

PARCO EOLICO

COMUNE DI ISILI
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Elaborato:

ELABORAZIONI SIA

Relazione previsionale impatto vibrazioni

Codice elaborato:
IS_SIA_A020

Data: Dicembre 2023

Il committente: Sardeolica s.r.l.

Coordinamento: FAD SYSTEM SRL - Società di ingegneria

Dott. Ing. Ivano Distinto

Dott. Ing. Carlo Foddis

Elaborazione SIA:

BIA s.r.l.

Società di ingegneria

Elaborato a cura di:

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

rev.	data	descrizione revisione	rev.	data	descrizione revisione
00	01/12/2023	Emissione per procedura VIA			

SOMMARIO

SOMMARIO.....	2
1. PREMESSA	5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	6
4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA	12
5. PROPRIETA' MECCANICHE DEI TERRENI	16
5.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO..	16
5.2. Unità tettonica del Gerrei.....	20
5.3. Unità tettonica di Meana Sardo.....	21
5.3.1. Corteo filoniano.....	21
5.4. Successione sedimentaria Mesozoica.....	22
5.5. Successione vulcano-sedimentaria Miocenica	22
5.6. Depositi Quaternari dell'area continentale.....	24
6. CAMPAGNA DI INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	27
6.1. MASW – TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI	28
6.2. Specifiche delle indagini svolte	29
6.3. Caratteristiche della strumentazione impiegata	30
6.4. Elaborazione dei dati.....	30
6.5. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	30
6.6. Risultati delle indagini del sito SMT01-TURBINA IS02	32
6.6.1. SMT01-IS02: MASW M1	32
6.7. Risultati delle indagini del sito SMT04-TURBINA IS07	34
6.7.1. SMT04-IS07: MASW M4	34
6.8. MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	37
6.8.1. Modello Geologico di sito	37
6.8.2. Modello Geologico 01	37
6.8.3. Modello Geologico 02.....	38

6.9.	Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse	39
7.	PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO	40
7.1.	Modello di propagazione dell'onda nel terreno	42
7.2.	Valutazione della propagazione delle vibrazioni	43
8.	SORGENTI DI VIBRAZIONE.....	44
8.1.	Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto	44
8.2.	Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale.....	45
8.3.	Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere	45
8.4.	Scenari di riferimento di cantiere	46
8.1.	Recettori	47
8.2.	Scenari di riferimento di esercizio	48
8.3.	Limiti di riferimento.....	50
9.	SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI	53
9.1.	Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante	53
9.2.	Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata	54
9.3.	Propagazione delle vibrazioni di un autocarro	56
9.4.	Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato.....	57
9.5.	Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico	58
10.	MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI.....	59
9.6.	Criteri di azione e misure di mitigazione	59
11.	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 - sottostazione	11
Figura 7 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 7,2MW.....	13
Figura 8 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	16
Figura 9 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1:50.000 – Foglio 540 "Mandas". Nel riquadro l'area di progetto.....	18
Figura 10 – Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2013. Note Illustrative Foglio CARG Mandas)	18
Figura 11 Formazione di Ussana.....	23
Figura 12 Depositi di versante, ciottoli in Muschelkalk (sx).....	25
Figura 13 Stralcio carta geologica (Fonte RAS).....	26
Figura 14 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	33
Figura 15 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	35
Figura 16 - Curva di ponderazione asse generico	41
Figura 17 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie	41
Figura 18 - rapporto tra le velocità di propagazione Vp e Vr.....	42
Figura 19 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 01-03) - 119m	47
Figura 20 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 02) - 82m.....	48
Figura 21 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza	50
Figura 22 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta	51
Figura 23 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614	51
Figura 24 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014)	53
Figura 25 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere.....	54
Figura 26 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	54
Figura 27 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere.....	55
Figura 28 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	55
Figura 29 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere	56
Figura 30 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	56
Figura 31 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere	57
Figura 32 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	57
Figura 33 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere	58
Figura 34 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 Isili** - 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

Isili si eleva ai margini di un altopiano che si affaccia sulla vallata del Sarcidano, in un paesaggio caratterizzato da estese valli e colline. La superficie pianeggiante, resa fertile da numerosi fiumi e ruscelli, è coltivata soprattutto a cereali e foraggi. Le abbondanti acque del territorio sono imbrigliate dalla diga realizzata nella gola di Is Borrocos (il cui nome è stato erroneamente distorto secondo il lessico campidanese in "Is Barrocos", divenuta poi la denominazione ufficiale dell'invaso), tra il 1985 e il 1991, che, ostruendo il corso del fiume, ha creato un bacino artificiale nel quale spicca un isolotto formatosi per effetto del riempimento dell'invaso, sul quale è presente una vecchia chiesetta (ristrutturata) intitolata a San Sebastiano. Il lago di Is Borrocos viene utilizzato prioritariamente come bacino di acqua potabile e, secondariamente, per la pratica di diverse discipline sportive quali la pesca sportiva, la canoa e le escursioni.

Le pareti ripide o più spesso strapiombanti delle gole che si aprono nel suo territorio, attirano gli appassionati del free climbing. Isili è il capolinea della linea ferroviaria a scartamento ridotto per Cagliari, e della tratta turistica del Trenino Verde per Laconi (sino a poco tempo fa si arrivava sino a Sorgono). Il vecchio percorso della ferrovia che collegava Isili Sarcidano a Villacidro è stato parzialmente trasformato in pista ciclabile panoramica che parte da Isili e raggiunge Barumini.

Nella zona settentrionale del territorio comunale si trova l'area industriale di Perd' e Cuaddu, a nord-est della quale sorgerà l'impianto in progetto, purtroppo mai decollata e oggi in gran parte ricoperta da un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica. Ancora più a nord è presente una Casa di reclusione con circa 650 ha di terreno forestale e porzioni dedicate al pascolo e alla coltivazione, lavorate dai detenuti.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **540 sez. IV** "Isili";
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Foglio: **540020** "Nurallao".

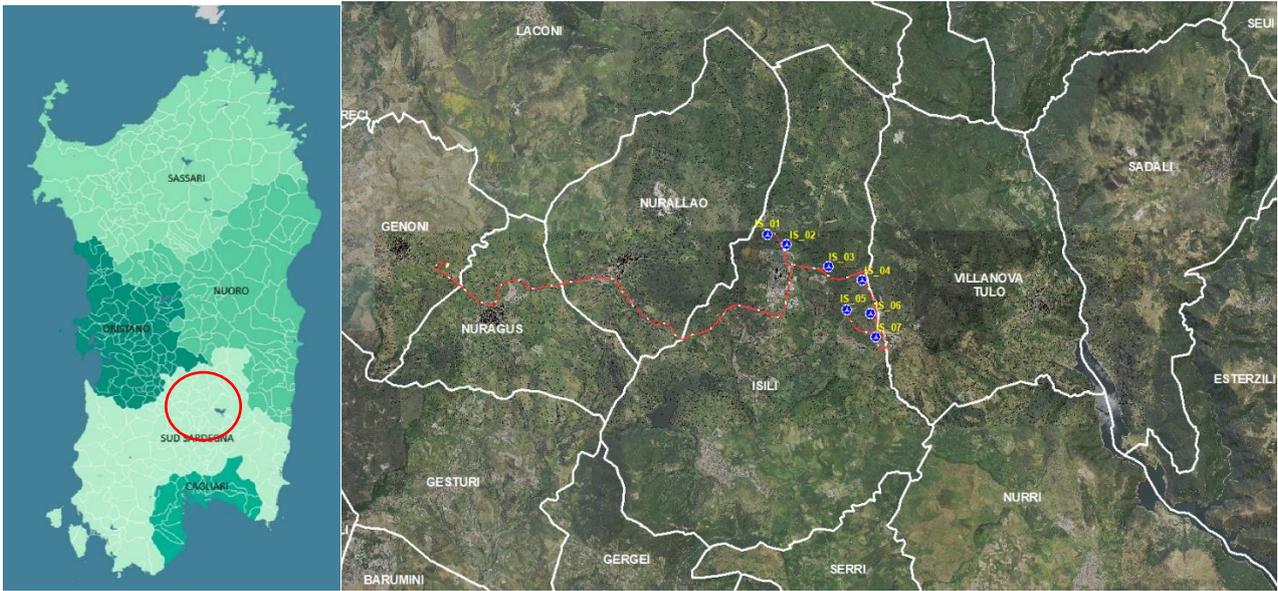


Figura 1 Localizzazione del progetto



Figura 2 Panoramica nei pressi dell'area di studio

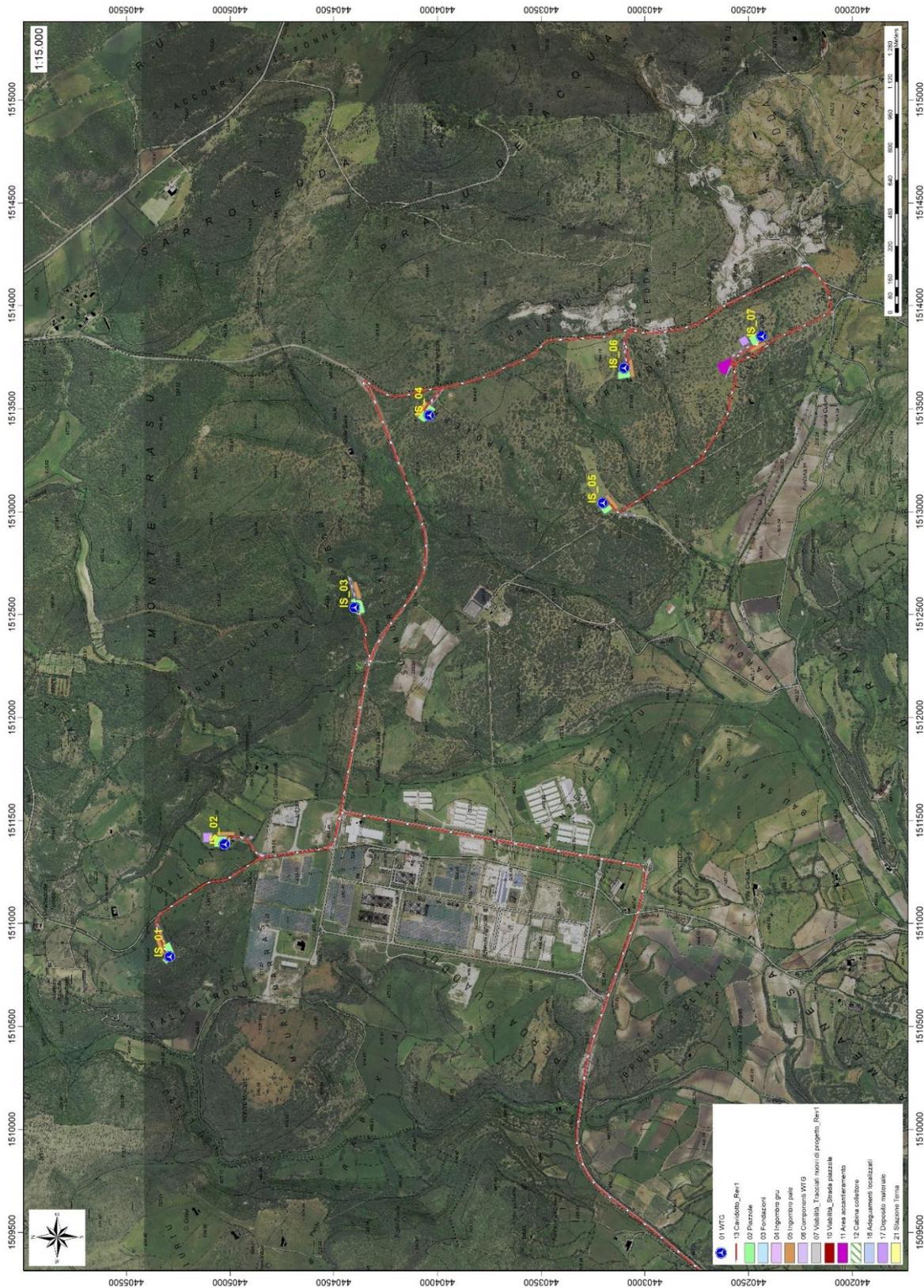


Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

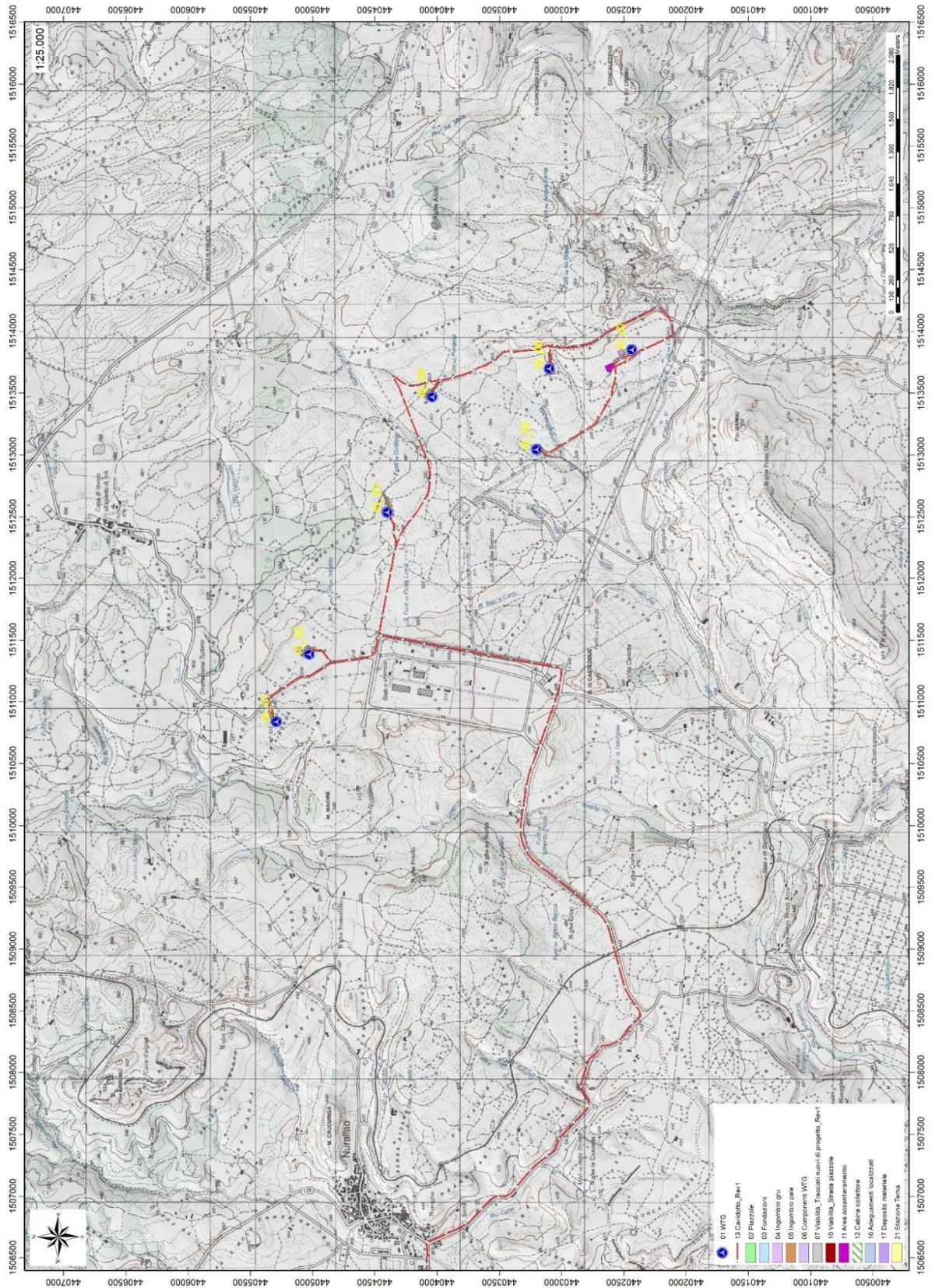


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

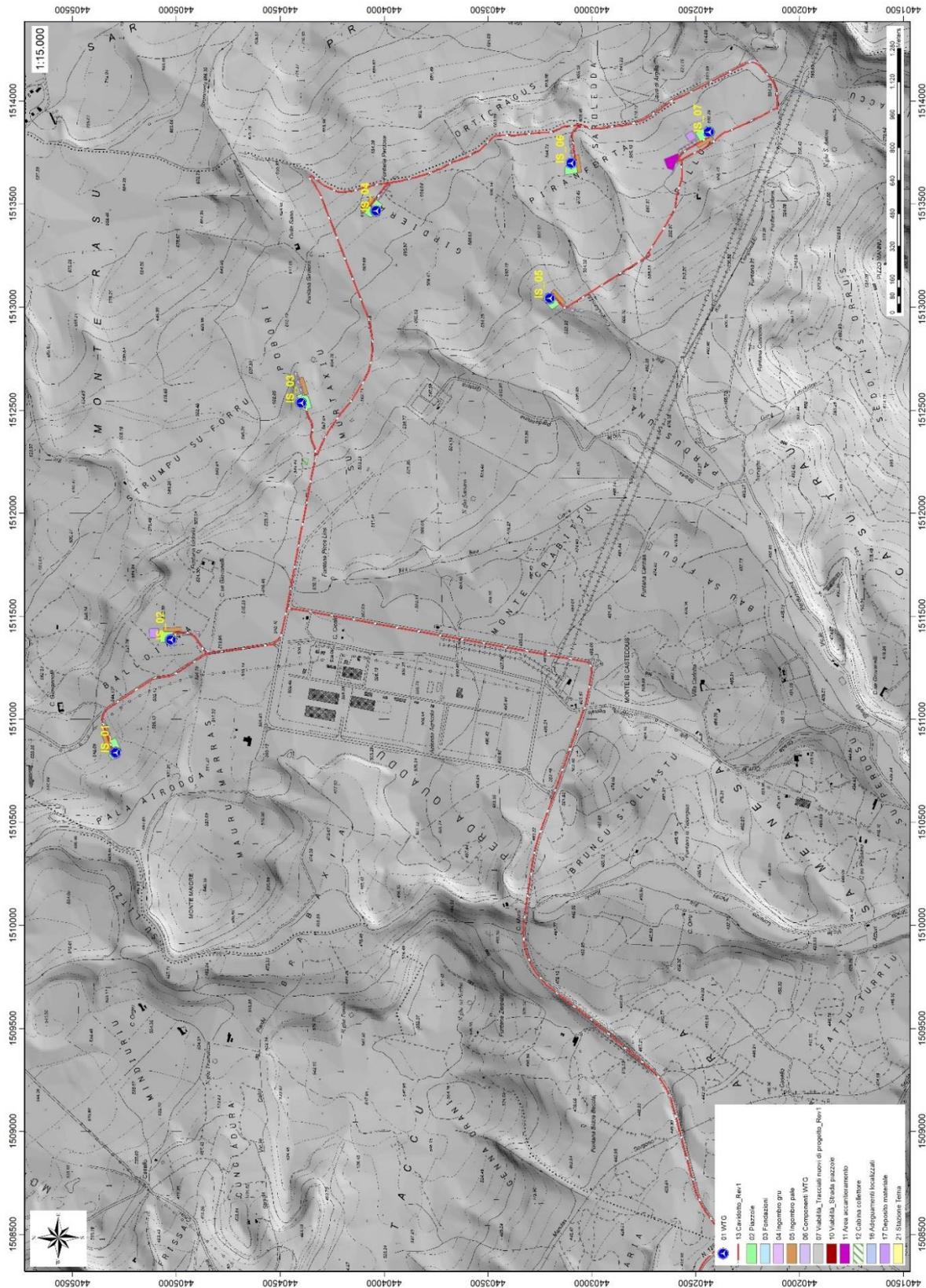


Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Est - impianto

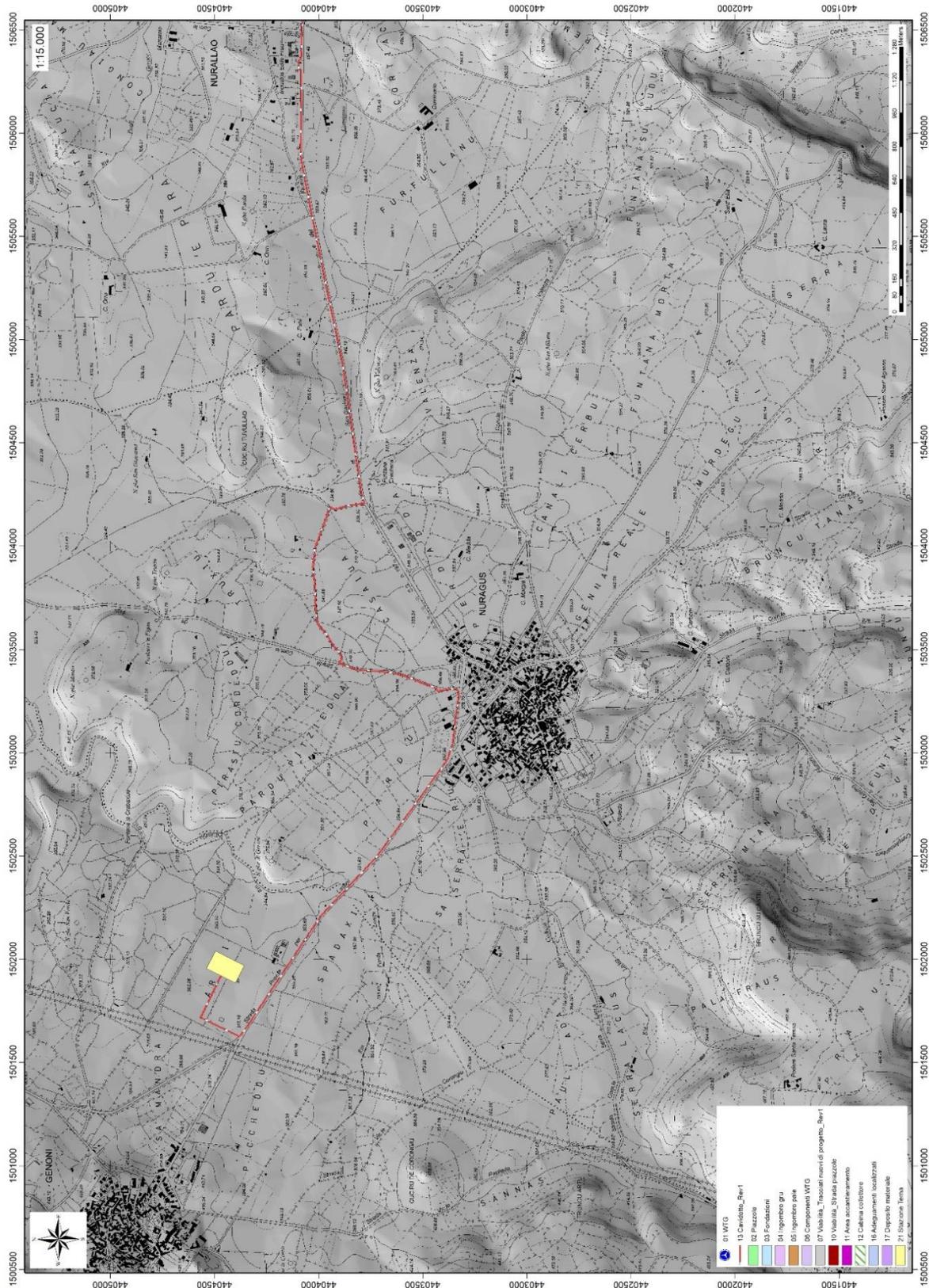


Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore ovest - sottostazione

4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

L'impianto sarà costituito dai 7 aerogeneratori da 7,2 MW ciascuno. L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà convogliata, attraverso una rete a 36 kV realizzata con cavo interrato, alla sezione 36 kV della Stazione di nuova realizzazione del Gestore Della Rete, sita nel comune di Genoni, mediante un collegamento in antenna.

Il Parco eolico 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 medie dimensioni adibiti prevalentemente a pascolo. L'energia prodotta dalla centrale eolica verrà fornita alla rete elettrica nazionale mediante la realizzazione di una connessione a 36 kV alla sezione 36kV della stazione elettrica Terna di nuova realizzazione. Il collegamento elettrico tra gli aerogeneratori e la Cabina Collettore 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.

Il collegamento tra la Cabina Collettore e stazione elettrica Terna sarà realizzato attraverso la costruzione di un raccordo di lunghezza pari a circa 14700 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		
IS_01	1510838,5884	4405292,3730	9° 7'34.70"	39°47'50.83"	545,00	119
IS_02	1511385,4236	4405026,8102	9° 7'57.68"	39°47'42.19"	529,80	119
IS_03	1512535,2218	4404399,9238	9° 8'45.98"	39°47'21.79"	581,00	119
IS_04	1513468,2286	4404039,2015	9° 9'25.19"	39°47'10.04"	616,50	119
IS_05	1513043,2758	4403203,4088	9° 9'7.26"	39°46'42.96"	527,80	119
IS_06	1513698,5387	4403100,2010	9° 9'34.80"	39°46'39.57"	588,00	119
IS_07	1513850,7936	4402437,4188	9° 9'41.15"	39°46'18.07"	584,60	119

Gli aerogeneratori individuati per la realizzazione del parco eolico hanno potenza nominale di 7200 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. IS_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.

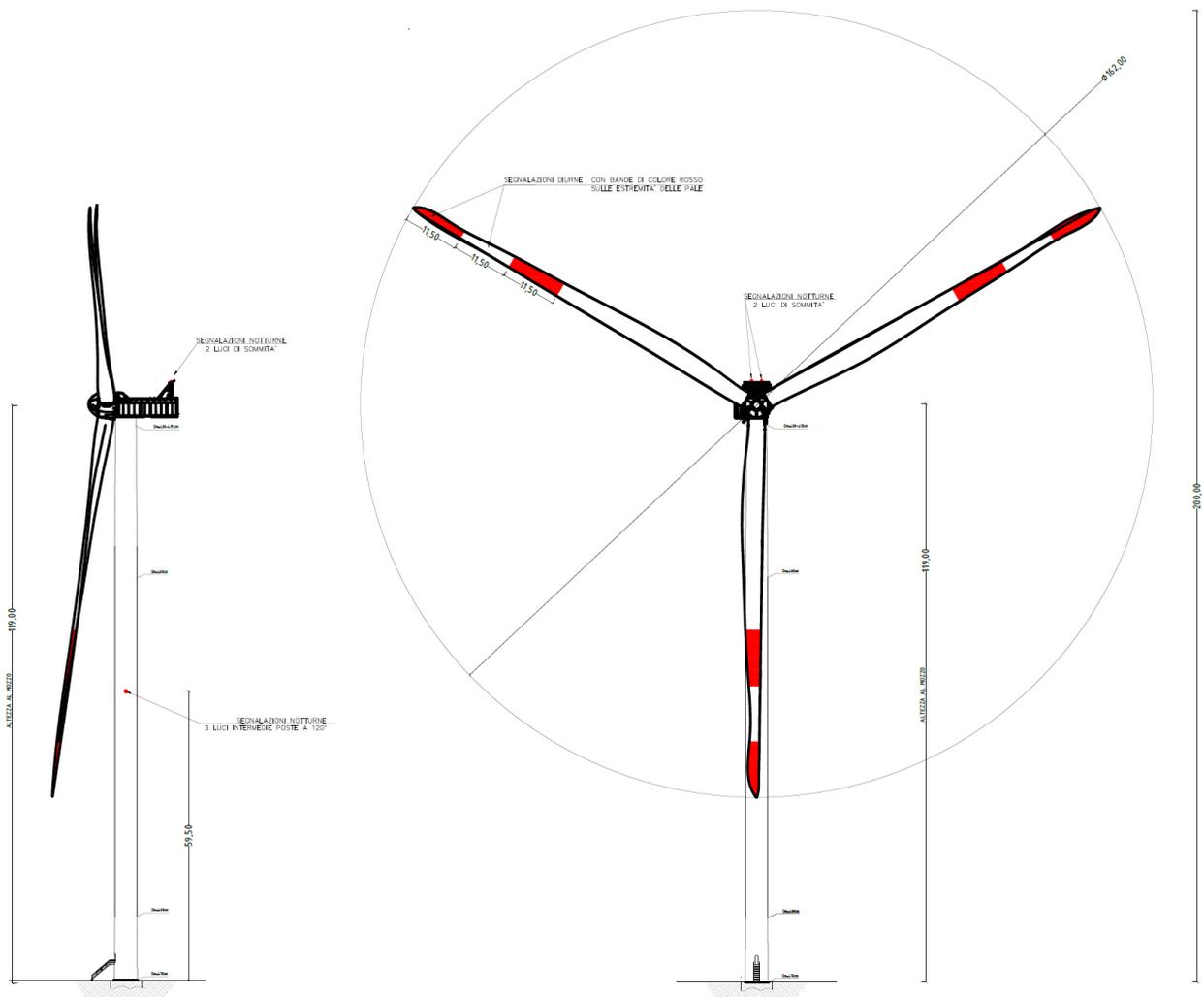


Figura 7 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 7,2MW

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.

DATI TIPOLOGICI E DIMENSIONALI AEROGENERATORI	
NUMERO TOTALE AEROGENERATORI IN PROGETTO	7
POTENZA GENERATORE	7200 KW
ALTEZZA MASSIMA HUB	119 m
DIAMETRO ROTORE	162 m
ALTEZZA MASSIMA RAGGIUNGIBILE	200 m
AREA SPAZZATA DAL ROTORE	20611 mq
NUMERO PALE	3
LUNGHEZZA PALE	79,35 m

Dati tecnici:

- Dati tecnici:
- Potenza nominale: 7200 kW e tensione nominale di 800 volt;
- Potenza unitaria generatore: 7600 kW;
- Frequenza: 0 – 126 Hz;
- Numero pale: 3;
- Lunghezza pale: 79,35 m;
- Raggio del rotore: 81 m;
- Area spazzata: 20611 m²;
- 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 m² (variabile da 3300 a 4133 m²);
- Superficie impronta fondazione 530,93 m²;
- Ingombro scavo fondazione: circa 849,09 m².

La realizzazione della cabina collettore è prevista lungo la strada comunale in località "Perde Quaddu" vicino all'aerogeneratore IS_03, per accedere alla cabina occorre imboccare dalla SP52 la strada in località "Perde Quaddu" percorrere per circa 4.0 km direzione area industriale di Isili sino al raggiungimento della strada in adeguamento denominata in progetto "Stradello CAB_COL_A.

L'area della cabina si colloca ad una quota di 550,50 m s.l.m, il piazzale ospitante la cabina collettore avrà una superficie sistemata in piano di 770 mq, l'area delimitata da apposita perimetrazione avrà una superficie inferiore pari a di 750 mq.

Per il collegamento di tutti i 7 aerogeneratori e per la connessione alla sottostazione sarà necessario realizzare circa 23 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 Esterne del basamento varisico sardo; principalmente è costituita dalle metamorfite di basso grado, appartenenti all'Unità Tettonica del Gerrei, dalle metamorfite dell'Unità tettonica di Meana Sardo e da quelle dell'unità di Riu Gruppa, dalle coperture

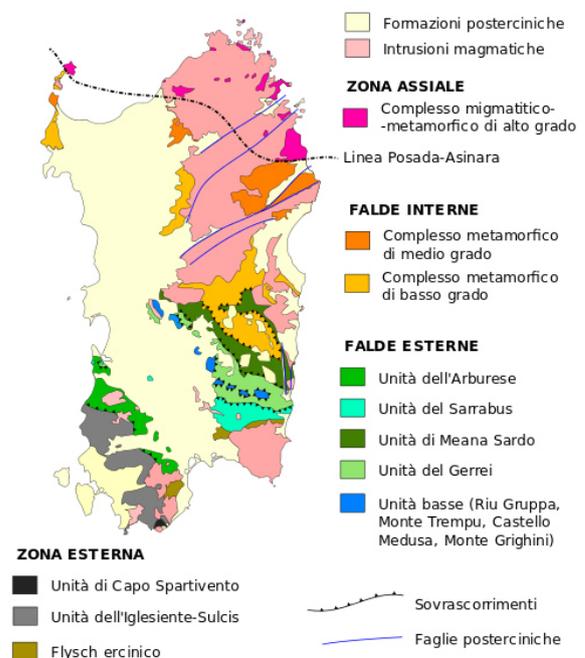


Figura 8 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

sedimentarie eoceniche, dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari.

Le Unità Tettoniche affioranti sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore.

L'impilamento tettonico delle Falde esterne, nell'area di studio, vede alla base L'Unità tettonica di Riu Gruppa, su cui sovrascorre l'Unità del Gerrei a sua volta sovrascorsa dall'Unità di Meana Sardo. Queste tre unità tettoniche sono caratterizzate da significative differenze nella successione stratigrafica, soprattutto nella successione vulcanica dell'Ordoviciano medio.

L'Unità tettonica del Gerrei è divisa in due sottounità: la Sottounità di Arcu de su Bentu e la Sottounità di M. Lora. Le due sottounità si caratterizzano per la presenza dei Porfiroidi nella sottounità di Arcu de su Bentu e delle Vulcaniti di Monte Santa Vittoria in quella di Monte Lora.

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.

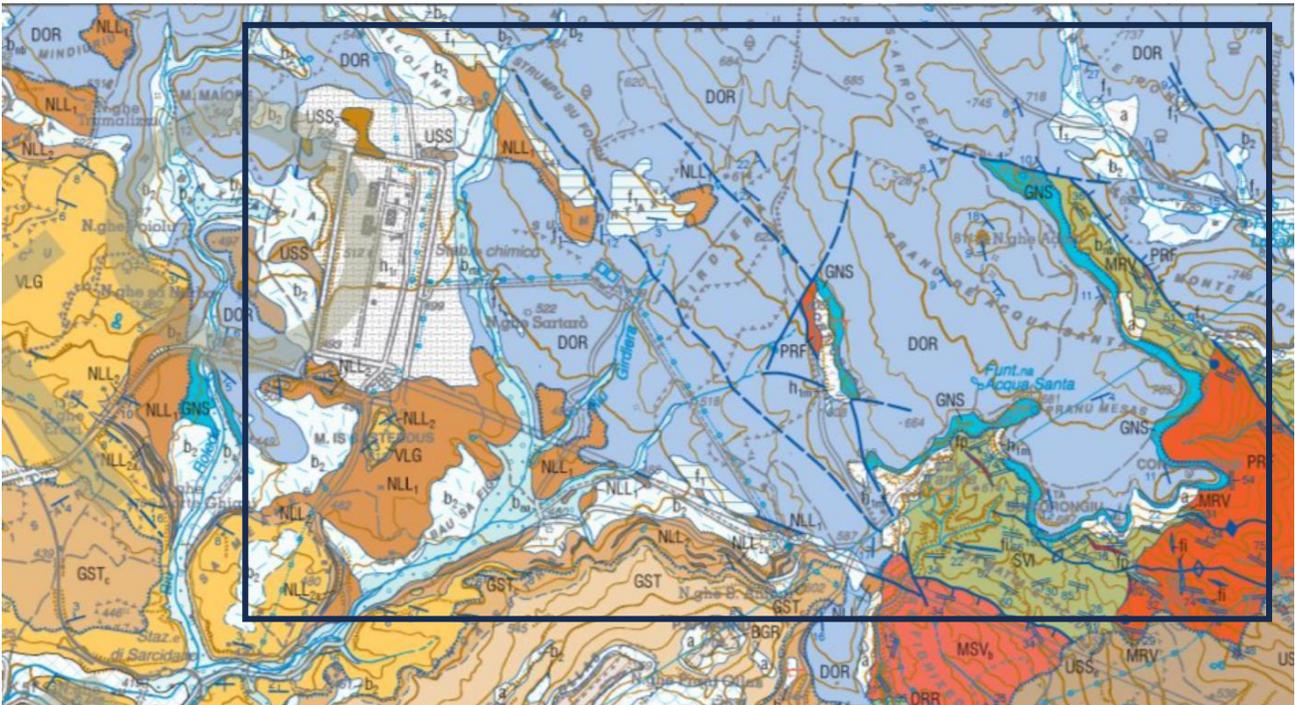


Figura 9 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1:50.000 – Foglio 540 "Mandas". Nel riquadro l'area di progetto

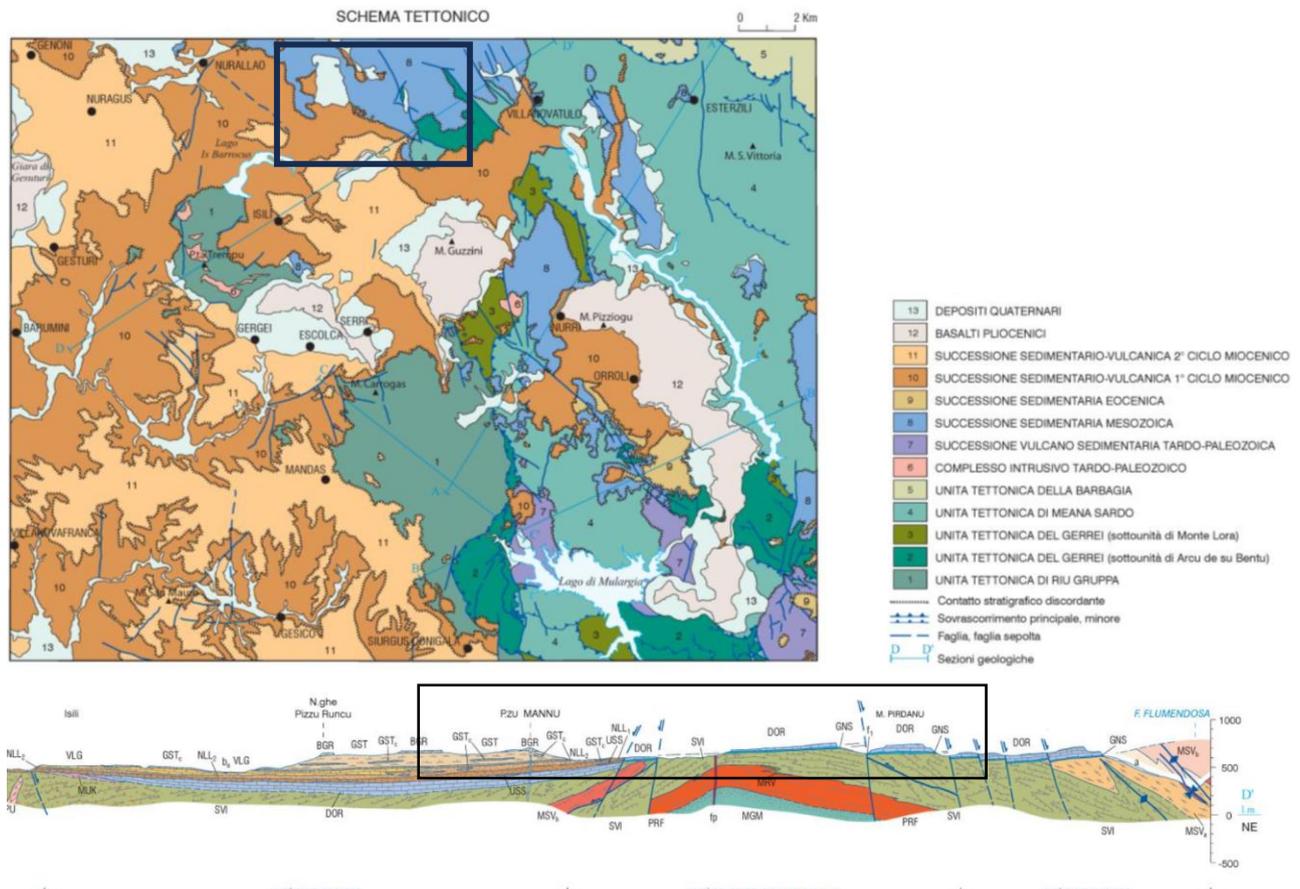


Figura 10 – Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2013. Note Illustrative Foglio CARG Mandas)

L'ossatura geologica del territorio di Isili è quindi rappresentata dalle litologie metamorfiche paleozoiche che affiorano sia nel settore Nord che sud del territorio. Tutto il settore centrale del territorio è invece occupato dai depositi sedimentari mesozoici e terziari a cui si sovrappongono prodotti vulcanici delle Giare e tutti i depositi quaternari dei fondi valle (depositi alluvionali) e delle pendici (corpi di frana antichi, depositi detritici, pluvio colluviali) derivati dall'erosione dei rilievi e che si sono depositati nella piana antistante. E proprio nel settore centrale si configura l'area in cui sorgerà l'impianto proposto. Nello specifico, la successione litologica riscontrata nel territorio e uniformata con la nomenclatura ufficiale, può essere così riassunta come segue, dal più recente al più antico:

Depositi quaternari dell'area continentale

- **h1m**, Depositi antropici - Discariche minerarie, Olocene
- **b2**, Coltri pluvio colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti arricchiti in frazione organica, Olocene
- **ba**, Unità: Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE,
- **baa**, Unità: Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. Olocene
- **bnb**, Unità: Depositi alluvionali terrazzati. sabbie, Olocene
- **f1**, Unità: Travertini, depositi carbonatici travertinosi, ben cementati, fitoermali, fitostromali e fitoclastici con tracce di resti vegetali e gusci di gasteropodi, Olocene
- **PVM2a**, Unità: Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie, Pleistocene sup.

Successioni vulcano sedimentarie oligo - mioceniche

- **GSTc**, Unità: Litofacies nelle Marne di Gesturi. Generalmente alla base della Formazione, arenarie grossolane e conglomerati. Burdigaliano sup. – Langhiano Medio
- **VLG**, Unità: Calcari di Villagreca. Calcari bioclastici e biocostruiti (Bioerme a coralli e briozoi e biostromi ad alghe e molluschi). Aquitaniano inf.
- **NLL2**, Unità: Arenarie di Serra Longa (Formazione di Nurallao). Arenarie da grossolane a microconglomeratiche, con intercalazioni di arenarie silteose. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **NLL2a**, Unità: Litofacies nelle Arenarie di Serra Longa (Formazione di Nurallao). Bancate metriche di arenarie fossilifere e biocalcareniti. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **NLL1**, Unità: Conglomerato di Duidduru (Formazione di Nurallao). Conglomerati poligenici eterometrici e sabbie con locali livelli di biocalcareniti, talora con componente vulcanica. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **USS**, Unità: Formazione di Ussana. Conglomerati e breccie grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligomioceniche e livelli

argilloso – arenacei rossastri talora prevalenti nella base e rari lenti carbonatiche intercalate. Oligocene sup.- Aquitaniano inf.

Successioni sedimentarie mesozoiche e tardo paleozoiche

- **DOR**, Unità: Formazione di Dorgali. Dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici da litorali a circalitorali con foraminiferi e alghe calcaree. Dogger - Malm.
- **GNS**, Unità: Formazione di Genna Selole. Conglomerati quarzosi molto maturi, con alla base livelli carboniosi e argille. Dogger.

Basamento metamorfico paleozoico

- **SVI**, Unità: Arenarie di San Vito (Unità tettonica di Meana Sardo). Alternanze irregolari da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta. Cambiano medio – Ordoviciano Inf.
- **PRF**, Unità: Porfiroidi auct. Metarioliti e metariodaciti con struttura occhiatina, metaepiclastiti. Ordoviciano ? medio.
- **SVI**, Unità: Arenarie di San Vito (Unità Tettonica del Gerrei). Alternanze irregolari di metaquarzoareniti, metarenarie micacee e metapeliti. Livelli di metaconglomerati minuti quarzosi e rari livelli carbonatici intercalati nella parte alta. Cambiano medio – Ordoviciano Inf.

5.2. UNITÀ TETTONICA DEL GERREI

Questa unità tettonica è divisa in due sottounità: la Sottounità di M. Lora e la Sottounità di Arcu de su Bentu, geometricamente inferiore alla precedente. Le modeste differenze tra le successioni di queste due sottounità riguardano i sedimenti dell'Ordoviciano superiore e il complesso vulcano-sedimentario dell'Ordoviciano medio, che risulta costituito da metaepiclastiti, metandesiti e porfiroidi nella sottounità di Monte Lora, e da porfiroidi in quella di Arcu de su Bentu. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostratigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

(SVI) Arenarie di San Vito: questa formazione, che affiora a S e a O dell'abitato di Orroli, è costituita da metaquarzoareniti e, più raramente, metarenarie feldspatiche, di color grigio chiaro, grigio-verdastro o nocciola chiaro. Si tratta di rocce a granulometria fine, ben selezionate, in strati molto sottili o medi, raramente metrici, ricche in miche detritiche e matrice cloritico-sericitica, e una componente litica rappresentata da frammenti di metamorfiti. Le metarenarie formano regolari alternanze, da centimetriche a metriche, con metasiltiti e metapeliti grigio-verdastre e raramente metapeliti scure. Localmente affiorano metaquarzoareniti grigio-chiare, massive, in bancate di alcuni metri di spessore. Lo spessore delle Arenarie di San Vito nell'Unità tettonica del Gerrei è

difficilmente valutabile a causa delle intense strutture plicative isoclinali e del contatto di base sempre tettonico. A causa dell'intensa deformazione, le strutture riconoscibili sono costituite quasi sempre dalla foliazione. L'età della formazione è riferita al Cambriano medio- Ordoviciano inferiore sulla base di associazioni ad acritarchi riconosciuti in altre aree.

(PRF) Profiroidi Auct.. queste metavulcaniti caratterizzano l'unità tettonica del Gerrei. Si tratta di originari tufi ed ignimbriti a composizione riolitica e riodacitica, con struttura marcatamente occhiadina conferita da porfidoclasti di K-feldspato, plagioclasio e quarzo con dimensioni in genere di 0,5-1cm in una massa di fondo sericitico-cloritica. Si presentano in giacitura massiva, con colori variabili dal verdastro al giallo al rosa chiaro secondo il tipo d'alterazione. Questa formazione è attribuita all'Ordoviciano medio.

5.3. UNITÀ TETTONICA DI MEANA SARDO

Affiora nella parte sud-orientale dell'area di studio e si trova in contatto tettonico con la sottostante unità tettonica del Gerrei. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostratigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

(SVI) Arenarie di San Vito: questa formazione è costituita da metarenarie fini di colore grigio-verde oliva, metasiltiti, quarziti e metargilliti, e un livello di metaconglomerati a elementi di quarzo e metarenarie in matrice filladica intercalati nella parte mediana della successione. La parte alta della formazione è caratterizzata da livelli da centimetrici a decimetrici di metapeliti varicolori da grigio a viola scuro, ed è ricoperta in discordanza dal metaconglomerato di Muravera o direttamente dalla Formazione di Monte Santa Vittoria. La base della formazione invece non è mai esposta, in quanto è tagliata dal contatto basale tettonico con la sottostante unità del Gerrei. Lo spessore della formazione, seppur interessata da diversi raddoppi tettonici, è superiore ai 100 m. L'età della successione è attribuita al Cambriano medio – Ordoviciano inferiore, sulla base dei fossili di acritarchi rinvenuti.

5.3.1. CORTEO FILONIANO.

(fp) Filoni ed ammassi di porfidi granitici: sono costituiti da filoni con spessori generalmente non superiori a qualche decina di metri; e dimensioni variabili tra qualche metro e parecchie centinaia di metri, orientati secondo direzioni N-S e NNW-SSE.

Presentano struttura isotropa porfirica per presenza di fenocristalli di K-feldspato, quarzo e rare biotite e muscovite, immersi in una massa di fondo granofirica. L'età è riferibile al Carbonifero superiore - Permiano.

5.4. SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MESOZOICA

La successione sedimentaria mesozoica è costituita da due sintemi separati da una discordanza: il sintema triassico, che include depositi continentali (Buntsandstein Auct.) e calcari neritici (Muschelkalk Auct.), e quello giurassico che comprende sedimenti fluviali e transizionali (Formazione di Genna Selole), e calcari dolomitici di piattaforma neritica (formazione di Dorgali).

(GNS) Formazione di Genna Selole: questa formazione, di esiguo spessore (0 – 30 m), è costituita da conglomerati monogenici quarzosi, con intercalazioni di quarzoareniti biancastre e argille bianche o grigio-chiare caolinitiche, a clasti ben arrotondati del basamento (quarzo, liditi, porfidi, quarziti, ecc...), con strutture sedimentarie. Sono spesso associate argille grigie o bianche, con rari livelli di conglomerati monogenici quarzosi e frammenti di lignite nera. Il contatto inferiore è sempre discordante, mentre quello superiore è concordante con i calcari della formazione di Dorgali soprastante. Nelle frazioni silteose e argillose sono conservati i resti vegetali e pirite, e alla base del conglomerato affiorano paleosuoli ricchi in ossidi e idrossidi di ferro. Sulla base delle paleoflore l'età attribuita alla formazione è il Giurassico medio (Dogger).

(DOR) Formazione di Dorgali: è costituita da depositi tabulari suborizzontali o debolmente inclinati che formano degli altipiani detti "Tacchi". La parte basale è formata da calcari marnosi e marne giallastro-grigie, con locali intercalazioni arenacee e siltitico-argillitiche grigio-verdastre, seguiti da dolomie e calcari dolomitici da biancastri fino a nocciola o rossastri, fossiliferi, in banchi decimetrici o metrici. La formazione, che presenta uno spessore massimo di 50 m, ricopre in discordanza quella di Genna Selole, mentre il limite superiore è sempre erosivo con le successioni soprastanti (formazioni di Ussana, Nurallao e basalti delle Giare). In base all'associazione fossilifera (gasteropodi, ostracodi, lamellibranchi e brachiopodi), la formazione viene riferita al Giurassico medio-superiore (Dogger – Malm). **Questa litologia è la maggiormente rappresentata e substrato di appoggio di tutte le turbine.**

5.5. SUCCESSIONE VULCANO-SEDIMENTARIA MIOCENICA

(USS) Formazione di Ussana: affiora nella parte centro-occidentale dell'area vasta. La formazione è costituita da conglomerati clasto-sostenuti, fortemente eterometrici e poligenici, e da arenarie poco classate organizzate in banchi grossolani, con sporadici livelli argillosi, e intercalazioni di livelli discontinui di piroclastiti e arenarie vulcanoclastiche (USSe), travertini (USSf) e calcari lacustri (USSg).

La frazione conglomeratica è prevalente, e presenta clasti elaborati di dolomie e calcari mesozoici ed eocenici e arenarie eoceniche, e rari clasti del basamento paleozoico, con scarsa matrice sabbiosa o argillosa e buon grado di compattazione. Il contatto di base è discordante sul basamento paleozoico, sui depositi mesozoici e eocenici, mentre il contatto superiore con la formazione di Nurallao è graduale. La formazione presenta spessore variabile da pochi metri a 150 m, e contiene diverse associazioni fossilifere che permettono di riferirla all'Oligocene superiore – Miocene inferiore (Aquitaniense inferiore).



Figura 11 Formazione di Ussana

(NLL) Formazione di Nurallao: è composta da un membro basale fossilifero noto come "conglomerato di Duiduru" (NLL1) di spessore variabile tra 0 e 30 m, costituito da depositi conglomeratici eterometrici a ciottoli e blocchi di tutte le formazioni precedenti, organizzati in livelli decimetrici alternati a livelli di arenarie grossolane stratificate e con differente grado di cementazione.

Il membro sommitale della formazione è rappresentato dalle arenarie di Serra Longa (NLL2), costituite da arenarie e conglomerati minuti con stratificazione parallela e incrociata, che passano lateralmente e verso l'alto ad arenarie grossolane a cemento carbonatico. Le arenarie costituiscono grossi banchi, e sono composte da elementi moderatamente selezionati di quarzo e feldspati, grano-sostenuti, intercalate a livelli conglomeratici decimetrici, e areniti e ruditi bioclastiche in strati spessi da 1 a 10 m. Lo spessore del membro varia da pochi metri fino a superare 100 m. Per il ricco

contenuto fossilifero (turritellidi, coralli, foraminiferi, ostreidi, pettinidi, echinidi, ecc...) la formazione è datata Oligocene superiore – Burdigaliano inferiore.

(GST) Marne di Gesturi: è costituita da una successione prevalentemente marnoso-arenacea (GST), al cui interno sono distinti: conglomerati basali e sabbie di ambiente transizionale (GSTc), banchi di calcareniti ad alghe (Lithothamnium) (GSTb), e, nella parte superiore, livelli piroclastici e tufiti (GSTa). Sebbene questa formazione possa raggiungere spessori superiori ai 200 m, nell'area di studio i conglomerati basali non eccedono il metro, mentre i banchi di calcareniti presentano uno spessore costante di 3 m e una continuità laterale notevole, e i livelli tufitici raggiungono spessori massimi di 20 m.

Le Marne di Gesturi poggiano in discordanza sulle sottostanti formazioni del I ciclo miocenico o direttamente sul basamento paleozoico, e il tetto è sempre eroso. Per via dell'abbondante contenuto in foraminiferi, ostracodi, pteropodi, bivalvi ed echinidi, l'età attribuita a tali depositi è Burdigaliano superiore – Langhiano medio.

VLG – Calcari di Villagrecia. Questa successione carbonatica è nota in letteratura come "Calcari di Isili". La formazione affiora con notevoli spessori sul fianco orientale di P.ta Trempu e nell'area tra questo rilievo e Nurallao. Alla base, spesso in concordanza con il membro del conglomerato di Duidduru, compaiono notevoli spessori di calcaridetratici (rudstone), biocalciruditi e biocalcareniti (wackestone/packstone) che nell'evoluzione delle scogliere carbonatiche rappresentano lo stadio di stabilizzazione e si generano per fenomeni di disintegrazione meccanica contemporanei all'evoluzione della biocostruzione. Hanno frequente aspetto nodulare e talvolta massivo, organizzati in strati di circa 40cm di spessore. Ad essi seguono livelli biocostruiti da centimetrici a decimetrici, con una impalcatura costituita generalmente da colonie di coralli che rappresentano lo stadio iniziale della colonizzazione.

5.6. DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

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

(bna) Depositi alluvionali terrazzati: si tratta di sedimenti alluvionali a tessitura grossolana, come sabbie grossolane e ghiaie. I depositi difficilmente raggiungono spessori superiori ai 5 m, di ambiente di conoide o piana alluvionale e situati in prossimità dei corsi d'acqua. Sono strettamente correlati

ad un reticolo idrografico molto simile a quello attuale di cui costituiscono i letti di piena straordinaria o le piane alluvionali. Olocene.

(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.

(b) Depositi alluvionali: Si tratta di materiali che si rinvergono nei letti dei fiumi attualmente soggetti a processi di erosione, trasporto e rideposizione periodica. Sono costituiti da ghiaie poligeniche eterometriche, talora in matrice sabbiosa con lenti sabbiose e sabbioso-ghiaiose poco continue. Sono tipici sedimenti di barra, sia longitudinale che laterale o mediana, non cementati. Olocene.



Figura 12 Depositi di versante, ciottoli in Muschelkalk (sx)

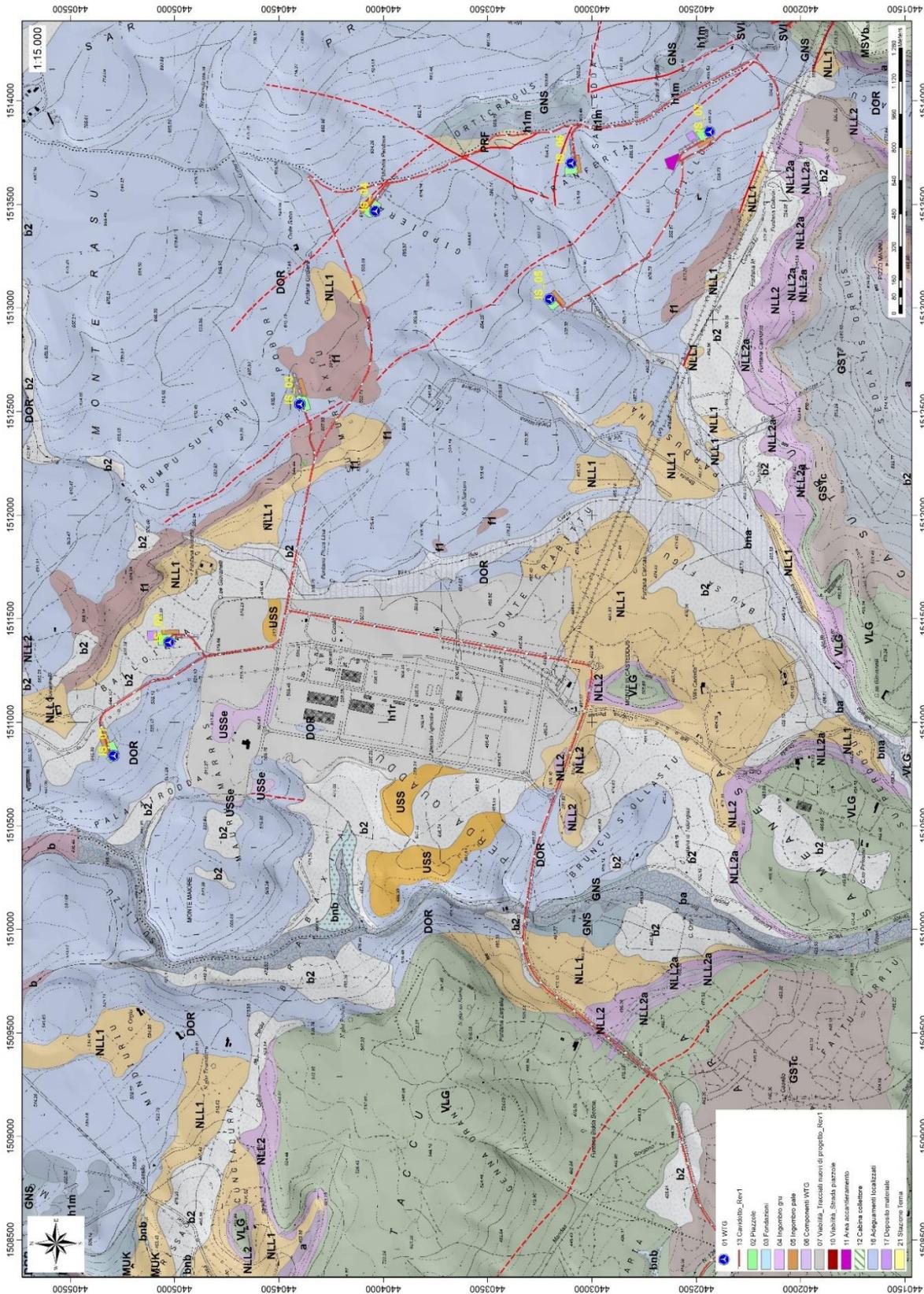


Figura 13 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

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 e tomografia elettrica**. 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/ Picchetti	Interdistanza	Lunghezza(m)
R/M 1 (SMT01)	Rifrazione/Masw	SO-NE	24	3,0	69,0
R2 (ST02)	Rifrazione	SSE-NNO	24	3,0	69,0
R3 (ST03)	Rifrazione	ONO-ESE	24	3,0	69,0
R/M 4 (SMT04)	Rifrazione/Masw	NNO-SSE	24	3,0	69,0
T1 (SMT01)	Tomografia Elettrica	SO-NE	32	3,0	93,0
T2 (ST02)	Tomografia Elettrica	SSE-NNO	32	3,0	93,0
T3 (ST03)	Tomografia Elettrica	ONO-ESE	32	3,0	93,0
T4 (SMT04)	Tomografia Elettrica	NNO-SSE	32	3,0	93,0

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.

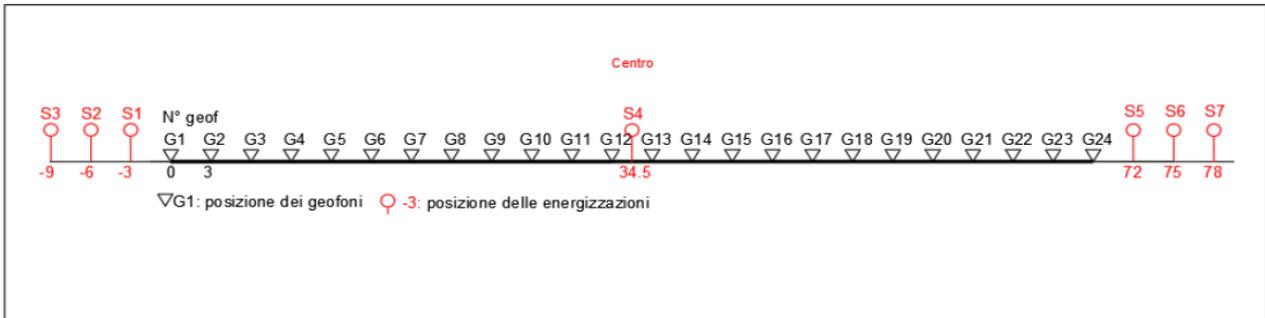
Profondità di indagine

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.

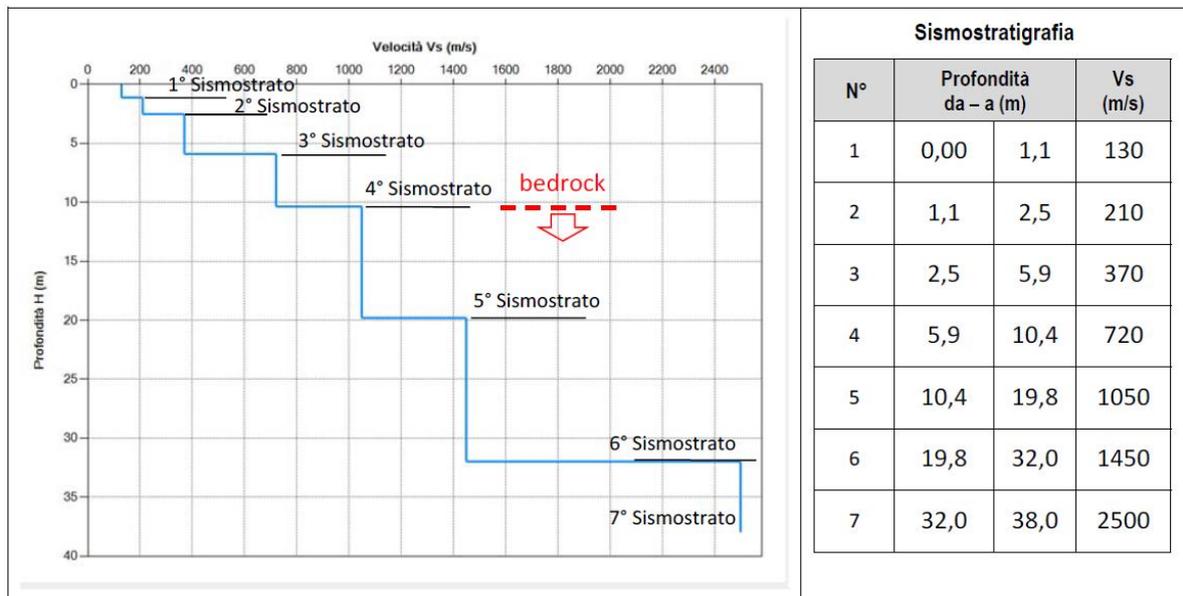
6.6. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SMT01-TURBINA IS02

6.6.1. SMT01-IS02: 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
0,0-1,1	1° sismostrato con Vs di 130 m/s , Terre poco addensate
1,1-2,5	2° sismostrato con Vs di 210 m/s , Terre mediamente addensate
2,5-5,9	3° sismostrato con Vs di 370 m/s , Terre addensate
5,9-10,4	4° sismostrato con Vs di 720 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
10,4-19,8	5° sismostrato con Vs di 1050 m/s , Substrato roccioso fratturato
19,8-32,0	6° sismostrato con Vs di 1450 m/s , Substrato roccioso da fratturato a sano
32,0-38,0	7° sismostrato con Vs di 2500 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs



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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **10,4 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,4 m** di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 10,4 / 0,0305 = 340,23$ m/s che dà luogo ad una categoria E, ossia:

Categoria E: terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-1,1	terre	1.800	260	130	0,33	78	10	29	78
2	1,1-2,5	terre	2.000	420	210	0,33	235	28	88	235
3	2,5-5,9	terre	2.100	740	370	0,33	765	92	284	765
4	5,9-10,4	12%	2.200	1.440	720	0,33	3.040	365	1.138	3.040
5	10,4-19,8	15%	2.350	2.100	1050	0,33	6.914	1.037	2.589	6.914
6	19,8-32,0	22%	2.400	2.900	1450	0,33	13.455	2.960	5.051	13.455
7	>32,0	25%	2.450	5.000	2500	0,33	40.836	10.209	15.308	40.836

Figura 14 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

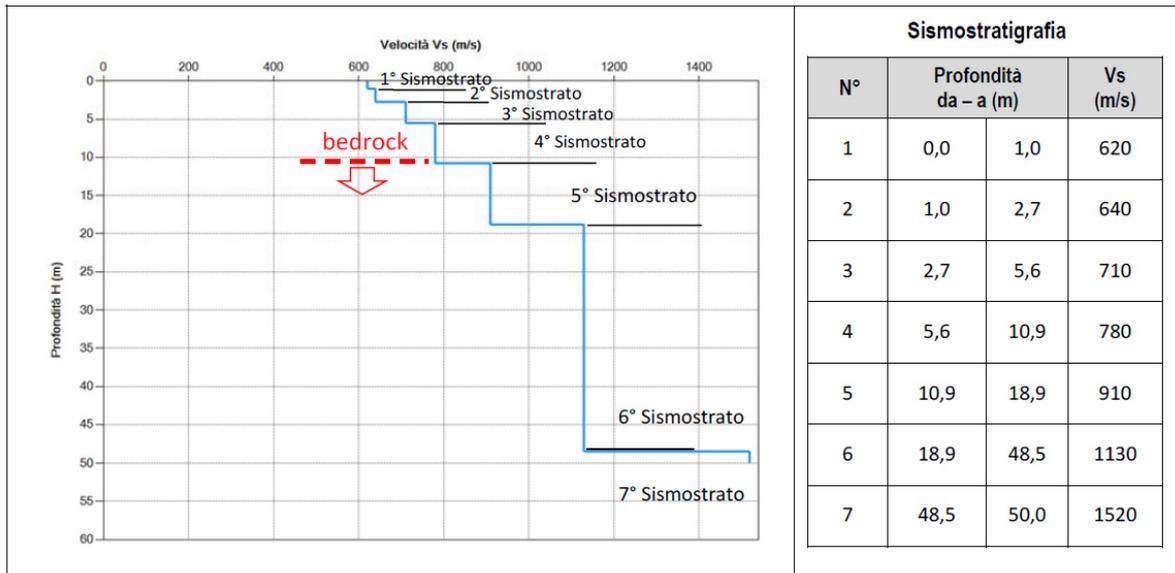
6.7. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SMT04-TURBINA IS07

6.7.1. SMT04-IS07: MASW M4

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

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0-1,0	1° sismostrato con Vs di 620 m/s , Terre addensate
1,0-2,7	2° sismostrato con Vs di 640 m/s , Terre mediamente addensate
2,7-5,6	3° sismostrato con Vs di 710 m/s , Terre molto addensate
5,6-10,9	4° sismostrato con Vs di 780 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
10,9-18,9	5° sismostrato con Vs di 910 m/s , Substrato roccioso fratturato
18,9-48,5	6° sismostrato con Vs di 1130 m/s , Substrato roccioso da fratturato a sano
48,5-50,0	7° sismostrato con Vs di 1520 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M4 - PROFILO Vs



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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **10,8 m** ($V_s > 800$ 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: $V_{s,eq} = 10,8 / 0,01501 = 719,63$ 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.

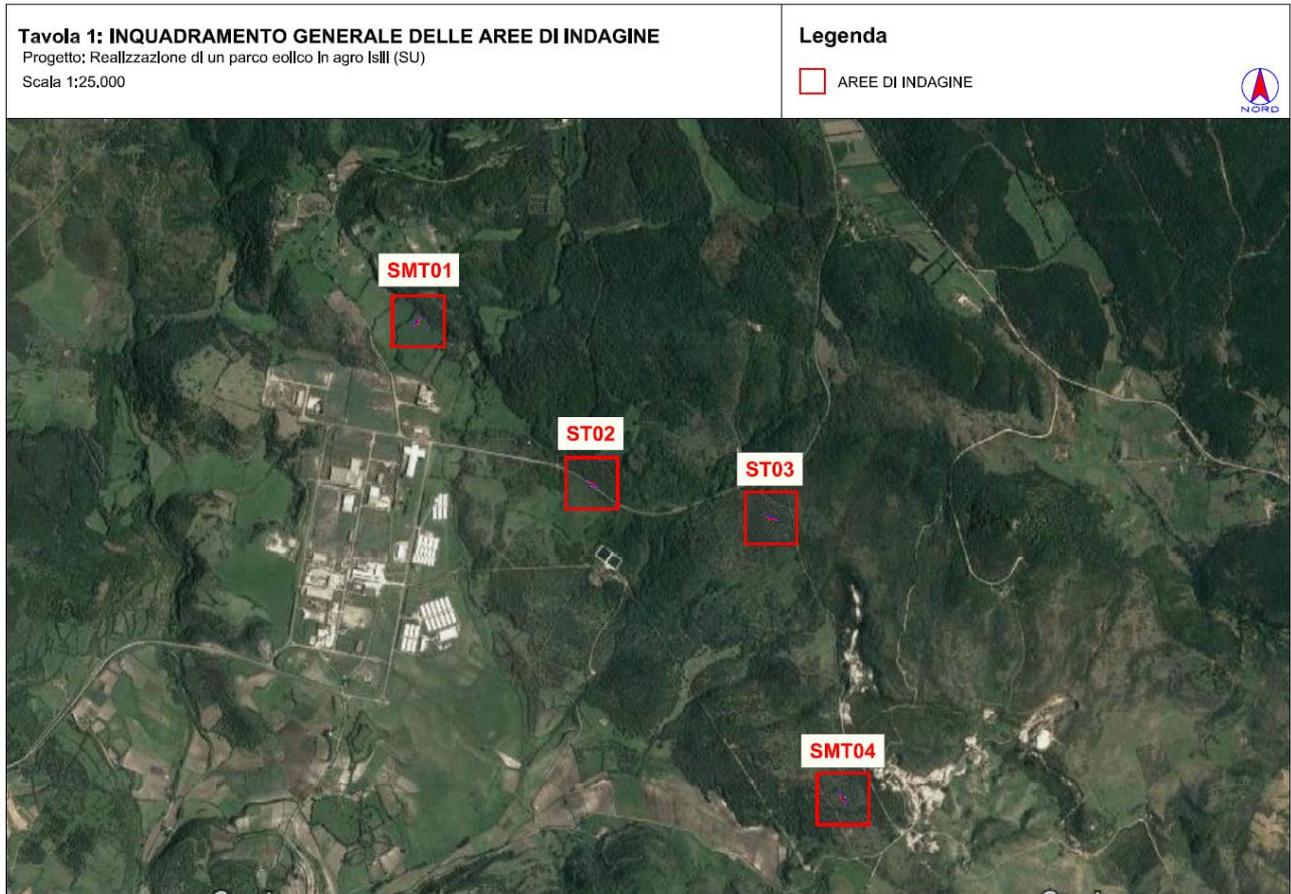
Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G ₀	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-1,0	terre	1.800	1.240	620	0,33	1.844	222	696	696
2	1,0-2,7	terre	2.000	1.280	640	0,33	2.187	264	824	824
3	2,7-5,6	terre	2.100	1.420	710	0,33	2.824	340	1.059	1.059
4	5,6-10,9	12%	2.200	1.560	780	0,33	3.570	428	1.334	1.334
5	10,9-18,9	15%	2.350	1.820	910	0,33	5.188	778	1.942	1.942
6	18,9-48,5	22%	2.400	2.260	1130	0,33	8.169	1.797	3.060	3.060
7	>48,5	25%	2.450	3.040	1520	0,33	15.093	3.773	5.659	5.659

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

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$



6.8. MODELLAZIONE GEOLOGICA

6.8.1. 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.

6.8.2. MODELLO GEOLOGICO 01

Turbine IS_01 – IS_02 – IS_03:

da 0,00 a 2,5m – depositi colluviali/eluviali/suoli

da 2,5m a 6m – conglomerati poligenici e sabbie alterate, debolmente consolidate

da 6,00m a 20,00m – dolomie e calcari dolomitici da intensamente fratturati a fratturati
da 20,00m a 32m - dolomie e calcari dolomitici da fratturati a sani
FALDA: a partire dalla quota di 6m da p.c. (su IS_02) e 4,00m da p.c. (su IS_03 si riscontra presenza di falda. Nell'area è presente una risorgenza denominata Funtana Isidoru nei pressi della IS_01.

6.8.3. MODELLO GEOLOGICO 02

Turbine IS_04 – IS_05 – IS_06 – IS_07:

da 0,00 a 1,00m – depositi colluviali/eluviali/suoli
da 1,00m a 11mm – dolomie e calcari dolomitici da intensamente fratturati a fratturati
da 11,00m a 50m - dolomie e calcari dolomitici da fratturati a sani
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 2,5m – depositi colluviali/eluviali/suoli **(S1)**
da 2,5m a 6m – conglomerati poligenici e sabbie alterate, debolmente consolidate **(S2)**
da 6,00m a 10,00m – dolomie e calcari dolomitici da intensamente fratturati a molto fratturati **(S3)**
da 10,00m a 20m - dolomie e calcari dolomitici da molto fratturati a fratturati **(S4)**
da 20,00m a 32m - dolomie e calcari dolomitici da fratturati a sani **(S5)**

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

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico SMT01.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo di circa 2,5m si incontra un livello superficiale di conglomerati e sabbie dello spessore di circa 3,5m, al di sotto il substrato, costituito da calcari e dolomie si presenta intensamente fratturato a fratturato per uno spessore di 14m, con grado di fratturazione che diminuisce all'aumentare della profondità. A partire dai 20m da piano campagna il grado di fratturazione diminuisce per passare al litotipo maggiormente massivo.

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).

Per il calcolo di c e phi è stato utilizzato il software RocData, nel quale i valori dei parametri inseriti sono stati ricavati in parte da prove geofisiche e in parte dall'osservazione in campo.

Di seguito i parametri geotecnici:

MODELLO GEOLOGICO						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1	S2	S3	S4	S5
Descrizione		Depositi eluvio-colluviali/	conglomerati poligenici e sabbie alterate, debolmente consolidate	Substrato roccioso da fratturato a poco fratturato	Substrato roccioso da fratturato a sano	Substrato roccioso sano
Peso di volume**	[kg/mc]	1.800	2.000	2.100	2.350	2.400
Peso di volume saturo**	[kg/mc]	1.900	2.100	2.100	2.350	2.400
Angolo di attrito* interno	[°]	26,12	32,50	35,15	38,25	45
Coesione*	[Mpa]	0.5	0,00	0,288	3,54	14
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico **	[Mpa]	28	92	365	1037	2960
Coefficiente di Poisson**	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)**	[Mpa]	88	284	1138	2589	5051
Velocità onde di taglio Vs**	[m/sec]	210	370	720	1050	1450

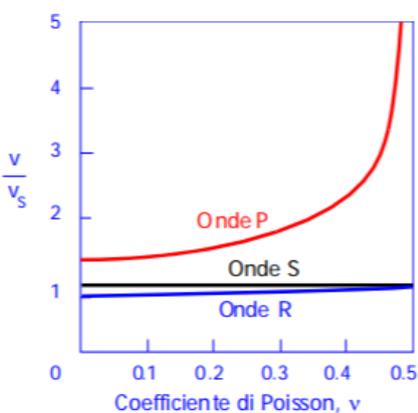
*Valori ricavati da interpolazioni su ROCDATA da confermare con indagini dirette e puntuali

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

6.9. 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.



$$\text{per } \nu = 0.25 \quad V_R = 0.919 V_S$$

$$\nu = 0.33 \quad V_R = 0.933 V_S$$

$$\nu = 0.40 \quad V_R = 0.943 V_S$$

$$\nu = 0.50 \quad V_R = 0.955 V_S$$

Modello Geologico di sito– Profilo sismico M1/ M4

$$\nu = 0,33 \quad V_R = 0,933 V_S$$

Profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	ν	Vr (m/sec)
0,00 – 2,50	210	0,33	196
2,50 – 6,00	370	0,33	345
6,00 – 10,00	720	0,33	672
10,00 – 20,00	1050	0,33	980
20,00 – 32,00	1450	0,33	1353

7. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO

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

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

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

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

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

La norma UNI 9614/2017, che richiama e fa riferimento primario alla ISO 2631-2:2003 prevede di valutare il livello complessivo di accelerazione ponderata nell'intervallo da 1 ad 80 Hz: se il segnale disturbante è caratterizzato da un'emissione concentrata entro una singola banda di 1/3 di ottava, è sufficiente correggere il valore misurato applicando la correzione riportata in Fig. 16 (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.

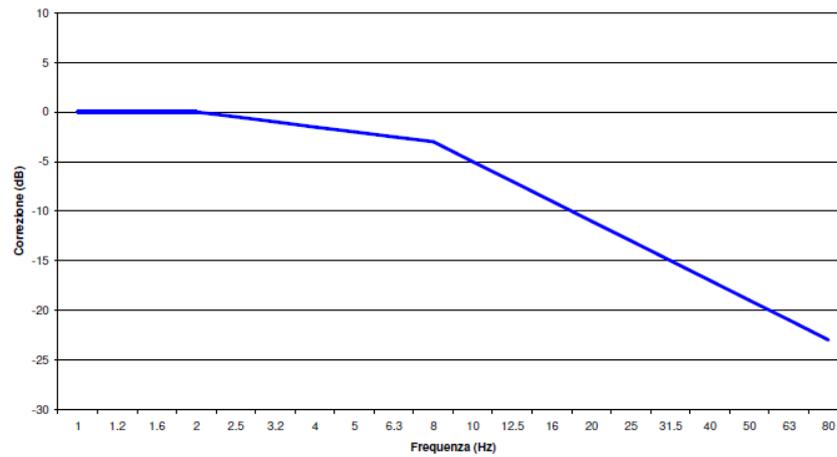


Figura 16 - Curva di ponderazione asse generico

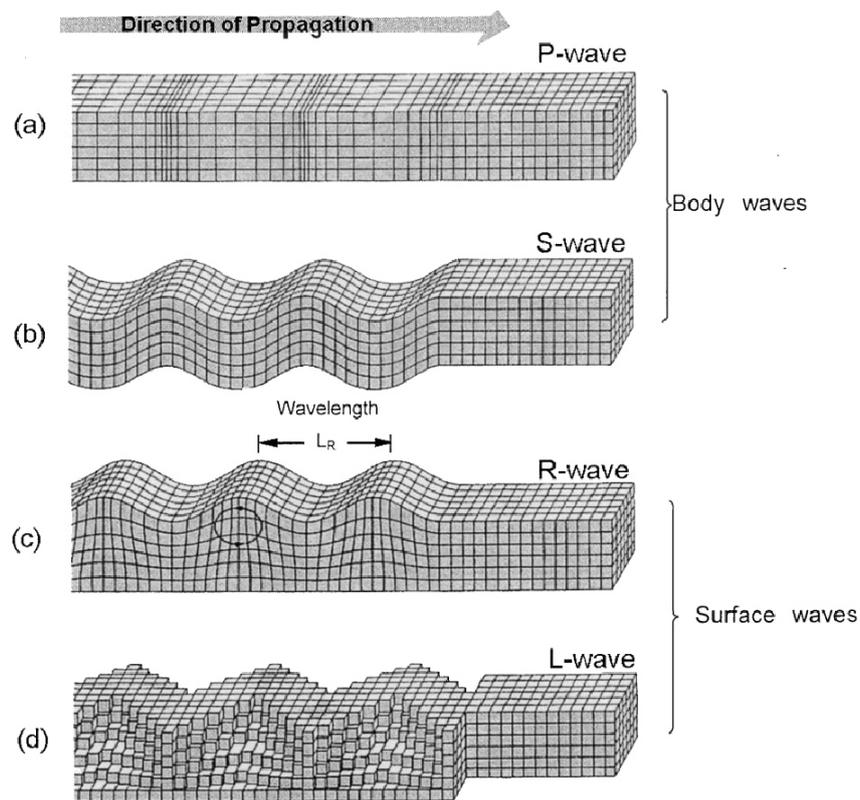


Figura 17 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie

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.

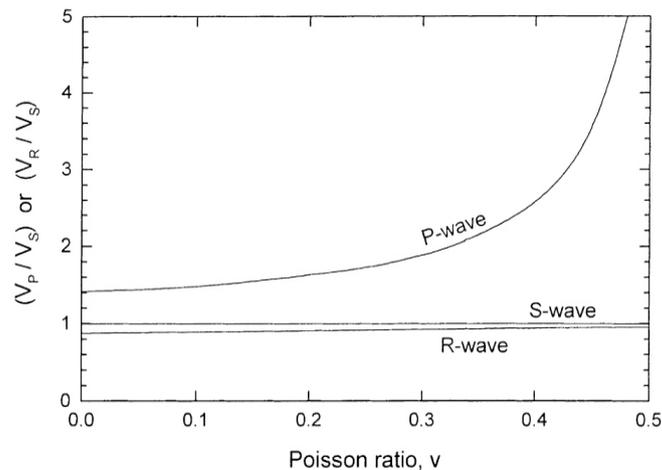


Figura 18 - rapporto tra le velocità di propagazione V_p e V_r

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.18 mostra il rapporto fra velocità di propagazione delle onde P ed R riferito alla velocità di propagazione delle onde di superficie S.

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

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

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

7.1. MODELLO DI PROPAGAZIONE DELL'ONDA NEL TERRENO

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

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

In cui η è il fattore di perdita del terreno, c la velocità di propagazione in m/s, f la frequenza in Hz, d la distanza in m e d_0 la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione.

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

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

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

7.2. VALUTAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI

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

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

Modello Geologico di sito– Profilo sismico 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)	η	n
0,00 – 2,50	210	0,33	196	0.05	0.5
2,50 - 6,00	370	0,33	345	0.05	0.5
6,00 - 10,00	720	0,33	672	0.01	0.5
10,00 –20,00	1050	0,33	980	0.01	0.5
20,00 – 32,00	1450	0,33	1353	0.01	0.5

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

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

8. SORGENTI DI VIBRAZIONE

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

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

Nel caso specifico in studio le sorgenti sono:

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

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

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

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

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

Si prevede che le attività saranno svolte unicamente in periodo diurno ed in normale orario lavorativo e, pertanto, **non si fa riferimento al periodo notturno. Non sono altresì previsti, in questa fase lavorazioni nei giorni festivi.** Tuttavia, se per qualche ragione non prevedibile in questa fase, si dovesse necessariamente lavorare in uno dei periodi sopracitati, verrà messo in atto quanto

contenuto nel **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

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

Per quanto riguarda il traffico indotto dal cantiere, si prevede un flusso di mezzi per il trasporto di materiali, componenti e personale quantificabile 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.

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

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

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

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

Scenario 02 – attività di posa dei cavidotti;

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

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

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

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

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

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

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

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

8.4. SCENARI DI RIFERIMENTO DI CANTIERE

Scenario 01 – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili 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 ²
Scenario 01		119 m
Scenario 02		82 m
Scenario 03**		119 m

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

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

8.1. RECETTORI

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

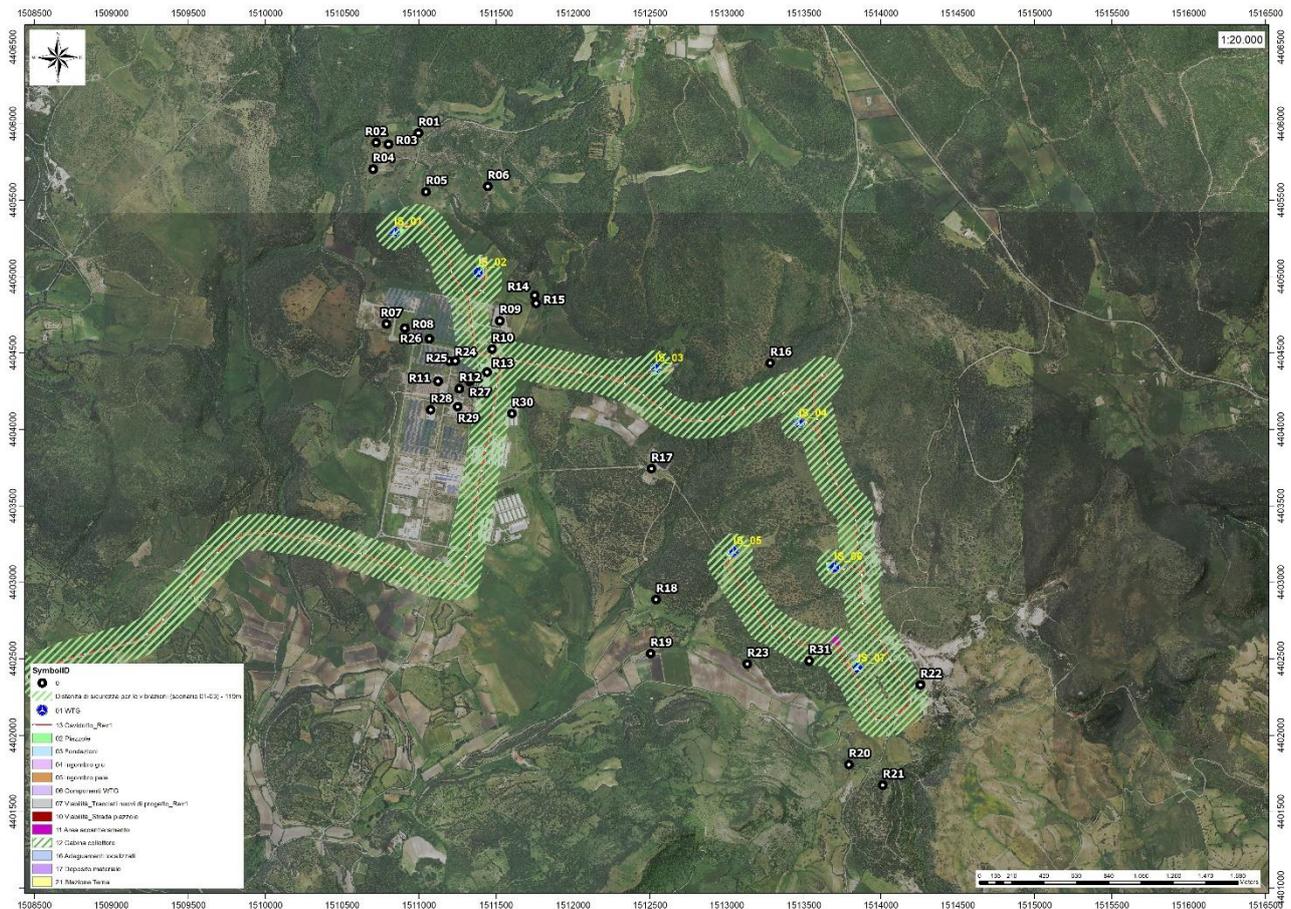


Figura 19 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 01-03) - 119m

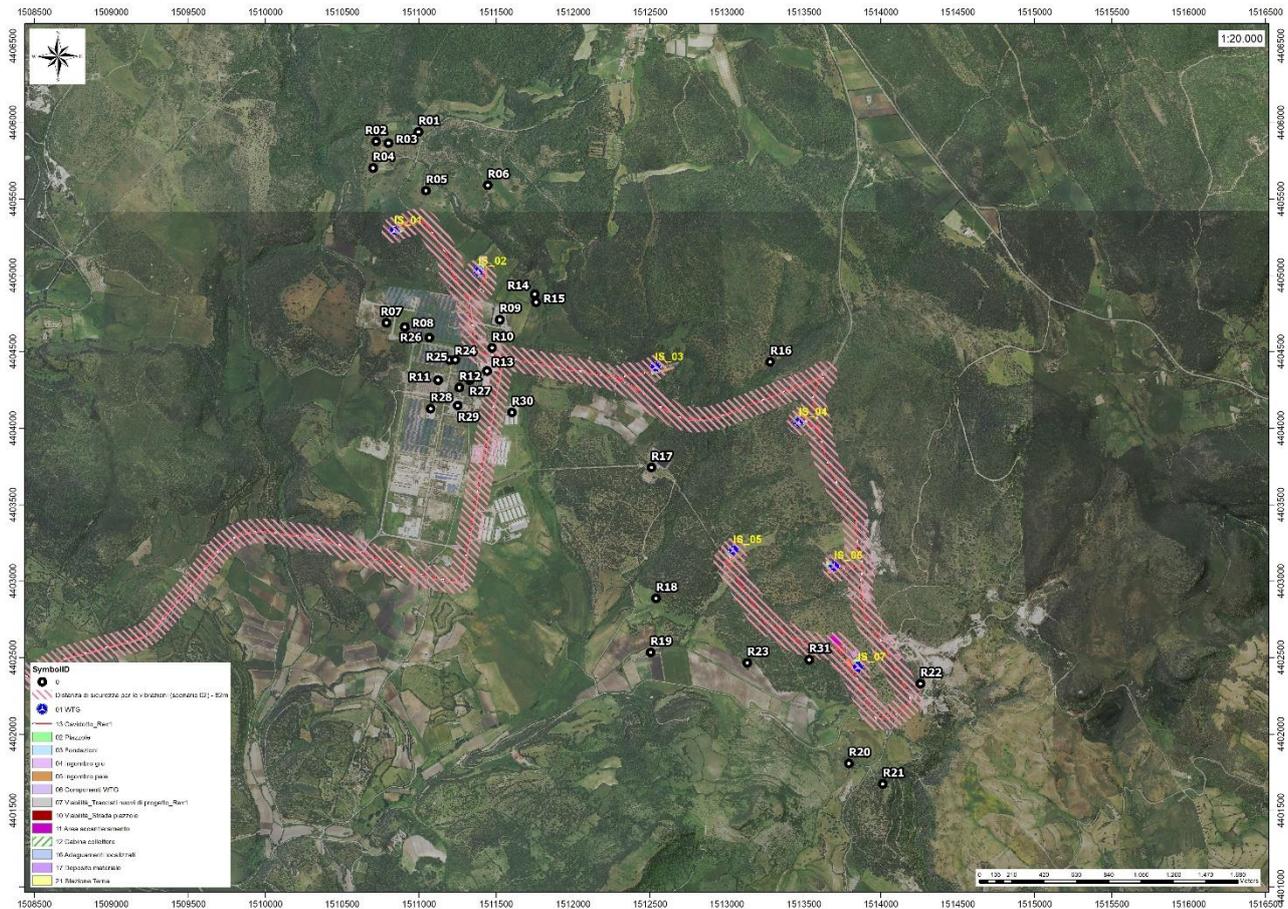


Figura 20 Distanza di sicurezza per le vibrazioni (scenario 02) - 82m

8.2. SCENARI DI RIFERIMENTO DI ESERCIZIO

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

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

Le fonti di rumore e vibrazione emesse da una turbina eolica sono essenzialmente di natura aerodinamica, (causate dall'interazione tra il vento e le pale), meccanica (generate dagli attriti

meccanici dei componenti del rotore e del sistema di trasmissione del generatore) e cinetica (generate dalle oscillazioni e dal passaggio e cambiamento di stato da stazionario a combinato. Le oscillazioni sono causate dal vento che insiste sul piano del rotore degli aerogeneratori generando momenti forzanti opportunamente controllati dalle strutture di fondazione, nonché dall'interazione aerodinamica e meccanica delle pale con la torre.

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

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

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

Vari studi inerenti a Wind Farm realizzate con questo modello di pala eolica (Vestas V162-5.6; HH = 125m; RD = 162m)¹ riportano che le vibrazioni associate al funzionamento delle turbine eoliche possono essere rilevate con gli strumenti, ma lo sono sotto la soglia di percezione, anche all'interno di un parco eolico, rilevando valori ben al di sotto dei limiti di percezione umana. Anche da monitoraggi diretti attraverso accelerometri risulta che i movimenti sismici (vibrazioni) indotti sul terreno sono così 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.

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

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

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

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

◆ Vestas V162-7,2 = 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.

8.3. LIMITI DI RIFERIMENTO

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

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

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

Figura 21 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:

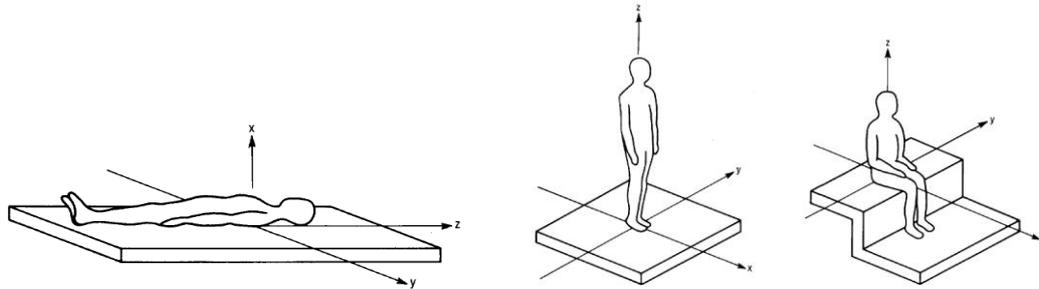


Figura 22 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

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.

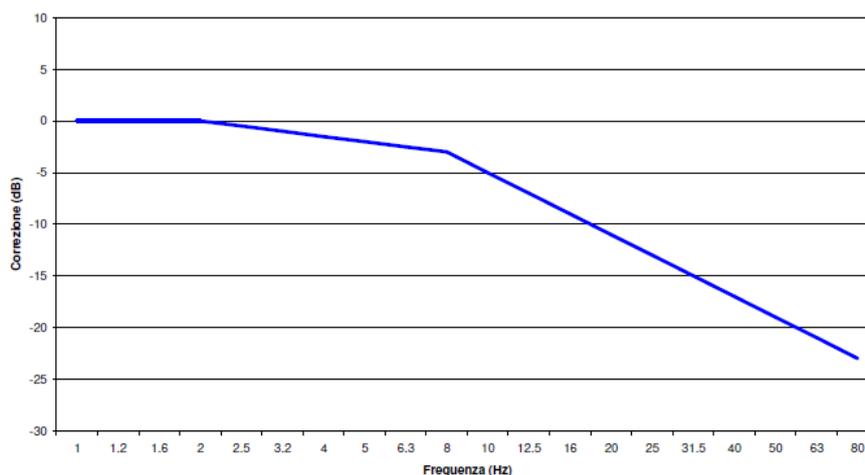


Figura 23 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614

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

9. SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI

9.1. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN RULLO VIBRANTE

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

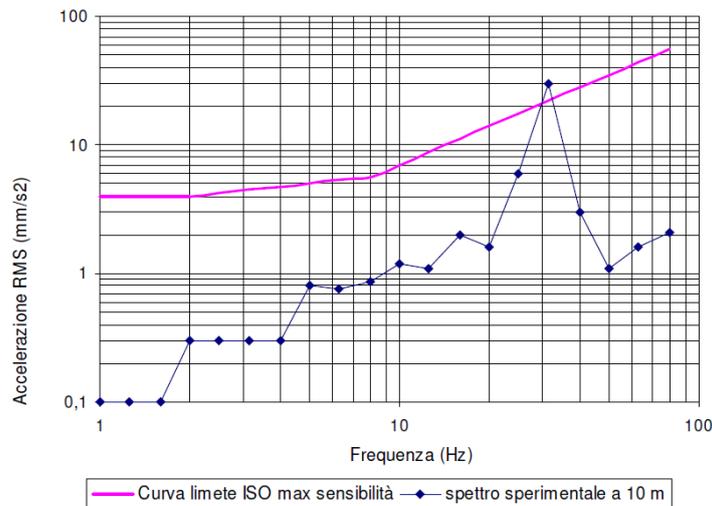


Figura 25 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere

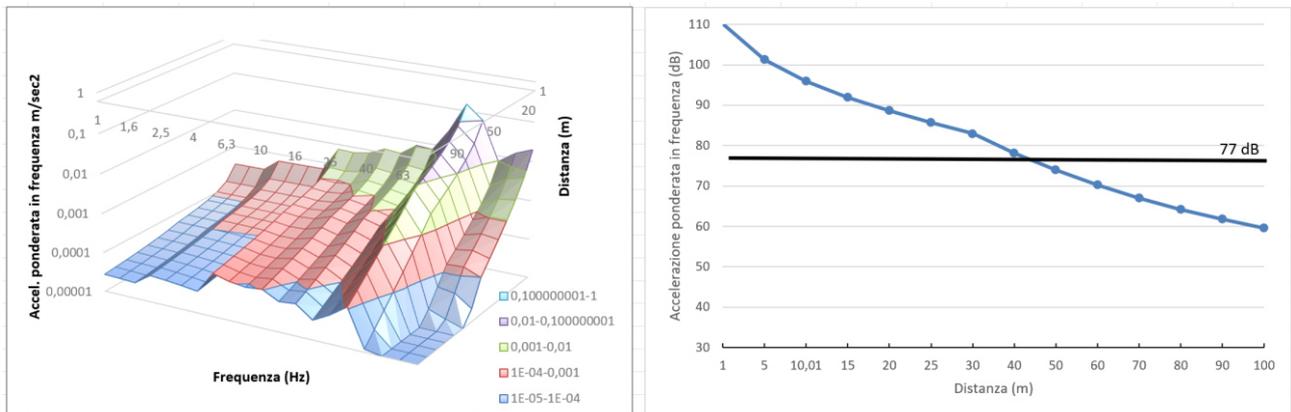


Figura 26 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.2. 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.

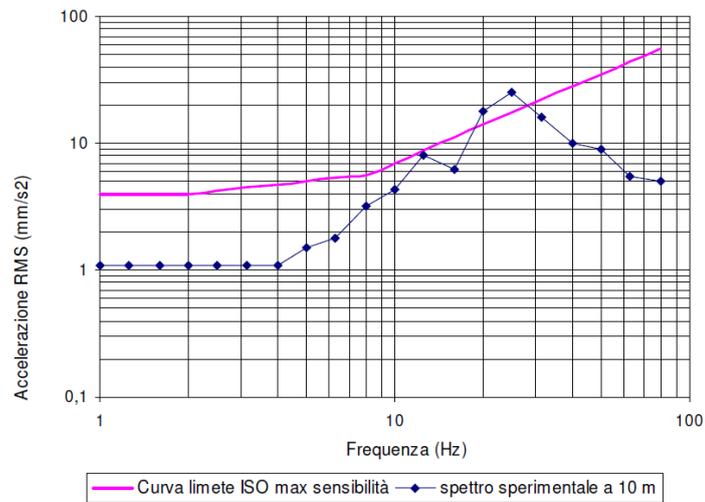


Figura 27 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere

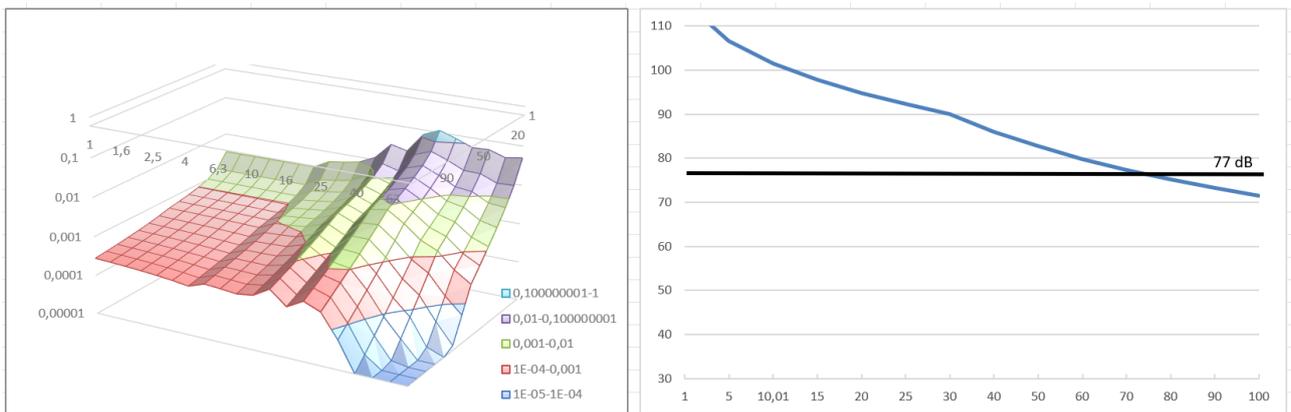


Figura 28 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.3. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN AUTOCARRO

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

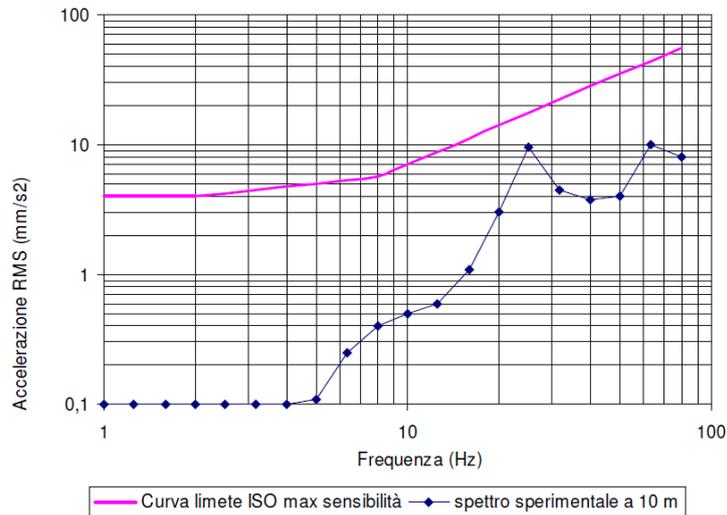


Figura 29 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere

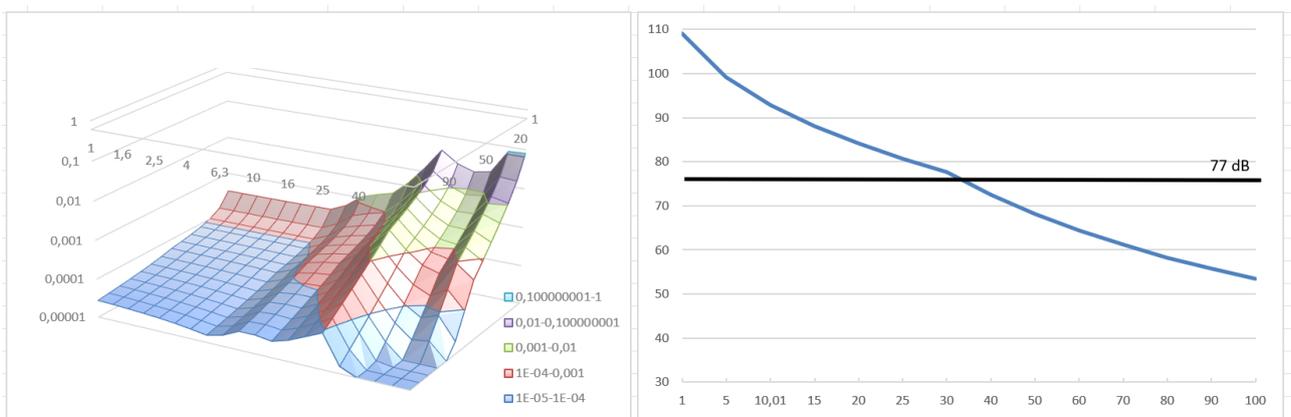


Figura 30 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.4. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN ESCAVATORE CINGOLATO

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

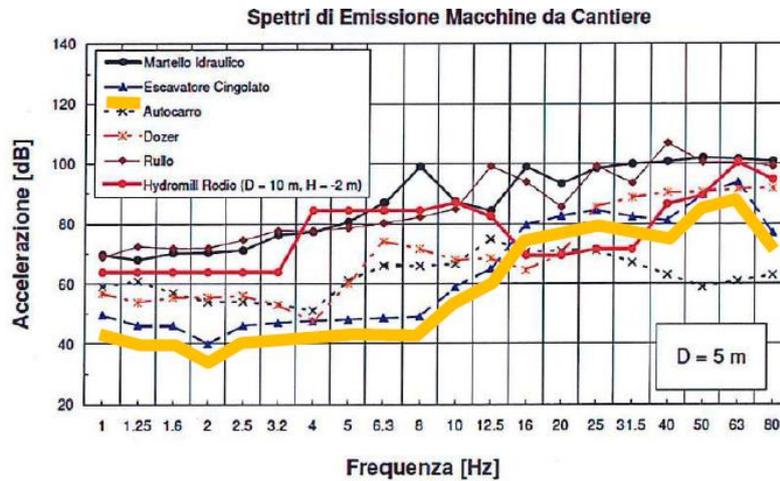


Figura 31 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere

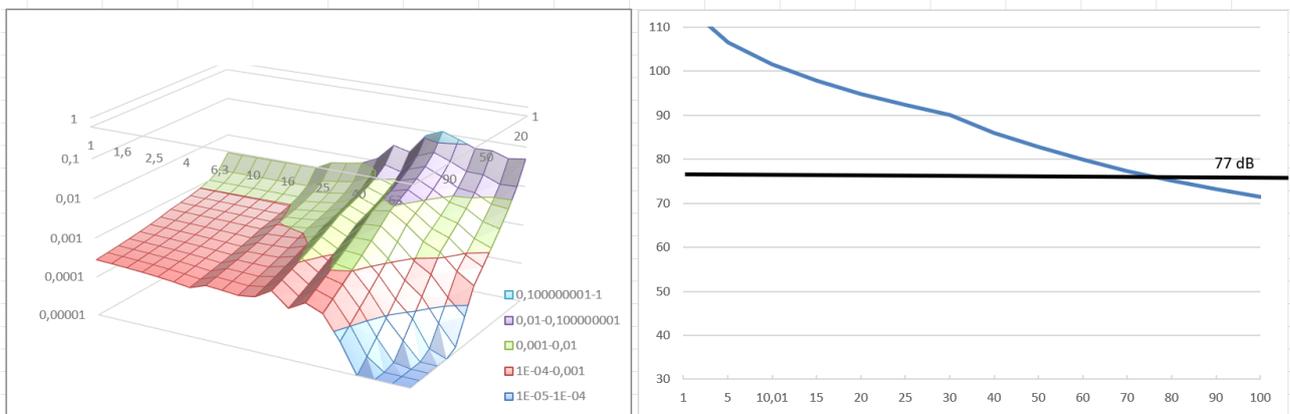


Figura 32 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.5. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN MARTELLO IDRAULICO

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

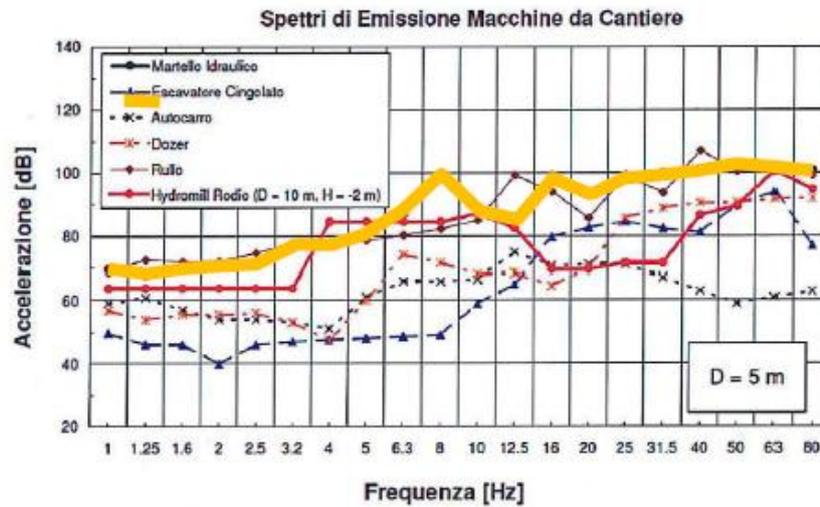


Figura 33 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere

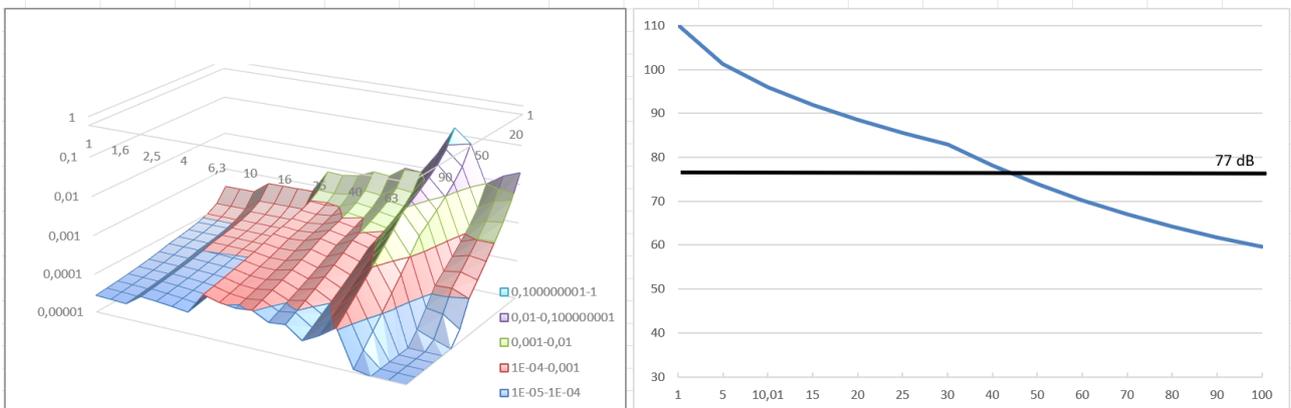


Figura 34 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10. MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI

Le attività di cantiere quali il passaggio di veicoli pesanti, le demolizioni, la battitura di pali, ecc. costituiscono una sorgente di disturbo con caratteristiche molto diverse da caso a caso; nella maggioranza dei casi si tratta di fenomeni transitori di breve durata facilmente isolabili e pertanto nella maggior parte dei casi gestibili. Qualora non fosse tecnicamente possibile o economicamente giustificabile mettere in atto soluzioni lavorative differenti 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.

9.6. CRITERI DI AZIONE E MISURE DI MITIGAZIONE

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

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

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

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

Un altro criterio da tenere in considerazione è:

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

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

verranno adottate nell'ambito di una più ampia strategia di gestione dell'impatto e di tutte quelle azioni risolutive anche in presenza di lamentele e/o esposti.

Tale documento, individuato con il nome di **PIANO di GESTIONE dell'IMPATTO VIBRAZIONALE di CANTIERE (PGIVC)** ha l'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, esplicita mediante i mezzi di divulgazione locali (volantini, riunioni della popolazione, avvisi e/o ordinanze comunali, porta a porta) devono contenere tutti gli elementi necessari alla corretta informazione degli eventi previsti: valori limite, orario delle lavorazioni, durata, tipologia. Le comunicazioni dovranno altresì informare chiaramente che le vibrazioni non saranno tali da recare danni permanenti alle strutture.
4. monitoraggi: prima dell'inizio delle attività di cantiere previste, dovrà essere effettuato un piano di monitoraggio con misure dirette su ciascuna di quelle più impattanti con particolare riferimento a quelle la cui interferenza può potenzialmente generare superamenti delle soglie limite. Le modalità esecutive delle misure, il numero e la successiva elaborazione dei dati deve essere eseguita con le modalità descritte al punto 6 della UNI 9614/2017. La strumentazione da utilizzare avrà le caratteristiche previste al punto 7 della stessa norma e sarà opportunamente calibrata e tarata, dandone evidenza allegando al piano di monitoraggio la documentazione rilasciata dall'ente certificatore. Qualora ci si trovasse in presenza di lamentele e/o esposti, al fine di verificare con la massima cura l'entità del disturbo, il tecnico misuratore utilizzerà il questionario predisposto all'Appendice B della UNI 9614/2017, finalizzato ad una raccolta dati efficace e completa.
5. mitigazioni: il PGIVC dovrà contenere tutte le misure di mitigazione individuate per limitare il disturbo generato dalla vibrazione. Sarà indicata al suo interno un'analisi ex-ante ed ex-post da cui si possa evincere l'efficacia delle misure di mitigazione individuate.
6. controlli: il PGIVC deve prevedere un piano di controllo e audit interno finalizzato alla corretta applicazione delle misure di mitigazione e in generale di tutte le azioni strutturali e non strutturali in esso evidenziate. Verrà predisposto un accurato calendario minimo dei controlli da attuare per tutta la durata delle lavorazioni.

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

11. CONCLUSIONI

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

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 82m (posa dei cavidotti) e i 119m (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.