

MISTRAL Wind Energy Srl

Giugno 2022

Parco Eolico MISTRAL sito nel Comune di Ittiri e nel Comune di Bessude

**Relazione Previsionale
dell'impatto dovuto alle vibrazioni**



Regione autonoma della Sardegna



Comune di Ittiri



Comune di Bessude



Committente:

MISTRAL Wind Energy Srl

MISTRAL Wind Energy Srl

Via Sardegna, 40
00187 Roma
P.IVA/C.F. 15802471001

Titolo del Progetto:

Parco Eolico MISTRAL sito nel Comune di Ittiri e nel Comune di Bessude

Documento:

**Relazione Previsionale
dell'impatto dovuto alle vibrazioni**

N° Documento:

IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014



**Studio Tecnico di Geologia
Applicata all'Ingegneria e
all'Ambiente**

Centro Direzionale "Pittarello"
Loc. Scala Sa Perda, 87
09028 Sestu (CA)
T +39 070 734 6008
Mob +39 345 788 2814
e-mail: info@gaiaconsulting.eu

Progettista:



Cosima Atzori

Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	28.06.2022	Prima emissione	Cosima Atzori		

Sommario

1. Premessa	7
2. Normativa di riferimento	7
3. Inquadramento geografico generale	7
4. Proprietà meccaniche dei terreni	11
4.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	11
5. Campagna indagini di caratterizzazione geotecnica e sismica	15
5.1. Generalità sul metodo sismico a rifrazione	16
5.2. Caratteristiche delle stese sismiche	17
5.3. Caratteristiche della Strumentazione impiegata	17
5.4. Elaborazione dei dati	18
5.5. Indagini sismiche: MASW	18
5.6. Specifiche delle indagini svolte.....	19
5.7. Caratteristiche della strumentazione impiegata	19
5.8. Interpretazione dei segnali acquisiti	20
5.9. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	20
5.10. Risultati delle indagini del sito SMT01 (AG02)	22
5.10.1. Masw SMT01	22
5.11. Risultati delle indagini del sito SMT02.....	24
5.11.1. Masw SMT02	24
5.12. Risultati delle indagini del sito SMT03 - aerogeneratore AG06	26
5.12.1. Masw SMT03	26
5.13. Risultati delle indagini del sito SM04	28
5.13.1. Masw SM04	28
5.14. Modello Geologico 01 – AG01 e AG02	29
5.15. Modello Geologico 02 – AG03, AG04.	30
5.16. Modello Geologico 03 – AG05.....	31
5.17. Modello Geologico 04 – AG06.....	32
5.18. Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse.....	33
6. Propagazione delle vibrazioni nel terreno	34
7. Modello di propagazione dell'onda nel terreno	37
8. Valutazione della propagazione delle vibrazioni	37

9. Sorgenti di vibrazione	38
9.1. Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto	39
9.2. Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale.....	39
9.3. Modello per il calcolo dell’impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere	39
9.4. Scenari di riferimento di cantiere.....	40
9.5. Scenari di riferimento di esercizio	41
9.6. Limiti di riferimento.....	41
9.7. Recettori	44
10. Modalità di gestione del disturbo dovuto alle vibrazioni	44
10.1. Criteri di azione e misure di mitigazione	44
10.2. Spettri di emissione delle macchine operatrici	46
10.2.1. Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante	46
10.2.2. Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata	47
10.2.3. Propagazione delle vibrazioni di un autocarro.....	48
10.2.4. Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato	49
10.2.5. Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico	50
11. Conclusioni	51

Indice delle figure

Figura 1 Localizzazione del progetto	8
Figura 2 Paesaggio caratteristico dell’area di studio.....	10
Figura 3 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	11
Figura 4 Particolare della stratificazione	14
Figura 5 Ammasso roccioso in calcare compatto e poco fratturato.	14
Figura 6 Ubicazione degli stendimenti	16
Figura 7 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 m	17
Figura 8 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	23
Figura 9 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	25
Figura 10 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	27
Figura 11 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	29
Figura 12 - Curva di ponderazione asse generico.....	35
Figura 13 - Tipologia di onde: a) e b)onde di volume, c)e d) onde di superficie	36
Figura 14 - rapporto tra le velocità di propagazione V_p e V_r	36
Figura 11 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza	41
Figura 12 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta.....	42
Figura 13 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614	42
Figura 14 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014)	43
Figura 19 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10mdall’asse di cantiere.....	46

Figura 20 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	46
Figura 21 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10mdall'asse di cantiere	47
Figura 22 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	47
Figura 23 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10mdall'asse di cantiere	48
Figura 24 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	48
Figura 25 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5mdall'asse di cantiere.....	49
Figura 26 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	49
Figura 27 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5mdall'asse di cantiere	50
Figura 28 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	50
Figura 29 Distanze di sicurezza per le vibrazioni nei vari scenari	51

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 6 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	-------------------

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 7 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	-------------------

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 denominato “Mistral” dislocato nei territori comunali di Ittiri e Bessude (SS) 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)

3. Inquadramento geografico generale

L’area del parco ricade nei territori comunali di Ittiri e Bessude, Comuni della provincia di Sassari, situati nella zona nord-occidentale della Sardegna.

Ittiri sorge su un altopiano alto 450 metri, immerso tra rilievi (il più alto monte *Torru*, 620 metri), laghi (*Bidighinzu*, Cuga e Temo) e vallate coltivate a uliveti e vigneti. Ittiri è una cittadina di quasi novemila abitanti del *Coros*, sub-regione del Logudoro, che vanta una storia millenaria. Tolomeo (II secolo d.C.), descrivendo l’Isola, indica le tribù nuragiche dei *Coracenes* (da cui *Coros*) come suoi abitanti. Poi seguirono libici, galati, etruschi, fenici, cartaginesi, infine i romani.

Bessude è un paesino del *Meilogu*, sub-regione del Logudoro, a circa trenta chilometri da Sassari, che si distende in una valle ai piedi del monte Pelao, popolato da circa 400 abitanti, è circondato da paesaggi suggestivi e incontaminati, ricchi di corsi d’acqua, alberi da frutta e campi di fiori. Nei dintorni del paese godrai di un panorama

incantevole: da un lato rilievi, la foresta di Littu, gli uliveti di *su Monte* e i pioppi di *Pojos*, dall'altro le querce di *sa Silva* e la valle di *Pumàri e Badde*.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

1. Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **479 sez. I "Ittiri"**.
2. Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: **479030 "Ittiri"** e **479040 "Diga 'e su Bidighinzu"**.

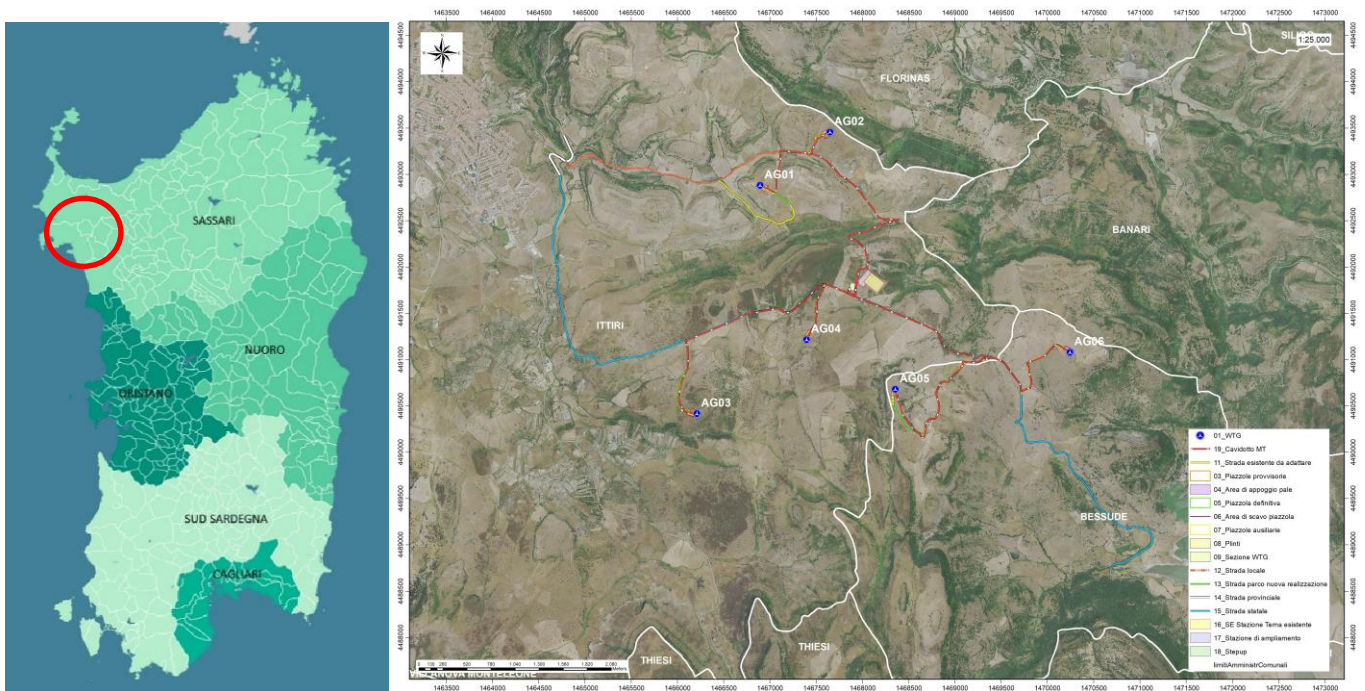


Figura 1 Localizzazione del progetto

Il Parco Eolico è costituito da 6 aerogeneratori ad asse orizzontale montati su torri tubolari ad elementi in acciaio; il modello adottato è il V162 da 6,0 MW prodotto dalla fabbrica VESTAS, ormai collaudato con risultati altamente prestazionali. Questi sono posizionati ad una distanza mediamente tra di loro pari a 6 volte il diametro del rotore, nel senso del vento dominante proveniente dal quadrante nordovest, e 3,5 volte il diametro del rotore, in senso perpendicolare alla direzione del vento dominante.

La potenza nominale del parco eolico installata è pari a 36 MW. Con un vento medio annuale di 6,31 m/s e un funzionamento annuale previsto pari a circa 2.000 ore equivalenti la produzione di energia elettrica lorda stimata è di circa 106,5 MWh/anno.

Le caratteristiche tecniche degli aero-generatori e del parco sono le seguenti:

1. generatori asincroni trifase con potenza nominale pari a 6,0 MW, tensione 3 X 0.96 Kv, freq. 50 Hz
2. rotor a tre pale con diametro pari a 162 m;
3. torri in acciaio a sviluppo tronco conico di altezza pari a 125 m;
4. cabine elettriche secondarie di trasformazione inserite in ogni aerogeneratore;
5. rete elettrica interrata MT a 30 KV dai singoli aerogeneratori alla sottostazione di trasformazione MT/AT;
6. sottostazione di trasformazione MT/AT (Media Tensione 30 kV - Alta Tensione 150 kV), comprendente sezionamento, ricezione e smistamento;
7. rete telematica interrata per il monitoraggio e controllo dell'impianto;
8. connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) in alta tensione 150 KV.

Le fondazioni delle torri saranno costituite da piastre in cemento armato atte a ripartire sia le azioni statiche dovute al peso proprio dell'apparato eolico che le azioni dinamiche dovute al vento trasmesse alla base delle torri dagli "apparati eolici". Da un predimensionamento di massima risulta che per terreni sufficientemente portanti ($\sigma > 1 \text{ N/mm}^2$), dovranno realizzarsi fondazioni a platea di forma circolare aventi un raggio di 12 m e un'altezza complessiva di 4.00 m (vedasi elaborati di progetto).

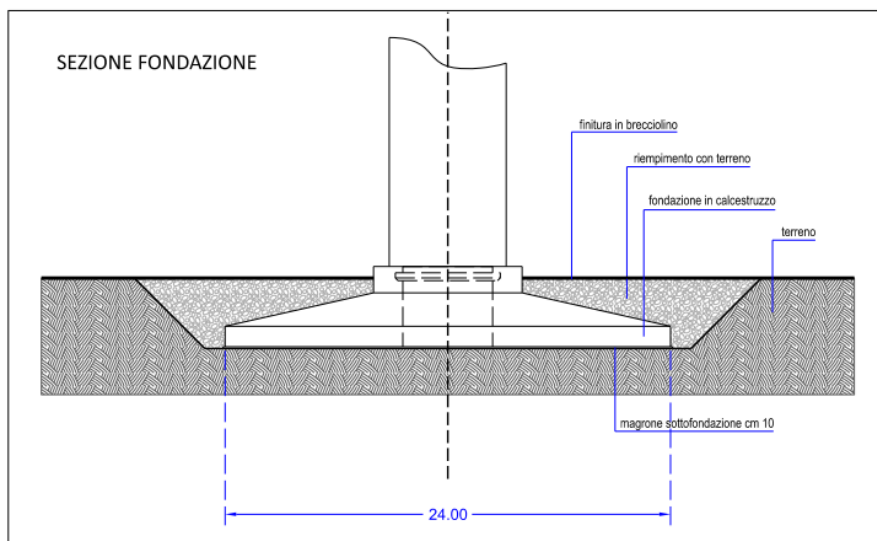


Figura 2 Schema di fondazione

In caso di terreni dalle caratteristiche meccaniche scarse, si realizzeranno delle platee su pali di grande diametro (cm 100) disposti su tutta l'area di base atti a garantire adeguata stabilità al sistema fondazione-terreno.

Le fondazioni saranno interrate e ricoperte da uno strato di terreno dello spessore di circa m 1.

L'utilizzo di una tipologia o di un'altra scaturirà dalle indagini geotecniche derivanti dai sondaggi previsti in fase esecutiva in corrispondenza di ogni aerogeneratore.

Il volume di scavo della fondazione per ogni aerogeneratore è di circa 2260 mc.



Figura 2 Paesaggio caratteristico dell'area di studio

4. Proprietà meccaniche dei terreni

4.1. 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 rinvencono 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 costituita dalla copertura sedimentaria e vulcanica post-ercinica; principalmente è costituita dalle coperture sedimentarie mioceniche, dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari. In particolare, l'area vasta è compresa all'interno *Distretto vulcanico di Capo Marargiu*, del *Distretto vulcanico di Osilo Castelsardo* e della *Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese*.

La successione vulcanica oligo-miocenica affiorante nell'area di interesse è costituita da ammassi lavici, duomi e piroclastiti messi in posto in condizioni subaeree e da subordinate epiclastiti.

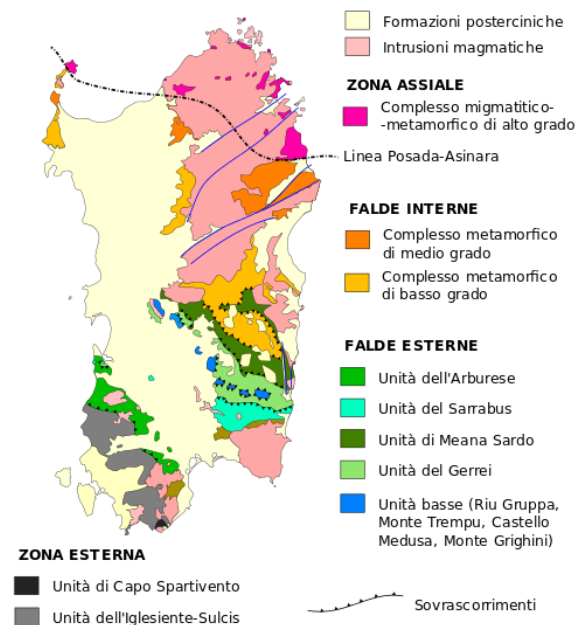


Figura 3 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

Distretto vulcanico di Capo Marargiu Miocene Inferiore)

(MTD) Unità di Pala Mantedda: è costituita da un'alternanza di colate e duomi a chimismo da andesitico a dacitico, per uno spessore di circa un centinaio di metri. Le lave, talora scoriacee, hanno tessitura porfirica per fenocristalli di plagioclasio e clinopirosseno, immersi in una pasta di fondo vetrosa. Le colate, spesso separate tra loro da livelli conglomeratici, presentano porzioni autoclastiche nelle parti basali, e laminazioni di flusso in quelle centrali. Aquitaniano.

(LGS) Unità di Monte Longos: è rappresentata da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore nerastro o violaceo alla base. I depositi si presentano ben saldati, con aspetto vetroso e ricchi in cristalli di plagioclasio, pirosseno e biotite, e rare fiamme di colore nero. I depositi hanno chimismo riolitico, e spessore minimo di 5 m. Al contatto con le sottostanti piroclastiti (UUI) sono presenti alcuni livelli centimetrici di ceneri di caduta, con pomice e litici. Burdigaliano.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 12 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	--------------------

(UUI) Unità di Uri: è costituita da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, variamente saldati, di colore grigiastro e subordinatamente rossastro per alterazione, ricchi in frammenti litici e cristalli liberi. Il deposito piroclastico è costituito da pomici biancastre e litici eterometrici (4-5 cm) di natura andesitica o ignimbratica, in matrice cineritica grossolana nella quale sono immersi anche cristalli di plagioclasio, pirosseno e biotite. Il diverso grado di saldatura varia dalla base (nullo) verso il tetto della successione (elevato), influenza la tessitura della roccia, che si presenta debolmente isoorientata nei termini poco saldati, mentre è marcatamente eutassitica nei termini saldati. La composizione delle piroclastiti è riolitica, e lo spessore varia da pochi metri fino a 30 m. Le datazioni radiometriche ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Gattacecca et al., 2007) indicano un'età di $18,95 \pm 0,07$ (Burdigaliano).

(UNV) Unità di Nuraghe Vittore: è costituita da colate di andesiti basaltiche e basalti, con caratteristiche prevalenti di autobrecce, e daciti porfiriche. Le lave coerenti hanno colore grigio scuro e tessitura porfirica per fenocristalli di plagioclasio, pirosseno e olivina in pasta di fondo microcristallina. Presentano frequente fratturazione tipo *platy jointing* secondo la direzione di flusso.

Le lave a blocchi sono costituite da blocchi irregolari e eterometrici di lava, debolmente vescicolati, a tessitura clasto-sostenuta, con arrossamento dovuto ad alterazione idrotermale. I rapporti con le piroclastiti a contatto a letto (SSU) e a tetto (UUI) sono caratterizzati da disconformità. Burdigaliano inferiore.

(MLO) Unità di Villanova Monteleone: sono costituiti da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riodacitico, da saldati a mediamente saldati, con strutture vitroclastiche e/o eutaxitiche, e cristalli liberi di plagioclasio, sanidino, clinopirosseno, anfibolo, biotite e rare olivine. Burdigaliano.

(SSU) Unità di Su Suerzu: rappresentati da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, saldati, e con tessitura paratassitica, di colore rossastro, con fiammae grigiastre di dimensioni comprese tra 2 cm e 20 cm, e litici centimetrici costituiti da altre ignimbriti o da andesiti. Nell'area a est di Ittiri è presente un prodotto di aspetto ossidiano, probabilmente originato dalla silicizzazione di una piroclastite, di colore grigio da chiaro a scuro, con spessore limitato (7-8 m), preceduto da cineriti bianche contenenti frustoli carboniosi e litici e lapilli accrezionali. I depositi di Su Suerzu sono delimitati dalle Lave di Pala Mantredda (MTD) a letto, e dai corpi di Nuraghe Vittore (UNV) a tetto, con rapporti di disconformità. La composizione chimica delle ignimbriti è riodacitica, mentre lo spessore varia tra 15-20 m fino a 70 m. Burdigaliano.

Distretto Vulcanico di Osilo-Castelsardo (Miocene Inferiore)

(ILV) Unità di Monte sa Silva: sono costituiti da piroclastiti di flusso pomiceo-cineritiche, di colore bianco-grigiastro, non saldate, ricche di fenoclasti (plagioclasio, quarzo, biotite), con litici di vulcaniti di dimensioni da 3 a 10 cm, e pomici di dimensioni variabili tra il centimetro e 5 cm. Le piroclastiti sono prevalentemente massive, con rari livelli grossolanamente stratificati per effetto della concentrazione dei litici. Il chimismo dei depositi è riolitico, e lo spessore varia da 10 fino a 100 m. L'età radiometrica determinata col metodo $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ (progetto CARG) è di $18,61 \pm 0,23$ Ma. Burdigaliano.

Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese

La successione sedimentaria miocenica affiorante nell'area di interesse è caratterizzata dalla presenza di due sequenze deposizionali limitate da discordanze riconoscibili a scala bacinale. Il substrato di questi depositi è costituito da vulcaniti ed epiclastiti di età compresa tra i 23 e i 18 Ma.

La prima sequenza deposizionale è costituita da depositi continentali fluviali e di piana alluvionale, deltizi e marini di piattaforma, mentre la seconda sequenza è costituita da depositi fluvio-marini e carbonatici di piattaforma.

(RESa) Litofacies nella Formazione di Mores: nota come "calcarei inferiori", è costituita da una successione di calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi, e calcari a componente terrigena variabile, con faune a gasteropodi "Turritelle", ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope), riferibili al Miocene inferiore (Burdigaliano). Il passaggio alla soprastante formazione di Borutta (RTU) presenta spesso caratteri eteropici, infatti può esser sormontata direttamente dalla Formazione di Monte Santo (NST). Burdigaliano superiore.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 13 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	--------------------

(RTU) Formazione di Borutta: si tratta di una successione di marne, marne arenacee bioturbate, calcari marnosi e siltiti, localmente in alternanze ritmiche, di colore da grigio-bruno a biancastro-giallastro. Tali depositi, il cui spessore varia tra 100 e 200 m, presentano contatto superiore eteropico con le arenarie della formazione di Florinas, oppure direttamente con i calcari della Formazione di Monte Santo (NST). Il contenuto fossilifero abbondante, costituito da echinidi, bivalvi, gasteropodi, pteropodi, foraminiferi planctonici e ostracodi, permette di riferire i depositi di questa formazione al Burdigaliano superiore - Langhiano.

(NST) Formazione di Monte Santo: è costituita da una successione di calcari bioclastici di piattaforma interna, con rare intercalazioni silicoclastiche ed episodi biohermali, e calcareniti. Poggiano eteropicamente sopra la Formazione di Florinas, quella di Borutta (RTU) o sulle vulcaniti. Gli affioramenti che poggiano sulla Formazione di Florinas sono costituiti da *grainstone* con stratificazione incrociata o cliniformi, ricche in alghe calcaree (*Rodophyllum*, *Lithophyllum*) e coralli (*Tarbellastrea*, *Porites*), con accumuli di *algal ball*, gasteropodi, lamellibranchi, echinidi, macroforaminiferi. Quando poggia sulle marne della Formazione di Borutta (RTU), il passaggio avviene in giacitura caotica ed erosiva, con slumping e megabrecce. Lo spessore è variabile, con un massimo di 50 m. L'associazione fossilifera permette di riferire tali depositi al Serravalliano - Tortoniano.

Depositi Quaternari dell'area continentale

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi alluvionali, depositi di versante e sedimenti legati a gravità.

(PVM2a) Litofacies nel Subsistema di Portovesme: si tratta di depositi di ghiaie e alluvioni terrazzate, da medie a grossolane, con subordinate sabbie. Pleistocene superiore.

(a) Depositi di versante: sono costituiti da detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Olocene.

(a1a) Sedimenti legati a gravità: sono costituiti di frana, e rappresentano corpi di frana antichi accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Olocene.

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento delle rocce sedimentarie e vulcaniche del Miocene e dai depositi quaternari.

I depositi sedimentari miocenici sono costituiti da diverse facies composizionali che vanno dai termini carbonatici alle arenarie, mentre le coperture vulcaniche sono costituite prevalentemente da espandimenti lavici e ignimbriti. I depositi quaternari sono principalmente costituiti da depositi alluvionali e depositi di versante.

L'area vasta è caratterizzata di un'importante faglia con direzione principale E-W, e di altre faglie a direzione NW-SE.

Di queste strutture tettoniche presenti, le faglie determinano il controllo tettonico delle principali valli incise. La giacitura dei piani è abbastanza costante, sebbene possa esser influenzata dalle faglie. La faglia principale a direzione E-W separa il settore nord (con le turbine AG01 e AG02), dal settore sud, nel quale la faglia a direzione NW-SE separa un settore occidentale (nel quale ricadono le turbine AG03, AG04 e AG05) da quello orientale (nel quale si trova la turbina AG06). Nei diversi siti di installazione, la dinamica geostrutturale ha creato piani di fratturazione a diversa scala.

Quasi tutte le stazioni eoliche sono posizionate nella copertura sedimentaria (AG01 e AG02) e vulcanica (AG03, AG04, AG05, AG06) miocenica.

Le stazioni AG01 e AG02 sono posizionate sulle rocce sedimentarie della formazione di Monte Santo, mentre le stazioni AG03 e AG04 ricadono nell'Unità di Su Suerzu.

La stazione AG05 ricade nell'Unità di Uri, e la turbina AG06 nell'Unità di Monte Vittore del Distretto vulcanico di Capo Marargiu.



Figura 4 Particolare della stratificazione .



Figura 5 Ammasso roccioso in calcare compatto e poco fratturato.

5. Campagna 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:

1. Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
2. Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
3. 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°3 **stendimenti di geoelettrica** (04, 16 e 23 Maggio 2022), n°4 **stendimenti di sismica** con tecnica **MASW e rifrazione in onde P**. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni, mentre solo nei siti **SMT01, SMT02 e SMT03** si sono eseguiti i **3 stendimenti geoelettrici**, i quali hanno il medesimo centro degli allineamenti sismici ma sono leggermente più lunghi (93,0 m).

E' 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	Metodo di indagine	Orientamento	Lunghezza (m)
SMT01-AG02	MASW	SW-NE	69,0
SMT01- AG02	Sismica a rifrazione in onde P	SW-NE	69,0
SMT01- AG02	Geoelettrica	SW-NE	93,0
SMT02- AG04	MASW	W-E	69,0
SMT02- AG04	Sismica a rifrazione in onde P	W-E	69,0
SMT02- AG04	Geoelettrica	W-E	93,0
SMT03- AG06	MASW	W-E	69,0
SMT03- AG06	Sismica a rifrazione in onde P	W-E	69,0
SMT03- AG06	Geoelettrica	W-E	93,0
SM04- AG05	MASW	S-N	69,0
SM04- AG05	Sismica a rifrazione in onde P	S-N	69,0

Tabella 1 Ubicazione degli stendimenti



Figura 6 Ubicazione degli stendimenti

5.1. Generalità sul metodo sismico a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione studia la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali. La determinazione delle velocità si ottiene misurando i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica. Operativamente i profili sismici si eseguono disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), posti ad un intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: Nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori. L'interpretazione dei segnali e la ricostruzione del profilo di velocità delle onde P consiste di almeno due fasi ben distinte, e cioè l'interpretazione dei sismogrammi e l'interpretazione dei diagrammi tempi-istanze (dromocrone).

Nella prima fase i tempi di primo arrivo dei segnali sismici vengono letti direttamente sui sismogrammi di campagna visualizzati a monitor. I tempi letti in corrispondenza di ciascun canale (geofono), vengono memorizzati in appositi files che costituiscono i dati in input del software utilizzato. Per ciascun tiro, quindi, si ricostruisce un diagramma dei tempi di arrivo in funzione della distanza dal punto di tiro stesso.

L'interpretazione delle dromocrone consiste, quindi, nel suddividere la funzione tempi/distanze in segmenti a pendenza differente, indicativi della presenza di variazioni di velocità nel sottosuolo. Questa operazione viene eseguita ad un terminale videografico dove è possibile eseguire modifiche ed aggiustamenti continui dell'interpretazione.

Il numero di segmenti per ciascuna funzione equivale al numero di strati che costituiranno il modello interpretativo finale; modello che consiste in una stratigrafia del terreno basata sulle variazioni di velocità delle onde compressionali.

Nella maggior parte dei casi, comunque, si riscontrano variazioni stratigrafiche che non corrispondono a variazioni di tipo litologico in senso stretto, ma alla naturale variazione di compattezza dello stesso materiale che, per alterazione superficiale o per semplice decompressione, si presenta più allentato in prossimità della superficie rispetto alle zone più profonde.

In questi casi per la modellizzazione del sottosuolo, risulta più adatta un'altra tecnica di elaborazione: la tecnica di elaborazione tomografica.

Con questa tecnica il sottosuolo viene suddiviso in elementi finiti di forma quadrata e di dimensioni estremamente piccole (dell'ordine di grandezza di decimetri) un software specifico, (nel nostro caso si è utilizzato il software RAYFRAC vers 4.01), che stima le velocità sismiche compatibili con ogni singolo elemento affinché i tempi di percorso dei vari fronti d'onda, generati nei punti di tiro disposti lungo il profilo, risultino il più possibile simili ai tempi misurati e letti sui sismogrammi. Il risultato che si ottiene è una griglia di valori di velocità dalla superficie fino alle massime profondità di indagine che caratterizzano i vari elementi in cui è stato suddiviso il sottosuolo.

Questa griglia di valori può essere, quindi utilizzata per rappresentare l'andamento nel sottosuolo delle varie litologie presenti mediante variazioni cromatiche associate alle variazioni di velocità o mediante linee di isovelocità.

5.2. Caratteristiche delle stese sismiche

Per tutte le basi sismiche sono state eseguite 9 energizzazioni intervallate ogni 3 geofoni secondo lo schema di acquisizione definito dalla specifiche tecniche.

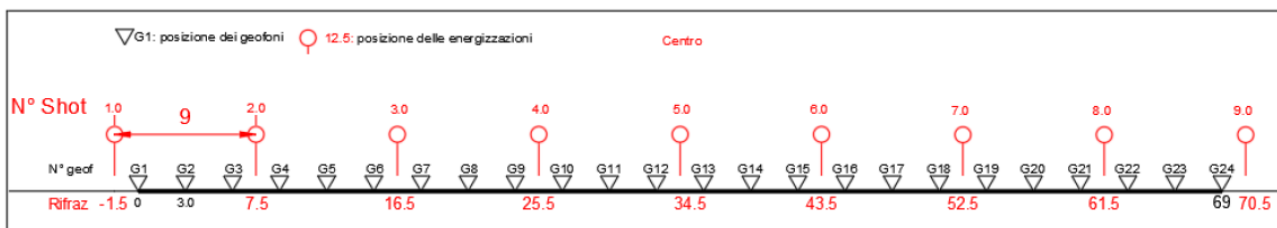


Figura 7 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 m

5.3. Caratteristiche della Strumentazione impiegata

Per l'esecuzione delle indagini è stato impiegato un sismografo GEA24, prodotto dalla PASI Geophysics, con frequenza di campionamento 5.000 Hz (Rifrazione) e 1500 Hz (MASW) per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della PASI Geophysical con frequenza propria di 4,5 Hz per un numero di canali pari a n° 24. Per l'energizzazione è stata impiegata una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg. La quota relativa di ciascun geofono-shot è stata rilevata tramite una livella digitale e GPS differenziale marca Stonex in modo da poter ricostruire la morfologia del terreno e utilizzarla in fase di elaborazione dei dati acquisiti.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 18 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	--------------------

5.4. Elaborazione dei dati

I dati delle prospezioni sono costituiti dalla geometria d'acquisizione (posizioni e quote relative dei punti scoppio e dei geofoni) e dai tempi di primo arrivo delle onde elastiche di compressione (onde P), determinati manualmente sulle registrazioni riprodotte a schermo (picking dei primi arrivi). La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. L'inversione dei dati è stata eseguita secondo i criteri della tomografia sismica, mediante apposito software specialistico basato su tecniche di ottimizzazione non lineare. In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4.01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono. Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita a specifici intervalli di velocità facilita l'immediata visione dei risultati

5.5. Indagini sismiche: MASW

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

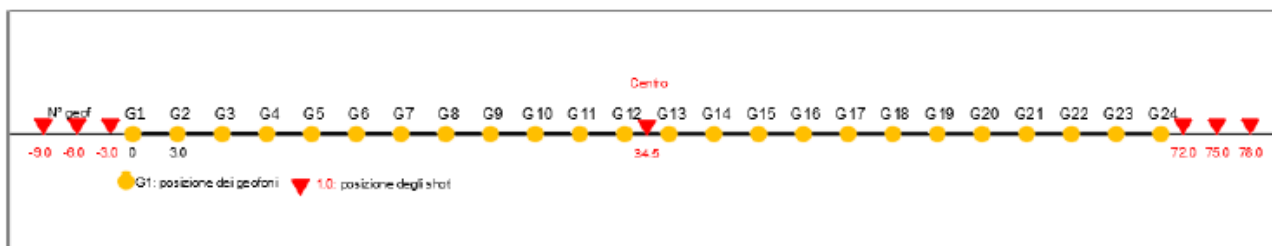
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

5.6. 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 **3,0 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.

MASW: schema geometrico delle acquisizioni a 24 geofoni e interdistanza di 3,0 m



5.7. Caratteristiche della strumentazione impiegata

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata impiegata una strumentazione di acquisizione modello GEA24, prodotto dalla PASI Geophysics, con frequenza di campionamento 1500 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della PASI Geophysical con frequenza propria di 4,5 Hz. Il numero di canali è risultato pari a n° 24 canali.

Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

5.8. Interpretazione dei segnali acquisiti

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

1. individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
2. analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
3. 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.

5.9. 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.

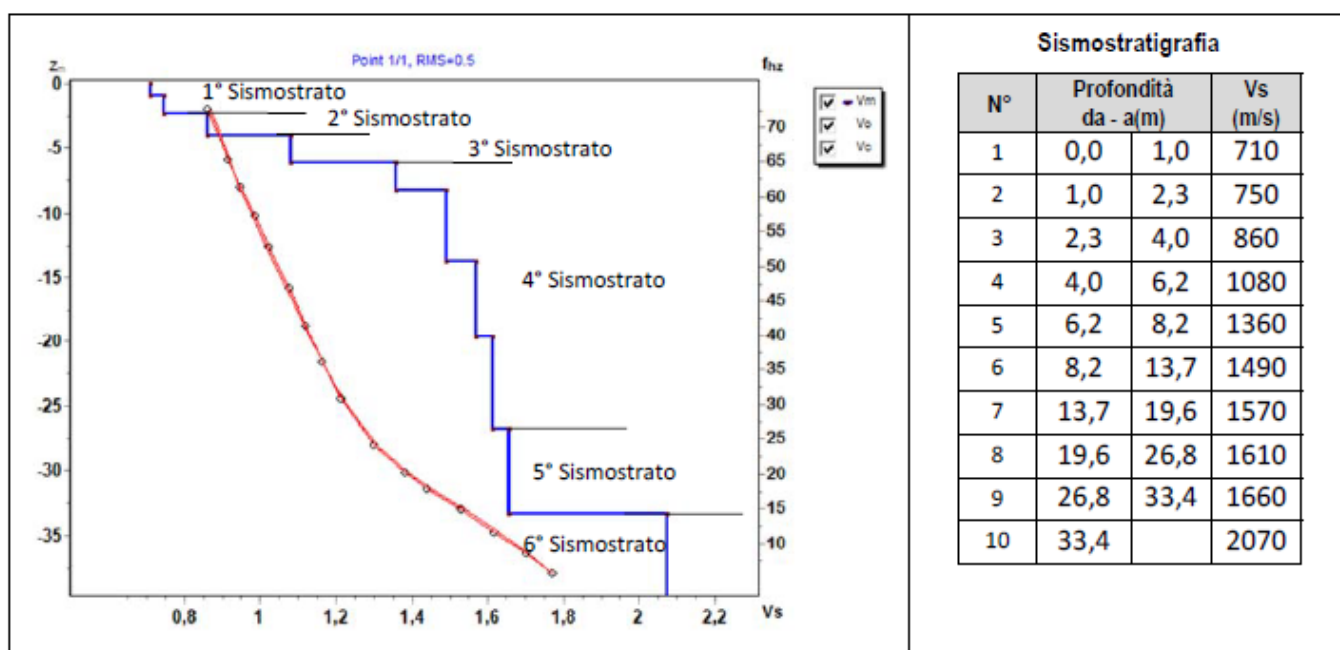
5.10. Risultati delle indagini del sito SMT01 (AG02)

5.10.1. Masw SMT01

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT01, 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 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra 710 e 750 m/s, Roccia fratturata
2,3 – 4,0	2° sismostrato con Vs di 860 m/s, Substrato roccioso fratturato
4,0 – 6,2	3° sismostrato con Vs di 1080 m/s, Substrato roccioso debolmente fratturato
6,2 – 26,8	4° sismostrato con Vs tra 1360 e 1610 m/s, Substrato roccioso sano
26,8 – 33,4	5° sismostrato con Vs di 1660 m/s, Substrato roccioso sano
>33,4	6° sismostrato con Vs di 2070 m/s, Substrato roccioso sano

MASW SMT01 - 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 **2,3 m** ($V_s > 800$ m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

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

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]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-2,3	10%	2.000	1.510	755	0,33	3.040	304	1.138	3.040
2	2,3-4,0	15%	2.000	1.720	860	0,33	3.942	591	1.481	3.942
3	4,0-6,2	15%	2.100	2.160	1.080	0,33	6.531	980	2.452	6.531
4	6,2-26,8	20%	2.200	2.970	1.485	0,33	12.935	2.587	4.854	12.935
5	26,8-33,4	30%	2.300	3.320	1.660	0,33	16.897	5.069	6.335	16.897
6	>33,4	30%	2.300	4.140	2.070	0,33	26.282	7.885	9.856	26.282

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

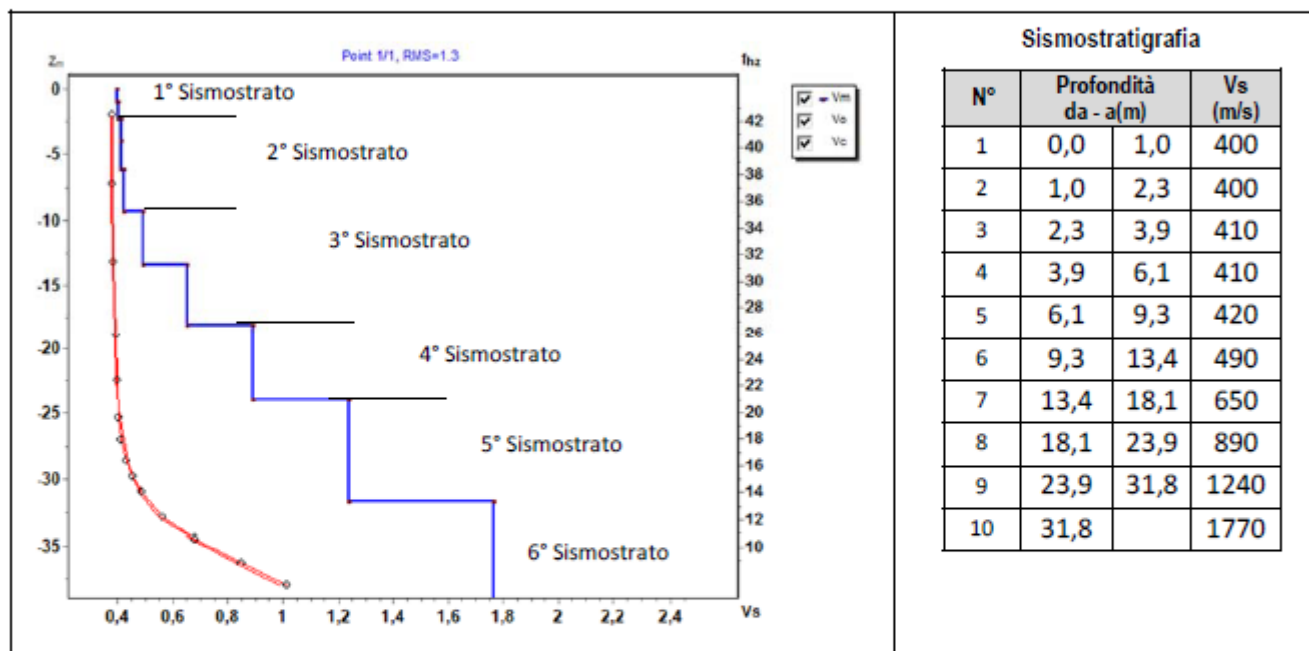
5.11. Risultati delle indagini del sito SMT02

5.11.1. Masw SMT02

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT02, 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 – 2,3	1° sismostrato con Vs di 400 m/s, Terre da poco a mediamente addensate
2,3 – 9,3	2° sismostrato con Vs tra 410 e 420 m/s, Terre mediamente addensate
9,3 – 18,1	3° sismostrato con Vs tra 490 e 650 m/s, Roccia tenera e/o alterata-intensamente frantumata
18,1 – 23,9	4° sismostrato con Vs di 890 m/s, Substrato roccioso intensamente frantumato
23,9 – 31,8	5° sismostrato con Vs di 1240 m/s, Substrato roccioso da frantumato a sano
>31,8,0	6° sismostrato con Vs di 1770 m/s, Substrato roccioso sano

MASW SMT02 - 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 18,1 m ($V_s > 800$ m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 18,1 m di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 18,1/0,038147 = 474$ m/s.

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

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

Sismostrato	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]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,3	terre	1.700	860	430	0,33	834	100	314	834
2	2,3-9,3	terre	1.800	1.320	660	0,33	2.089	252	785	2.089
3	9,9-18,1	10%	2.100	1.820	910	0,33	4.639	464	1.736	4.639
4	18,1-23,9	15%	2.200	2.640	1.320	0,33	10.219	1.533	3.834	10.219
5	23,9-31,8	20%	2.300	3.660	1.830	0,33	20.535	4.107	7.698	20.535
6	>31,8	25%	2.400	4.320	2.160	0,33	29.862	7.465	11.199	29.862

Figura 9 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

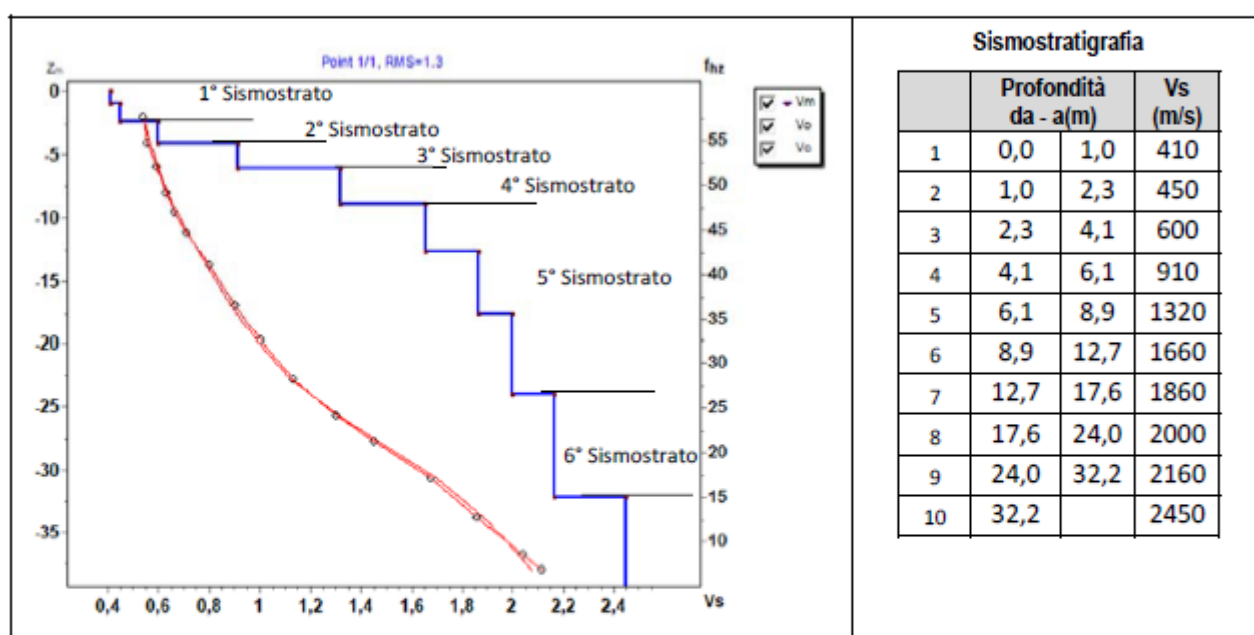
5.12. Risultati delle indagini del sito SMT03 - aerogeneratore AG06

5.12.1. Masw SMT03

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT03, 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 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra 410e 450 m/s, Terre molto addensate
2,3 – 4,1	2° sismostrato con Vs di 660 m/s, Roccia intensamente fratturata
4,1 – 6,1	3° sismostrato con Vs di 910 m/s, Substrato roccioso fratturato
6,1 – 8,9	4° sismostrato con Vs di 1320 m/s, Substrato roccioso da fratturato a sano
8,9 – 24,0	5° sismostrato con Vs tra 1660 e 2000 m/s, Substrato roccioso sano
24,0 – 32,2	6° sismostrato con Vs di 2160 m/s, Substrato roccioso sano
>32,2	7° sismostrato con Vs > di 2450 m/s, Substrato roccioso sano

MASW SMT03 - 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 4,1 m ($V_s > 800$ m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4,1 m di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 4,1/0,008304 = 494$ m/s.

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

Chiaramente in caso di realizzazione di fondazioni a profondità maggiore di 1,1 m da p.c. la classificazione del sottosuolo passa ad una *categoria A*.

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]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,3	terre	1.700	860	430	0,33	834	100	314	834
2	2,3-4,1	10%	2.000	1.320	660	0,33	2.324	232	873	2.324
3	4,1-6,1	15%	2.100	1.820	910	0,33	4.639	696	1.736	4.639
4	6,1-8,9	15%	2.200	2.640	1.320	0,33	10.219	1.533	3.834	10.219
5	8,9-24,0	20%	2.300	3.660	1.830	0,33	20.535	4.107	7.698	20.535
6	24,0-32,2	25%	2.400	4.320	2.160	0,33	29.862	7.465	11.199	29.862
7	>32,2	30%	2.400	4.900	2.450	0,33	38.413	11.524	14.406	38.413

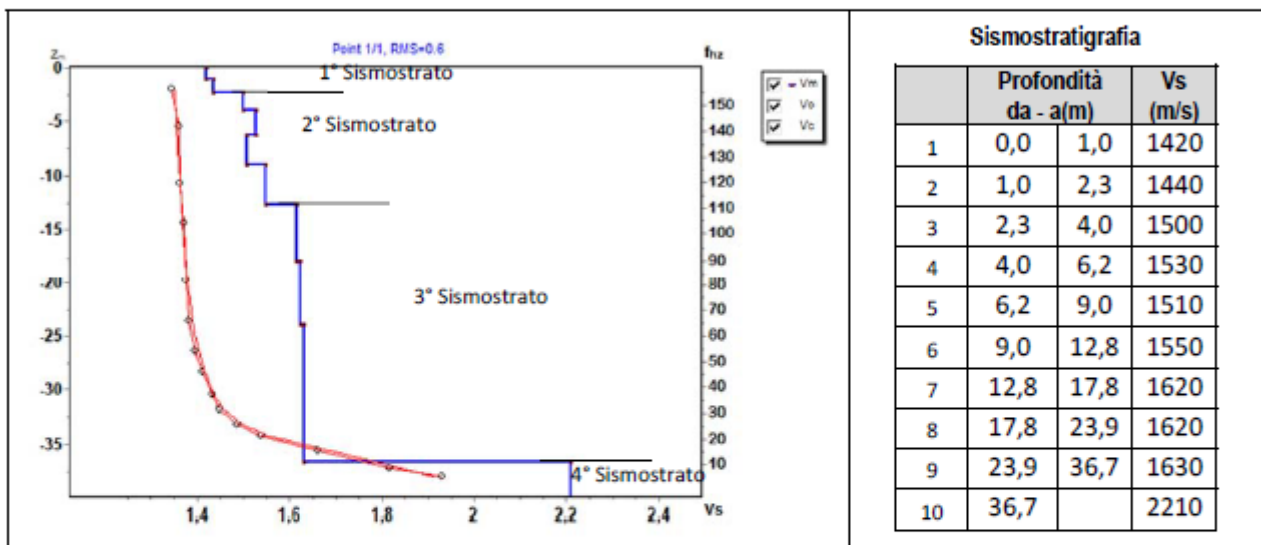
Figura 10 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

5.13. Risultati delle indagini del sito SM04

5.13.1. Masw SM04

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali V_s dello stendimento **SM04**, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio V_s .

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 2,3	1° sismostrato con V_s tra 1420 e 1440 m/s, Substrato roccioso debolmente fratturato
2,3 – 12,8	2° sismostrato con V_s tra 1500 e 1550 m/s, Substrato roccioso sano
12,8 – 36,7	3° sismostrato con V_s tra 1620 e 1630 m/s, Substrato roccioso sano
>36,7	4° sismostrato con V_s di 2210 m/s, Substrato roccioso sano

MASW SM04 - PROFILO V_s 

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (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.

Esaminato il profilo delle V_s si pone come profondità del substrato 1,0 m ($V_s > 800$ m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

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

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input V_s , e V_p 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]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-2,3	20%	2.100	2.860	1.430	0,33	11.454	2.291	4.295	11.454
2	2,3-12,8	30%	2.100	3.050	1.525	0,33	13.023	3.907	4.884	13.023
3	12,8-36,7	30%	2.200	3.250	1.625	0,33	15.495	4.648	5.806	15.495
4	>36,7	30%	2.200	4.420	2.210	0,33	28.655	8.597	10.748	28.655

Figura 11 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

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 **4 modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito.

5.14. Modello Geologico 01 – AG01 e AG02

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT01** e i dati relativi alle giaciture delle discontinuità primarie e secondarie (stratificazione e fratturazione) durante il rilievo geologico di campo .

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo di circa **0,15m** si incontra un livello superficiale di **roccia fratturata** dallo spessore di circa **2,3m**, il livello sottostante dallo spessore pari a circa **1,7m** può essere definito come **substrato roccioso fratturato** che passa a **substrato roccioso debolmente fratturato** per i successivi **2,2m** fino ad una quota da p.c di **6,2m**, quota al di sotto della quale si incontra il **substrato roccioso sano**.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva o presenta stratificazione alla scala del metro, laddove si alternano livelli più compatti e cementati a livelli leggermente più fratturati e alterati. Oltre alla giacitura della stratificazione, risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è evidente però quando queste, talvolta subortogonali tra loro, intersecandosi tendano a dividere l'ammasso in blocchi dalle dimensioni talvolta metriche. L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare nello stendimento **SMT01** delle anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto al resto delle sezioni, che nel contesto in esame potrebbero essere interpretati come settori leggermente più fratturati e interessati da circolazione idrica e/o presenza di cavità di origine carsica con presenza d'acqua. Il confronto con i grafici della sismica a rifrazione in alcuni casi farebbe propendere più per la prima ipotesi, mentre in altri per la seconda.

00.00m - 2.30m Suolo/ Calcare fratturato
02.30m - 4.00m Substrato fratturato
04.00m - 06.20m Substrato debolmente fratturato.
06.20m - in poi Substrato sano

Ittiri - MODELLO GEOLOGICO 01 (AG01, AG02)					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		Suolo/ Calcare fratturato	Substrato fratturato	Substrato debolmente fratturato	Substrato sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	2000	2000	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2100	2100	2200	2300
Angolo di attrito interno	[°]	32,04	37,17	44,05	50,23
Coesione	[Mpa]	1,909	3,342	12,452	19,734
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	3040	3942	6531	12935
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	1138	1481	2452	4854
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	755	860	1080	1485

5.15. Modello Geologico 02 – AG03, AG04.

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT02** e i dati relativi alle giaciture delle discontinuità (giunti di raffreddamento) durante il rilievo geologico di campo.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo vegetato di circa **0,20m** si incontra un livello superficiale di **terre da poco a mediamente addensate** dallo spessore di circa **2,3m**, arrivando a **9,3m** da p.c. si passa a **terre mediamente addensate**, il sottostante livello che poggia a **18,1m** da p.c. è un sismostrato che in base alla velocità delle onde viene identificato come **roccia tenera e/o alterata-intensamente fratturata**.

Dai **18,1m** a **23,9m** viene rilevata la presenza del substrato roccioso che, inizialmente **intensamente fratturato**, passa tra i **23,9m** e i **31,8m** da **fratturato a sano**.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia presenta discontinuità date principalmente dai giunti di raffreddamento, risulta mediamente resistente e da debolmente a mediamente affetta da alterazione fisica. La spaziatura tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso varia da oltre il metro a circa 0,25m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è alta la probabilità che l'intersezione tra queste causi scivolamenti planari o a cuneo.

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia 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).

0.00m – 2.30m	Terre da poco a mediamente addensate
2.30m – 9.30m	Terre mediamente addensate
9.30m – 18.10m	Roccia tenera e/o alterata-intensamente fratturata
18.10m – 31.80	Substrato roccioso da intensamente fratturato a sano

Ittiri - MODELLO GEOLOGICO 02 (AG03, AG04)					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		Terre da poco a mediamente addensate	Terre mediamente addensate	Roccia tenera e/o alterata-intensamente fratturata	Substrato roccioso da intensamente fratturato a sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1700	1800	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1800	1900	2200	2300
Angolo di attrito interno	[°]	25,67	27,15	31,74	41,08
Coesione	[Mpa]	0,840	1,842	2,281	3,369
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	834	2089	4639	20535
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	314	785	1736	3834
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	430	660	910	1320

5.16. Modello Geologico 03 – AG05

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT03** e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-1".

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo vegetato di circa **0,20m** si incontra un livello superficiale di **terre molto addensate** dallo spessore di circa **2,3m**, arrivando a **4,1m** da p.c. si passa a **roccia intensamente fratturata**, mentre il sottostante livello che poggia a **6,1m** da p.c. viene identificato come **substrato roccioso fratturato** con una velocità delle onde pari a **910 m/sec**

Dai **6,1m** a **8,9m** il substrato roccioso passa da **fratturato a sano**.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia presenta discontinuità date principalmente dai giunti di raffreddamento, risulta mediamente resistente e da debolmente a mediamente affetta da alterazione fisica. La spaziatura tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso varia da oltre il metro a circa 0,25m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è alta la probabilità che l'intersezione tra queste causi scivolamenti planari o a cuneo.

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia 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).

- 0.00m – 2.30m Terre molto addensate
- 2.30m – 4.10m Roccia intensamente fratturata.
- 4.10m – 06.10m Substrato roccioso fratturato.
- 06.10m – 08.90m Substrato roccioso da fratturato a sano.

Ittiri - MODELLO GEOLOGICO 03 (AG05)					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		Terre molto addensate	Roccia intensamente fratturata	Substrato roccioso fratturato	Substrato roccioso da fratturato a sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1700	2000	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1800	2100	2200	2300
Angolo di attrito interno	[°]	22,67	26,01	35,04	43,71
Coesione	[Mpa]	1,218	2,011	2,815	3,620
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	834	2324	4639	10219
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	314	873	1736	3834
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	430	660	910	1320

5.17. Modello Geologico 04 – AG06

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SM04** e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-2".

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo vegetato di circa 0,20m si incontra un livello superficiale di **substrato roccioso debolmente fratturato** dallo spessore di circa **2,3m** al di sotto del quale il basamento roccioso è sano con velocità delle onde oltre i **1525 m/sec**. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia presenta discontinuità nei due metri superficiali, risulta resistente e debolmente affetta da alterazione fisica. La spaziatura tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso varia da oltre il metro a circa 0,35m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è alta la probabilità che l'intersezione tra queste causi scivolamenti planari o a cuneo.

Dall'elaborazione dei dati sulle discontinuità è possibile notare come la densità dei poli delle discontinuità sia alta a N-NE con valori di inclinazione di circa 50°. Per il caso specifico sarebbe quindi opportuno prestare attenzione al verificarsi di scivolamenti durante gli scavi in eventuali scarpate orientate a S-SW con inclinazioni superiori ai 50°. Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia 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).

0.00m – 2.30m Substrato roccioso debolmente fratturato

2.30m – in poi Substrato roccioso sano

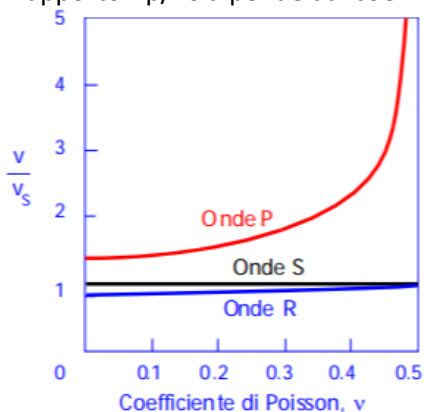
Ittiri - MODELLO GEOLOGICO 04 (AG06)

Dati Parametri Resistenza			
Tipo di Terreno		Substrato roccioso debolmente fratturato	Substrato roccioso sano
Descrizione			
Peso di volume	[kg/mc]	2100	2100
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2200	2200
Angolo di attrito interno	[°]	39.50	48.30
Coesione	[Mpa]	14,254	23,555
Dati Parametri Deformabilità			
Modulo elastico	[Mpa]	11454	13023
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	4298	4884
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	1430	1525

5.18. 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 V_p/V_s dipende dal coefficiente di Poisson; in genere la Vr è sempre di poco minore della Vs



per $v = 0.25$ $V_R = 0.919 V_S$

$v = 0.33$ $V_R = 0.933 V_S$

$v = 0.40$ $V_R = 0.943 V_S$

$v = 0.50$ $V_R = 0.955 V_S$

Modello Geologico di sito– Profilo sismico M1 /M2/M3/M4

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

1. Modello geologico 01

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0,00 – 2,30	710	0,33	662
2,30 – 4,00	860	0,33	802
4,00 – 6,20	1080	0,33	1008
6,20 – 26,80	1360	0,33	1269

2. Modello geologico 02

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0,00 – 2,30	400	0,33	373
2,30 – 9,30	410	0,33	383
9,30 – 18,10	490	0,33	457
18,10 – 23,90	890	0,33	830

3. Modello geologico 03

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0,00 – 2,30	410	0,33	383
2,30 – 4,10	660	0,33	616
4,10 – 6,10	910	0,33	849
6,10 – 8,90	1320	0,33	1232

4. Modello geologico 04

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0,00 – 2,30	1420	0,33	1325
2,30 – 12,80	1500	0,33	1400
12,80 – 36,70	1620	0,33	1511
➤ 36,70	2210	0,33	2062

6. 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. 12 (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.

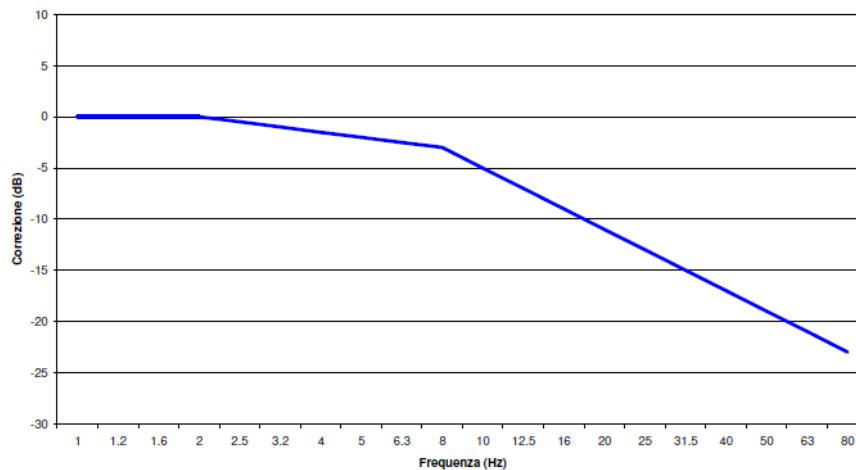


Figura 12 - Curva di ponderazione asse generico

Le vibrazioni si propagano nel terreno circostante, alla zona della sorgente, subendo un'attenuazione dipendente dalla natura del terreno, dalla frequenza del segnale, e dalla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto.

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

1. Onde di compressione (onda P)
2. Onde di taglio (onda S)
3. Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L)

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

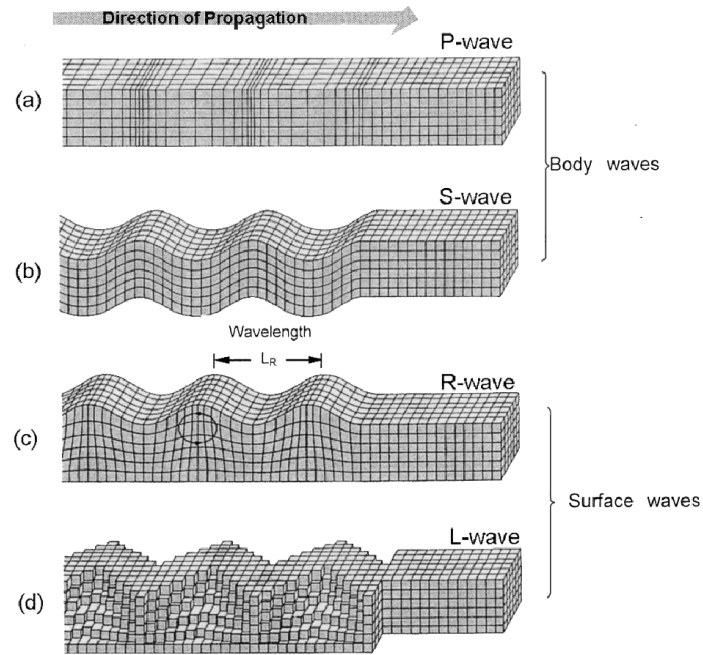


Figura 13 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie

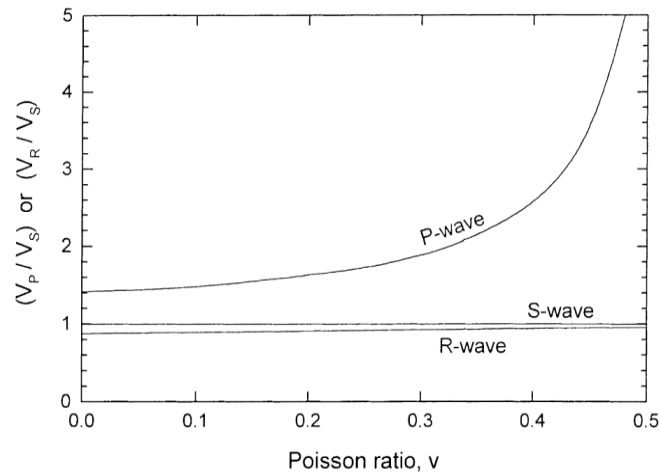


Figura 14 - rapporto tra le velocità di propagazione V_p e V_r

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.14 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. 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

8. 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 /M2/M3/M4/M5 $v=0,33$ $V_r = 0,933 V_s$

Modello geologico 01

profondità in m (da-a)	V_s (m/sec)	v	V_r (m/sec)	η	n
0,00 – 2,30	710	0,33	662	0.05	0.5
2,30 – 4,00	860	0,33	802	0.01	0.5
4,00 – 6,20	1080	0,33	1008	0.01	0.5
6,20 – 26,80	1360	0,33	1269	0.01	0.5

Modello geologico 02

profondità in m (da-a)	V_s (m/sec)	v	V_r (m/sec)	η	n
0,00 – 2,30	400	0,33	373	0.05	0.5
2,30 – 9,30	410	0,33	383	0.01	0.5
9,30 – 18,10	490	0,33	457	0.01	0.5
18,10 – 23,90	890	0,33	830	0.01	0.5

Modello geologico 03

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	η	n
0,00 – 2,30	410	0,33	383	0.05	0.5
2,30 – 4,10	660	0,33	616	0.01	0.5
4,10 – 6,10	910	0,33	849	0.01	0.5
6,10 – 8,90	1320	0,33	1232	0.01	0.5

Modello geologico 04

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	η	n
0,00 – 2,30	1420	0,33	1325	0.01	0.5
2,30 – 12,80	1500	0,33	1400	0.01	0.5
12,80 – 36,70	1620	0,33	1511	0.01	0.5
➤ 36,70	2210	0,33	2062	0.01	0.5

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

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

9. Sorgenti di vibrazione

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

1. posizione rispetto agli edifici,
2. funzione,
3. rispetto alle 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)**.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 39 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	--------------------

9.1. Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto

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

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

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

Si prevede che le attività saranno svolte unicamente in periodo diurno ed in normale orario lavorativo e, pertanto, **non si fa riferimento al periodo notturno. Non sono altresì previsti, in questa fase lavorazioni nei giorni festivi.** Tuttavia, se per qualche ragione non prevedibile in questa fase, si dovesse necessariamente lavorare in uno dei periodi sopracitati, verrà messo in atto quanto contenuto nel **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

9.2. Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale

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

9.3. Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere

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

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

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

Scenario 02 – attività di posa dei cavidotti;

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

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

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

La norma **UNI 9614/2017** prevede che sia considerata periodo diurno la fascia oraria dalle **6.00 alle 22.00** (punto 3.17) e fissa il limite per la massima accelerazione a **7,2 mm/s²** (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. Gli alti valori di Vs riscontrati in corrispondenza del modello geologico 04 dovranno essere confermati da precise misure in sito.

Modello geologico 01

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	η	n
0,00 – 2,30	710	0,33	662	0.05	0.5
2,30 – 4,00	860	0,33	802	0.01	0.5
4,00 – 6,20	1080	0,33	1008	0.01	0.5
6,20 – 26,80	1360	0,33	1269	0.01	0.5

9.4. Scenari di riferimento di cantiere

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

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

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

1. Escavatore
2. Autocarro

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

1. Escavatore
2. Martellone idraulico
3. Autocarro
4. Pala cingolata
5. Betoniera*
6. Gru*

MOD. GEO.4		Distanza minima oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alla soglia limite di 7,2 mm/sec ²
Scenario 01		242,65
Scenario 02		164,34
Scenario 03**		242,65

Tabella 2 Valutazione distanza di sicurezza per le vibrazioni

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

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

9.5. 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).

9.6. Limiti di riferimento

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

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

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

Figura 15 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

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

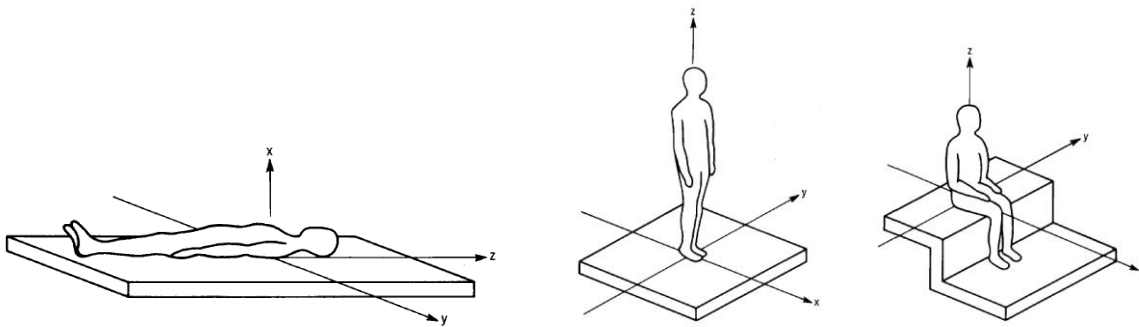


Figura 16 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

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

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

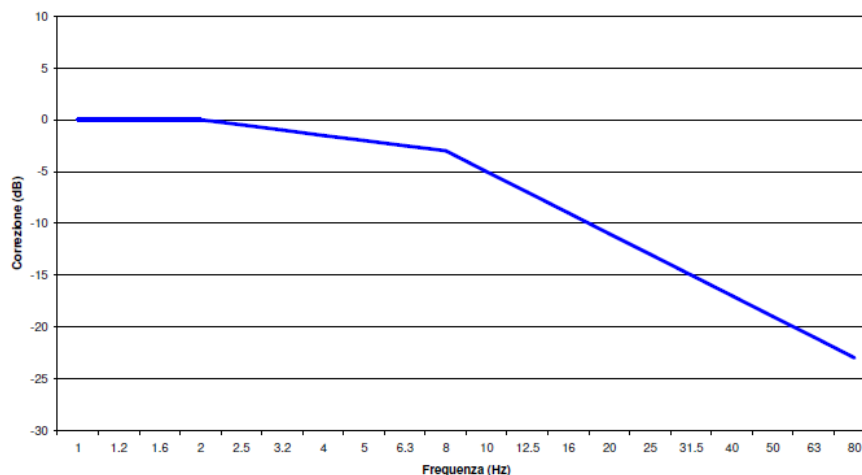


Figura 17 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614

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

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

La DIN4150-3 considera 3 classi di edifici:

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

E considera due tipi di vibrazione:

1. Vibrazione di breve durata;
2. Vibrazione permanente

prospetto D.1 **Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano alto	Solai Componente Verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz ^{*)}	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f=10$ Hz) a 40 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ($f=50$ Hz) a 50 ($f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ($f=10$ Hz) a 15 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ($f=50$ Hz) a 20 ($f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ($f=10$ Hz) a 8 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ($f=50$ Hz) a 10 ($f=100$ Hz)	8	3/4

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

prospetto D.2 **Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

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

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 44 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	--------------------

9.7. Ricettori

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.

10. Modalità di gestione del disturbo dovuto alle vibrazioni

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

10.1. 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

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 45 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	--------------------

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 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.

10.2. Spettri di emissione delle macchine operatrici

10.2.1. Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante

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

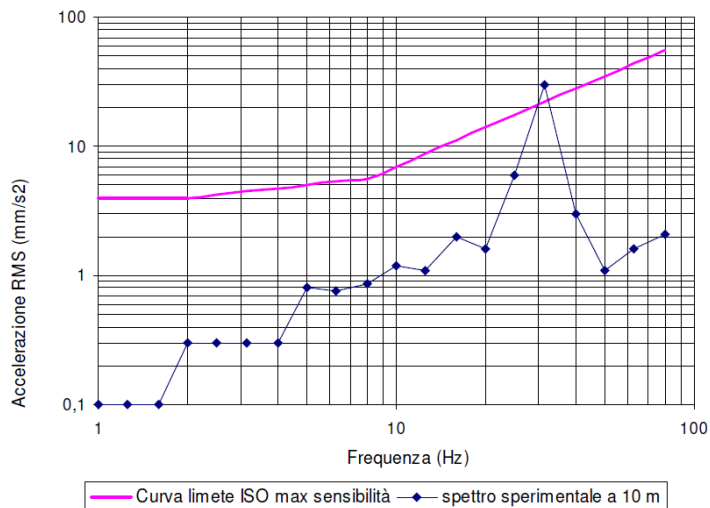


Figura 19 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10mdall'asse di cantiere

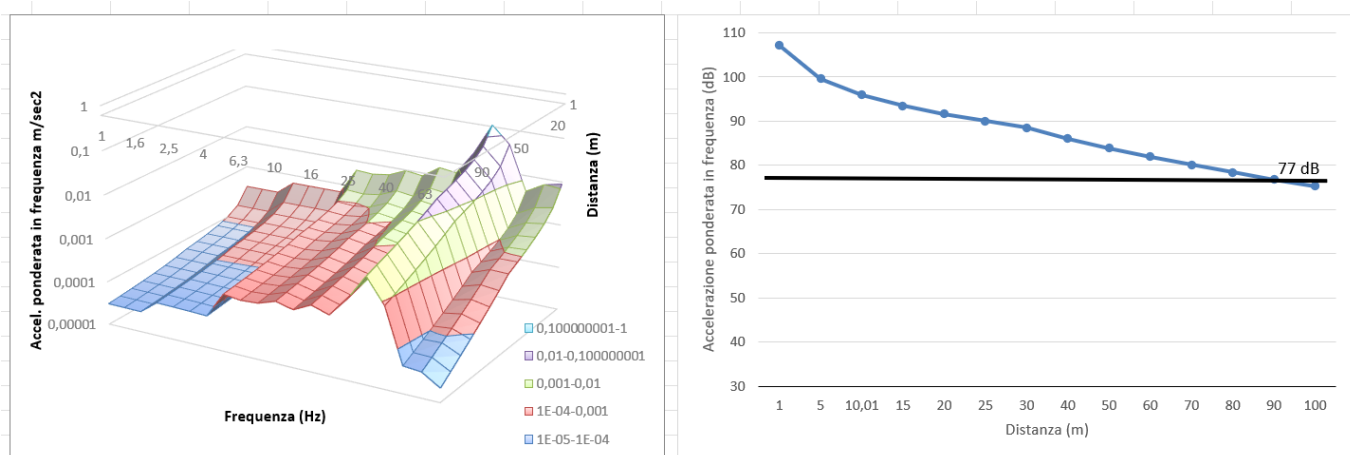


Figura 20 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10.2.2. Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata

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

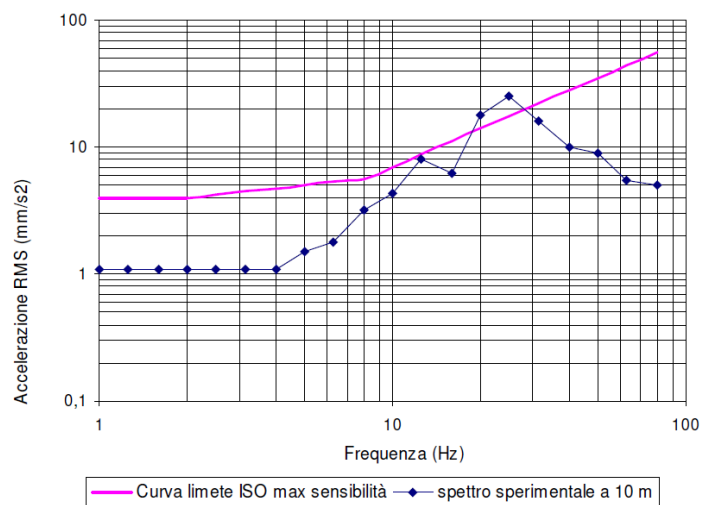


Figura 21 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere

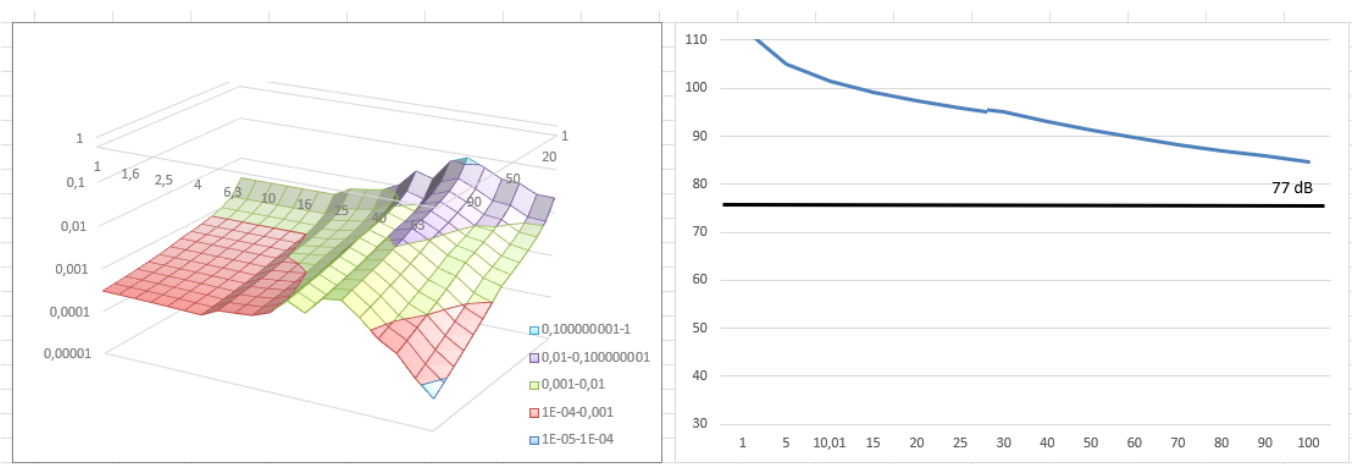


Figura 22 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10.2.3. Propagazione delle vibrazioni di un autocarro

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

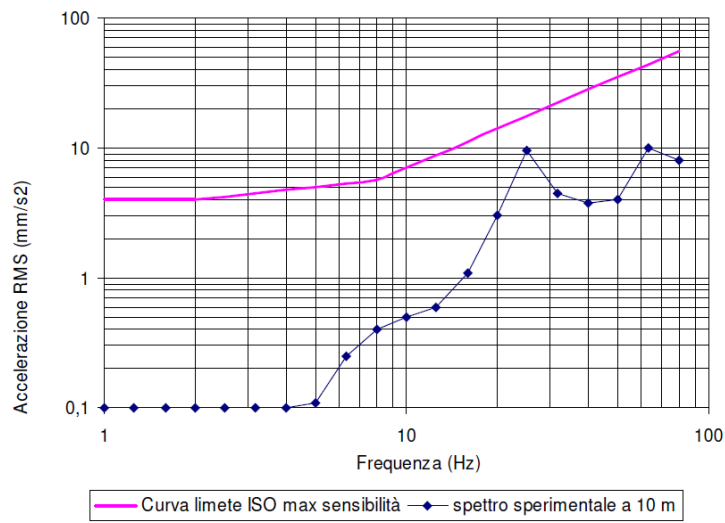


Figura 23 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere

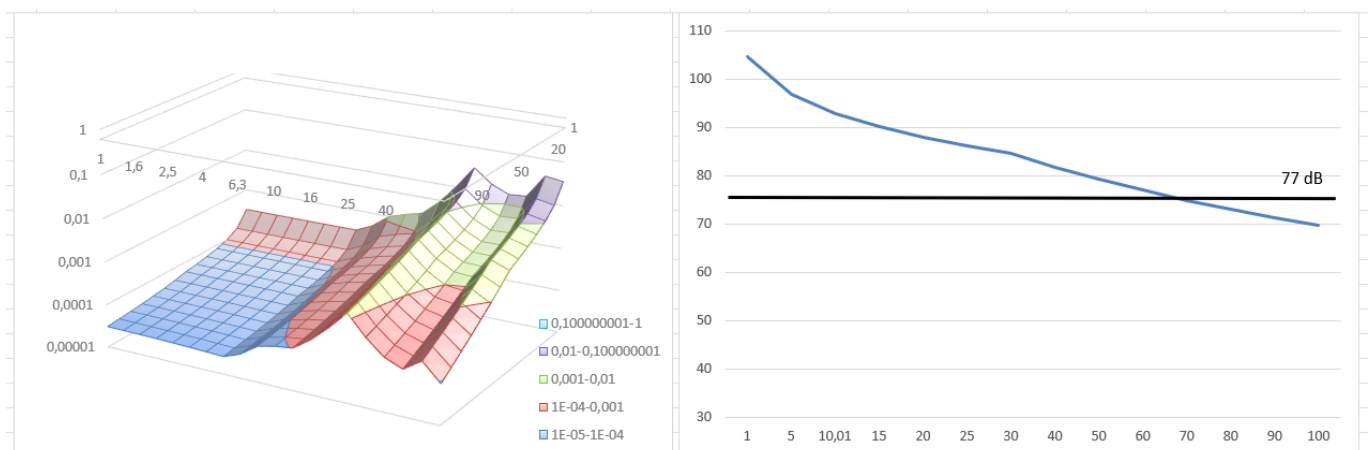


Figura 24 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10.2.4. Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato

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

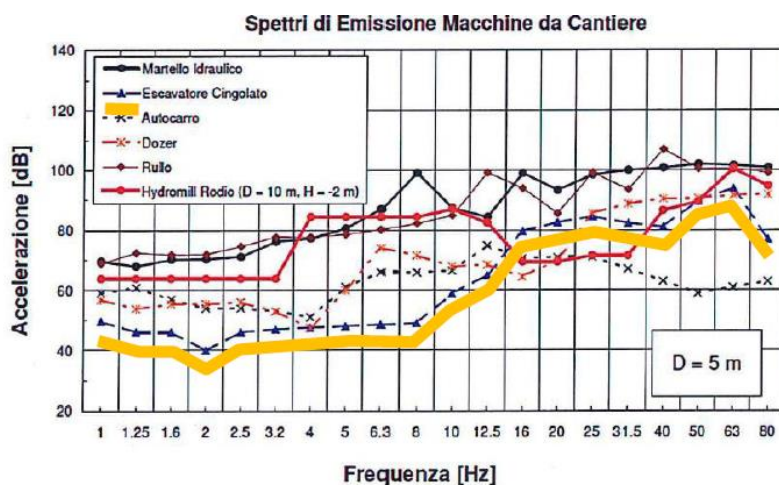


Figura 25 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5mdall'asse di cantiere

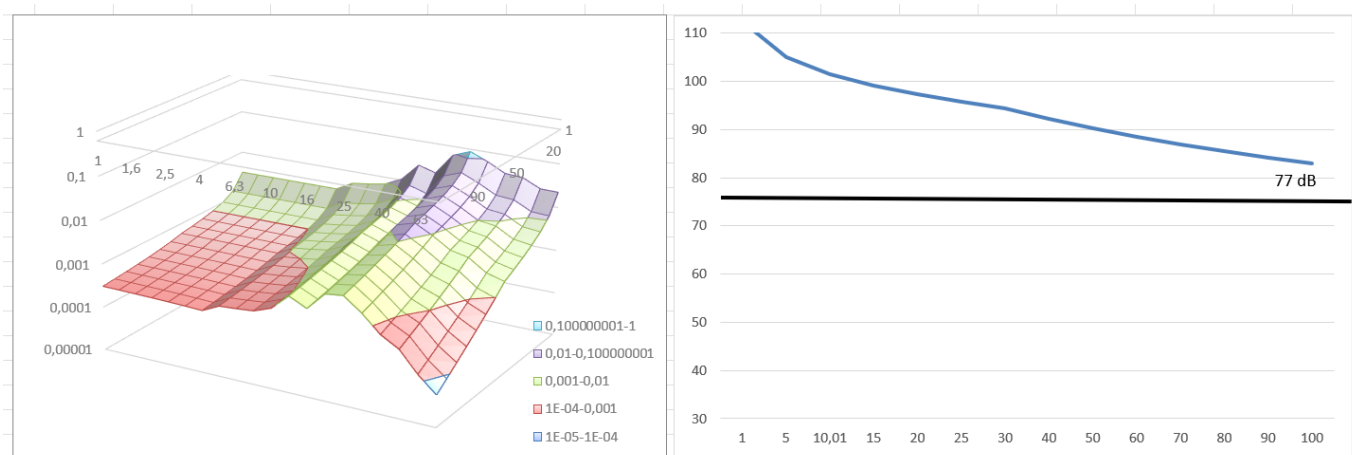


Figura 26 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10.2.5. Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico

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

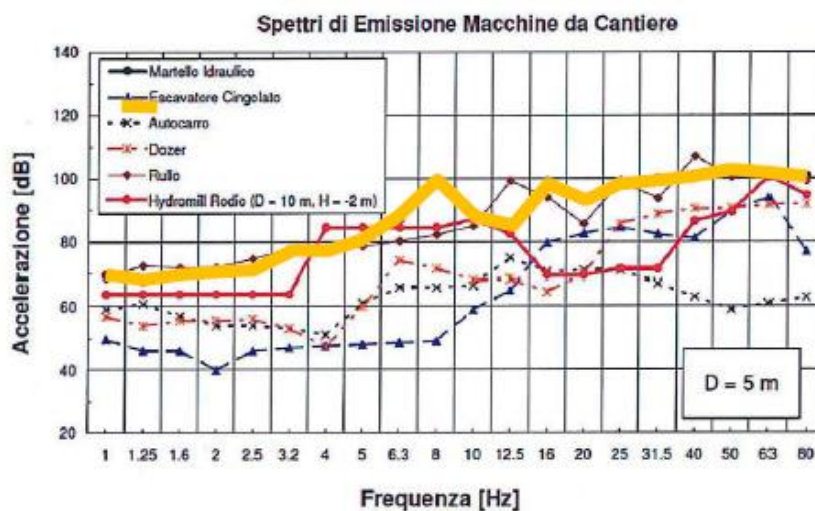


Figura 27 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5mdall'asse di cantiere

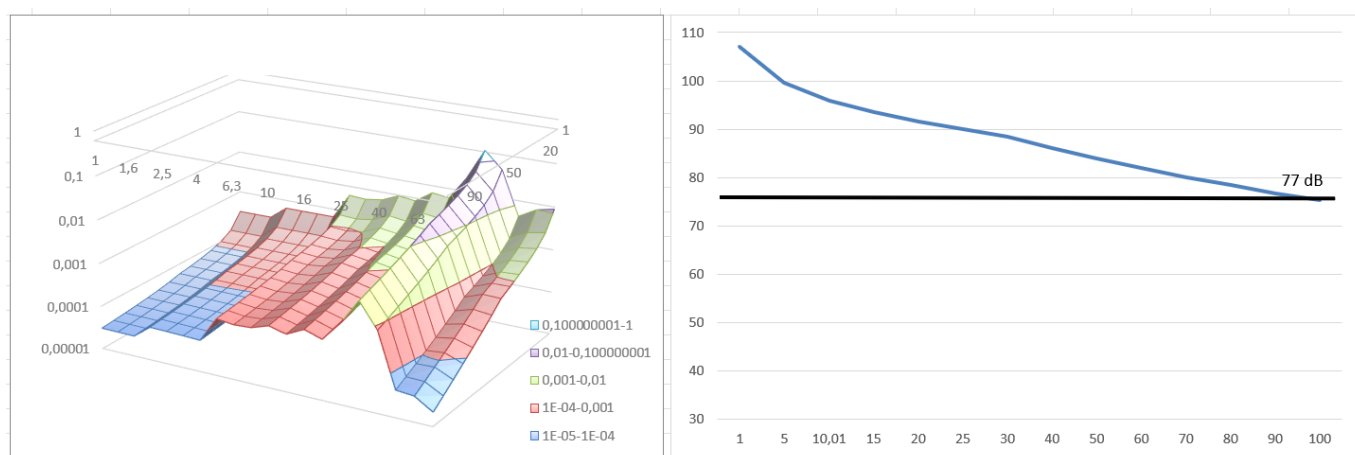


Figura 28 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

11. Conclusioni

Lo studio ha permesso di analizzare il potenziale impatto dovuto a vibrazioni prodotte dalle macchine operatrici, in accordo con quanto previsto alle norme 9416/2017 e 9916/2014, che verranno impiegate per la realizzazione del Parco Eolico e successivamente durante il suo esercizio.

A tal fine e con l'intento di valutare efficacemente le attività previste sono stati individuati tre scenari di riferimento per la fase di cantiere. Quindi sono state valutate le distanze oltre le quali il livello di vibrazione prodotto complessivamente dalle attività risulta minore dei limiti prefissati dalla norma ovvero con accelerazione ponderata minore di 7,2 mm/sec².

L'analisi porta ad un range di distanze di sicurezza, nella peggiore delle ipotesi, compreso tra i 164m (posa dei cavidotti) e i 243m (fase di realizzazione delle fondazioni delle torri a supporto degli aerogeneratori e delle piazzole di servizio).

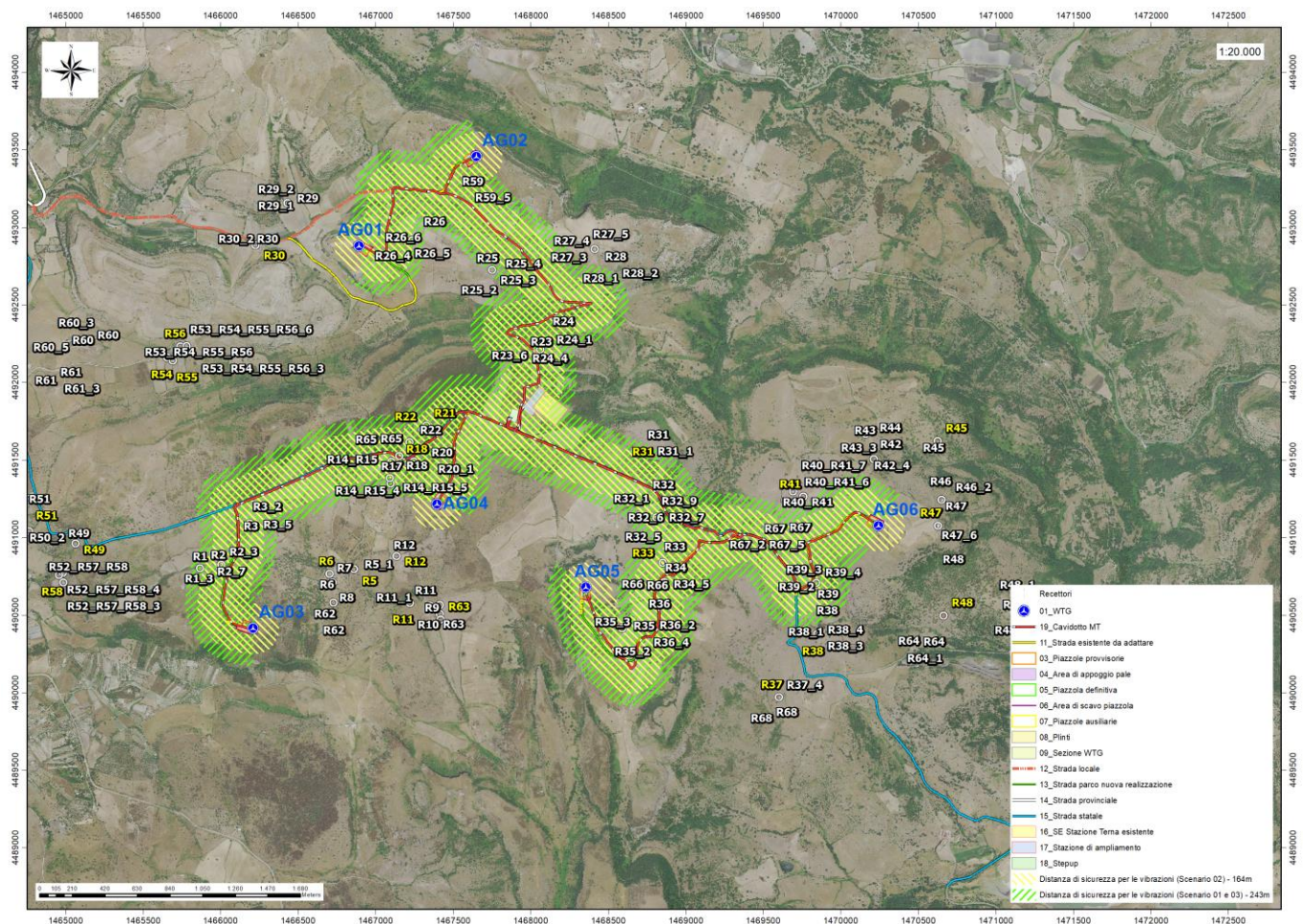


Figura 29 Distanze di sicurezza per le vibrazioni nei vari scenari

All'interno di queste distanze non ricadono i recettori sensibili quali abitazioni, R50 e R54 peraltro non utilizzate o utilizzate saltuariamente.

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.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-PGR-014	Rev 0	Pagina 52 di 52
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------	--------------------

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