiale, Tra le strutture plicative maggiori che interessano il settore di studio vi è l'Antiforme del Flumendosa al cui nucleo affiora l'unità tettonica di Riu Gruppa.

Il basamento varisco è stato interessato da più fasi di emersione a partire dal Permiano; nel Cretaceo si ha nuovamente emersione, che sembra aver interessato tutta l'isola, che ha generato una lacuna che comprende quasi tutto il Paleocene, ricoperta dai depositi trasgressivi dell'Eocene inferiore e del Miocene, dai prodotti dell'attività vulcanica Pliocenica, e dalle coperture dei depositi quaternari costituiti da depositi di versante coltri eluvio colluviali e depositi alluvionali.

---

<sup>1</sup> Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 2001

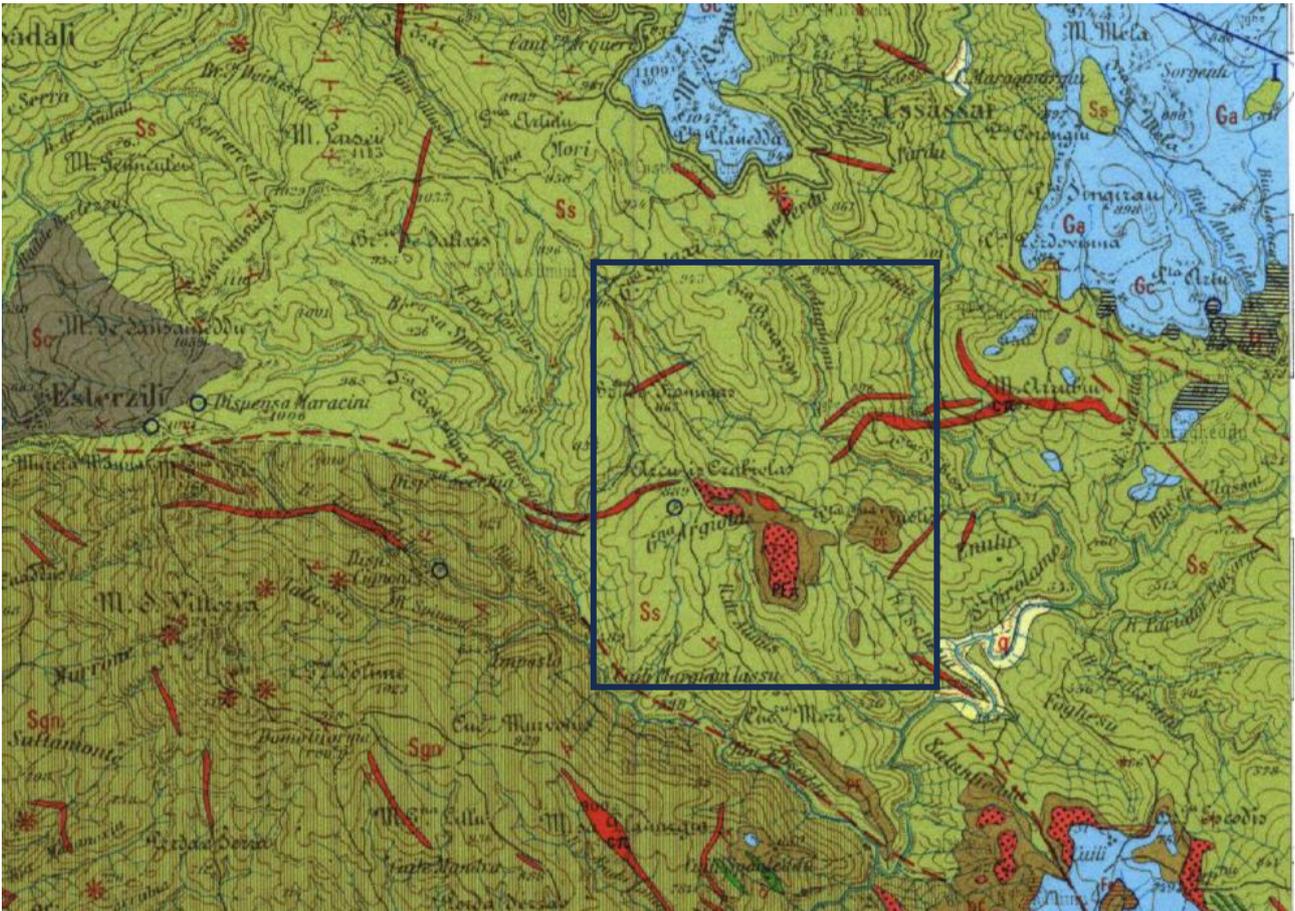


Figura 9 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1: 100,000 – Foglio 518 "Isili", Nel riquadro l'area di progetto

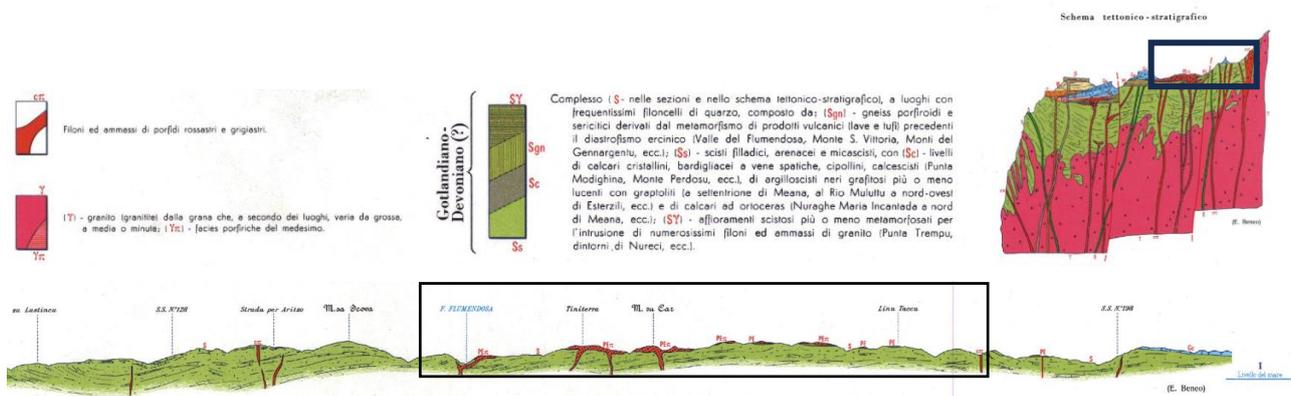


Figura 10 – Schema Tettonico stratigrafico dell'area di studio (tratto da Fg,218 "Isili", 1976)

L'ossatura geologica del territorio di Seui è quindi rappresentata dalle litologie metamorfiche paleozoiche che affiorano sia nel settore Nord che sud del territorio.

Nello specifico, la successione litologica riscontrata nel territorio è uniformata con la nomenclatura ufficiale, può essere così riassunta come segue, dal più recente al più antico:

### **Depositi quaternari dell'area continentale**

- **b2**, Coltri pluvio colluviali, Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti arricchiti in frazione organica, Olocene

### **Successione vulcano-sedimentaria tardo-paleozoica della sardegna centro-orientale**

- **pa**, "Porfidi quarziferi" Auct, Lave in colata ed ammassi subvulcanici di composizione da riolitica a dacitica, a grana da minuta a media, a struttura porfirica frequente, talvolta con evidenti strutture di flusso, rari livelli di breccie vulcaniche e tufi riolitici ("Porfidi quarziferi" Auct.), PERMIANO
- **LUDa** Litofacies nella FORMAZIONE DI RIO SU LUDA, Alla base, conglomerati e microconglomerati in matrice arenacea fortemente arrossata, PERMIANO INF, (AUTUNIANO)
- **LUDc** Litofacies nella FORMAZIONE DI RIO SU LUDA, Siltiti e argilliti laminari nere, con abbondanti resti di piante, sporomorfi e pollini; rari livelli di arenarie e conglomerati, PERMIANO INF, (AUTUNIANO)

### Basamento metamorfico paleozoico

#### **Complesso metamorfico della sardegna centro-meridionale**

- **GEN**, FORMAZIONE DELLE FILLADI GRIGIE DEL GENNARGENTU, Irregolare alternanza di livelli da decimetrici a metrici di metarenarie quarzose e micacee, quarziti, filladi quarzose e filladi ("Postgotlandiano" Auct.), ?CAMBRIANO MEDIO - ?ORDOVICIANO INF.
- **SGA**, SCISTI A GRAPTOLITI AUCT, Metapeliti carboniose e metasiltiti con graptoliti; intercalati livelli di diaspri neri (liditi), SILURIANO - DEVONIANO MEDIO
- **SGAa**, Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT, Metacalcari, Metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi, SILURIANO - DEVONIANO MEDIO
- **ORR**, FORMAZIONE DI ORROELEDU, Alternanze irregolari di metarenarie, metarenarie quarzose talora grossolane, filladi e metasiltiti talora fossilifere, con intercalazioni di metaconglomerati minuti in strati decimetrici, ORDOVICIANO SUP.
- **MSV**, FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA, Metavulcaniti a chimismo da acido a basico, metaepiclastiti, metarenarie feldspatiche e metaconglomerati a componente vulcanica, ORDOVICIANO ?MEDIO
- **MSVb**, Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA, Metagrovacche vulcaniche e metavulcaniti; probabili originarie piroclastiti a chimismo intermedio-basico ("formazione di Serra Tonnai" Auct.), ORDOVICIANO ?MEDIO

#### 5.1. DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

**(a) Depositi di frana:** depositi detritici di origine franosa alla base dei versanti .

**(b2) Coltri eluvio-colluviali:** Si tratta di materiali derivati dal disfacimento in situ delle rocce in seguito mobilizzate da processi di versante, costituiti da depositi con percentuali variabili di sedimenti fini (sabbia e silt) più o meno pedogenizzati e arricchiti in frazione organica, con clasti eterometrici di varia litologia, Sono mescolati con sedimenti più grossolani, sempre subordinati, Lo spessore di questi depositi solitamente è abbastanza esiguo (nell'ordine massimo di qualche metro in prossimità dei compluvi), Olocene.



Figura 11 Depositi di versante, ciottoli di filladi e metarenarie in matrice sabbioso-limoso

## 5.2. SUCCESSIONE VULCANO-SEDIMENTARIA TARDO-PALEOZOICA

**(pa), "Porfidi quarziferi" Auct,** Lave in colata ed ammassi subvulcanici di composizione da riolitica a dacitica, a grana da minuta a media, a struttura porfirica frequente, talvolta con evidenti strutture di flusso, rari livelli di breccie vulcaniche e tufi riolitici ("Porfidi quarziferi" Auct,), PERMIANO

**Questa formazione rappresenta il substrato della turbina SE\_03.**

**(LUD), Formazione di Rio Su Luda,** Il conglomerato basale (**LUDa**) si presenta come un conglomerato poligenico eterometrico con clasti scarsamente elaborati di metamorfiti, quarzo in subordinate, massivo e spesso con piccole strutture canalizzate che giace in discordanza angolare sul basamento ercinico. Al di sopra del conglomerato basale affiorano epivulcanoclastiti varicolori (**LUDb**): sono irregolari alternanze da decimetriche a metriche di cineriti ed epiclastiti prevalentemente argillitico-siltitiche e più raramente arenacee di colore variabile dal grigio scuro al rossastro.

### 5.3. UNITÀ TETTONICA DI MEANA SARDO

Affiora nella parte sud-occidentale dell'area di studio e si trova in contatto tettonico con la formazione delle filladi del Gennargentu. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostratigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

**(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria:** è costituita da un complesso vulcanico-epiclastico suddiviso in tre litofacies: metaepiclastiti grossolane con ciottoli di metarioliti, metagrovacche vulcaniche e metandesiti, e metarioliti afiriche.

Le metaepiclastiti **(MSVa)** sono rappresentate da metagrovacche litiche, metarenarie vulcaniche e metaconglomerati, a scarsa selezione e con grani spigolosi immersi in matrice quarzoso-sericitica.

Le metagrovacche e metandesiti **(MSVb)** sono rappresentate da metaepiclastiti verdastre, prevalentemente metagrovacche, massive o in banchi di alcuni metri di spessore, con abbondanti frammenti litici che le conferiscono un aspetto macchiettato. Sono intercalate a metavulcaniti grigio scure a composizione da andesitica a basaltica, Le metarioliti afiriche **(MSVc)** presentano colore bianco-giallastro con rari cristalli di feldspato potassico immersi in una massa di fondo microcristallina più o meno sericitica o silicizzata, con tessitura finemente scistosa e intensamente piegate.



Figura 12 Formazione del Monte Santa Vittoria (MSV)

Le tre litofacies sopra descritte sono correlabili con le formazioni di Manixeddu, Serra Tonnai e Monte Corte Cerbos affioranti nella Barbagia, L'età attribuita è Ordoviciano medio.

**(ORR) Formazione di Orroledu** costituito da alternanze di metarenarie e metasiltiti grigie, distinte in due litofacies: alla base, metagrovacche e metarenarie arcosiche e metaconglomerati **(ORRa)** matrice-sostenuti, con clasti di quarzo bianco e nero e frammenti litici mediamente arrotondati, di dimensioni massime di 1-2 cm, in matrice quarzosa biancastra; metarenarie e metasiltiti varicolori grigio-nocciola, scarsamente selezionate, e interessate da clivaggio ardesiaco penetrativo, e aspetto vacuolare nelle frazioni più fini a causa della dissoluzione di fossili, Talora sono presenti livelli di originari metacalcari tipo *mudstone*. Lo spessore è estremamente variabile in quanto il contatto di base è trasgressivo, La successione viene riferita all'Ordoviciano superiore per la presenza di brachiopodi, articoli di crinoidi, briozoi, ostracodi, gasteropodi, trilobiti e conodonti.

**(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.):** costituiti da metapeliti scure (giallastre o grigie per alterazione), intercalate a livelli di quarziti nere ("liditi") **(SGA)**, Sono presenti lenti discontinue di metacalcari nodulari **(SGAa)** di massimo 5 m di lunghezza e 2 di spessore, interstratificate nella successione, Lo spessore è assai variabile per via dell'intensa deformazione, infatti i contatti sono spesso laminati tettonicamente, L'età della successione è riferibile al Siluriano - Devoniano medio grazie alla ricca associazione fossilifera a graptoliti, conodonti, scifocrinoidi, crinoidi, tentaculiti e trilobiti,

#### 5.4. UNITÀ TETTONICA DELLA BARBAGIA

**(GEN) Formazione delle filladi grigie del Gennargentu:** Si tratta di una successione litostratigrafica costituita da una irregolare alternanza di livelli da metrici a decimetrici di metarenarie quarzose micacee, quarziti, filladi quarzifere, filladi e metasiltiti. In taluni casi la somiglianza con le successioni cambro-ordoviciane è molto netta, in altri casi prevalgono invece termini più quarziticci o metarenarie a grana fine e metasiltiti.

In campagna è spesso evidente un layering bimodale, che corrisponde ad una foliazione tettonica, In prossimità del contatto tettonica che sovrappone l'Unità della Barbagia a quella di Meana sardo si osservano fasce milonitiche ampie alcune decine di metri, con presenza di nastri di quarzoche. in sezione sottile, mostrano una orientazione preferenziale dei singoli cristalli, Cambriano-?Ordoviciano

**Questa formazione rappresenta il substrato di tutte le turbine tranne la SE\_03.**



Figura 13 Affioramento della Formazione delle Filladi del Gennargentu e particolare della struttura della roccia metamorfica

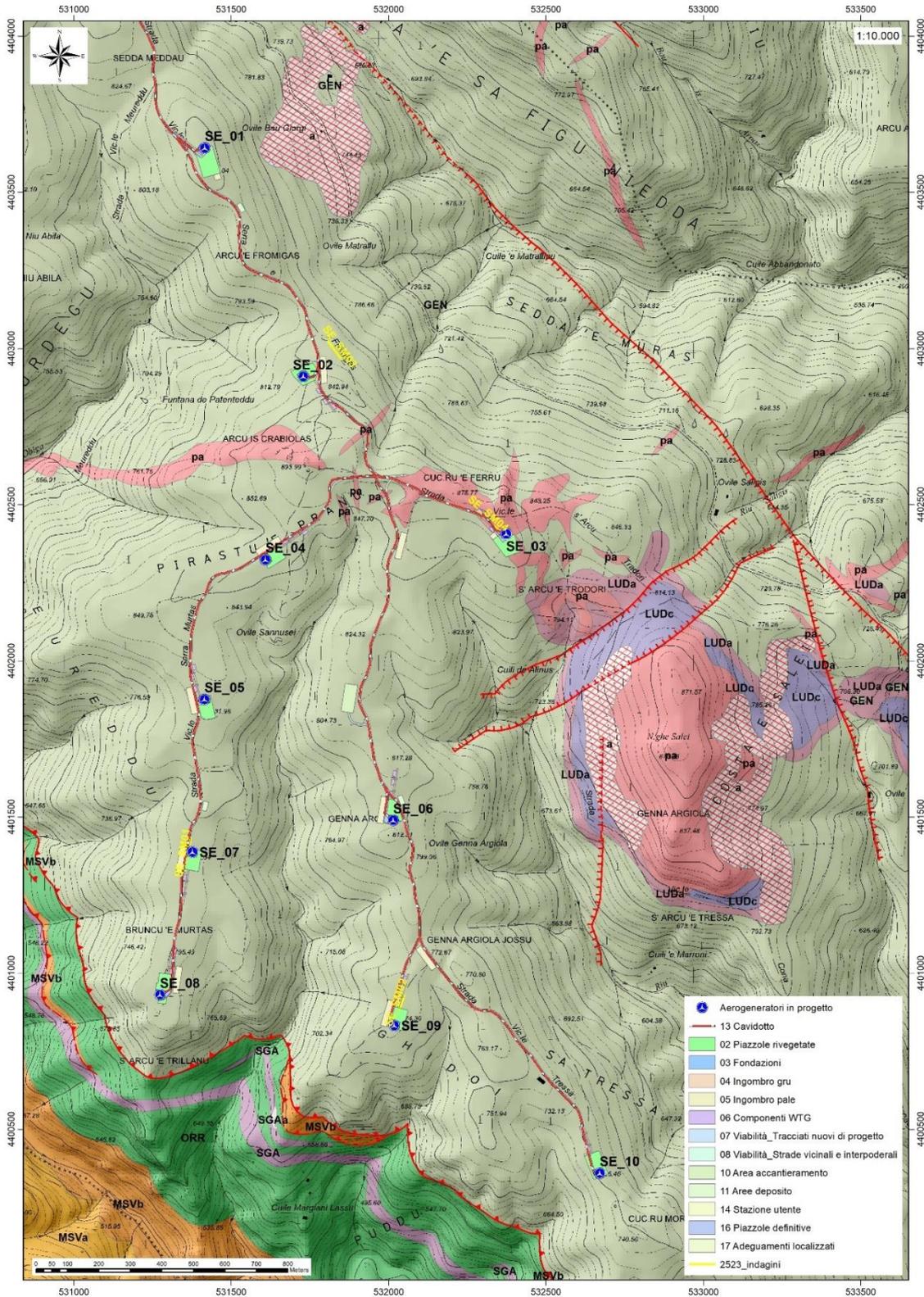


Figura 14 Stralcio carta geografica (Fonte RAS)

## 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°2 **stendimenti di sismica** con tecnica **MASW** e n°4 **stendimenti di sismica a rifrazione in onde P**. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni. 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.

Stendimento	Metodologie	Orientamento	Geofoni	Interdistanza (m)	Lunghezza (m)
R1 (SE_SM01)	Rifrazione	NNO-SSE	24	3,0	72,0
R2 (SE_SM02)	Rifrazione	SO-NE	24	3,0	72,0
R3 (SE_SM03)	Rifrazione	NO-SE	24	3,0	72,0
R4 (SE_SM04)	Rifrazione	ONO-ESE	24	3,0	72,0
M1 (SE_SM01)	MASW	NNO-SSE	24	3,0	69,0
M4 (SE_SM04)	MASW	ONO-ESE	24	3,0	69,0

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.

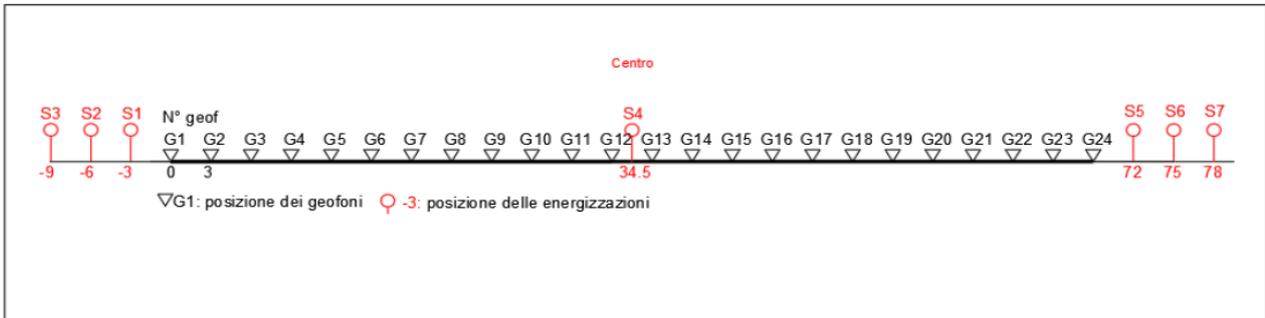
### **Profondità di indagine**

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 DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 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.

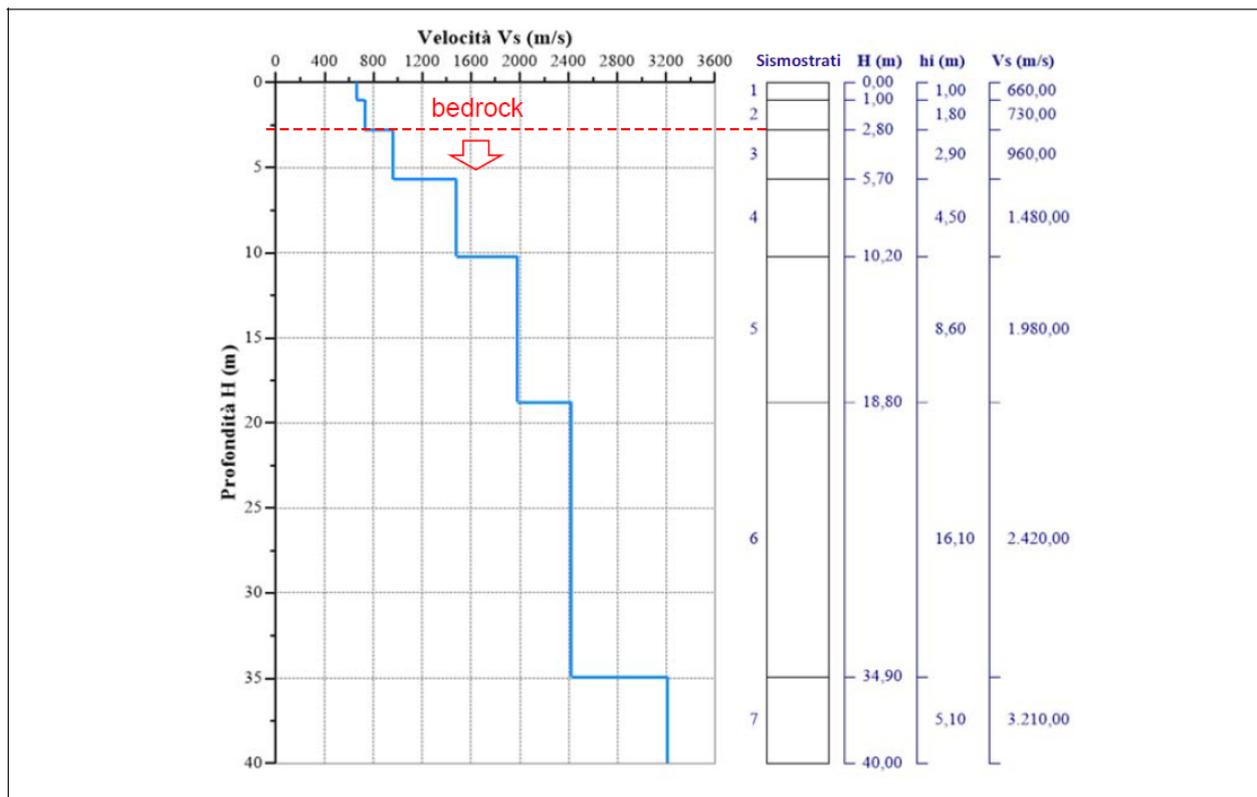
## 6.1. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SM01-TURBINA SE\_05

### 6.1.1. SE\_SM01-SE\_05: MASW M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs 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 Vs,

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 - 1,0	1° sismostrato con Vs di <b>660 m/s</b> Terre estremamente addensate
1,0 - 2,8	2° sismostrato con Vs di <b>730 m/s</b> Terre estremamente addensate
2,8 - 5,7	3° sismostrato con Vs di <b>960 m/s</b> Substrato roccioso fratturato
5,7 - 10,2	4° sismostrato con Vs di <b>1480 m/s</b> Substrato roccioso fratturato
10,2 - 18,8	5° sismostrato con Vs di <b>1980 m/s</b> Substrato roccioso da fratturato a sano
18,8 - 34,9	6° sismostrato con Vs di <b>2420 m/s</b> Substrato roccioso sano
34,9 - 40,0	7° sismostrato con Vs di <b>3210 m/s</b> Substrato roccioso sano

**MASW M1-PROFILO Vs**



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	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	1.320	660	0,33	2.089	252	785	2.089
2	1,0 - 2,8	terre	2.000	1.460	730	0,33	2.844	342	1.069	2.844
3	2,8 - 5,7	12%	2.100	1.920	960	0,33	5.158	619	1.932	5.158
4	5,7 - 10,2	12%	2.200	2.960	1480	0,33	12.847	1.542	4.815	12.847
5	10,2 - 18,8	15%	2.350	3.960	1980	0,33	24.566	3.685	9.209	24.566
6	18,8 - 34,9	22%	2.400	4.840	2420	0,33	37.482	8.246	14.053	37.482
7	34,9 - 40,0	25%	2.450	6.420	3210	0,33	67.324	16.831	25.243	67.324

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

Figura 15 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

#### Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	660,00	1,00	1,00	0,00152
2	2,80	1,80	730,00	2,80	1,80	0,00247
3	5,70	2,90	960,00	5,70	2,90	
4	10,20	4,50	1480,00	10,20	4,50	
5	18,80	8,60	1980,00	18,80	8,60	
6	34,90	16,10	2420,00	30,00	11,20	
7	40,00	5,10	3210,00	0,00	0,00	

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

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

con:

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 si vince come profondità del substrato **2,80 m** (Vs>800 m/s); la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 2,80 m di profondità dal p.c. è pari a VSeq>800 m/s che dà luogo ad una categoria A, ossia:

**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.

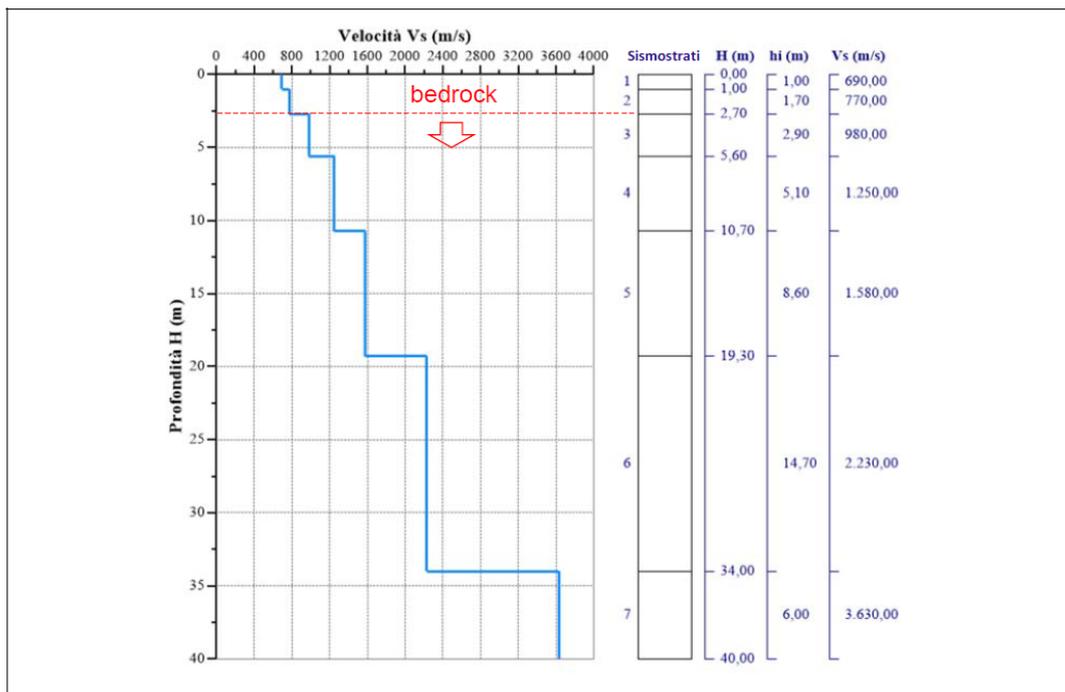
## 6.1. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SM04-TURBINA SE\_07

### 6.1.1. SM04-SE\_02: MASW M2

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
0,0 - 1,0	1° sismostrato con Vs di 690 m/s Terre estremamente addensate
1,0 - 2,7	2° sismostrato con Vs di 770 m/s Terre estremamente addensate
2,7 - 5,6	3° sismostrato con Vs di 980 m/s Substrato roccioso fratturato
5,6 - 10,7	4° sismostrato con Vs di 1250 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
10,7 - 19,3	5° sismostrato con Vs di 1580 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
19,3 - 34,0	6° sismostrato con Vs di 2230 m/s Substrato roccioso sano
34,0 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 3630 m/s Substrato roccioso sano

MASW M2-PROFILO Vs



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	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G <sub>0</sub>	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	1.380	690	0,33	2.285	276	853	2.285
2	1,0 - 2,7	terre	2.000	1.540	770	0,33	3.158	381	1.187	3.158
3	2,7 - 5,6	12%	2.100	1.960	980	0,33	5.374	645	2.020	5.374
4	5,6 - 10,7	12%	2.200	2.500	1250	0,33	9.169	1.100	3.442	9.169
5	10,7 - 19,3	15%	2.350	3.160	1580	0,33	15.642	2.346	5.864	15.642
6	19,3 - 34,0	22%	2.400	4.460	2230	0,33	31.823	7.001	11.935	31.823
7	34,0 - 40,0	25%	2.450	7.260	3630	0,33	86.094	21.523	32.284	86.094

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

Figura 16 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

### Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	690,00	1,00	1,00	0,00145
2	2,70	1,70	770,00	2,70	1,70	0,00221
3	5,60	2,90	980,00	5,60	2,90	
4	10,70	5,10	1250,00	10,70	5,10	
5	19,30	8,60	1580,00	19,30	8,60	
6	34,00	14,70	2230,00	30,00	10,70	
7	40,00	6,00	3630,00	0,00	0,00	

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,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;

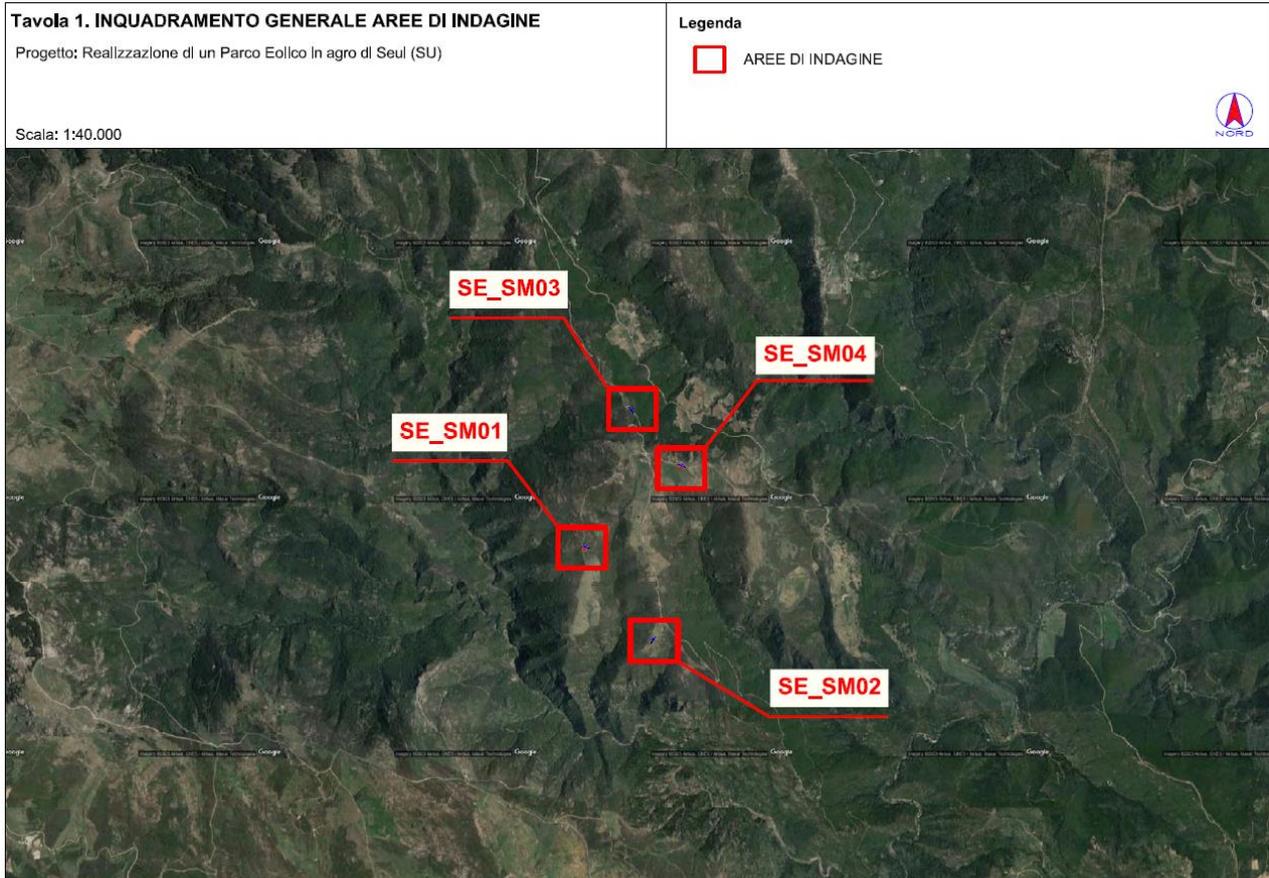
N numero di strati;

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 si pone come profondità del substrato **10,8 m** (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,8 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs<sub>eq</sub> = 10,8/0,01501=719,63 m/s** che dà luogo ad una categoria B, ovvero:

**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.



## 7. MODELLAZIONE GEOLOGICA

### 7.1. MODELLO GEOLOGICO DI SITO

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:

- 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, La profonda deformazione che le metamorfiti hanno subito genera 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,
- 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, sono stati individuati **2 modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito per gruppi di turbine,

#### 7.1.1. MODELLO GEOLOGICO 01

#### **Turbine SE\_01 – SE\_02 – SE\_04, SE\_05, SE\_06, SE\_07, SE\_08, SE\_09, SE\_10:**

da 0,00 a 1,00m – depositi colluviali/eluviali/suoli

da 1,00m a 2,8m – filladi fortemente fratturate

da 2,80m a 10,2m – filladi fratturate

da 2,8m a 20,00m – filladi da debolmente fratturate a sane

**FALDA: non riscontrata**

#### 7.1.2. MODELLO GEOLOGICO 02

##### **Turbina SE\_03:**

da 0,00 a 1,00m – depositi colluviali/eluviali/suoli ben addensati -

da 1,00m a 2,7mm – porfidi da intensamente fratturate a fratturate

da 2,70m a 10,7m – porfidi fratturate

da 10,7m a 20,00m – filladi da debolmente fratturate a sane

**FALDA: non riscontrata**

**Per quanto concerne la parametrizzazione, stante le risultanze, si ritiene di adottare come modello geologico del sito quello maggiormente cautelativo e perciò a caratteristiche geotecniche peggiori e condizioni di falda presente.**

##### **Pertanto, la stratigrafia di riferimento è la seguente:**

da 0,00 a 1,00m – depositi colluviali/eluviali/suoli ben addensati -

da 1,00m a 2,7mm – porfidi da intensamente fratturate a fratturate

da 2,70m a 10,7m – porfidi fratturate

da 10,7m a 20,00m – filladi da debolmente fratturate a sane

**FALDA: a partire dalla quota di 4m da p,c.**

Per la caratterizzazione geotecnica sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico SE\_SM04, Si suggerisce in fase di progettazione esecutiva di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es, sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica). Di seguito i parametri geotecnici:

MODELLO GEOLOGICO					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1	S2	S3	S4
Descrizione		Depositi eluvio-colluviali/	Substrato roccioso intensamente fratturato	Substrato roccioso fratturato	Substrato roccioso da poco fratturato a sano
Peso di volume**	[kg/mc]	1,800	2,000	2,100	2,350
Peso di volume saturo**	[kg/mc]	1,900	2,100	2,100	2,350
Angolo di attrito* interno	[°]	26,12	32,50	35,15	38,25
Coesione*	[Mpa]	0,5	0,00	0,288	3,54
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico **	[Mpa]	28	252	619	3685
Coefficiente di Poisson**	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)**	[Mpa]	88	785	1932	9209
Velocità onde di taglio Vs**	[m/sec]	210	660	960	1980

\*Valori ricavati da interpolazioni su ROCDATA da confermare con indagini dirette e puntuali

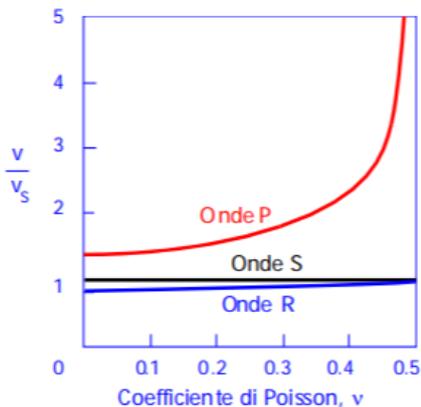
\*\* Valori ricavati da dati derivati dalle indagini geofisiche da confermare con indagini dirette e puntuali

**Ai fini del calcolo della distanza di propagazione delle vibrazioni verrà preso in considerazione il valore di Vs corrispondente al livello orizzonte 1,00m-2,70m poiché spesso la coltre superficiale non è presente e la roccia è in affioramento.**

## 7.2. TABELLA DI SINTESI DELLE PROPRIETÀ DI SINTESI DEI TERRENI DI INTERESSE

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 M1/ M4

**$v = 0,33$   $V_r = 0,933 V_s$**

Profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0,00 – 1,00	210	0,33	196
1,00 – 2,70	660	0,33	616
2,70 a 10,70	960	0,33	896
10,70 –20,00	1980	0,33	1847

## 8. 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. 17 (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.

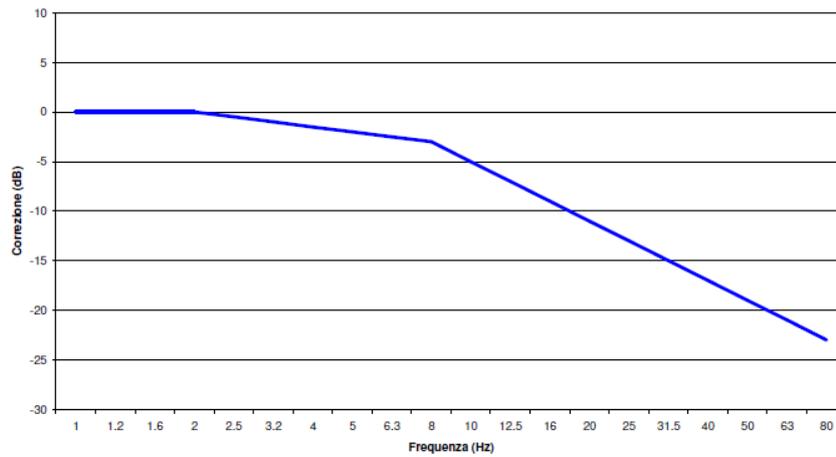


Figura 17 - Curva di ponderazione asse generico

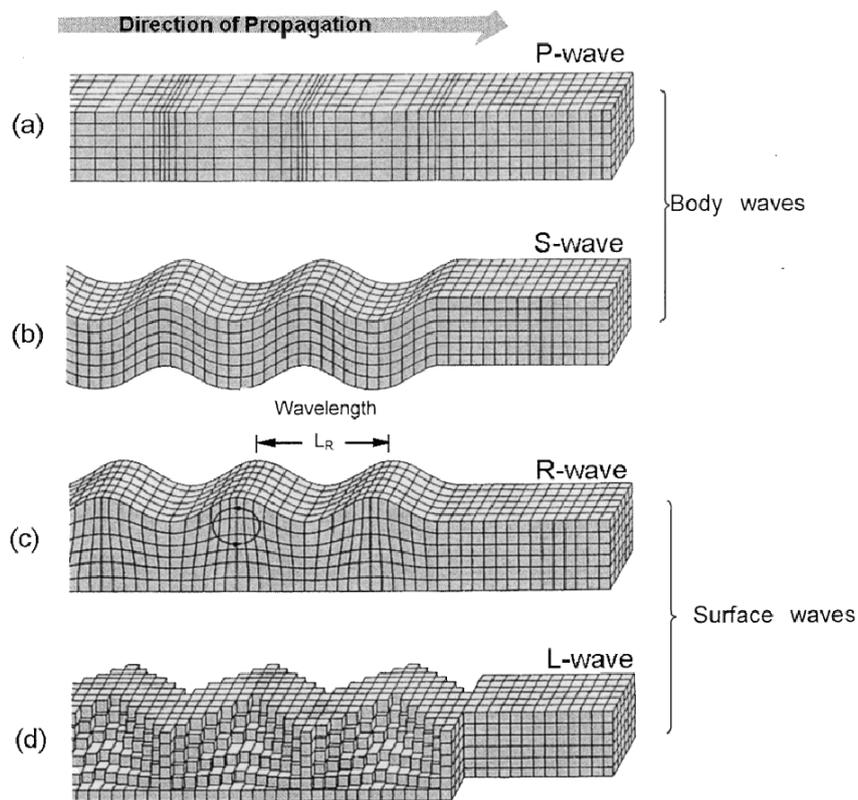


Figura 18 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie

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.

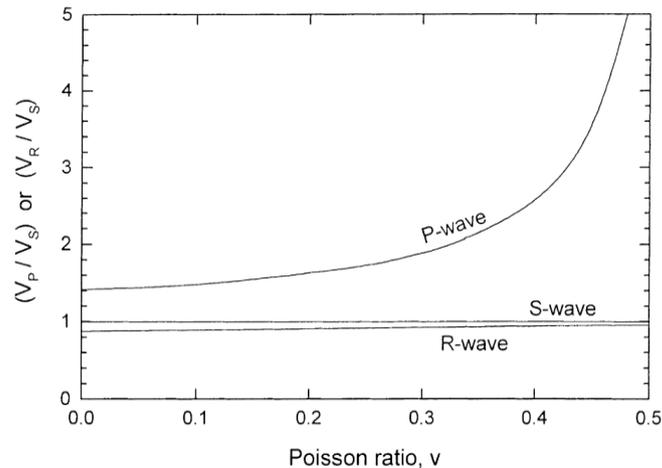


Figura 19 - rapporto tra le velocità di propagazione  $V_p$  e  $V_r$

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.19 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.

### 8.1. 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:

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

In cui  $\eta$  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  $\eta$  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	$\eta$
Roccia	0.01
Sabbia, ghiaia, ciottoli	0.1
Limi, argille	0.2 -0.5

## 8.2. 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  $\eta$  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 M1/M4  $v = 0,33$   $V_r = 0,933 V_s$

Profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)	$\eta$	$n$
0,00 – 1,00	210	0,33	196	0,05	0,5
1,00 – 2,70	660	0,33	616	0,05	0,5
2,70 a 10,70	960	0,33	896	0,01	0,5
10,70 –20,00	1980	0,33	1847	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.

## 9. 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).**

### 9.1. 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.

### 9.2. 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 in punte di 105 transiti giornalieri in occasione dell'approntamento delle materie necessarie alla realizzazione delle opere fondanti ai quali si sommano circa 10-15 viaggi necessari all'approntamento della struttura degli aerogeneratori, in aggiunta al flusso di traffico locale attualmente presente (poche decine di veicoli/giorno) sulla viabilità di accesso al cantiere.

### 9.3. 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/sec<sup>2</sup>** (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**.

#### 9.4. SCENARI DI RIFERIMENTO DI CANTIERE

**Scenario 01** – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili della cabina collettore: 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 <sup>2</sup>
Scenario 01		234 m
Scenario 02		160 m
Scenario 03**		234 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.

### 9.1. 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.

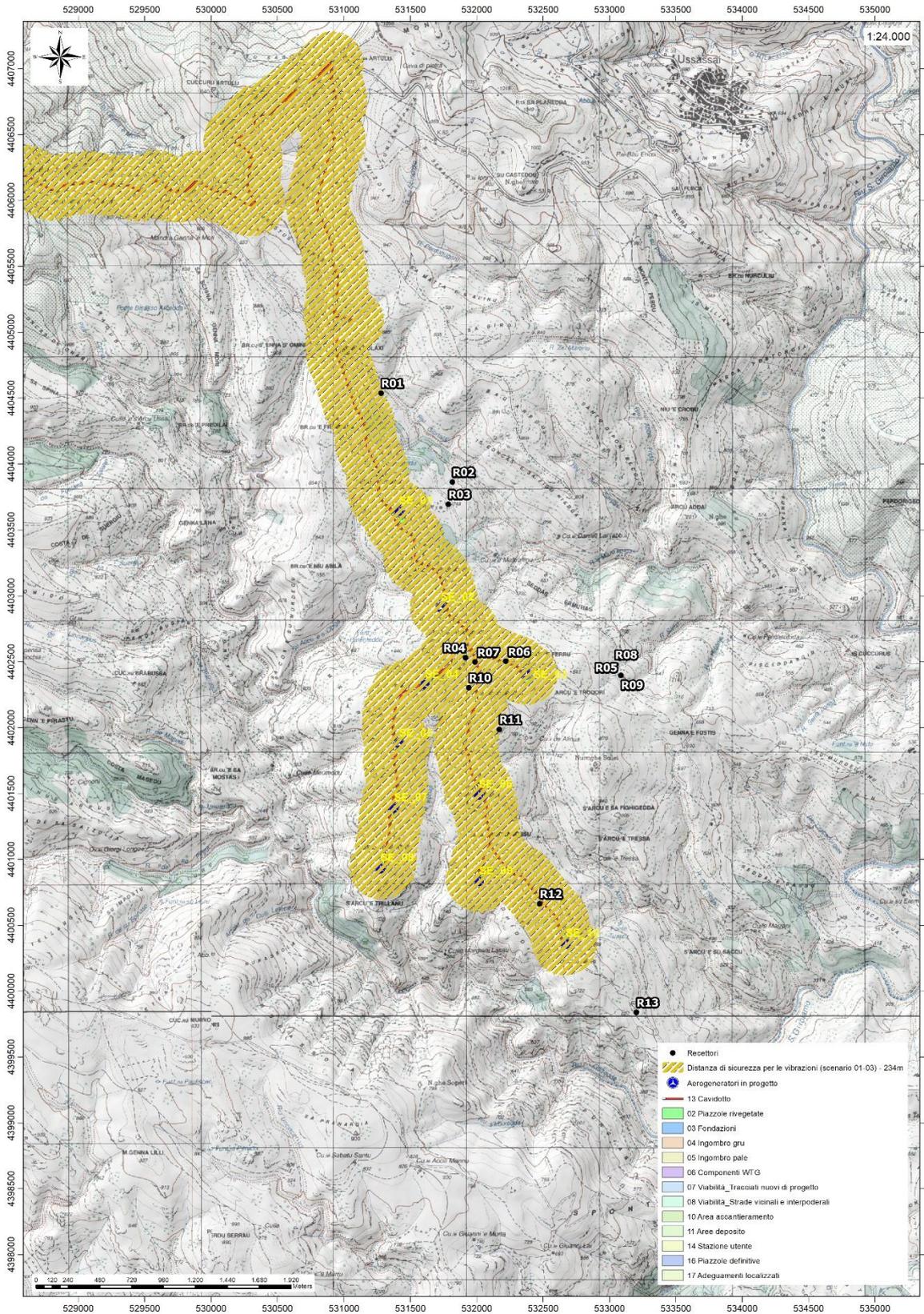


Figura 20 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 01-03) - 234m

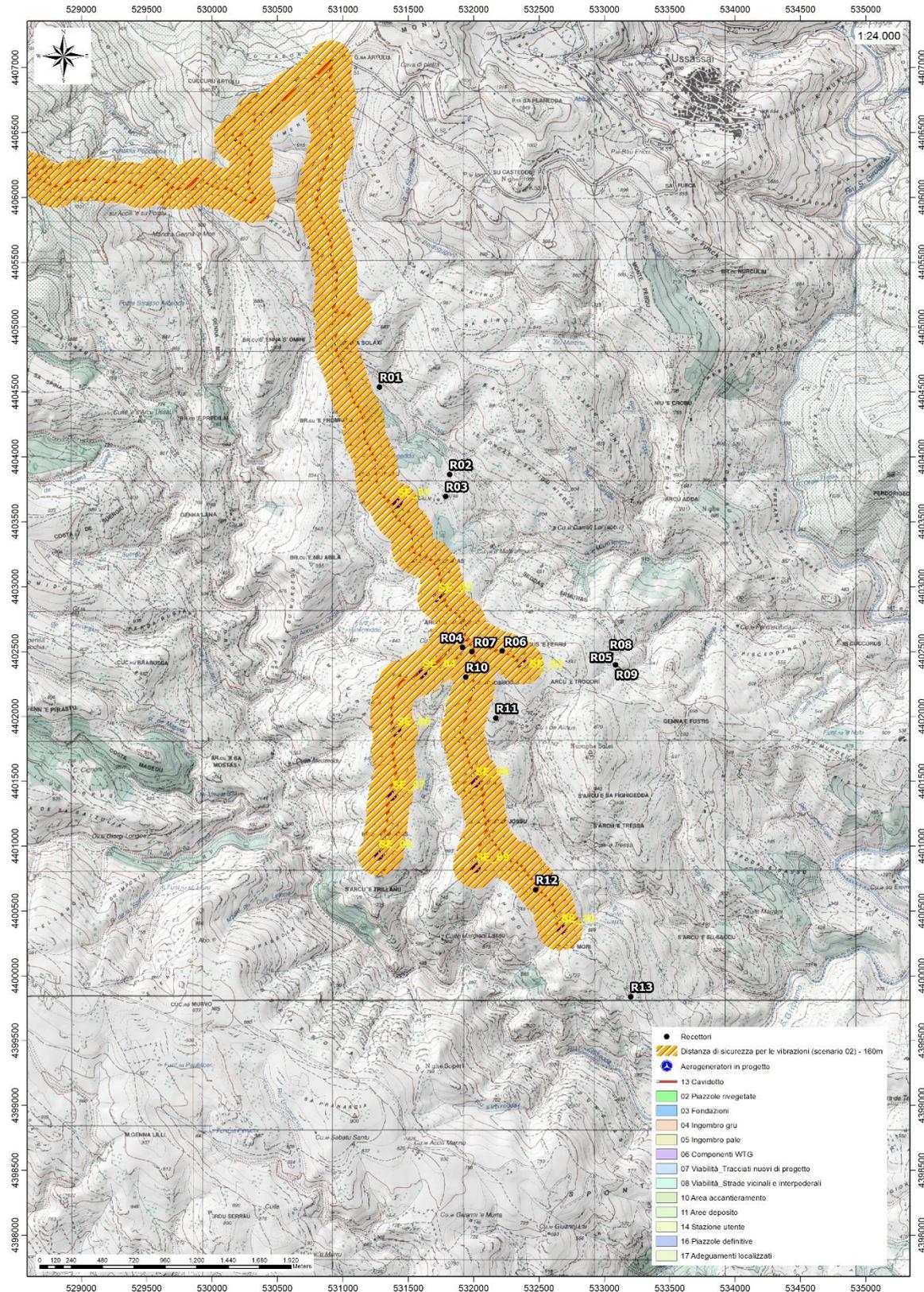


Figura 21 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 02) - 160m

## 9.2. 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 eolica (Vestas V162-5.6; HH = 125m; RD = 162m)<sup>2</sup> 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

---

<sup>2</sup> HERITAGE WIND PROJECT PRE-CONSTRUCTION SOUND LEVEL IMPACT ASSESSMENT ,2020

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 bassi 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 anche effettuate da Epsilon su turbine Siemens 2.3 e GE 1.5sle.

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 una 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:

◆ Vestas V162-6,8 = 12,1 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.

### 9.3. 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 <sup>2</sup> )
Ambienti ad uso abitativo (punto 9.1)	Diurno	7,2
	Notturno	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 22 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:

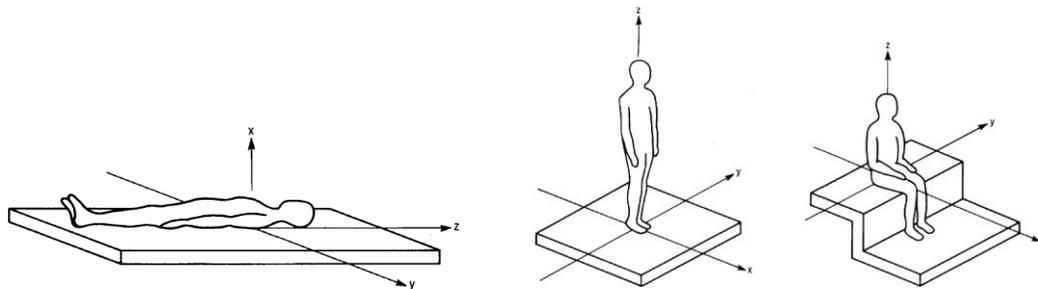


Figura 23 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

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.

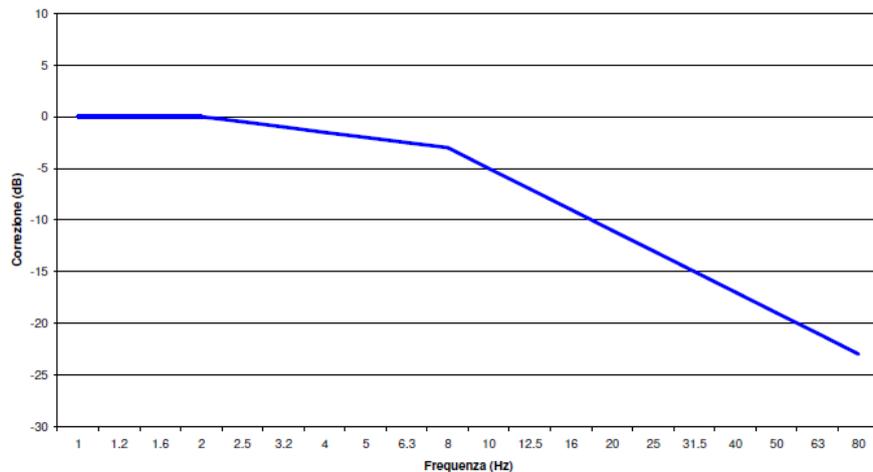


Figura 24 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614

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 <sup>*)</sup>	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ( $f=10$ Hz) a 40 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ( $f=50$ Hz) a 50 ( $f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ( $f=10$ Hz) a 15 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ( $f=50$ Hz) a 20 ( $f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ( $f=10$ Hz) a 8 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ( $f=50$ Hz) a 10 ( $f=100$ Hz)	8	3/4

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

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

## 10. SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI

### 10.1. 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.

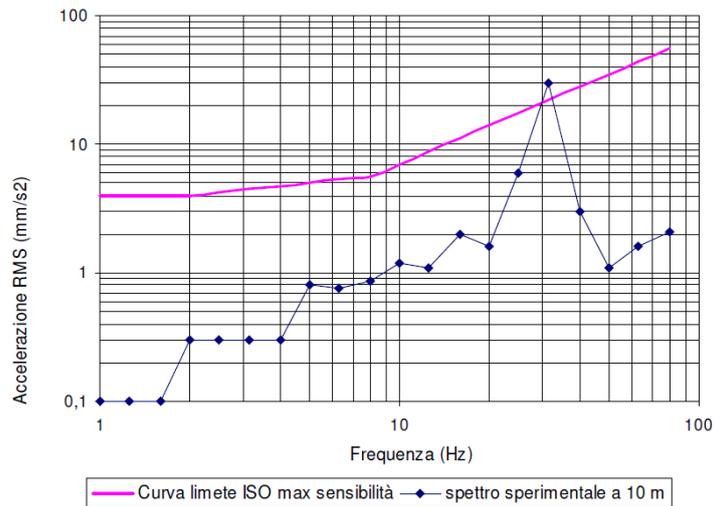


Figura 26 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere

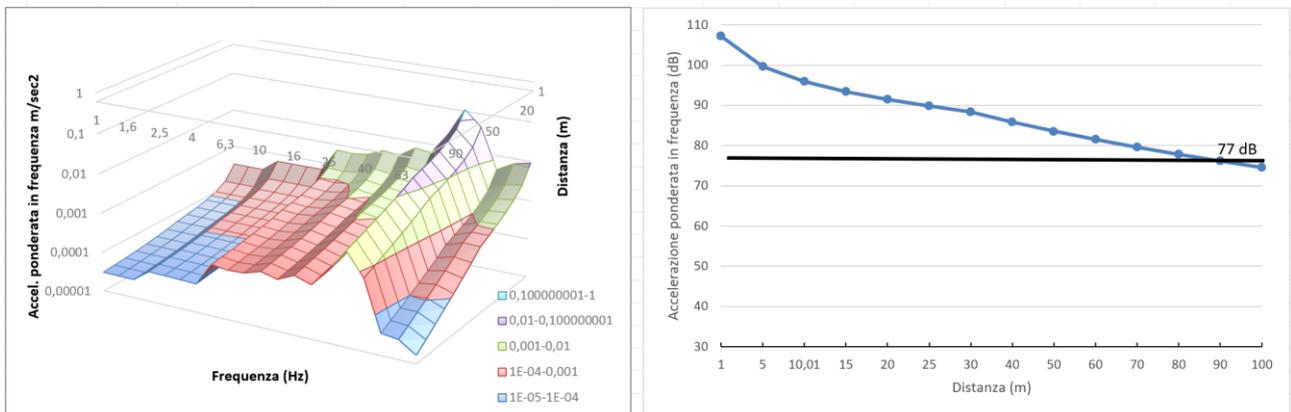


Figura 27 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

## 10.2. 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.

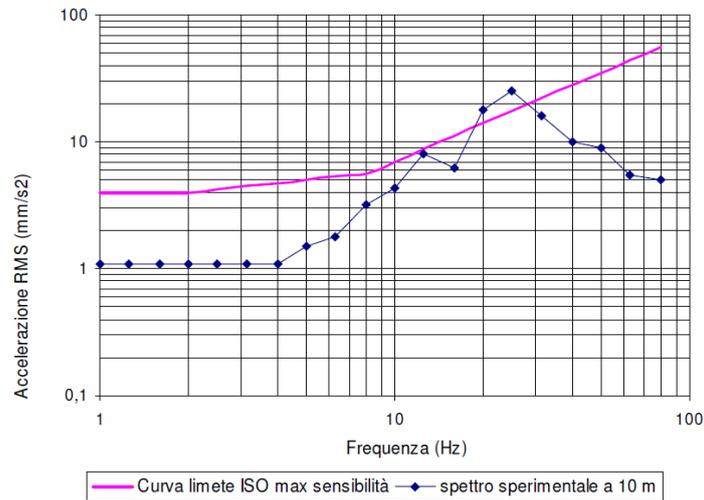


Figura 28 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere

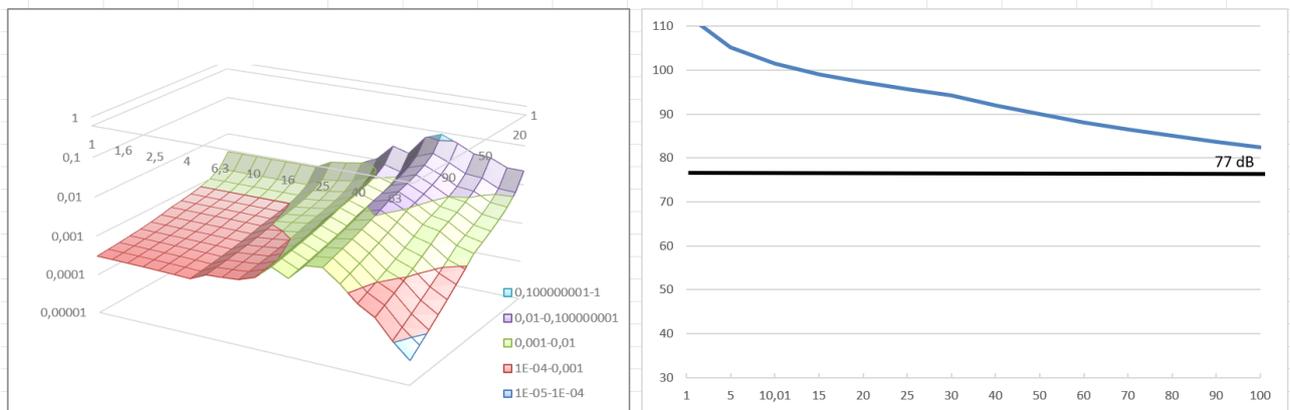


Figura 29 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

### 10.3. 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.

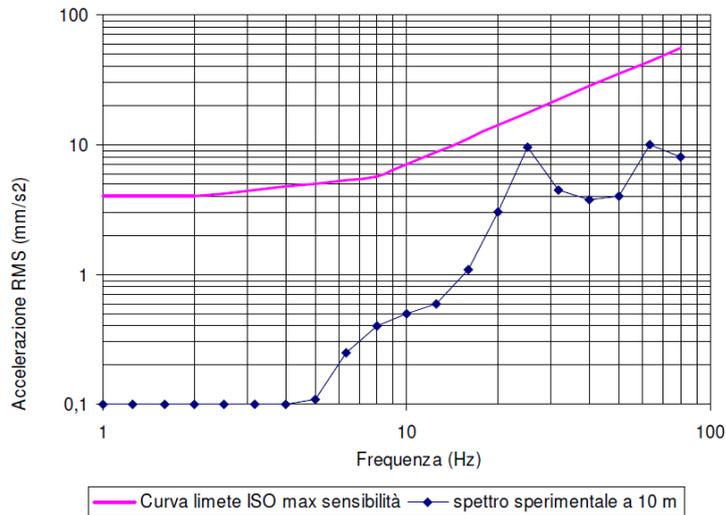


Figura 30 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere

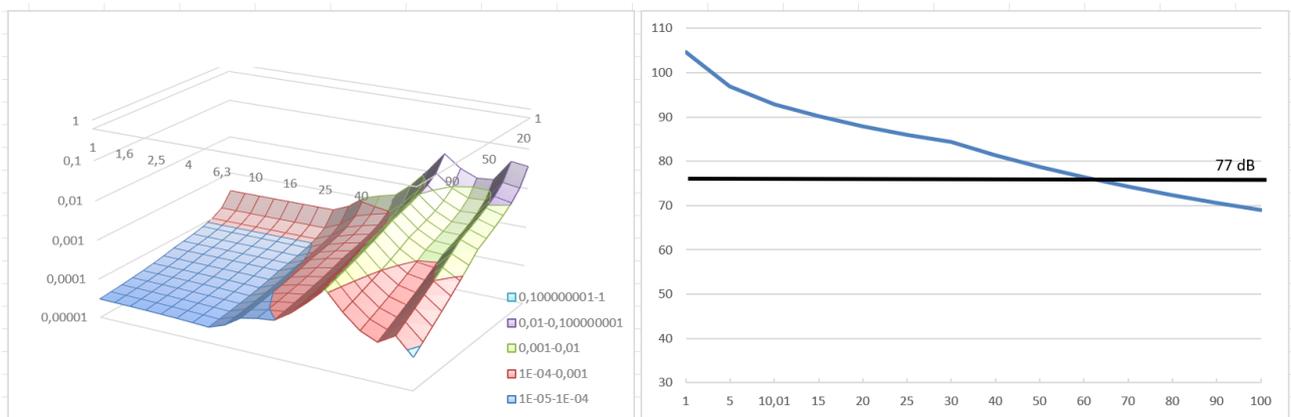


Figura 31 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

#### 10.4. 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.

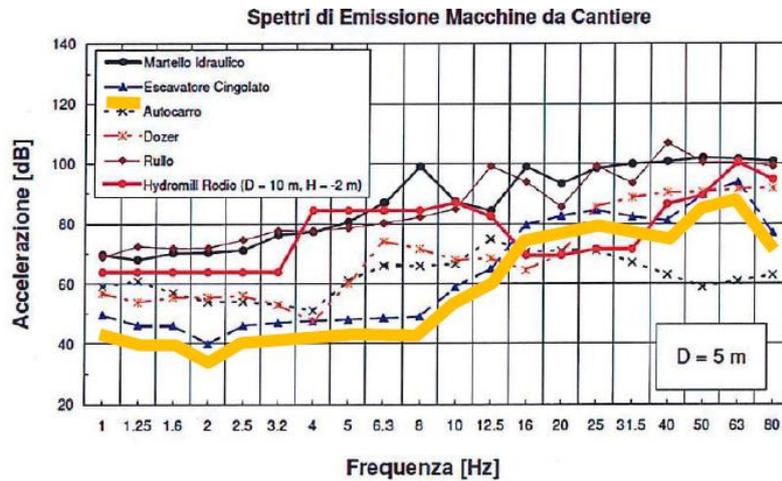


Figura 32 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere

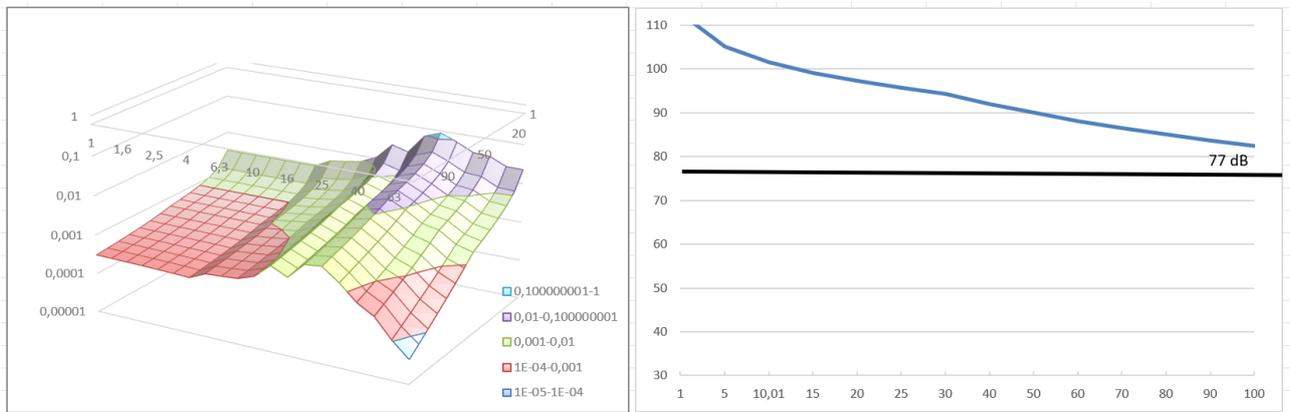


Figura 33 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

### 10.5. 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.

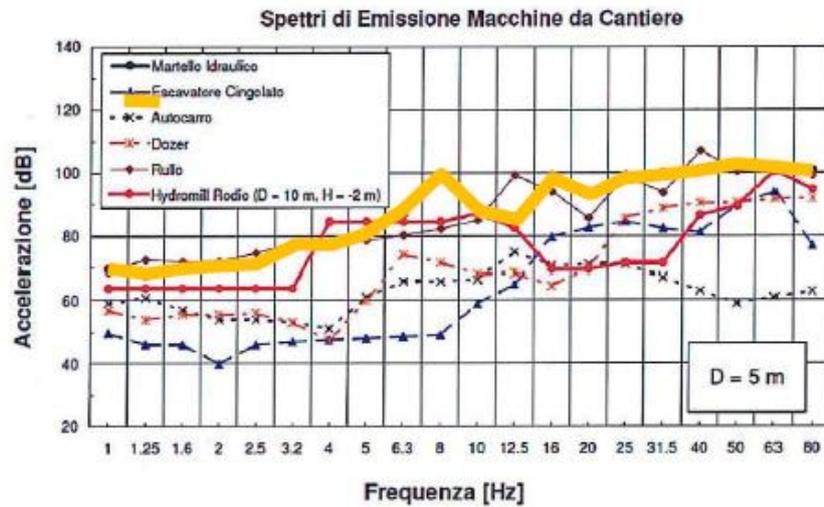


Figura 34 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere

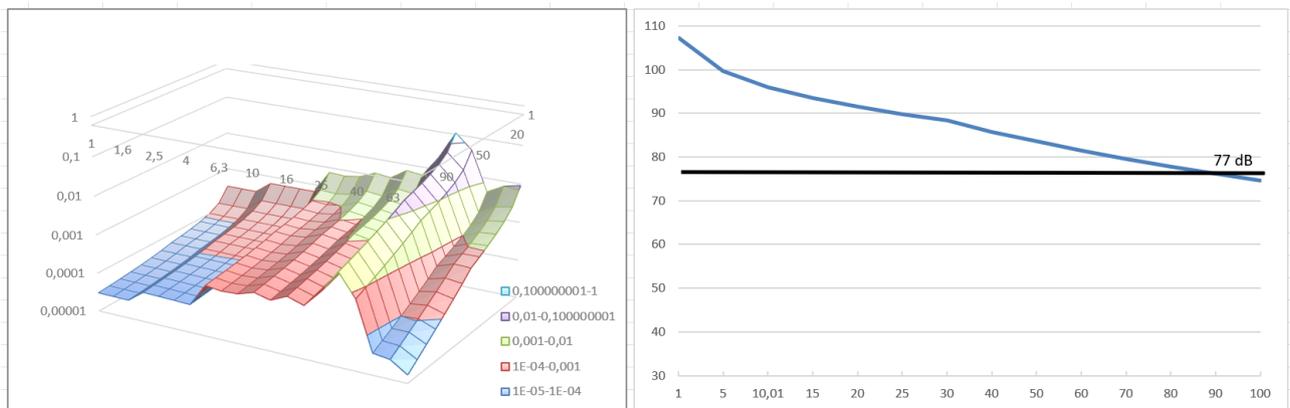


Figura 35 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

## 11. 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 da 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.

### 10.6. 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'obiettivo, per quanto ragionevolmente attuabile in relazione agli obiettivi 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.

## 12. 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  $7,2 \text{ mm/sec}^2$ .

**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 160m (posa dei cavidotti) e i 234m (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 in generale non ricadono recettori sensibili quali abitazioni; tuttavia, 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.