

Valutazione d'impatto ambientale D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.

BOREAS

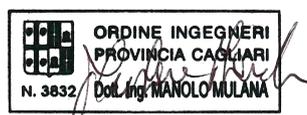
Ampliamento del Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu nel territorio del Comune di Jerzu (NU)



PROGETTO DEFINITIVO OPERE CIVILI

ANALISI DEGLI IMPATTI DA VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

Rev.	Data	Descrizione	Red.	Contr.	Appr.
0	15/12/20	Emissione per procedura di VIA	IAT	Sartec	Sartec



Sede Amministrativa
 I-20122 Milano
 Galleria Passarella 2
 Tel. +39 02 77371
 Fax +39 02 7737209

Sede Legale
 Sesta Strada Ovest
 Z.I. Macchiareddu
 I-09068 Uta (CA)
 Tel. +39 070 24661780
 Fax +39 070 24661211

Stabilimento
 Parchi Eolici di Ulassai
 S.P. 13, km.11+500
 I-08040 Ulassai (NU)
 Tel. +39 3297518302
 Fax +39 078240594

Cap. Soc. € 56.696.00 int. vers.
 Reg. Imprese di Cagliari e
 Cod. Fisc. IT 01953460902
 Società appartenente al Gruppo IVA
 P. IVA 03868280920
 sardeolica@pec.grupposaras.it
 comunicazioni.sardeolica@pec.grupposaras.it



EN ISO 9001
 20 100 121257604
 EN ISO 14001
 20 104 121257607
 EN ISO 18001
 20 116 121257606
 EN ISO 50001
 TA2701/73002575

**Valutazione d'impatto ambientale D.Lgs. 152/2006 e
ss.mm.ii.**

BOREAS

**Ampliamento del Parco Eolico di Ulassai
e Perdasdefogu nel territorio del Comune di
Jerzu (NU)**

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

COORDINAMENTO GENERALE:

Ing. Manolo Mulana – SARTEC – Saras Ricerche e Tecnologie

Ing. Giuseppe Frongia – I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.

PROGETTAZIONE:

Ing. Giuseppe Frongia (Direttore tecnico) - I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.

Gruppo di lavoro:

Ing. Giuseppe Frongia (Coordinatore e responsabile)

Mariano Agus

Ing. Marianna Barbarino

Dott. Andrea Cappai

Ing. Enrica Batzella

Ing. Virginia Loddo

Ing. Gianluca Melis

Ing. Emanuela Pazzola

Dott.ssa Elisa Roych

Ing. Gianni Serpi

Ing. Emanuela Spiga

Ing. Francesco Schirru

Collaborazioni specialistiche:

Verifiche strutturali: Ing. Gianfranco Corda

Aspetti archeologici: Dott. Matteo Tatti

Aspetti geologici e geotecnici: Dott. Geol. Alessandro Miele

Aspetti floristico-vegetazionali: Dott. Mauro Casti

Aspetti pedologici ed uso del suolo: Dott. Marco Cocco

Rumore: Dott. Francesco Perria – Ing. Manuela Melis

Studio Previsionale per la valutazione delle interferenze con le telecomunicazioni - Prof. Ing. Giuseppe Mazzarella – Ing. Emilio Ghiani

SOMMARIO

1.....	PREMESSA	6
2.....	NORMATIVA TECNICA APPLICABILE.....	8
2.1	PREMESSA	8
2.2	NORMA ISO2631-2	10
2.3	NORMA UNI 9614:2017	13
2.4	NORMA UNI 9916:2014	13
2.5	GRANDEZZE DI RIFERIMENTO E LIMITI APPLICABILI AL CASO SPECIFICO	15
2.5.1	<i>Valutazione del disturbo</i>	15
2.5.2	<i>Danni architettonici</i>	18
2.5.3	<i>Deroghe</i>	19
3.....	I FENOMENI DI PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO: CENNI TEORICI E APPLICATIVI	20
3.1	I FENOMENI VIBRATORI	20
3.2	LE ONDE ELASTICHE	21
3.3	MAGNITUDO DELLA VIBRAZIONE	24
3.4	VARIAZIONE TEMPORALE DELLA VIBRAZIONE	24
3.5	ATTENUAZIONE DELL'ENERGIA VIBRAZIONALE	25
4.....	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	27
5.....	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	32
5.1	MODELLO GEOLOGICO GENERALE	32
5.2	MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO	32
5.3	ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE	35
5.4	COMPORTEMENTO SISMICO DEL SOTTOSUOLO	43
6.....	INDIVIDUAZIONE DEI POTENZIALI RICETTORI.....	49
7.....	DESCRIZIONE SOMMARIA DELLE PRINCIPALI LAVORAZIONI DI CANTIERE	51
7.1	OPERE CIVILI DEL PARCO EOLICO	51
7.2	FORNITURA E MONTAGGIO DEGLI AEROGENERATORI	52
7.3	OPERE PER LA REALIZZAZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE MT	52
7.4	OPERE CIVILI PER L'ALLESTIMENTO STAZIONE DI UTENZA MT/AT	53
7.5	MONTAGGI ELETTROMECCANICI DELLA STAZIONE DI UTENZA MT/AT	53
7.6	GESTIONE DELLE TERRE E DELLE ROCCE DA SCAVO	54
8.....	ANALISI PREVISIONALE DEI LIVELLI DI VIBRAZIONE	55
8.1	IL METODO PREVISIONALE	55
8.2	CARATTERIZZAZIONE DELLE SORGENTI	58
8.3	SCENARI PREVISIONALI DI CALCOLO DEI LIVELLI VIBRAZIONALI	60
8.4	STIMA DEI LIVELLI VIBRAZIONALI ED ANALISI DEI RISULTATI	61
9.....	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	64
10.....	BIBLIOGRAFIA	66

APPENDICE: TABELLE DI CALCOLO67

1 PREMESSA

La realizzazione del progetto *Boreas*, di ampliamento del parco eolico di Ulassai e Perdasdefogu (NU), proposto dalla società Sardeolica S.r.l. – Gruppo SARAS nel territorio di Jerzu, al pari di ogni cantiere edile funzionale alla realizzazione di opere infrastrutturali, comporta l'esecuzione di lavorazioni che possono determinare l'insorgenza di vibrazioni meccaniche nel sottosuolo.

Tali perturbazioni, attraverso note dinamiche di propagazione nel terreno, possono essere potenzialmente avvertite in corrispondenza degli edifici più prossimi alle aree di lavorazione. In generale, l'insorgenza di danni strutturali agli edifici, nel loro insieme, attribuibili a fenomeni vibratorii è estremamente rara e, quando tali danni siano stati segnalati, quasi sempre derivavano dal concorso di altre cause. Affinché le vibrazioni possano arrecare danni strutturali è necessario, in ogni caso, che esse raggiungano livelli tali da causare, in una prima fase, fastidio e disturbo agli occupanti.

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale dalla Legge Quadro n. 447/95, non esiste al momento alcuna legge che stabilisca limiti quantitativi per l'esposizione alle vibrazioni. Esistono invece numerose norme tecniche, internazionali e nazionali, che costituiscono un utile riferimento per la valutazione del disturbo e del danno in edifici interessati da fenomeni vibrazionali.

In assenza di una normativa specifica che disciplini la materia, per le finalità di analisi degli effetti ambientali concernenti la propagazione di vibrazioni relativamente al progetto in esame, i principali riferimenti sono rappresentati, a livello nazionale, dalle seguenti norme tecniche emanate dall'UNI:

- UNI 9614:2017 *“Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”*;
- UNI 9916:2014 *“Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”*.

Il presente documento, facente parte integrante dello Studio di impatto ambientale del progetto di parco eolico “Boreas”, si propone di analizzare le dinamiche di propagazione delle vibrazioni in prossimità delle aree di cantiere pervenendo ad una stima dell'entità delle stesse e, in definitiva, ad una verifica dell'accettabilità degli effetti attesi sugli occupanti e sui fabbricati, avuto riguardo delle soglie di riferimento indicate nelle richiamate norme tecniche.

Pertanto, come espressamente riconosciuto dalla UNI 9614 (Appendice C), una qualunque definizione di limiti di riferimento per le attività costruttive che comportino emissione di vibrazioni è un'operazione molto complessa e comunque discutibile, potendo costituire una penalità sul

risultato finale del lavoro, avuto riguardo soprattutto della transitorietà e discontinuità del fenomeno vibratorio associato all'operatività dei cantieri edili.

2 NORMATIVA TECNICA APPLICABILE

2.1 Premessa

Il concetto di “disturbo” è, come noto, un argomento piuttosto delicato in quanto coinvolge diverse caratteristiche dell’essere umano (corpo e psiche), investendo, inoltre, questioni tecniche, normative e giuridiche.

Per gli aspetti strettamente acustici la scienza e la tecnica hanno avuto modo di svilupparsi da lungo tempo (dalla fine della seconda guerra mondiale, in particolare) e hanno dato luogo a una vasta e articolata gamma di conoscenze, norme e leggi, accompagnate dallo sviluppo di una sensibilità tecnica specifica. Per il disturbo indotto dalle vibrazioni gli studi medico-ingegneristici, anch’essi di lunga data, non hanno avuto un’evoluzione altrettanto efficace ai fini della prevenzione del disturbo alle persone: le norme tecniche sono limitate, spesso datate e, almeno in Italia, prive di riscontro e trasposizione giuridica.

Fino all’anno 2007 la regolamentazione era quasi esclusivamente di natura tecnica. Dal 2007, anno del decreto che introdusse concetti e obblighi sul rischio indotto al corpo umano (dei lavoratori) dalle vibrazioni, si è assistito a un notevole sviluppo per quanto concerne la valutazione del possibile danno fisiologico, determinato dall’esposizione a livelli di vibrazioni elevati e/o di lunga durata.

Per gli aspetti di disturbo (che in genere sono legati non tanto al possibile danno fisiologico, al corpo umano, quanto al danno di natura psicologica che il disturbo determina) tutto è rimasto fermo all’anno 2003. Verso la fine degli anni ’70, infatti, la ISO, con la sua norma 2631 aveva introdotto per la prima volta il concetto di “disturbo” da vibrazioni, inquadrando tecniche di misura, ponderazioni in frequenza e valori limite.

La norma internazionale ha per anni costituito l’unico riferimento tecnico per la valutazione dell’effetto delle vibrazioni sull’uomo. A metà degli anni 80 tale norma si è ramificata con sezioni sempre più specifiche. Per l’esposizione alle vibrazioni all’interno degli edifici nel 1989 è stata sviluppata una parte *ad hoc* (la ISO 2631-2 “*Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of sound pressure levels*”). La ISO 2631-2 aveva una sua autonomia scientifica ed era completa, contenendo tutte le indicazioni per una valutazione esauriente: curve di ponderazione (espresse in via diretta oppure implicite attraverso la formulazione dei limiti in frequenza), modalità di misura, limiti di disturbo (*annoyance*, nella versione inglese).

La ISO 2631 ha avuto in Italia due trasposizioni di rilievo tecnico e regolamentare: la prima, in ambito normativo, deve riferirsi all’emanazione della UNI 9614:1990. La norma UNI presenta se

stessa (con un inusuale punto “Chiarimenti”) come una sorta di “traduzione ragionata” della ISO 2631-2, della quale adotta principi e metodologie ma della quale si propone come “chiarificazione”, semplificazione e, in qualche misura, “italianizzazione”. Aggiunge anche una sezione sulle vibrazioni di origine ferroviaria. Un’ulteriore derivazione della ISO 2631-2 è stato un capitolo del regolamento di igiene della Regione Lombardia, che imponeva i limiti della ISO 2631-2 come criterio di igienicità (e quindi di abitabilità) degli edifici. Nel 2003 la ISO 2631-2 ha subito una rivoluzione soprattutto per questi aspetti:

- i metodi di misura e di ponderazione sono stati rivisti drasticamente, anche in virtù dell’introduzione massiccia dei sistemi digitali per l’acquisizione e per l’elaborazione dei dati;
- sono stati eliminati i limiti di riferimento per il disturbo. Sotto questo aspetto la norma affronta il problema come se fosse all’anno zero, dichiarandosi come norma puramente tecnica, utile e necessaria per un protocollo di misura comune fra tutti gli sperimentatori del mondo. Sulla base delle misure raccolte con i nuovi metodi proposti dalla norma potranno essere sviluppati e articolati indici, limiti e metodi di valutazione.

Si osserva di fatto la presa d’atto a livello internazionale che tutti i dati epidemiologici fino ad allora raccolti in questo ambito siano privi di rappresentatività.

A livello nazionale questo drastico cambio di indirizzo ha reso di fatto il panorama tecnico privo di riferimenti di sostanza e anche formali.

Alla luce di tali circostanze l’UNI ha intrapreso un cammino particolarmente lungo e oneroso volto a riscrivere una norma “di aggiornamento” che contenesse una valutazione sui possibili limiti massimi di vibrazioni. Valutazione da basare, evidentemente, sui criteri epidemiologici, ingegneristici e normative robuste.

Ne è nata una revisione (la UNI 9614:2017) che mutua dalla ISO 2631-2:2003 metodi di misura, ponderazione e valutazione dei parametri sintetici, oltre che la strumentazione di misura (conforme alla UNI EN ISO 8041-1:2017 “*Risposta degli esseri umani alle vibrazioni - Strumenti di misurazione - Parte 1: Strumenti per la misura di vibrazioni per uso generale*”).

Per quanto attiene i limiti, la nuova UNI 9614 ha preso spunto da una serie di studi e norme (in particolare da una norma norvegese, la NS 8176E:2006).

La UNI 9614 inquadra in dettaglio le modalità di misura e indica i limiti di riferimento massimi, organizzandoli per diverse tipologie di utilizzo suddivise in ambienti a uso abitativo e altri ambienti particolari (scuole, ospedali e attività lavorative). In definitiva, la norma è orientata, per quanto riguarda i limiti di riferimento, al recettore del disturbo, senza fare riferimento alla

tipologia di sorgente, né per l'origine (macchinari, infrastrutture di trasporto, ecc.) né per il tipo di sollecitazione che ne deriva (impulsività, parzialità, componenti tonali, ecc.) risultando in un'analisi univoca e, almeno nelle intenzioni, robusta.

2.2 Norma ISO2631-2

La norma tecnica ISO 2631-2 si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz mentre il parametro di valutazione è rappresentato dal valore efficace dell'accelerazione a_{rms} (ossia la media quadratica - *root mean square*) così definito:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

dove:

$a(t)$ = accelerazione in funzione del tempo,

T = durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione.

La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X,Y e alla combinazione dei tre assi di riferimento (Figura 2.1); i valori numerici delle curve base sono riportati in e Figura 2.2.

L'Annex A della ISO 2631-2, non facente parte integrante della norma, fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni. A tal fine sono riportati i fattori di moltiplicazione da applicare alle curve base delle accelerazioni e delle velocità al variare del periodo di riferimento (giorno e notte), del tipo di vibrazione (vibrazioni continue o intermittenti, vibrazioni transitorie) e del tipo di insediamento (ospedali, laboratori di precisione, residenze, uffici, industrie); i valori dei fattori di moltiplicazione sono indicati in Tabella 1.

Tabella 1 – Fattori numerici per le curve di ponderazione

Frequenza [Hz]	Accelerazione in $m/s^2 \cdot 10^{-3}$		
	Asse Z	Assi X-Y	Assi combinati
1	10.00	3.60	3.60
1.25	8.90	3.60	3.60
1.6	8.00	3.60	3.60
2	7.00	3.60	3.60
2.5	6.30	4.51	3.72
3.15	5.70	5.68	3.87
4	5.00	7.21	4.07
5	5.00	9.02	4.30
6.3	5.00	11.40	4.60
8	5.00	14.40	5.00
10	6.30	18.00	6.30
12.5	7.81	22.50	7.80
16	10.00	28.90	10.00
20	12.50	36.10	12.50
25	15.60	45.10	15.60
31.5	19.70	56.80	19.70
40	25.00	72.10	25.00
50	31.30	90.20	31.30
63	39.40	114.00	39.40
80	50.00	144.00	50.00

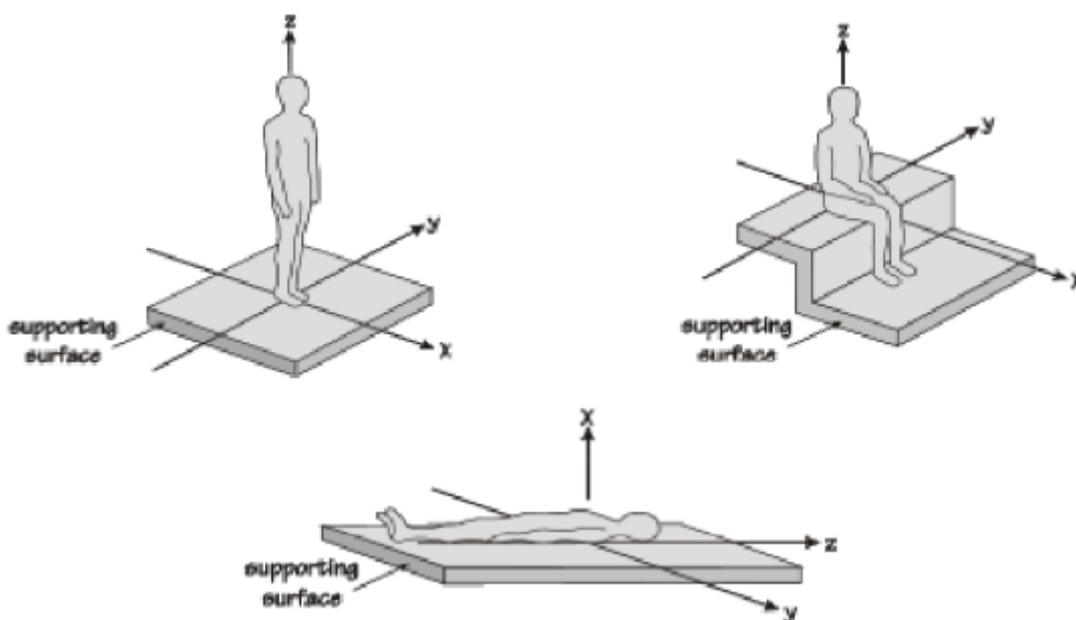


Figura 2.1 - Rappresentazione delle tre componenti in funzione della posizione del corpo

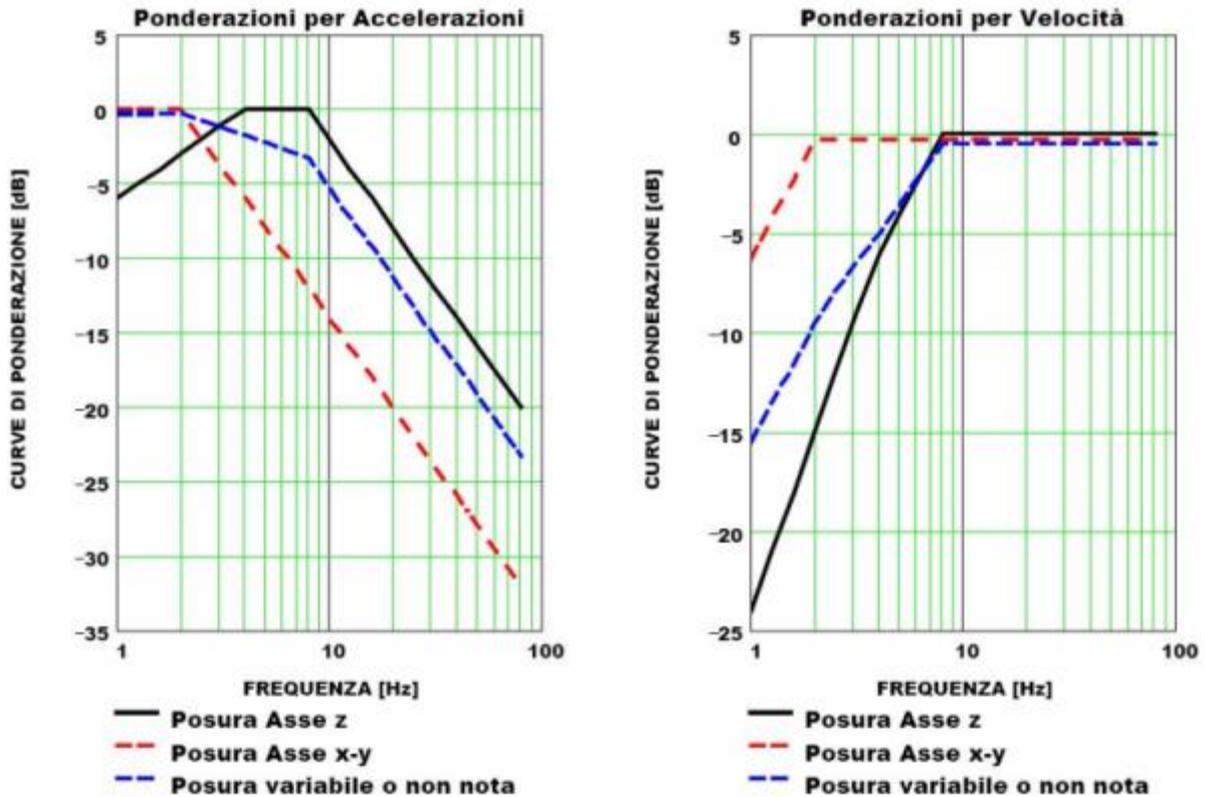


Figura 2.2 – Curve di ponderazione (ISO) per vibrazioni lungo gli assi verticali, orizzontali e per postura non nota nell'intervallo di frequenze 1÷80 Hz

Tabella 2 – Fattori di moltiplicazione delle curve base (ISO 2631-2 Annex A)

Destinazione d'uso	Periodo	vibrazioni	
		continue/intermittenti	vibrazioni transitorie
Luoghi di lavoro critici (camere operatorie, laboratori di precisione, teatri, ecc.)	Giorno	1	1
	Notte	1	1
Edifici residenziali	Giorno	2+4	30+90
	Notte	1.4	1.4+20
Uffici	Giorno	4	60+128
	Notte	4	60+128
Luoghi di lavoro	Giorno	8	90+128
	Notte	8	90+128

Le vibrazioni devono essere misurate nel punto di ingresso nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione r.m.s. perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la

norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

2.3 Norma UNI 9614:2017

La norma UNI 9614 è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (giorno, dalle 6:00 alle 22:00, e notte, dalle 22:00 alle 6:00) e dalle destinazioni d'uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614 si configura come più restrittiva.

Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente, a_w e L_w . Quest'ultimo, espresso in dB, è definito come $L_w = 20 \cdot \log_{10} (a_w / 10^{-6} \text{ ms}^{-2})$.

Le curve di ponderazione sono definite in funzione della direzione di trasmissione delle vibrazioni (X, Y e Z). Nel caso la postura del soggetto esposto non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti.

2.4 Norma UNI 9916:2014

La norma UNI 9916:2014 inquadra la problematica dei danni agli edifici derivanti dalle vibrazioni. La norma non ha valenza strutturale e ancor meno sismica e non riguarda la possibilità di danneggiamenti pericolosi per la stabilità degli edifici, ma ha ad oggetto i cosiddetti "danni di soglia" (detti anche danni "cosmetici"), che consistono tipicamente nella formazione di fessure, crepe, distacchi di intonaco e fenomeni affini.

Nonostante l'apparente, estrema, specificità della norma, la disciplina è in realtà assai vasta e interessa tanto edifici posti nelle vicinanze di sorgenti legate al traffico veicolare e ferroviario, quanto edifici prossimi ad aree di cantiere o attività industriali (macchinari in generale e, in particolare, presse, magli e similari) o anche da sorgenti interne agli edifici.

La fissazione di criteri generali e, quindi, di limiti che indichino la pericolosità delle sollecitazioni meccaniche rispetto alla formazione di danni di soglia è materia assai complessa: la stessa

identica sollecitazione dà luogo a danni in edificio e non a un altro, in funzione della tipologia costruttiva, così come all'interno dello stesso edificio sollecitato a vibrazione i danni si manifestano in alcune zone e non in altre.

Addirittura il medesimo edificio, invecchiando (si pensi agli intonaci, per esempio) può cambiare il comportamento in risposta alle vibrazioni.

La stessa via di propagazione della sollecitazione meccanica dalla sorgente all'edificio oggetto di studio è spesso chiara solo se si considera in prima approssimazione, ma diventa ignota o non conoscibile se occorre individuare con esattezza la via meccanica attraverso la quale la sollecitazione si propaga: tra una ferrovia e un'abitazione si può ipotizzare a grandi linee questa via. Ma quando occorre stabilire se il responsabile della trasmissione è il terreno oppure, per esempio, condutture interrato, la cosa è ben più complessa.

Infine è sempre presente il dubbio se il danno visibile sia dovuto alle vibrazioni oppure a fenomeni d'altra natura, fra cui *in primis* l'assestamento statico. La necessità di normare un ambito così variegato, tuttavia, risiede nel fatto che il problema è molto diffuso e origina contenziosi significativi sotto gli aspetti tecnici ed economici.

In ambito italiano la normativa è stata piuttosto carente fino alla pubblicazione, nel 2004, della prima edizione della UNI 9916. La norma si rifaceva per la parte quantitativa a norme straniere (in particolare a quelle tedesche, inglesi e norvegesi), mentre per la parte metodologica e strumentale prevedeva una serie di prescrizioni e suggerimenti.

Dopo dieci anni di utilizzo della prima edizione, sono maturati i tempi per una revisione piuttosto approfondita.

In primo luogo l'edizione del 2014, partendo dalle considerazioni sopra espresse sulla peculiarità di ciascun caso, richiede allo sperimentatore uno sforzo e un approfondimento maggiore: indagini volte ad appurare il legame di causa ed effetto fra vibrazioni e danno visibile, che richiedono un'attenta valutazione di tipo strumentale. La valutazione non può e non deve essere effettuata sulla base di approcci semplicistici, ma dev'essere sviluppata attraverso metodologie di confronto spettrale fra più canali che rendano rigorose le conclusioni. Non di meno lo sperimentatore deve valutare criticamente i dati di misura, che non possono essere considerati brutalmente numeri da inserire in una tabella, ma, appunto, dati ingegneristici e scientifici che devono essere declinati caso per caso.

Sulla scorta dell'esperienza di un decennio la norma indica ora come preferenziale l'indicazione della norma tedesca DIN 4150-3, lasciando tuttavia al tecnico la possibilità di utilizzare norme più strettamente attinenti il suo caso. Per l'applicazione piuttosto complessa della DIN, la UNI 9916 contiene una chiara e dettagliata appendice informativa sul trattamento dei dati e dei

segnali. Sempre sulla base dei problemi che si sono manifestati nel passato, la nuova edizione indica con maggiore chiarezza e dettaglio il tipo di strumentazione da utilizzare per le misurazioni, aprendo alla strumentazione “moderna” quali gli accelerometri MEMS e le schede di acquisizione per computer, non dimenticando di dettagliare i metodi di calcolo e filtraggio per l’ottenimento della velocità (parametro utilizzato per la valutazione della potenzialità di danno) a partire dalla misurazione dell’accelerazione. Metodo, questo, che è di gran lunga il più diffuso grazie alla forte diffusione degli accelerometri piezoelettrici. Tutti gli aspetti metrologici (*in primis* la taratura) sono stati rivisti e talora inseriti ex novo in maniera che le valutazioni possano essere inquadrare correttamente e uniformemente.

Con questa revisione, oltre a un’incrementata efficacia, la Commissione UNI ha inteso fissare basi comuni fra diversi sperimentatori in maniera che nel futuro possano essere focalizzati ancora meglio aspetti a oggi poco conosciuti, attraverso l’uso di misurazioni accurate e adeguate.

2.5 Grandezze di riferimento e limiti applicabili al caso specifico

2.5.1 Valutazione del disturbo

In accordo con la norma UNI 9614:2017 la valutazione del disturbo generato da una sorgente deve essere effettuata confrontando il parametro descrittore della vibrazione della sorgente con i limiti di riferimento indicati in Tabella 3.

I limiti possono esprimersi in base al livello di accelerazione in dB, espresso come:

$$L = 20 \cdot \text{Log}_{10} \frac{a}{a_0}$$

dove a_0 è il valore dell’accelerazione di riferimento, pari a 10^{-6} m/s² (normativa ISO 1683).

Gli spettri di vibrazione, nel campo delle frequenze da 1 a 80 Hz, vengono rappresentati per terzi di ottava, con valori centrali di ottava indicati in Tabella 3.

Tabella 3 – Rappresentazione del campo di frequenza 1÷80 Hz per terzi di ottava

Numero di banda di frequenza	Frequenza centrale [Hz]	Numero di banda di frequenza	Frequenza centrale [Hz]
0	1	10	10
1	1.25	11	12.5
2	1.6	12	16
3	2	13	20
4	2.5	14	25
5	3.15	15	31.5
6	4	16	40
7	5	17	50
8	6.3	18	63
9	8	19	80

Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza L_W è dato dalla seguente relazione:

$$L_W = 10 \cdot \text{Log}_{10} \sum_1^{L_{iW}} 10^{\frac{L_{iW}}{10}}$$

Dove L_{iW} sono i livelli di vibrazione calcolati per terzi di ottava, ponderati in frequenza secondo il filtro indicato in Figura 2.3. Le curve rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X, Y.

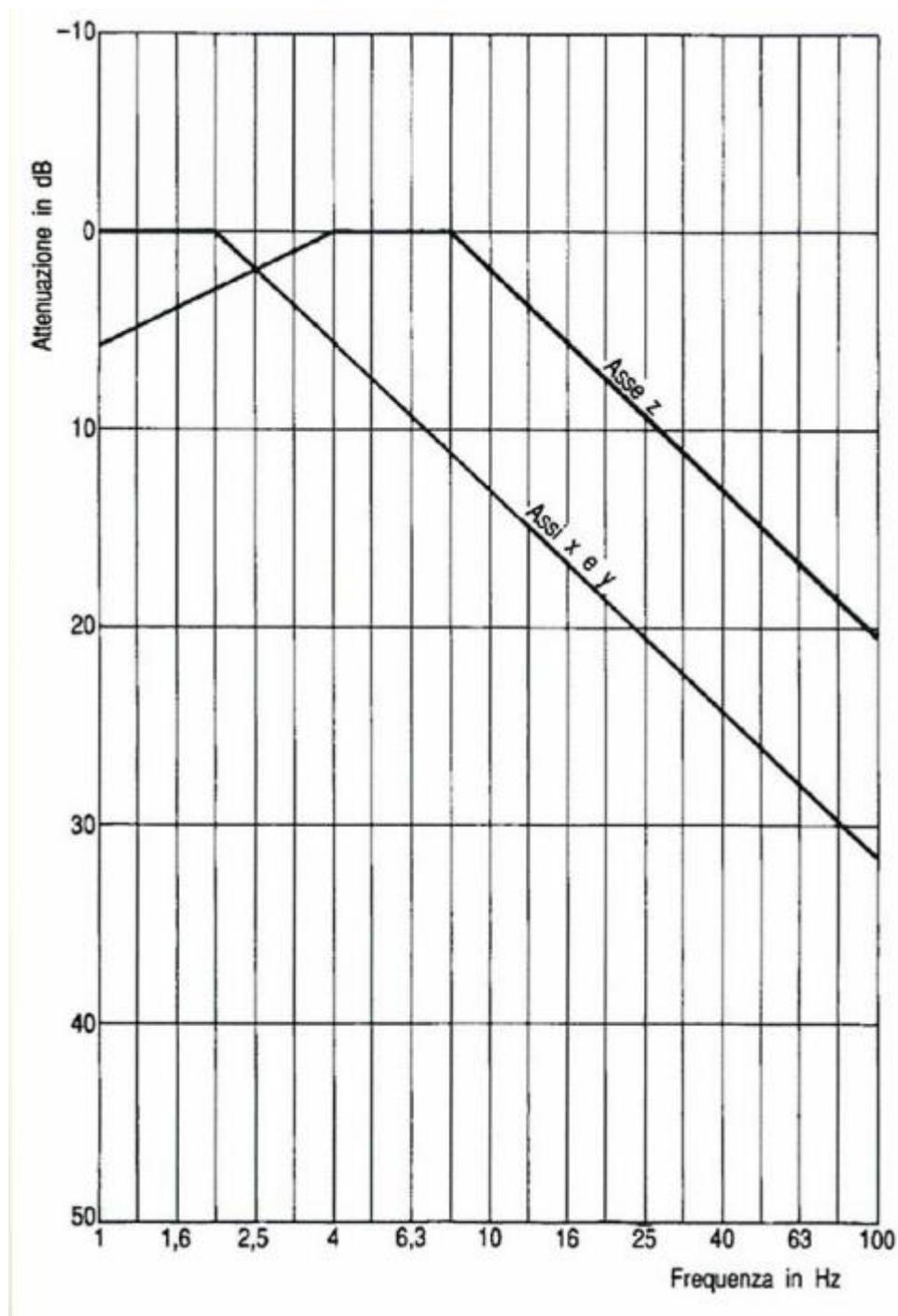


Figura 2.3 – Curve di ponderazione norma UNI 9614:2017

I limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente sono indicati in Tabella 4.

Tabella 4 - limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente

Luogo	A_w [m/s²]	L_w [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Quando i valori o i livelli delle vibrazioni riscontrate superano i limiti indicati, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto.

Si sottolinea come i limiti sopra indicati, definiti per la limitazione del disturbo sulla persona, siano generalmente più restrittivi di quelli relativi al danneggiamento degli edifici (ISO 4866 e UNI 9916). Pertanto, è lecito assumere che, laddove i livelli di vibrazione riscontrati non superino significativamente le soglie stabilite per il disturbo sugli individui, non siano prevedibili effetti di danneggiamento, ancorché minimi, agli edifici.

2.5.2 Danni architettonici

Ai fini della valutazione della possibilità di danno architettonico la norma UNI 9916 raccomanda di fare riferimento alla DIN 4150 parte 3, trattata nell'Appendice D della predetta norma UNI.

In considerazione della grande variabilità delle situazioni che possono presentarsi per quanto riguarda la tipologia strutturale dell'edificio e le caratteristiche della sorgente, peraltro, la norma UNI ammette che possano essere utilizzate in alternativa alla DIN 4150-3 anche altre norme purché venga adeguatamente documentata e motivata la loro adozione.

Relativamente alle vibrazioni di breve durata, riferibili a quelle dove siano da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata.

I limiti contenuti nella Appendice D della UNI 9916 sono riportati nella Tabella seguente:

SIA Boreas - Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu nel territorio di Jerzu (NU) - Dicembre 2020

Tabella 5 – Valori di riferimento per la velocità di vibrazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni (Appendice D – Prospetto D.1 Norma UNI 9916:2004)

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.

2.5.3 Deroghe

Come previsto nell'Appendice C (punto C1) della UNI 9614:2017, deroghe ai limiti di riferimento possono essere concesse per attività temporanee o attività per le quali misure mitigative adeguate non siano implementabili o economicamente sensate, quando viste all'interno della breve attività disturbante.

Di fatto, le attività con queste caratteristiche sono le sole attività di cantiere o, più in generale, le attività legate ad alcune lavorazioni temporanee all'interno o all'esterno dell'edificio recettore.

3 I FENOMENI DI PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO: CENNI TEORICI E APPLICATIVI

3.1 I fenomeni vibratorii

Un'onda di vibrazione meccanica è semplicemente uno spostamento elastico del materiale attorno ad una posizione di equilibrio che, se questo è omogeneo ed isotropo, si propaga nel mezzo sotto forma di onde sferiche.

Durante la propagazione della perturbazione ondulatoria, le tensioni indotte nel mezzo dalle vibrazioni sono di livello molto basso e di brevissima durata. Ciò rende trascurabili sia i comportamenti non lineari del mezzo sia i fenomeni viscosi.

Le costanti elastiche che entrano in gioco in un processo di vibrazione, pertanto, si riferiscono a determinazioni effettuate in tali condizioni e vengono definite dinamiche per differenziarle dai valori determinati in condizioni statiche o quasi statiche, in cui invece i comportamenti non lineari e i fenomeni viscosi possono avere una notevole influenza.

Le costanti elastiche dinamiche sopra menzionate sono legate tra loro dalle seguenti relazioni:

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{(\lambda + \mu)}$$

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}$$

$$K = \frac{3\lambda + 2\mu}{3}$$

dove

E = modulo di Young;

μ = modulo di taglio;

λ = costante di Lamé;

ν = coefficiente di Poisson

K = modulo di Bulk.

Come detto, tutto quanto espresso precedentemente è valido per mezzi isotropici.

Le costanti elastiche sono definite in maniera tale da risultare dei numeri positivi. Come si può notare dalle relazioni sopra riportate il coefficiente di Poisson ν dovrà assumere valori compresi tra 0 e 0.5.

Una analisi esaustiva dei fenomeni vibratorii implica l'acquisizione di informazioni sulla ampiezza e frequenza del segnale nonché sulla variazione di tali parametri in funzione del tempo.

Un segnale di vibrazione può essere scomposto in componenti armoniche attraverso analisi di Fourier, consentendo la determinazione di parametri caratteristici del fenomeno: ampiezza dell'oscillazione (*peak particle displacement*), velocità di spostamento (*peak particle velocity*), accelerazione e frequenza.

3.2 Le onde elastiche

Le perturbazioni elastiche derivano dall'energia di deformazione propagantesi da una sorgente.

Le onde propagantisì all'interno di un corpo elastico sono di tre tipi.

Le onde di compressione, note come onde longitudinali, primarie o onde P, si propagano attraverso una deformazione di compressione o dilatazione lungo la direzione di propagazione della perturbazione. In pratica, il moto associato al passaggio di un'onda di compressione è caratterizzato da un'oscillazione lungo la direzione di propagazione attorno ad un punto fisso.

Le onde di taglio (onde trasversali, secondarie o onde S) si propagano attraverso deformazioni ortogonali rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Nel caso in cui tutte le direzioni di oscillazione appartengano allo stesso piano, l'onda trasversale è detta piana.

Il principale tipo di onda elastica che si genera nell'ambito dei lavori di costruzione (onde di superficie o di Rayleigh) sono contraddistinte da un moto delle particelle secondo un'ellisse retrograda perpendicolare al terreno e con ampiezza che decresce esponenzialmente con la profondità.

Le onde di Love (L): vengono generate solo in un mezzo in cui la velocità delle onde S varia (in genere aumenta) con la profondità. Il moto della particella al loro passaggio è trasversale alla direzione di propagazione e confinato in un piano orizzontale; pertanto può venire registrata solo dalle componenti orizzontali dei sismometri. La loro velocità varia tra la velocità delle onde S associata allo strato più lento a quella associata allo strato più veloce.

In generale la velocità di propagazione di un'onda elastica nel materiale può essere espressa nella seguente forma:

$$v = \left[\frac{\text{modulo elastico del materiale}}{\text{densità del materiale}} \right]^{1/2}$$

In particolare la velocità v_p di un'onda di compressione è data da

$$v_p = \left[\frac{\Psi}{\rho} \right]^{1/2}$$

o, essendo $\Psi = K + 4/3\mu$, da:

$$v_p = \left[\frac{K + 4/3\mu}{\rho} \right]^{1/2}$$

La velocità delle onde trasversali è esprimibile come segue:

$$v_s = \left[\frac{\mu}{\rho} \right]^{1/2}$$

Dalle equazioni sopra riportate si può notare che, nello stesso mezzo, le onde di compressione si propagano più rapidamente delle onde di taglio. Il rapporto v_p/v_s in qualunque materiale è, inoltre, determinato dal valore del coefficiente di Poisson (ν), come si evince dalla seguente equazione:

$$v_p / v_s = \left[\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} \right]^{1/2}$$

e, poiché generalmente il coefficiente di Poisson vale 0.25, si ha che $v_p \cong 1.7v_s$.

La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è legata alla velocità delle onde di taglio (V_S) dalla seguente relazione:

$$V_R = K \cdot V_S$$

Dove K è funzione del coefficiente di Poisson (Richart et al, 1970) ed è simile, ma leggermente inferiore, alla velocità delle onde di taglio.

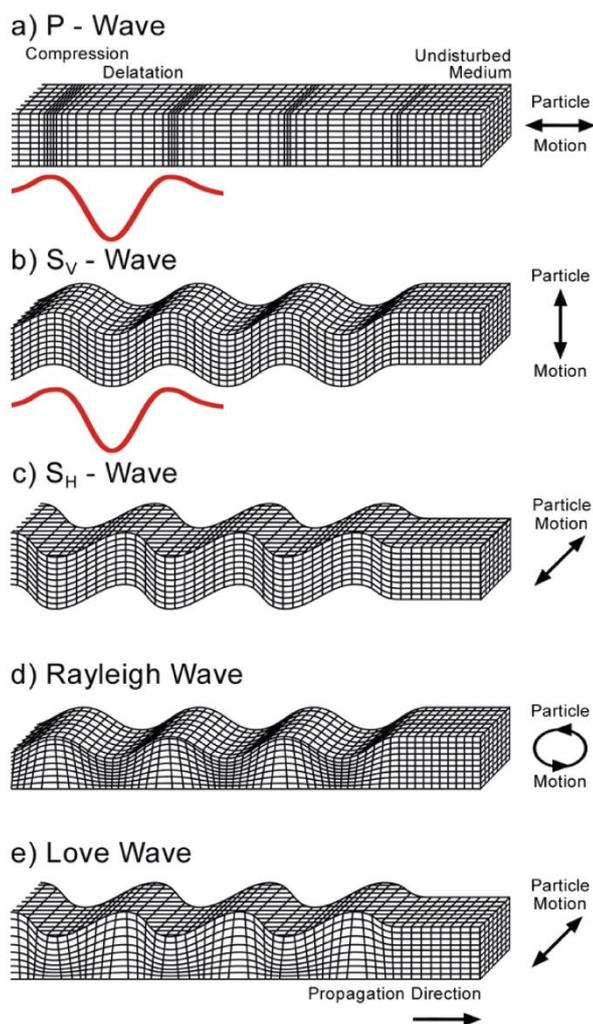


Figura 3.1 – Caratteristiche delle onde sismiche

3.3 Magnitudo della vibrazione

Un'onda di vibrazione è comunemente descritta in termini di velocità di oscillazione delle particelle del mezzo elastico attraversato, ciò in ragione della circostanza che i danni agli edifici hanno mostrato una buona correlazione con questo parametro (New, 1986).

Inoltre, la sensibilità umana rispetto alle vibrazioni si è rivelata pressoché costante nel *range* di frequenza da 8Hz÷80Hz (BSI, 1992a), comprendente l'intervallo di frequenze più comunemente incontrate nell'ambito di misure eseguite in corrispondenza di cantieri edili.

La misura della velocità di oscillazione (*ppv*) è agevolmente misurabile attraverso trasduttori piezoelettrici. In letteratura tale parametro è stato quantificato in quattro differenti modi, essendo lo stesso riferibile:

- alla componente verticale (quantunque la stessa possa non essere quella più grande);
- a quella maggiore delle tre componenti fra loro perpendicolari (x, y, z);
- alla risultante effettiva, quale massima oscillazione della somma vettoriale delle tre componenti del segnale;
- alla media quadratica delle tre componenti (*square root of the sum of squares - SRSS*), rappresentativa della somma vettoriale del valore massimo assunto da ciascuna componente, indipendentemente dalla sua variazione nel tempo (*pseudo resultant*).

La pseudo risultante è per definizione il valore massimo che può essere determinato e generalmente sovrastima la risultante effettiva (tipicamente maggiore del 20% - Hiller e Hope, 1998).

3.4 Variazione temporale della vibrazione

Oltre alla magnitudo e frequenza della vibrazione, il potenziale danno o disturbo relativo dipende dalla natura e durata della vibrazione. Le vibrazioni nel terreno possono classificarsi come segue:

- Vibrazioni continue: variazioni cicliche in ampiezza che si ripetono nel tempo;
- Transienti di vibrazione: variazioni cicliche in ampiezza che raggiungono un picco per poi decrescere fino ad annullarsi;
- Vibrazioni intermittenti: sequenze di transienti di vibrazione con distanza temporale reciproca tale da determinare, per ciascun evento, un decadimento dell'ampiezza fino a valori trascurabili;

- Vibrazioni pseudo-stazionarie: sequenze di transienti di vibrazione con distanza temporale reciproca sufficientemente ravvicinata tale che la “coda” di ogni evento si sovrapponga l’arrivo dell’evento successivo.

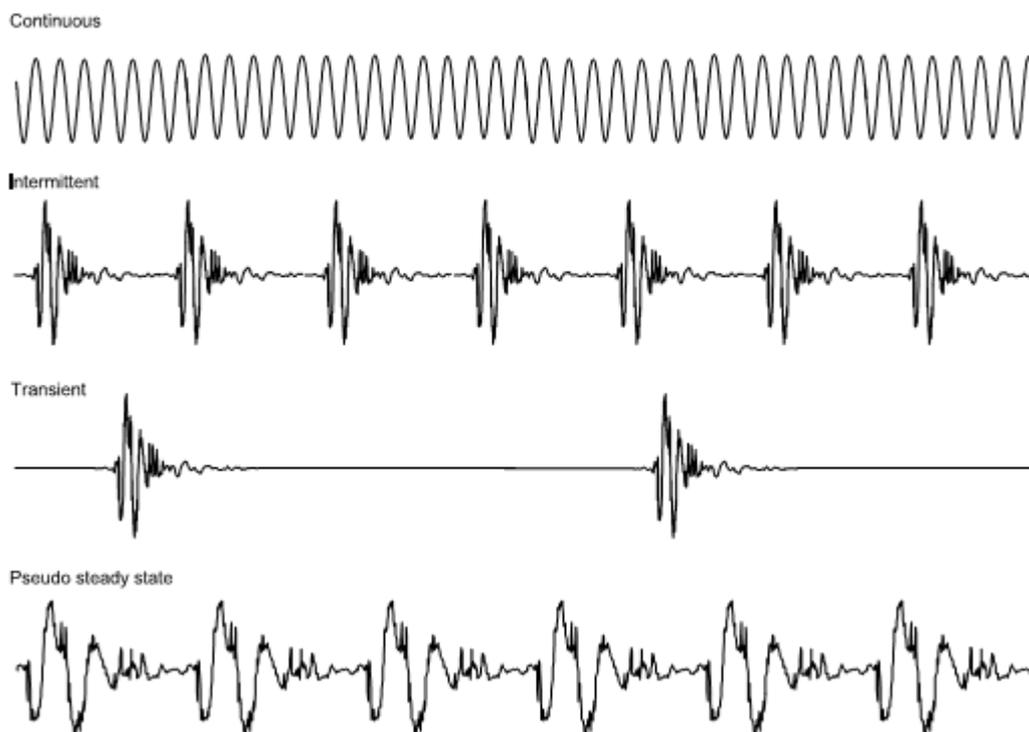


Figura 3.2 – Variazioni temporali delle vibrazioni

In generale, le vibrazioni continue hanno probabilità maggiore di generare danni negli edifici o essere disturbanti per gli occupanti rispetto alle vibrazioni intermittenti.

3.5 Attenuazione dell’energia vibrazionale

L’attenuazione descrive il fenomeno di decadimento energetico della vibrazione durante la sua propagazione. Tale processo è conseguenza di due principali fattori: il decadimento geometrico e quello attribuibile alle caratteristiche del mezzo attraversato.

In un mezzo perfettamente elastico l’attenuazione energetica è di natura puramente geometrica ed è determinata dall’incremento progressivo della superficie investita dal moto ondulatorio (per le onde P ed S) o della lunghezza del percorso attraversato (per le onde superficiali). Per quanto precede, l’energia decade secondo $1/r^2$ per le onde “di corpo” o “di volume” (*body waves*) e secondo $1/r$ per le onde di superficie, dove “r” è la distanza dalla sorgente. Conseguentemente la velocità della particella si attenua secondo $1/r$ e $1/r^{0.5}$ per le onde di

volume e di superficie rispettivamente. L'attenuazione geometrica è indipendente dalle proprietà del mezzo di propagazione.

Miller e Pursey (1955) dimostrarono che, approssimativamente, due terzi dell'energia sismica irradiata da una sorgente posizionata sulla superficie del terreno deve attribuirsi alle onde di Rayleigh. Tale circostanza, unita alla minore entità dell'attenuazione geometrica rispetto alle onde di volume, indica che le onde di Rayleigh siano le più significative nell'ambito dei fenomeni vibrazionali associati al settore dei lavori di costruzione.

Un'ulteriore causa della perdita di energia lungo il percorso di una vibrazione deriva dal comportamento non perfettamente elastico del mezzo attraversato. L'energia elastica, infatti, decresce all'interno del materiale a causa di fenomeni dissipativi (perdite energetiche per frizione o per fenomeni di riflessione/rifrazione all'interfaccia tra due mezzi con diverso comportamento elastico) che possono portare alla progressiva scomparsa del segnale. Il coefficiente di attenuazione α esprime la perdita di energia lungo una distanza equivalente alla lunghezza d'onda λ del segnale.

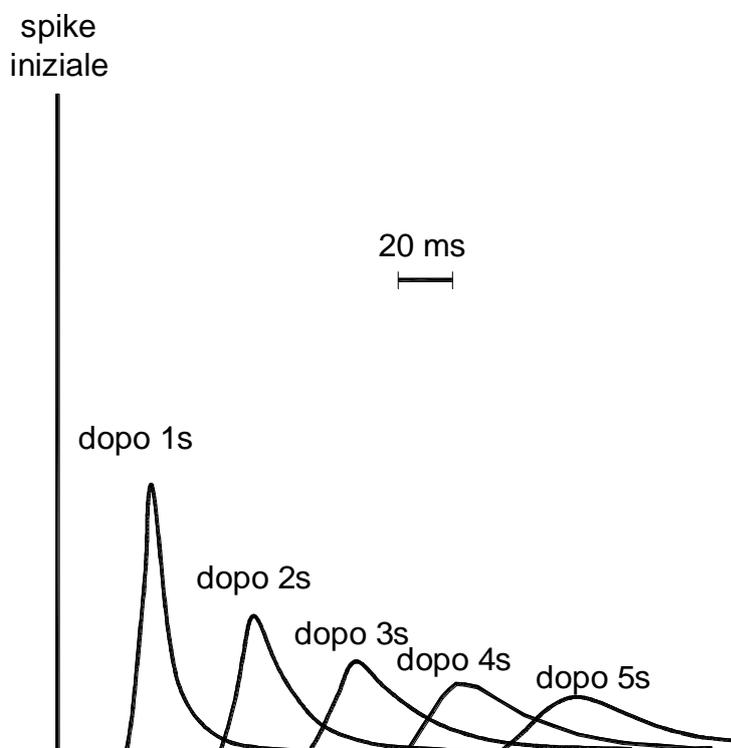


Figura 3.3 - Progressiva variazione della forma d'onda durante la propagazione a causa dell'effetto di attenuazione (Anstey, 1977)

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'intervento in progetto riguarda il parco eolico di Ulassai che attualmente consta di n. 57 turbine ubicate tra i territori comunali di Ulassai (n. 52 WTG) e Perdasdefogu (n. 5 WTG). L'ampliamento in essere prevede l'installazione di n. 10 nuovi aerogeneratori nel territorio comunale di Jerzu, nel settore che abbraccia i Tacchi dell'Ogliastra e il basamento paleozoico della Barbagia, ove le quote s.l.m. variano, nella configurazione di progetto, rispettivamente tra 630÷660 m e 800÷820 m.

Il centro abitato più prossimo all'area di progetto è Jerzu che sorge, in linea d'aria, circa 5 km a nord est.

L'impianto eolico esistente e le aree interessate dal proposto ampliamento sono comprese nella seguente cartografia ufficiale:

- C.T.R. Foglio 541010 "Nuraghe Salei" [scala 1:10.000]
- C.T.R. Foglio 541020 "Santa Barbara" [scala 1:10.000]
- C.T.R. Foglio 541050 "Sa Pranargia" [scala 1:10.000]
- C.T.R. Foglio 541060 "Monte Corongiu" [scala 1:10.000]
- I.G.M. Foglio 541-IV "Genna su Ludu" (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) [scala 1:25.000]
- Carta Geologica d'Italia Foglio 541 "Jerzu" [scala 1:50.000]



Figura 4.1 – Veduta del parco eolico di Ulassai e Perdasdefogu dal settore meridionale (pressi *N.ghe Cea Usasta* – Ulassai)

SIA Boreas - Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu nel territorio di Jerzu (NU) - Dicembre 2020

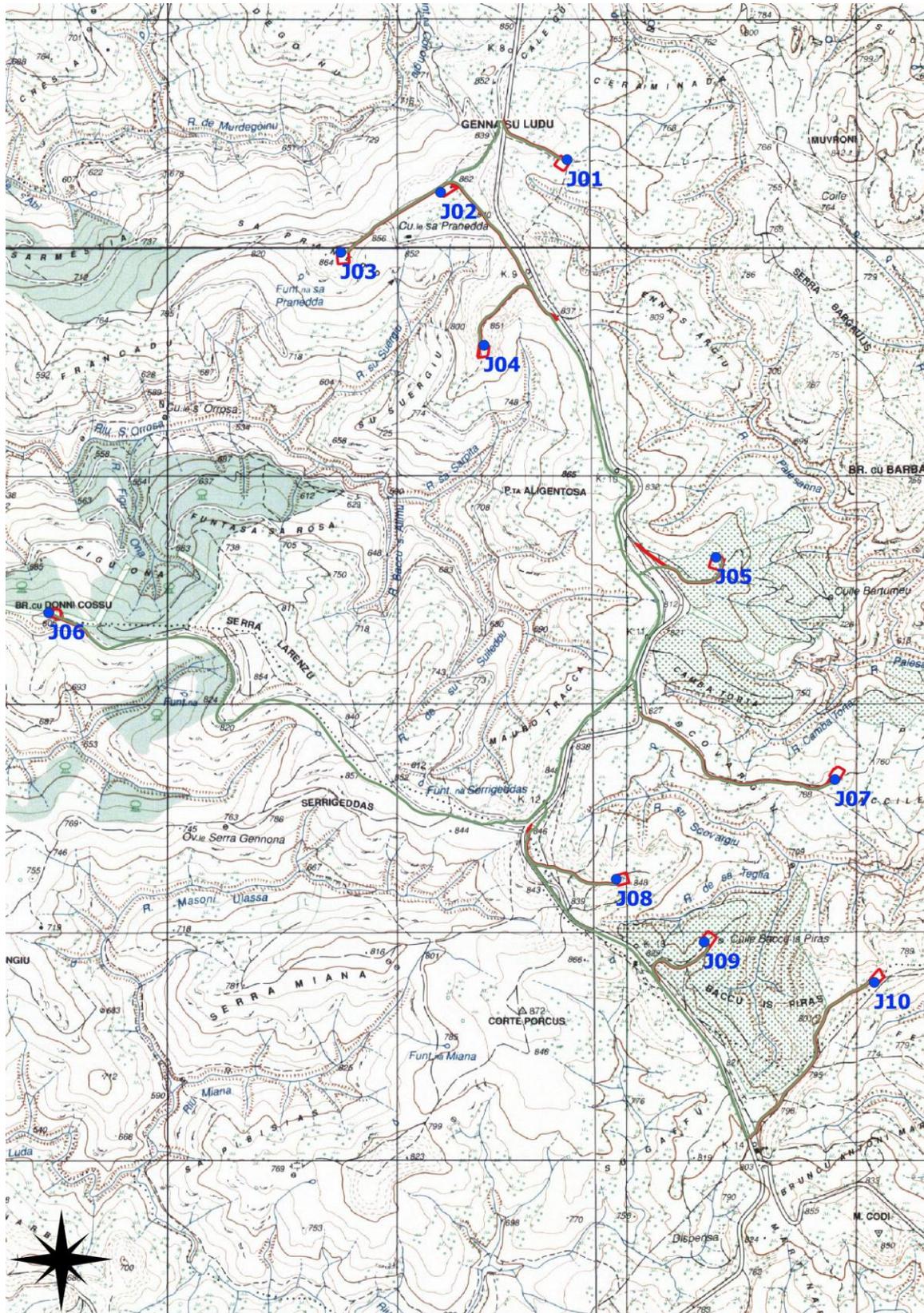


Figura 4.2 - Aerogeneratori in progetto su base cartografica I.G.M., in scala 1:25.000.

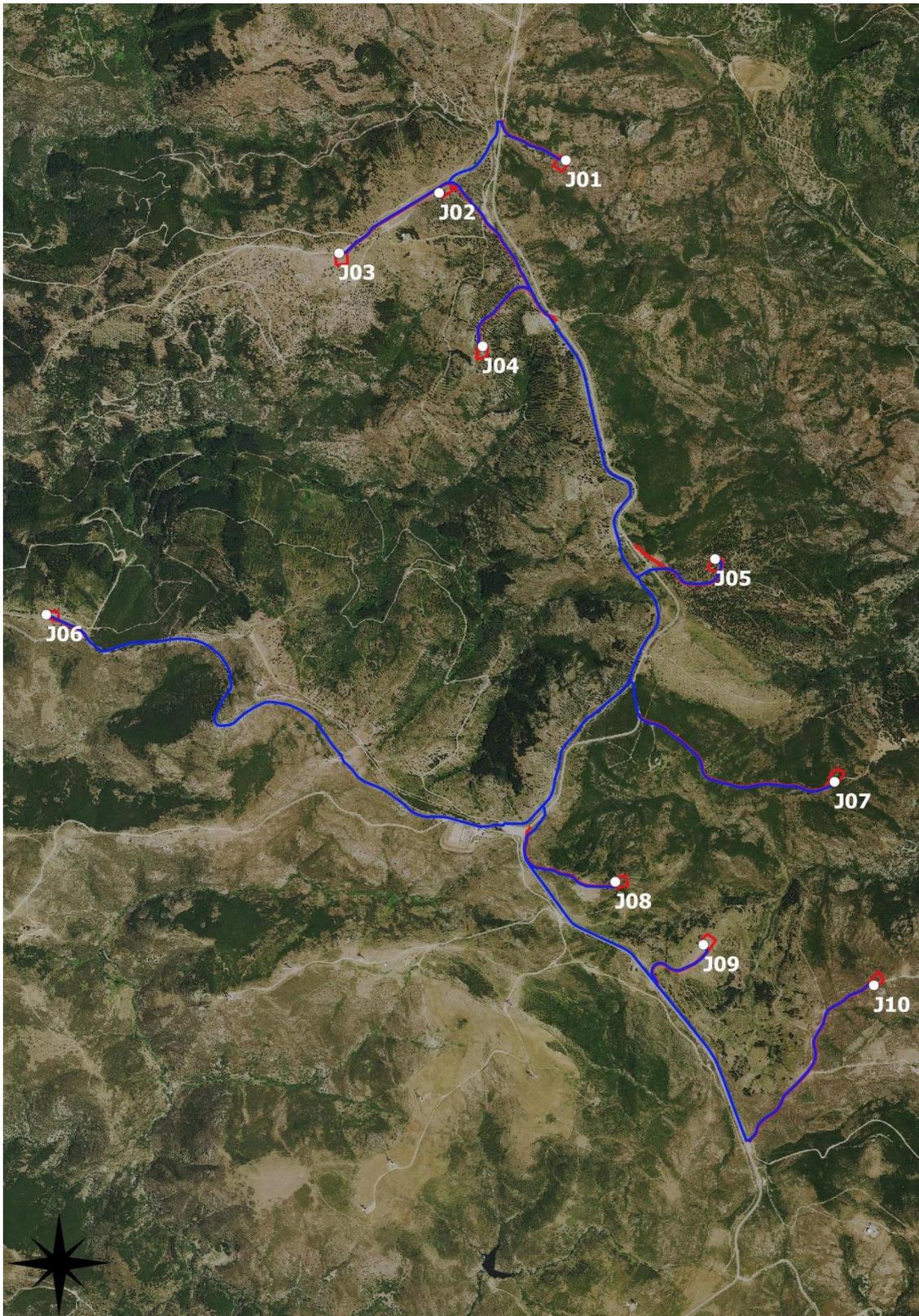


Figura 4.3 - Aerogeneratori in progetto su base aerofotogrammetrica

SIA Boreas - Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu nel territorio di Jerzu (NU) - Dicembre 2020

I siti che ospiteranno le nuove turbine ricadono in un ambito pianeggiante o in debole declivio, quasi tutti agevolmente raggiungibili da strade di penetrazione agraria che si dipartono dalla SP13 o dalla rete viaria a servizio del parco eolico esistente.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

5.1 Modello geologico generale

L'area è ubicata nella parte centro-orientale dell'isola, all'interno della regione dei "Tacchi" (Sarcidano, Salto di Quirra e Ogliastra), visivamente molto caratteristica, con rilievi morfostrutturali tabulari estesi e limitati da bordi di scarpata netti ("Tacchi"), i quali rappresentano la copertura da silicoclastica a carbonatica che durante il Giurassico ricopriva uniformemente quasi l'intera isola. Questa copertura carbonatica può poggiare su alternanze litologiche a carattere misto carbonatico-silicoclastico, localmente intruse da corpi vulcanici, e che rappresentano una fase di sedimentazione in bacini interni post-varisici di collasso con ambienti variabili da continentali a transizionali, di età permiana. A loro volta, queste alternanze poggiano in discordanza sul basamento metamorfico varisico deformato, in questo caso costituito dall'Unità tettonica della Barbagia, appratente alle falde interne della catena varisica.

5.2 Modello geologico di dettaglio

In riferimento alla carta geologica d'Italia, in particolare al foglio 541 alla scala 1:50.000 "Jerzu", le litologie affioranti nel settore in cui verranno realizzati gli aerogeneratori, sono riportate di seguito (dalla più antica alla più recente):

- **MSV**] Formazione di Santa Vittoria [Ordoviciano medio]
- **SGA**] Scisti a graptoliti Metapeliti carboniose nere con rari graptoliti; alternate a metasiltiti. Frequenti livelli di diaspri neri (liditi) [Siluriano – Devoniano medio]
- **ORR**] Formazione di Orroleddu [Ordoviciano Superiore] Alternanze irregolari di metarenarie, metarenarie quarzose talora grossolane, filladi e metasiltiti talora fossilifere, con intercalazioni di metaconglomerati minuti in strati decimetrici. [Ordoviciano Superiore]
- **SVI**] Arenarie di San Vito [Cambriano medio – Ordoviciano inferiore]
- **GEN**] Formazione delle filladi grigie del Gennargentu [Cambriano medio – Ordoviciano inferiore]
- **pa**] Porfiri quarziferi [Permiano]
- **DOR**] Formazione di Dorgali [Dogger - Malm]
- **GNS**] Formazione di Genna Selole [Dogger]

- **b2]** Coltri eluvio-colluviali [Olocene]
- **a1]** Depositi di frana [Olocene]
- **a]** Depositi di versante [Olocene]
- **h]** Depositi antropici [Olocene]

MSV. Metavulcaniti con chimismo da acido a basico, metaepiclastiti, metarenarie feldspatiche metaconglomerati a componente vulcanica. È una litostratigrafia individuabile in un ampio affioramento a sud ovest della carta geologica, in corrispondenza dell'Unità di Meana Sardo, dove è rappresentata da due formazioni, dalla formazione di M. Corte Cerbos (metariolitiafiriche), su cui si sovrappone la formazione di Manixeddu (metaepiclastiti derivate dallo smantellamento di vulcaniti acide) e la formazione di Serra Tonnai (metagrovacche vulcaniche e metandesiti).

SGA. Metapeliti carboniose nere con rari graptoliti; alternate a metasiltiti. Frequenti livelli di diaspri neri (liditi), presente in un piccolo affioramento presso Riu Miana, costituita da argilloscisti con pirite, localmente intercalato da liditi e metacalcari.

SVI. Alternanze irregolari di strati, da decimetrici a metrici, di metarenarie quarzoso-micacee e sottili livelli di metapeliti con laminazioni piano parallele ed incrociate. Livelli di metaconglomerati quarzosi minuti nella parte alta. Suddetta formazione è presente in ridotti affioramenti nell'area, risulta intrusa dai porfidi permiani.

GEN. Si tratta di una monotona, irregolare alternanza di livelli da metrici a decimetrici di metarenarie quarzose e micacee, quarziti, filladi quarzifere e filladi. Le filladi hanno colori da grigio chiaro a grigio scuro e verdastro. Localmente prevalgono termini più quarziticci, in banchi di vari metri di spessore, oppure metarenarie fini e metasiltiti. A causa della complessa tettonica locale, lo spessore originario non è valutabile. Lo spessore apparente è maggiore di 1.000 m. Il contatto di base è tettonico. Essa poggia su vari termini dell'Unità di Meana Sardo. Nel sito è la litologia prevalente, a causa delle intense deformazioni risulta complicato definire

l'andamento generale degli strati, tuttavia si nota in linea di massima un'immersione prevalente a NE, con inclinazioni relativamente blande variabili da 10° a 20°.

pa. Lave in colata ed amassi subvulcanici di composizione da riolitica a dacitica, a grana da minuta a media, a struttura porfirica frequente, talvolta con evidenti strutture di flusso, rari livelli di brecce vulcaniche e tufi riolitici. Tale litologia è stata messa in posto a seguito di processi tettonici transpressivi, collegati all'apertura dei bacini permiani (piggy back basin), la colorazione delle rocce è fortemente influenzata dalle formazioni attraversate, in relazione ai diversi processi di alterazione. In bibliografia viene descritta come sequenza vulcanica caratterizzata da grande varietà di strutture da colate laviche a lave autobrecciate, come riscontrato presso la postazione J07.

GNS. Questa unità affiora alla base dei tacchi, spesso con spessori modesti talvolta a seconda della morfologia del basamento non è presente (come ad esempio in prossimità dei paleoalti). Presso la S.P. 13 (fronte postazione J01) è chiaramente visibile la discordanza angolare tra basamento e litologie mesozoiche con alla base la Formazione silicoclastica-carbonatica di Genna Selole, su cui poggiano le dolomie massive della Formazione di Dorgali. La deposizione di questa Formazione è avvenuta in un'ampia fascia di ambienti variabili da continentale a marino troviamo rispettivamente dal basso verso l'alto:

- A.** Depositi conglomeratici, e arenacei, a gradazione diretta, i clasti provengono in gran parte dallo smantellamento del basamento metamorfico.
- B.** Depositi argillosi, intervallati da livelli carboniosi.
- C.** Calcarei compatti, intervallati da livelli limosi.

Verosimilmente la deposizione dei diversi strati è avvenuta contemporaneamente, in continuità laterale. Talvolta alla base del conglomerato affiorano paleosuoli ricchi in ossidi e idrossidi di ferro (il cosiddetto "Ferro dei Tacchi" Auct., vedi Cap.VIII di queste note), derivati da una lunga evoluzione pedogenetica di tipo lateritico in clima caldo-umido (VARDABASSO, 1952; MARINI, 1984), come riscontrabile presso Corongiu.

DOR. Litologie carbonatiche a composizione variabile da termini dolomitici a termini calcarei. Strati massivi con potenze massime rilevate nell'area di circa 700m, talvolta a causa degli intensi processi di dolomitizzazione non è evidente la stratificazione. Nell'area in esame tale formazione è localizzabile presso punta Corongiu.

b2. coperture residuali, prodotti dall'alterazione del substrato roccioso, accumulati in aree sub-pianeggianti con reticolo idrografico poco inciso. La composizione e l'aspetto dei depositi varia a seconda della natura delle rocce alterate, si segnala la presenza nel Tacco di Jerzu, presso la dolina in località Gessitu.

a. Si tratta di depositi, talvolta monogenici in genere sciolti o poco cementati, eterogenei con clasti a dimensioni variabili da metrici a centimetrici, solitamente con matrice sabbiosa. Si segnala la presenza in diversi impluvi e nei bordi dei tavolati calcarei.

a1. Caratteristici depositi caotici di versante, attribuibili a processi gravitativi di crollo e ribaltamento delle cornici carbonatiche.

h. Depositi attribuibili a corpi di discarica o sterile derivato da coltivazioni minerarie.

5.3 Assetto litostratigrafico locale

I nuovi aerogeneratori saranno collocati nelle creste allungate dei rilievi collinari, i quali hanno evidenziato un'esigua copertura detritica e un substrato costituito dalle litologie facenti parte del basamento ercinico; in particolare 7 turbine (J01, J02, J03, J04, J05 e J08) ricadono nella Formazione delle filladi grigie del Gennargentu, mentre le restanti 3 (J07, J09, J10) nella formazione di Monte Santa Vittoria. Di seguito si riportano le litologie interagenti con le strutture di fondazione.

J01

L'installazione dell'aerogeneratore in località Ceraminada prevede la realizzazione di una pista di circa 340m che collegherà la piazzola J01 alla SP. N.13 (Figura 5.1). La litologia prevalente è costituita dalla Formazione delle Filladi Grigie del Gennargentu, dotate di buone caratteristiche geomeccaniche; si segnala la presenza di una sottile coltre detritica. La morfologia è relativamente dolce (Figura 5.2:Affioramento J01.), caratterizzata da una cresta ampia che si sviluppa da ovest a est, degrada gradualmente a nord, mentre a Sud è interrotta da un ripido

SIA Boreas - Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu nel territorio di Jerzu (NU) - Dicembre 2020

pendio. Gli strati complessivamente sono in reggipoggio rispetto al versante nord, il clivaggio ha direzione N320 e immerge verso ovest.



Figura 5.1: Piazzola J01 da SP 13.



Figura 5.2:Affioramento J01.

J02-J03-J04-J05-J06-J08

L'assetto geologico e geomorfologico dell'area in cui sorgeranno gli aerogeneratori J02 e J03, previste in località "Sa Pranedda" (Figura 5.3-Figura 5.4), mostra la presenza predominante delle filladi erciniche; a nord della turbina J03 è presente un corpo filoniano costituito da porfidi quarziferi permiani, i quali tagliano le litologie metamorfiche. La cresta si sviluppa da est verso ovest, con un versante più inclinato a sud a causa della giacitura a reggipoggio degli strati, mentre a nord gli strati sono a franapoggio con un'inclinazione di circa 15°. Presso la piazzola J04 (Figura 5.5) affiorano le filladi grigie del Gennargentu; le stesse presentano direzione di clivaggio N75 con una debole inclinazione di 15° verso ovest. Presso la piazzola J05 (Figura 5.6), situata a circa 820 s.l.m., si segnala una consistente copertura detritica, dovuta all'alterazione del substrato metamorfico; situazione analoga è riscontrabile presso l'area di installazione dell'aerogeneratore J08. In corrispondenza dell'area in cui sorgerà l'aerogeneratore J06 l'assetto geologico è analogo a quelli sopra descritti; tuttavia l'area di intervento è morfologicamente caratterizzata da una cresta meno ampia e limitata lateralmente da versanti più ripidi.



Figura 5.3 - Area piazzola J02.



Figura 5.4 - Affioramento nei pressi della piazzola J04



Figura 5.5 – Area piazzola J04.



Figura 5.6 – Copertura detritica J05.



Figura 5.7 - Affioramento “Arenarie Grigie del Gennargentu” presso piazzola J07.

J07.

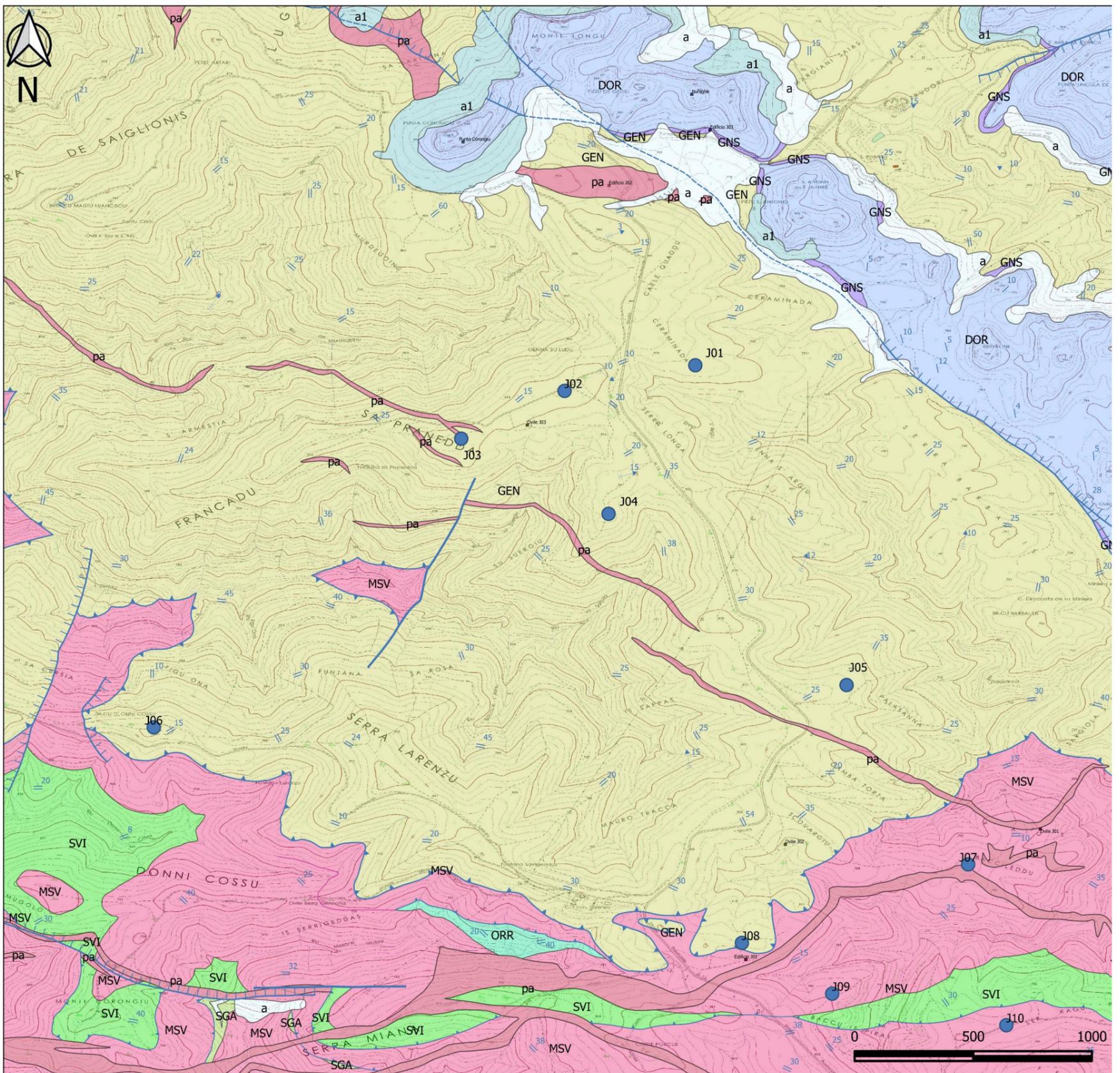
A circa 800 m di quota è prevista l’installazione dell’aerogeneratore denominato J07 (Figura 5.7). Dal punto di vista morfologico l’area è caratterizzata da una cresta che si sviluppa dalla S.P. 13 per circa 1km; in affioramento sono presenti sia le metarenarie della formazione di San Vito che i porfidi permiani (Figura 5.8).



Figura 5.8: Contatto porfidi-metarenarie presso la postazione J07.

J09-J10

Le postazioni eoliche **J09 e J10** sono ubicate in località *Baccu is Piras*, a circa 790 metri s.l.m., in corrispondenza di creste allungate. Nelle aree di sedime degli aerogeneratori affiora la Formazione di Monte Santa Vittoria, qui data da metagrovacche vulcaniche, metapeliti e micascisti. Trattasi di rocce bruno-giallastre, con superfici di scistosità parzialmente ossidate e fratturate con giunti suborizzontali e subverticali, debolmente beanti e talvolta riempiti di limo; in superficie si riscontra la presenza di patine nerastre di ossidazione. Tra i due punti di interesse è presente in affioramento la formazione di San Vito con contatto tettonico a sud in sovrascorrimento secondario localmente riattivato come faglia diretta.



Litologie

- a: Depositi di versante [Olocene]
- a1: Depositi di frana [Olocene]
- DOR: Formazione di Dorgali [Dogger - Malm]
- GEN: Formazione delle Filladi Grigie del Gennargentu [Cambriano medio – Ordoviciano inferiore]
- MSV: Formazione di Santa Vittoria [Ordoviciano medio]
- ORR: Formazione di Orroleddu [Ordoviciano Superiore]
- pa: Porfiri quarziferi [Permiano]
- SGA: Scisti a graptoliti [Siluriano - Devoniano Medio]
- SVI: Arenarie di San Vito

Figura 5.9 – Stralcio della Carta geologica.

5.4 Comportamento sismico del sottosuolo

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto, ai sensi del D.M. del 17.01.2018, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale. Per tale motivo si esegue una classificazione dei terreni compresi fra il piano di campagna ed il "bedrock" attraverso la stima delle velocità medie delle onde di taglio (V_s).

Con l'approccio semplificato, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alla configurazione stratigrafica ed i valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S_{eq}}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

essendo: h_i = spessore dello strato i -esimo,

$V_{s,i}$ = 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/sec.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato viene riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali alla testa dei pali.

Per depositi con profondità del substrato > 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S_{eq}}$ è definita dal parametro $V_{S_{30}}$ ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Alla luce di quanto detto, ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le «*Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni*», un sito può essere classificato attraverso il valore delle $V_{S_{eq}}$ con l'appartenenza alle differenti categorie sismiche; ovvero:

- 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;
- B]** rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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;

- C] depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti 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] depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, 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] Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Ai fini della definizione dei parametri sismici del sottosuolo in corrispondenza delle aree di intervento, in assenza di dati sito-specifici, per le finalità del presente studio si farà riferimento alle risultanze della campagna di indagine eseguita tra i mesi di gennaio e febbraio 2019 nell'ambito della progettazione esecutiva del "Parco eolico Maistu", che ha previsto l'installazione di 9 aerogeneratori tra i territori di Ulassai (WTG 107, 109, 111 e 114) e Perdasdefogu (WTG 125, 126, 127, 128 e 130), attualmente realizzati ed in esercizio.

I parametri sismici sono stati definiti attraverso l'esecuzione di 9 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 30 metri dal p.c., l'impiego di 9 profili MASW e 9 profili sismici a rifrazione. In Figura 5.10 si riporta il posizionamento degli aerogeneratori installati nel 2019 ed i siti interessati dagli interventi in progetto.

Preso atto della diffusa presenza del substrato roccioso in tutte le previste postazioni e con il conforto dei risultati della indagine sismica con metodologia MASW si può sin d'ora prevedere una **categoria di sottosuolo "A"**. Infatti dalle elaborazioni eseguite con software dedicato, assumendo il piano di posa delle fondazioni a -3,00 m dal p.c., è scaturito in tutti i casi **$V_{s_{eq}} > 800$ m/s.**



Figura 5.10 – Nuovi aerogeneratori in progetto (testi in blu) e punti di indagine MASW eseguite nell'ambito della progettazione esecutiva del Parco eolico Maistu (testi in nero)

Sulla base del contesto geologico di riferimento e della prossimità agli interventi in progetto ai punti di indagine menzionati (Figura 5.10), per la stima valori della velocità delle onde di taglio (V_s) caratteristiche del sottosuolo dell'area di intervento si farà riferimento alle misurazioni MASW eseguite in corrispondenza della postazione n. 109 del "Parco eolico Maistu", contraddistinta da affioramenti della Formazione di Santa Vittoria (metamorfiti riferibili a metagrovacche vulcaniche, metapeliti e micascisti).

Il profilo delle velocità di propagazione delle onde di taglio S riferibili al punto di indagine di riferimento è riportato in Figura 5.11.

Ai fini dell'analisi previsionale dei livelli di vibrazione associati alle operazioni di costruzione del parco eolico in progetto, avuto riguardo delle assunzioni indicate in precedenza, si farà riferimento ai valori di V_R riportati in Tabella 6, potendosi assumere in prima approssimazione una velocità delle onde R pari a quella delle onde S (Figura 5.12).

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra 420 e 480 m/s, Terre molto addensate e/o rocce tenere
2,3 – 4,1	2° sismostrato con Vs tra 480 e 670 m/s, Terre molto addensate e/o rocce tenere
4,1 – 6,2	3° sismostrato con Vs tra 670 e 1000 m/s, Rocce da fratturate a debolmente fratturate
6,2 – 12,7	4° sismostrato con Vs tra 1000 e 1780 m/s Substrato roccioso debolmente fratturato
12,7-23,8	5° sismostrato con Vs tra 1780 e 2550 m/s Substrato roccioso debolmente fratturato
23,8-32,0	6° sismostrato con Vs tra 2550 e 3010 m/s Substrato roccioso debolmente fratturato

MASW M1 – PROFILO Vs (Vs eq= 1126 m/s)

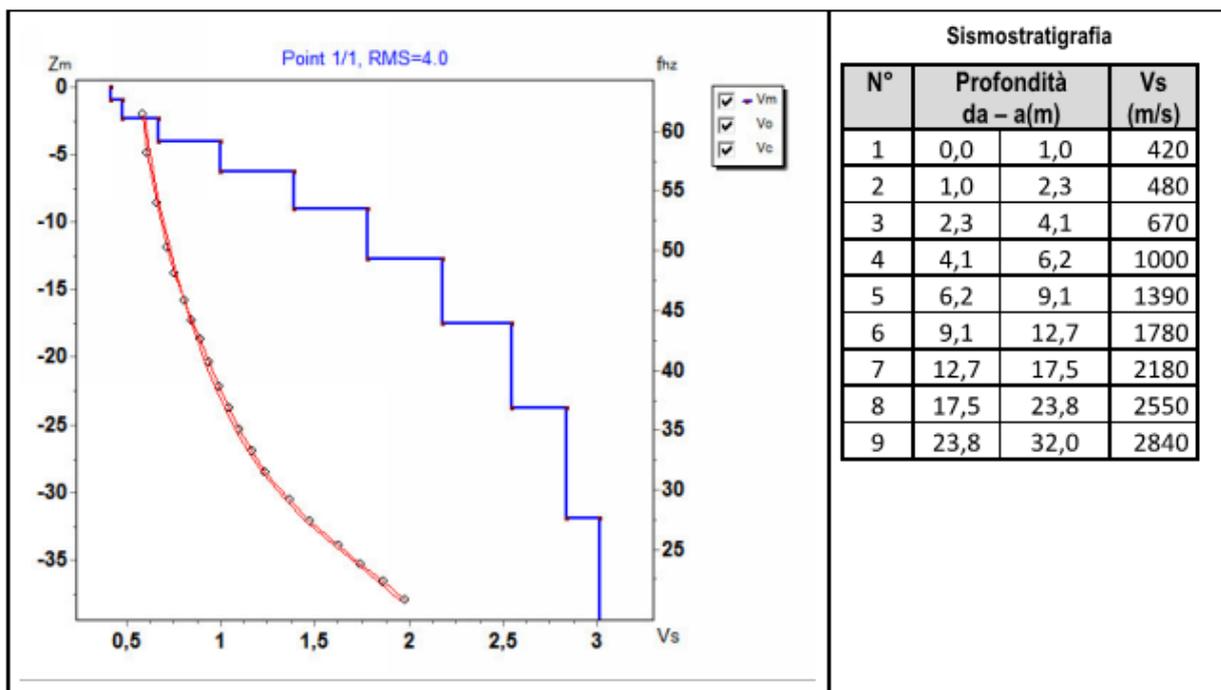


Figura 5.11 – Parco eolico Maistu: Postazione eolica 109 - Andamento della velocità delle onde S con la profondità

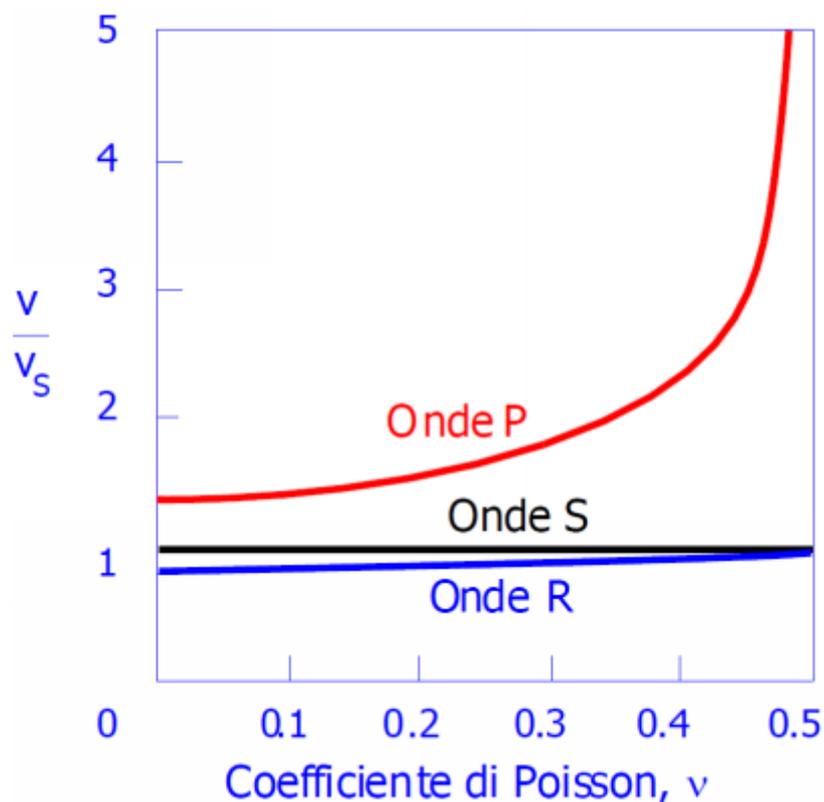


Figura 5.12 – Relazione tra la velocità delle onde P, R ed S in funzione dei valori assunti dal coefficiente di Poisson (Richard at. al. mod., 1970)

Tabella 6 – Profilo verticale della velocità di propagazione stimato per le onde R in corrispondenza delle metamorfiti

N.	Profondità		VR (m/s)
	da	a	
1	0	1	420
2	1	2,3	480
3	2,3	4,1	670
4	4,1	6,2	1000
5	6,2	9,1	1390
6	9,1	12,7	1780
7	12,7	17,5	2180
8	17,5	23,8	2550
9	23,8	32	2840

6 INDIVIDUAZIONE DEI POTENZIALI RICETTORI

L'area di influenza dell'impianto eolico è priva di ricettori oggetto di particolare tutela dal punto di vista acustico e vibrazionale. Non sono infatti presenti unità residenziali adibite a civile abitazione; si individuano, peraltro, alcuni casolari agricoli ed ovili occupati saltuariamente, durante i lavori stagionali in campagna. Si segnala la presenza, tra i potenziali ricettori dei fenomeni vibrazionali, l'edificio polifunzionale della Sardeolica S.r.l., utilizzato quotidianamente dai dipendenti della società (Sigla A).

Tabella 7 - Elenco di tutti i fabbricati e potenziali ricettori individuati all'interno dell'area vasta di studio

Elenco di tutti i fabbricati ed aree tutelate censiti all'interno dell'area di studio				
Sigla	Descrizione	X	Y	Z
A	Edificio Polifunzionale	1542335	4397272	834
B	Perdasdefogu	1537725	4392492	605
C	Poligono militare	1538603	4391671	587
D	Radar M.Codi	1544040	4395535	845
E	Ovile Serra	1541998	4396733	798
F	Ovile Cucca	1543160	4393633	679
G	Ovile	1539302	4394963	620
H	Deposito attrezzi	1540012	4394049	648
I	Campo di Tiro a Volo	1539536	4394299	670
J	Ovile	1539854	4393779	648
K	Ovile	1541091	4392177	575
L	Ovile	1540731	4393394	622
M	Ovile	1540356	4393865	630
N	Ovile	1540319	4393984	630
O	Nuraghe CeaUsasta	1543374	4391200	620
P	Nuraghe Pauli	1535598	4398295	600
Q	Nuraghe s'Ulimu	1536580	4397890	695
R	Nuraghe de Seroni	1537071	4397033	694
S	Nuraghe Cabras	1537749	4396455	656
T	Nuraghe Lesse	1537680	4395751	615
U	Nuraghe CeaArcis	1545158	4394974	692
V	Nuraghe Sterzu	1538960	4397196	747
Z	Nuraghe Teddaccu	1543727	4392566	600
X	Edificio Jerzu 01	1542916	4396967	831,7
Y	Edificio Jerzu 02	1542316	4401189	835,6
Z	Ovile Jerzu 01	1544153	4397687	743,1
AA	Ovile Jerzu 02	1543079	4397597	797,7
AB	Ovile Jerzu 03	1541979	4399880	854,4
AC	Edificio Jerzu 03	1542740	4401495	810,8
AD	Punta Corongiu Jerzu	1541700	4401424	959,0
AE	Nuraghe Jerzu	1542662	4401689	868,8

7 DESCRIZIONE SOMMARIA DELLE PRINCIPALI LAVORAZIONI DI CANTIERE

Nel seguito saranno individuate le principali fasi operative del processo costruttivo del parco eolico in progetto.

Per maggiori dettagli sulla natura delle opere e sulle modalità realizzative si rimanda all'esame degli elaborati testuali e grafici componenti il progetto definitivo dell'impianto.

7.1 Opere civili del parco eolico

L'appalto delle opere civili del parco eolico BOREAS comprenderà:

- le attività di realizzazione e finitura delle strade, delle piazzole e degli scavi dell'impianto eolico;
- le opere in cemento armato funzionali alla realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori;
- la realizzazione delle linee MT di collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione di consegna MT/AT;
- la sistemazione dell'area di ampliamento dell'esistente stazione elettrica di utenza MT/AT.
- la realizzazione di interventi impiantistici collaterali, funzionali all'entrata in esercizio dei nuovi aerogeneratori.

I lavori di tipo civile possono ricondursi alle seguenti attività principali:

1. allestimento del cantiere;
2. locale adattamento della viabilità di accesso al parco eolico funzionale a renderla adeguata al transito dei mezzi di cantiere ed alle operazioni di trasporto della componentistica degli aerogeneratori presso il sito di intervento;
3. adeguamento della viabilità interna del parco eolico al fine di assicurare l'accessibilità di ciascuna nuova postazione eolica ai mezzi d'opera ed ai veicoli di trasporto della componentistica degli aerogeneratori nonché consentire le ordinarie attività di gestione della centrale;
4. approntamento degli interventi funzionali alla regimazione delle acque superficiali;
5. realizzazione degli scavi funzionali all'allestimento delle piazzole nonché alla realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori;
6. realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori e dei collegamenti all'impianto di terra;
7. approntamento delle piazzole funzionali al montaggio degli aerogeneratori;

8. scavo e posa dei cavidotti MT interrati di interconnessione aerogeneratori e collegamento con la stazione di utenza;
9. realizzazione di opere in c.a. (pavimentazioni, basamenti), recinzioni e fabbricato servizi per consentire l'ampliamento della esistente stazione elettrica utente;
10. completamento delle principali opere civili delle piazzole degli aerogeneratori, realizzazione delle opere di ripristino morfologico e ambientale (opere a verde e di rinaturalizzazione e sistemazione finale delle piazzole e della viabilità) dell'area interessata dai lavori;
11. smobilizzo del cantiere.

7.2 Fornitura e montaggio degli aerogeneratori

I lavori per la fornitura e montaggio degli aerogeneratori possono articolarsi nelle seguenti attività:

1. Trasporto e posizionamento a piè d'opera dei componenti.
2. Preassemblaggio a terra dei singoli tronchi della torre.
3. Montaggio dei tronchi della torre.
4. Posizionamento della navicella.
5. Posizionamento delle pale.
6. Allacciamento alla SSE esistente, prove funzionali ed avviamento.

7.3 Opere per la realizzazione delle linee elettriche MT

La realizzazione delle linee elettriche MT si articolerà schematicamente nelle seguenti fasi di lavoro:

1. allestimento del cantiere e/o dell'area di deposito;
3. scavo e posa dei cavidotti interrati nei tratti previsti;
4. realizzazione delle giunzioni e delle prese di terra e successivo riempimento e costipazione del terreno negli scavi;
5. attività propedeutiche alla messa in servizio delle linee distribuzione di energia;
6. opere di ripristino morfologico e ambientale (ripristino al primitivo stato dei terreni) dell'area interessata dai lavori;
7. smobilizzo del cantiere;
8. collaudo e messa in servizio.

7.4 Opere civili per l'allestimento stazione di utenza MT/AT

I lavori connessi all'approntamento della stazione di trasformazione MT/AT sono i seguenti:

1. allestimento del cantiere;
2. realizzazione delle fondazioni e dei basamenti in c.a.;
3. adeguamento recinzione perimetrale in pannelli prefabbricati e grigliato metallico;
4. realizzazione delle vie cavo per cavi MT e BT compresi i pozzetti in c.a.
5. realizzazione della rete di terra;
6. smobilizzo del cantiere.

7.5 Montaggi elettromeccanici della stazione di utenza MT/AT

I montaggi elettromeccanici della SSE di trasformazione MT/AT consisteranno nelle seguenti attività:

1. montaggi elettromeccanici:
 - montaggio passante cavo- aereo AT
 - montaggio interruttori AT;
 - montaggio sezionatori AT;
 - montaggio trasformatore MT/AT;
 - montaggio trasformatori di misura TVC e TA;
 - montaggio scaricatori di sovratensione AT;
 - montaggio carpenteria a traliccio di stazione;
 - montaggio carpenteria tubolare;
 - montaggio isolatori di sbarra stazione;
 - esecuzione collegamenti AT in corda e/o tubo di alluminio;
2. montaggi dei servizi ausiliari:
 - installazione quadri BT;
 - posa cavi BT;
 - esecuzione collegamenti BT;
 - realizzazione impianto di illuminazione esterna;
 - realizzazione di impianti tecnologici di edificio;
3. montaggi del sistema di protezione, comando e controllo (SPCC):

- installazione armadi e quadri BT;
- posa cavi BT e fibra ottica;
- esecuzione collegamenti BT e fibra ottica;
- installazione apparati centralizzati di stazione;
- installazione apparati di telecontrollo;

4. collaudo e messa in servizio della stazione e di tutto l'impianto eolico.

7.6 Gestione delle terre e delle rocce da scavo

I lavori per la gestione delle terre e delle rocce da scavo si inseriscono all'interno dei lavori di tipo civile e comporteranno le seguenti attività:

1. Stoccaggio dei materiali di scavo in apposite aree;
2. Frantumazione in loco del materiale roccioso oggetto di scavo al fine di favorirne il recupero in sito per la formazione dei rilevati di strade e/o della piazzola ai sensi dell'art. 185 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii.;
3. carico dei mezzi necessari;
4. avvio a smaltimento/recupero dell'eventuale materiale di scavo non recuperabile in cantiere (non previsto per il presente progetto).

Per la descrizione delle attività previste nell'ambito della gestione dei materiali di scavo si rimanda al *Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti* facente parte del progetto definitivo (Elaborato AM-RTC10016).

8 ANALISI PREVISIONALE DEI LIVELLI DI VIBRAZIONE

8.1 Il metodo previsionale

Il metodo previsionale adottato ha fatto ricorso a dati di letteratura sulle caratteristiche emissive delle sorgenti ed a simulazioni numeriche. A partire dagli spettri di emissione delle tipologie di macchine operatrici che prevedibilmente saranno impiegate durante il processo costruttivo del Parco eolico *Boreas* sono state condotte delle simulazioni numeriche volte a definire l'effetto combinato di tali macchinari sotto il profilo dell'impatto da vibrazioni. La stima dei livelli vibrazionali potenzialmente riscontrabili nei ricettori ha dunque previsto:

- l'assunzione di uno spettro di emissione rappresentativo dell'accelerazione indotta nel terreno ad una data distanza di riferimento;
- l'adozione di una funzione di propagazione della vibrazione che esprima, per ogni frequenza considerata, la relazione tra l'ampiezza di vibrazione al ricettore e quella relativa alla sorgente secondo alcune ipotesi semplificative (sorgenti omnidirezionali, mezzo di propagazione omogeneo e isotropo, propagazione superficiale attraverso onde di Rayleigh);
- la combinazione dei livelli di vibrazione in funzione dei livelli associati alle bande di un terzo di ottava negli scenari di progetto ipotizzati;
- relativamente allo scenario modellizzato, l'applicazione di una curva di attenuazione definita per postura non nota;
- un confronto con i livelli di riferimento in condizioni di campo libero.

Nel dettaglio, le stime sono state condotte in accordo con la seguente procedura di calcolo:

- la valutazione dei livelli vibrazionali in corrispondenza delle sorgenti emissive ha fatto ricorso agli spettri di emissione caratteristici dei mezzi di cantiere, utilizzando dati di letteratura e/o di studi previsionali analoghi. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza nota dalla sorgente di vibrazioni e si riferiscono alla sola componente verticale;
- note le caratteristiche emissive delle sorgenti si è proceduto al calcolo del livello di accelerazione non ponderato a distanze crescenti dalla sorgente mediante una nota legge di propagazione. Nel caso di sorgenti superficiali, l'espressione che esprime il fenomeno di propagazione della vibrazione ad una data frequenza f è data dalla seguente formula:

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

Dove:

c = velocità di propagazione delle onde di superficie espressa in m/s;

f = frequenza della vibrazione in Hz;

η = coefficiente adimensionale di perdita del terreno, dovuto a locali fenomeni di isteresi nella microstruttura del terreno, assunto pari a 0.05, valore tipico per rocce scistose, come desunto dai valori riportati in Tabella 8.

n = esponente adimensionale di decadimento geometrico, assunto pari a 0.5 per sorgenti superficiali di tipo puntiforme, alle quali possono prevalentemente assimilarsi i contributi associati all'esercizio del cantiere.

- combinazione dei livelli complessivi di accelerazione non ponderati a distanze crescenti dalla sorgente per ciascuna frequenza riferiti a ciascuno dei macchinari previsti. Come legge di combinazione degli spettri è stata adottata la SRSS (*Square Root of the Sum of the Squares*) consistente nel calcolo della radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine operatrici. Per ciascuna frequenza si è quindi ottenuto un valore complessivo non ponderato di tutte le macchine attive ($A_{TOT, f}$) dato da:

$$A_{TOT, f} = \sqrt{A_1(f, d)^2 + A_2(f, d)^2 + \dots + A_n(f, d)^2}$$

- È stata successivamente applicata la curva di ponderazione definita per postura non nota (o asse generico) indicata dalla UNI 9614 riportata in Figura 8.1. Si noti come tale curva non introduca alcuna variazione dei livelli di accelerazione misurati da 1 a 2 Hz, per poi ridurre progressivamente i valori al crescere della frequenza. A partire dalla frequenza di 8 Hz, la curva ha una pendenza di 6 dB/ottava.

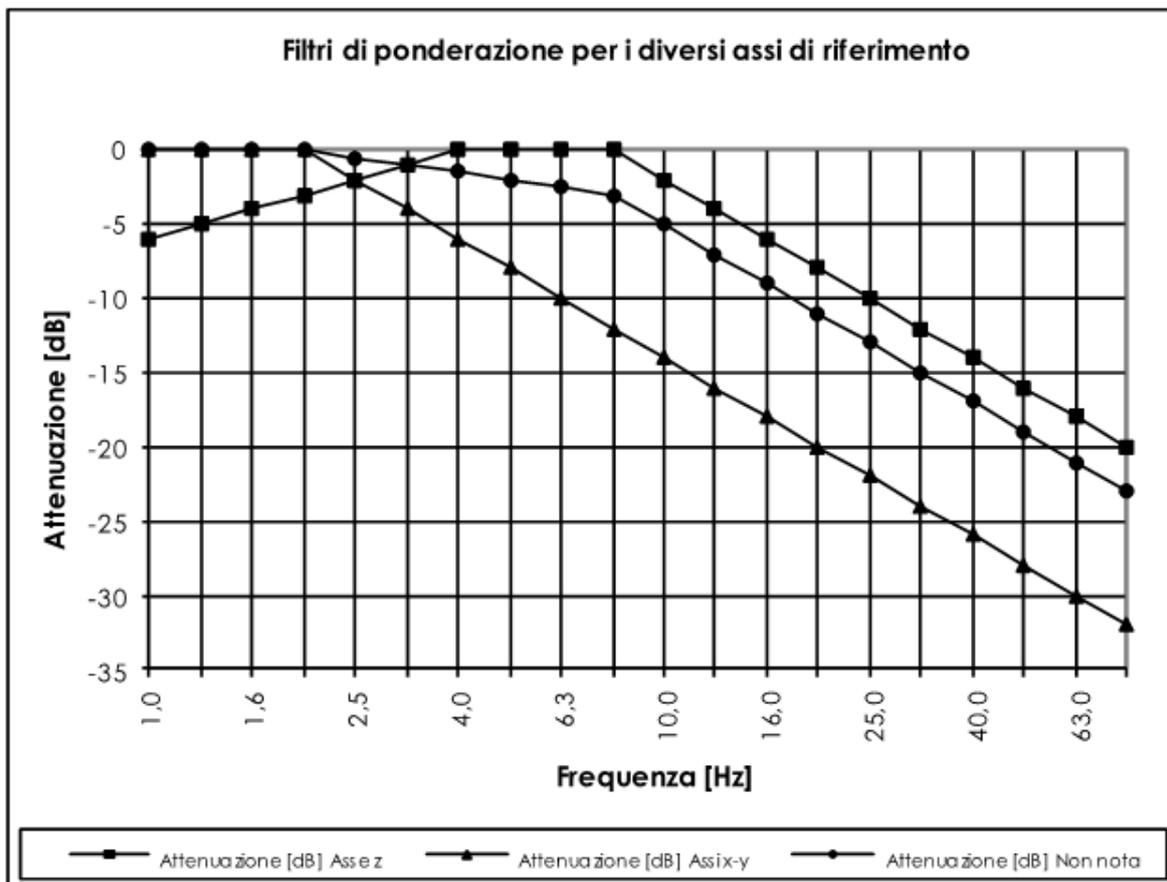


Figura 8.1 – Curve di ponderazione delle vibrazioni indicate dalla UNI 9614:2017 per i diversi assi di riferimento

- Sono stati quindi ottenuti i livelli ponderati di accelerazione complessiva per singola frequenza e distanza. Il livello totale di accelerazione ponderata in funzione della distanza $L_{a,w,d}$ è stato ottenuto attraverso la combinazione, per una data distanza dalla sorgente, dei livelli di accelerazione ponderati alle varie frequenze sull'asse Z.

Tabella 8 - Valori tipici di densità, velocità di propagazione e fattore di perdita, noti esclusivamente per alcune classi geologiche e in presenza di un ammasso omogeneo (Fonte SIA Ponte sullo stretto di Messina)

TIPO DI TERRENO	DENSITA' [t/m ³]	VELOCITA' DI PROPAGAZIONE [m/s]	FATTORE PERDITA η
Roccia compatta	2.65	3500	0.01
Sabbia, limo, ghiaia, loess	1.6	600	0.1
Argilla, terreni argillosi	1.7	1500	0.2÷0.5
Molasse	2.25	1075	0.05
Sabbie e ghiaie di Messina	2.00	834	0.05
Scisti cristallini	2.25	3000	0.05
Depositi alluvionali	1.83	527	0.05
Calcarei evaporitici	2.25	3350	0.05

8.2 Caratterizzazione delle sorgenti

Le emissioni di vibrazione in fase di costruzione sono ampiamente variabili in relazione al tipo di attrezzatura/macchina operatrice impiegata, al contesto di utilizzazione e all'operatore. Nel presente studio, in sintonia con quanto contemplato dalla UNI 9614 (Appendice C - punto C.4), sono stati utilizzati sia dati di fonte bibliografica sia dati direttamente acquisiti da studi analoghi predisposti nell'ambito della VIA di importanti opere infrastrutturali realizzate a livello nazionale.

In relazione ai dati bibliografici, si è fatto riferimento a quanto contenuto nel volume L.H. Watkins - "*Environmental impact of roads and traffic*" - Appl. Science Publ. (pp. 231-241) contenute una serie di dati sperimentali sull'emissione di vibrazioni da parte di svariati tipi di macchine da cantiere, utilizzate nelle costruzioni stradali e ferroviarie. Da tale raccolta di dati sono stati estratti gli spettri di emissione delle macchine operatrici riportate nella Tabella 9 .

SIA Boreas - Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu nel territorio di Jerzu (NU) - Dicembre 2020

 Tabella 9 – Spettri dell'accelerazione per alcuni mezzi e macchinari di cantiere in mm/s² (distanza di misura 10 metri)

	D [m]	Frequenza (Hz)																			
		1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Camion da cantiere	10	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0,12	0,15	0,29	0,5	1,67	1,85	2,5	6	5,5	5,2	4
Camion ribaltabile	10	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0,23	0,41	0,5	0,6	1,1	2,99	9	3,9	3,3	4	10	8
Rullo compattatore vibrante	10	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,8	0,7	0,8	1,1	1	2	1,55	6	29	3	1	1,6	2
Rullo compattatore (non vibrante)	10	0	0	0	1,6	1,7	2	0,85	5,8	11	18	20	40	20	4	12	7	3,7	3,7	5	4
Pala gommata carica	10	0	0	0	0,41	0,41	0,41	0,48	0,52	0,5	0,76	1,1	1,25	2	3	17	17	7,8	15	14	7,8
Pala gommata scarica	20	0	0	0	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,4	1,2	0,9	1,75	1,26	2	5,2	2,6	1,6	1,6	1,5	2
Ruspa cingolata piccola	10	0	0	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	1,6	3,2	4,2	8	6	18	24	16	10	9	6	5,5

In Tabella 10 si riportano, inoltre, alcuni dati sperimentali relativi alla componente verticale delle vibrazioni generate da un martello demolitore idraulico, tratti da studio previsionale analogo. I dati dello spettro, riferiti ad una distanza dalla sorgente pari a 5 metri ed espressi in dB, sono stati convertiti in valori di accelerazione in mm/s² (cfr. par. 2.3).

Tabella 10 – Spettro del livello vibrazionale afferente alla componente verticale relativo ad un martello demolitore idraulico (misura a distanza di 5 metri dalla sorgente)

Frequenza centrale [Hz]	L [dB]	A [m/s ²]	A [mm/s ²]
1	68	0,0025	2,51
1,25	68	0,0025	2,51
1,6	70	0,0032	3,16
2	71	0,0035	3,55
2,5	72	0,0040	3,98
3,15	77	0,0071	7,08
4	77	0,0071	7,08
5	81	0,0112	11,22
6,3	88	0,0251	25,12
8	99	0,0891	89,13
10	88	0,0251	25,12
12,5	85	0,0178	17,78
16	100	0,1000	100,00
20	95	0,0562	56,23
25	98	0,0794	79,43
31,5	101,5	0,1189	118,85
40	101	0,1122	112,20
50	102	0,1259	125,89
63	102	0,1259	125,89
80	101	0,1122	112,20

8.3 Scenari previsionali di calcolo dei livelli vibrazionali

La verifica circa il rispetto dei valori guida indicati dalla UNI 9614:2017, espressi in livello di accelerazione complessiva ponderata in frequenza, è stata condotta avuto riguardo delle principali attività di costruzione previste nell'ambito della realizzazione dell'impianto eolico in progetto, comportanti l'impiego di mezzi meccanici di movimento terra e di trasporto materiali.

Sotto questo profilo, si è fatto riferimento alle seguenti attività con annesso funzionamento delle macchine operatrici impiegate per le lavorazioni:

Attività di cantiere	Principali macchine operatrici impiegate sorgenti di vibrazioni
Scavi per realizzazione fondazioni aerogeneratori	<ul style="list-style-type: none"> — Escavatore — Escavatore con martellone idraulico — Camion da cantiere — Pala gommata
Realizzazione viabilità di servizio e allestimento spazi sottostazione elettrica	<ul style="list-style-type: none"> — Escavatore idraulico — Pala gommata — Camion da cantiere — Rullo compattatore non vibrante
Scavi e rinterri per posa cavidotti interrati	<ul style="list-style-type: none"> — Escavatore — Camion da cantiere

Le stime dei livelli vibrazionali sono state improntate alla cautela, avendo considerato la condizione più sfavorevole, rappresentata dall'utilizzo simultaneo di tutti i mezzi d'opera prevedibilmente impiegati nelle lavorazioni. Questi ultimi, infatti, non saranno ordinariamente impiegati contemporaneamente, potendosi ritenere estremamente limitati nel tempo i periodi di sovrapposizione. L'effetto delle vibrazioni indotte dalle lavorazioni, inoltre, non sarà continuato durante gli orari di esercizio del cantiere (indicativamente dalle 8:00 alle 13:00 e dalle 14:00 alle 17:00), potendosi ipotizzare quotidianamente alcune fermate temporanee in ragione delle esigenze organizzative del cantiere.

8.4 Stima dei livelli vibrazionali ed analisi dei risultati

Le tabelle in Appendice riportano gli esiti del calcolo effettuato secondo le modalità descritte al paragrafo 8.1.

Ai fini delle verifiche si è assunta la propagazione delle vibrazioni entro un orizzonte superficiale omogeneo di terreno contraddistinto dalla massima velocità stimata onde R entro la profondità indicativa da 0.00 m a -4.00 m dal piano di campagna (cfr. Tabella 6 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), ossia quella interessata dalle lavorazioni, pari a:

$V_R = 670$ m/s per le metamorfiti;

SIA Boreas - Ampliamento Parco Eolico di Ulassai e Perdasdefogu nel territorio di Jerzu (NU) - Dicembre 2020

I prospetti di calcolo si riferiscono all'assunzione delle distanze oltre le quali il livello di vibrazione atteso è risultato inferiore alle soglie indicate dalla UNI 9614 per le abitazioni nel periodo di riferimento diurno (77 dB) e per gli uffici (83 dB). Tali distanze sono riepilogate in Tabella 11.

Tabella 11 – Distanze di conformità dei livelli vibrazionali originati dalle lavorazioni di cantiere rispetto al criterio di disturbo alle persone di cui alla UNI 9614:2017

Attività	Distanza di conformità per abitazioni [m]	Distanza di conformità per uffici [m]
	Contesto geologico: metamorfiti	Contesto geologico: metamorfiti
Realizzazione fondazioni	170	90
Realizzazione strade e approntamento stazione elettrica	90	35
Realizzazione cavidotti	10	10

Dall'esame dei risultati riportati in Tabella 11 si evince come le lavorazioni potenzialmente più critiche siano riferibili alla realizzazione delle opere di fondazione degli aerogeneratori, dovendosi prevedere l'impiego di martello demolitore per l'escavazione su roccia compatta. Per tali lavorazioni, le ampiezze delle aree interessate da un impatto vibrometrico potenzialmente disturbante per gli occupanti edifici residenziali si estendono circa 170 metri nel settore metamorfico di Jerzu-Ulassai. Peraltro, poiché nell'area di intervento i più prossimi ricettori abitativi si trovano a distanze ben superiori alle proposte installazioni eoliche (l'abitazione più vicina si posiziona a oltre 1 km dal più vicino aerogeneratore), sussistono ampi margini di sicurezza per ritenere tale impatto non significativo.

D'altro canto, le opere lineari con sviluppo maggiormente esteso, riferibili alla costruzione dei cavidotti MT, interessando i primi orizzonti di terreno e roccia alterata, potranno essere realizzati con l'impiego di escavatori meccanici, determinando un impatto vibrazionale scarsamente significativo. Le distanze di conformità delle vibrazioni per tale lavorazione, infatti, possono indicativamente assumersi pari a 10 metri, ossia in sostanziale corrispondenza delle aree di cantiere.

Con riferimento all'unico edificio censito nel settore di intervento con presenza stabile di persone nel periodo di riferimento diurno, riferibile alla sede operativa della Sardeolica S.r.l. in

località *Corte Porcus*, i principali disturbi da vibrazioni potrebbero astrattamente riferirsi alla realizzazione dei cavidotti. Poiché per tali lavorazioni la distanza di conformità dei livelli vibrazionali rispetto a edifici con destinazione “Uffici” è stata valutata pari a 10 metri, i potenziali disturbi sono anch’essi da ritenersi ragionevolmente non significativi.

In relazione al potenziale danno strutturale a carico degli edifici, si sottolinea, come già evidenziato in premessa, che le soglie indicate dalla UNI 9916:2014, mutate dalla DIN 4150, sono significativamente superiori a quelle di riferimento per il disturbo alle persone. Ne consegue, pertanto, che la positiva verifica del rispetto dei valori guida stabiliti dalla UNI 9614:2117 consente ragionevolmente di escludere il verificarsi di effetti dannosi a carico delle strutture dei più prossimi fabbricati.

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente documento, facente parte integrante dello Studio di impatto ambientale del progetto di ampliamento del parco eolico di Ulassai-Perdasdefogu (NU) nel territorio di Jerzu, denominato "BOREAS", ha analizzato le dinamiche di propagazione di vibrazioni in prossimità delle aree di cantiere pervenendo ad una stima dell'entità delle stesse e, in definitiva, ad una verifica dell'accettabilità degli effetti attesi in corrispondenza dei più prossimi fabbricati. Quanto precede avuto riguardo delle soglie di riferimento indicate nelle seguenti norme tecniche:

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

In relazione al potenziale danno strutturale a carico degli edifici, va rilevato come le soglie indicate dalla UNI 9916:2014, mutuata dalla DIN 4150, siano significativamente superiori a quelle di riferimento per il disturbo alle persone. Ne consegue, pertanto, che una positiva verifica del rispetto dei valori guida stabiliti dalla UNI 9614:2017 consente ragionevolmente di escludere il manifestarsi di effetti dannosi a carico degli edifici.

L'analisi circa il rispetto dei valori guida indicati dalla UNI 9614:2017, espressi in livello di accelerazione complessiva ponderata in frequenza, è stata condotta avuto riguardo delle principali attività di costruzione previste nell'ambito della realizzazione dell'impianto eolico in progetto, comportanti l'impiego di mezzi meccanici di movimento terra e di trasporto materiali.

Le emissioni di vibrazione in fase di costruzione sono ampiamente variabili in relazione al tipo di attrezzatura/macchina operatrice impiegata, al contesto di utilizzazione e all'operatore. Nel presente studio, in sintonia con quanto contemplato dalla UNI 9614 (Appendice C - punto C.4), sono stati utilizzati sia dati di fonte bibliografica sia dati direttamente acquisiti da studi analoghi predisposti nell'ambito della VIA di importanti opere infrastrutturali realizzate a livello nazionale.

Ai fini della definizione dei parametri sismici del sottosuolo in corrispondenza delle aree di intervento si è fatto riferimento alle risultanze della campagna di indagine eseguita tra i mesi di gennaio e febbraio 2019 nell'ambito della progettazione esecutiva del "Parco eolico Maistu", che ha previsto l'installazione di 9 aerogeneratori tra i territori di Ulassai e Perdasdefogu, attualmente realizzati ed in esercizio.

Le verifiche numeriche sono state condotte ricorrendo a note espressioni che interpretano il fenomeno della propagazione della vibrazione ad una data frequenza, avuto riguardo dei fenomeni di attenuazione dell'energia sismica all'aumentare della distanza dalla sorgente.

L'analisi ha mostrato come le lavorazioni potenzialmente più critiche siano riferibili alla realizzazione delle opere di fondazione degli aerogeneratori, dovendosi prevedere l'impiego di importanti sorgenti vibrazionali (martello demolitore idraulico). Per tali lavorazioni, le ampiezze delle aree interessate da un impatto vibrometrico potenzialmente disturbante per gli occupanti edifici residenziali si estendono circa 170 metri nel settore metamorfico di Jerzu-Ulassai. Peraltro, poiché nell'area di intervento i più prossimi ricettori abitativi si trovano a distanze ben superiori alle proposte installazioni eoliche, sussistono ampi margini di sicurezza per ritenere tale impatto non significativo.

D'altro canto, le opere lineari con sviluppo maggiormente esteso, riferibili alla costruzione dei cavidotti MT, interessando i primi orizzonti di terreno e roccia alterata, potranno essere realizzati con l'impiego di escavatori meccanici, determinando un impatto vibrazionale scarsamente significativo anche per gli edifici più prossimi (Uffici Sardeolica). Le distanze di conformità delle vibrazioni per tale lavorazione, infatti, possono indicativamente assumersi pari a 10 metri, ossia sostanzialmente coincidenti con le aree occupate dal cantiere.

10 BIBLIOGRAFIA

Bottio, R. Acustica e vibrazioni: riduzione del disturbo, miglioramento del comfort – in Dossier UNI, U&C n. 4 aprile 2018.

Farina A. Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali

D M Hiller, G I Crabb. Groundborne vibration caused by mechanised construction works. UK Transport Research Laboratory, 2000.

Pisani R. Origine, propagazione e modelli previsionali delle vibrazioni dei mezzi di trasporto
EUROLINK S.C.p.A. Ponte sullo Stretto di Messina - Progetto Definitivo – Studio sulle vibrazioni, 2011.

ISPRA. Dispense corso di Formazione su Valutazione d’Impatto Ambientale (VIA). Roma, ottobre-novembre 2012.

APPENDICE: TABELLE DI CALCOLO

Contesto geologico

Metamorfiti

Lavorazione

Realizzazione fondazioni

Verifica distanza di conformità per abitazioni (giorno) secondo la UNI 9614:2017

Macchinari	Martello idraulico	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Pala gommata	Martello idraulico	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Pala gommata	Spettro combinato	Spettro combinato	Ponderazione	Livello finale ponderato
f [Hz]	a(d0,f) [mm/s ²]	a(d,f) [mm/s ²]	(A _{TOT} ,f,d) [mm/s ²]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]						
1	1,77	0,02	0	0	3,99E-01	5,02E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,99E-01	52	0,00	52
1,25	1,77	0,01	0	0	3,91E-01	3,11E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,91E-01	52	0,00	52
1,6	2,23	0,01	0	0	4,79E-01	3,02E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,79E-01	54	0,00	54
2	2,50	0,01	0	0,41	5,21E-01	1,65E-03	0,00E+00	8,25E-02	5,28E-01	54	0,00	54
2,5	2,80	0,01	0	0,41	5,63E-01	2,82E-03	0,00E+00	8,06E-02	5,68E-01	55	-0,50	55
3,15	4,97	0,02	0	0,41	9,52E-01	3,38E-03	0,00E+00	6,85E-02	9,54E-01	60	-1,50	58
4	4,96	0,02	0	0,48	8,91E-01	3,16E-03	0,00E+00	8,02E-02	8,95E-01	59	-2,00	57
5	7,84	0,02	0,15	0,52	1,31E+00	2,93E-03	2,50E-02	7,00E-02	1,31E+00	62	-2,50	60
6,3	17,50	0,02	0	0,5	2,65E+00	2,97E-03	0,00E+00	3,26E-02	2,65E+00	68	-2,00	66
8	61,85	0,02	0,12	0,76	8,23E+00	2,60E-03	1,60E-02	1,78E-03	8,23E+00	78	-3,00	75
10	17,35	0,07	0,15	1,1	1,99E+00	7,91E-03	1,72E-02	7,26E-02	1,99E+00	66	-5,00	61
12,5	12,21	0,14	0,29	1,25	1,16E+00	1,30E-02	2,75E-02	1,21E-01	1,17E+00	61	-7,00	54
16	68,11	0,68	0,5	2	4,97E+00	4,97E-02	3,65E-02	2,93E-03	4,97E+00	74	-9,00	65
20	37,94	0,85	1,67	3	2,05E+00	4,59E-02	9,03E-02	4,22E-02	2,06E+00	66	-11,00	55
25	52,97	1,19	1,85	17	1,97E+00	4,41E-02	6,88E-02	7,75E-02	1,97E+00	66	-13,00	53
31,5	78,06	0,83	2,5	17	1,78E+00	1,89E-02	5,71E-02	1,18E-02	1,78E+00	65	-15,00	50
40	72,24	0,81	6	7,8	8,71E-01	9,78E-03	7,24E-02	8,38E-03	8,75E-01	59	-17,00	42
50	79,17	1,77	5,5	15	4,51E-01	1,01E-02	3,13E-02	9,58E-03	4,52E-01	53	-19,00	34
63	76,80	3,06	5,2	14	1,65E-01	6,57E-03	1,12E-02	1,07E-02	1,66E-01	44	-21,00	23
80	65,77	0,52	4	7,8	3,95E-02	3,13E-04	2,40E-03	1,36E-02	4,18E-02	32	-23,00	9
										81	Livello totale (LW)	76,71

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	170	m
(d-d0)	160	m
η	0,05	adim.
c	670	m/s
n	0,5	adim.

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

Tabella 2.4 - limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente

Luogo	Aw [m/s ²]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto geologico

Metamorfiti

Lavorazione

Realizzazione fondazioni

Verifica distanza di conformità per uffici secondo la UNI 9614:2017

Macchinari	Martello idraulico	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Pala gommata	Martello idraulico	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Pala gommata	Spettro combinato	Spettro combinato	Ponderazione	Livello finale ponderato
f [Hz]	a(d0,f) [mm/s ²]	a(d,f) [mm/s ²]	(A _{TOT,f,d}) [mm/s ²]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]						
1	1,77	0,02	0	0	5,69E-01	7,16E-03	0,00E+00	0,00E+00	5,69E-01	55	0,00	55
1,25	1,77	0,01	0	0	5,63E-01	4,47E-03	0,00E+00	0,00E+00	5,63E-01	55	0,00	55
1,6	2,23	0,01	0	0	6,99E-01	4,41E-03	0,00E+00	0,00E+00	6,99E-01	57	0,00	57
2	2,50	0,01	0	0,41	7,72E-01	2,44E-03	0,00E+00	1,24E-01	7,82E-01	58	0,00	58
2,5	2,80	0,01	0	0,41	8,49E-01	4,26E-03	0,00E+00	1,23E-01	8,58E-01	59	-0,50	58
3,15	4,97	0,02	0	0,41	1,47E+00	5,22E-03	0,00E+00	1,13E-01	1,48E+00	63	-1,50	62
4	4,96	0,02	0	0,48	1,42E+00	5,05E-03	0,00E+00	1,33E-01	1,43E+00	63	-2,00	61
5	7,84	0,02	0,15	0,52	2,17E+00	4,85E-03	4,14E-02	1,29E-01	2,17E+00	67	-2,50	64
6,3	17,50	0,02	0	0,5	4,61E+00	5,17E-03	0,00E+00	8,64E-02	4,61E+00	73	-2,00	71
8	61,85	0,02	0,12	0,76	1,53E+01	4,83E-03	2,96E-02	2,49E-02	1,53E+01	84	-3,00	81
10	17,35	0,07	0,15	1,1	3,97E+00	1,58E-02	3,44E-02	1,91E-01	3,98E+00	72	-5,00	67
12,5	12,21	0,14	0,29	1,25	2,55E+00	2,86E-02	6,05E-02	2,64E-01	2,56E+00	68	-7,00	61
16	68,11	0,68	0,5	2	1,25E+01	1,25E-01	9,15E-02	5,18E-02	1,25E+01	82	-9,00	73
20	37,94	0,85	1,67	3	5,97E+00	1,34E-01	2,63E-01	2,41E-01	5,98E+00	76	-11,00	65
25	52,97	1,19	1,85	17	6,91E+00	1,55E-01	2,41E-01	7,77E-01	6,96E+00	77	-13,00	64
31,5	78,06	0,83	2,5	17	7,98E+00	8,46E-02	2,56E-01	3,03E-01	7,99E+00	78	-15,00	63
40	72,24	0,81	6	7,8	5,37E+00	6,03E-02	4,46E-01	1,73E-01	5,39E+00	75	-17,00	58
50	79,17	1,77	5,5	15	4,04E+00	9,06E-02	2,81E-01	2,57E-01	4,06E+00	72	-19,00	53
63	76,80	3,06	5,2	14	2,41E+00	9,59E-02	1,63E-01	2,62E-01	2,43E+00	68	-21,00	47
80	65,77	0,52	4	7,8	1,09E+00	8,66E-03	6,63E-02	2,21E-01	1,11E+00	61	-23,00	38
										88	Livello totale (LW)	82,36

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	90	m
(d-d0)	80	m
η	0,05	adim.
c	670	m/s
n	0,5	adim.

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

Tabella 2.4 - limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente

Luogo	Aw [m/s ²]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto geologico

Metamorfiti

Lavorazione

Realizzazione viabilità

Verifica distanza di conformità per abitazioni (giorno) secondo la UNI 9614:2017

Macchinari	Rullo compattatore	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Pala gommata	Rullo vibrante	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Pala gommata	Spettro combinato	Spettro combinato	Ponderazione	Livello finale ponderato
f [Hz]	a(d0,f) [mm/s ²]	a(d,f) [mm/s ²]	(A _{TOT} ,f,d) [mm/s ²]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]						
1	0	0,02	0	0	0,00E+00	7,16E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,16E-03	17	0,00	17
1,25	0	0,01	0	0	0,00E+00	4,47E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,47E-03	13	0,00	13
1,6	0	0,01	0	0	0,00E+00	4,41E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,41E-03	13	0,00	13
2	1,6	0,01	0	0,41	4,95E-01	2,44E-03	0,00E+00	1,29E-01	5,11E-01	54	0,00	54
2,5	1,7	0,01	0	0,41	5,16E-01	4,26E-03	0,00E+00	1,28E-01	5,32E-01	55	-0,50	54
3,15	2	0,02	0	0,41	5,92E-01	5,22E-03	0,00E+00	1,27E-01	6,06E-01	56	-1,50	54
4	0,85	0,02	0	0,48	2,44E-01	5,05E-03	0,00E+00	1,55E-01	2,89E-01	49	-2,00	47
5	5,8	0,02	0,15	0,52	1,60E+00	4,85E-03	4,14E-02	1,39E-01	1,61E+00	64	-2,50	62
6,3	11	0,02	0	0,5	2,89E+00	5,17E-03	0,00E+00	1,10E-01	2,90E+00	69	-2,00	67
8	18	0,02	0,12	0,76	4,44E+00	4,83E-03	2,96E-02	1,29E-01	4,45E+00	73	-3,00	70
10	20	0,07	0,15	1,1	4,58E+00	1,58E-02	3,44E-02	1,73E-01	4,58E+00	73	-5,00	68
12,5	40	0,14	0,29	1,25	8,34E+00	2,86E-02	6,05E-02	9,29E-02	8,34E+00	78	-7,00	71
16	20	0,68	0,5	2	3,66E+00	1,25E-01	9,15E-02	3,15E-01	3,67E+00	71	-9,00	62
20	4	0,85	1,67	3	6,30E-01	1,34E-01	2,63E-01	8,61E-01	1,11E+00	61	-11,00	50
25	12	1,19	1,85	17	1,57E+00	1,55E-01	2,41E-01	3,61E+00	3,95E+00	72	-13,00	59
31,5	7	0,83	2,5	17	7,16E-01	8,46E-02	2,56E-01	4,36E+00	4,42E+00	73	-15,00	58
40	3,7	0,81	6	7,8	2,75E-01	6,03E-02	4,46E-01	2,26E+00	2,32E+00	67	-17,00	50
50	3,7	1,77	5,5	15	1,89E-01	9,06E-02	2,81E-01	4,35E+00	4,37E+00	73	-19,00	54
63	5	3,06	5,2	14	1,57E-01	9,59E-02	1,63E-01	3,87E+00	3,88E+00	72	-21,00	51
80	4	0,52	4	7,8	6,63E-02	8,66E-03	6,63E-02	2,24E+00	2,24E+00	67	-23,00	44
										83	Livello totale (LW)	76,20

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	90	m
(d-d0)	80	m
η	0,05	adim.
c	670	m/s
n	0,5	adim.

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

Tabella 2.4 - limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente

Luogo	A _w [m/s ²]	L _w [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto geologico

Metamorfiti

Lavorazione

Realizzazione viabilità

Verifica distanza di conformità per uffici secondo la UNI 9614:2017

Macchinari	Rullo compattatore	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Pala gommata	Rullo vibrante	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Pala gommata	Spettro combinato	Spettro combinato	Ponderazione	Livello finale ponderato
f [Hz]	a(d0,f) [mm/s ²]	a(d,f) [mm/s ²]	(A _{TOT} ,f,d) [mm/s ²]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]						
1	0	0,02	0	0	0,00E+00	1,18E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-02	21	0,00	21
1,25	0	0,01	0	0	0,00E+00	7,41E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,41E-03	17	0,00	17
1,6	0	0,01	0	0	0,00E+00	7,37E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,37E-03	17	0,00	17
2	1,6	0,01	0	0,41	8,35E-01	4,12E-03	0,00E+00	2,15E-01	8,63E-01	59	0,00	59
2,5	1,7	0,01	0	0,41	8,82E-01	7,28E-03	0,00E+00	2,15E-01	9,08E-01	59	-0,50	59
3,15	2	0,02	0	0,41	1,03E+00	9,08E-03	0,00E+00	2,14E-01	1,05E+00	60	-1,50	59
4	0,85	0,02	0	0,48	4,34E-01	8,97E-03	0,00E+00	2,54E-01	5,03E-01	54	-2,00	52
5	5,8	0,02	0,15	0,52	2,92E+00	8,85E-03	7,56E-02	2,60E-01	2,94E+00	69	-2,50	67
6,3	11	0,02	0	0,5	5,46E+00	9,75E-03	0,00E+00	2,35E-01	5,47E+00	75	-2,00	73
8	18	0,02	0,12	0,76	8,76E+00	9,52E-03	5,84E-02	3,29E-01	8,77E+00	79	-3,00	76
10	20	0,07	0,15	1,1	9,51E+00	3,28E-02	7,13E-02	4,65E-01	9,52E+00	80	-5,00	75
12,5	40	0,14	0,29	1,25	1,85E+01	6,33E-02	1,34E-01	4,18E-01	1,85E+01	85	-7,00	78
16	20	0,68	0,5	2	8,86E+00	3,02E-01	2,22E-01	8,46E-01	8,91E+00	79	-9,00	70
20	4	0,85	1,67	3	1,69E+00	3,59E-01	7,06E-01	1,53E+00	2,41E+00	68	-11,00	57
25	12	1,19	1,85	17	4,78E+00	4,73E-01	7,38E-01	7,89E+00	9,27E+00	79	-13,00	66
31,5	7	0,83	2,5	17	2,59E+00	3,06E-01	9,24E-01	8,37E+00	8,82E+00	79	-15,00	64
40	3,7	0,81	6	7,8	1,24E+00	2,71E-01	2,01E+00	3,99E+00	4,64E+00	73	-17,00	56
50	3,7	1,77	5,5	15	1,10E+00	5,27E-01	1,64E+00	7,68E+00	7,94E+00	78	-19,00	59
63	5	3,06	5,2	14	1,28E+00	7,81E-01	1,33E+00	7,06E+00	7,34E+00	77	-21,00	56
80	4	0,52	4	7,8	8,37E-01	1,09E-01	8,37E-01	3,98E+00	4,15E+00	72	-23,00	49
										90	Livello totale (LW)	82,56

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	35	m
(d-d0)	25	m
η	0,05	adim.
c	670	m/s
n	0,5	adim.

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

Tabella 2.4 - limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente

Luogo	A _w [m/s ²]	L _w [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto geologico

Metamorfiti

Lavorazione

Realizzazione cavidotti

Verifica distanza di conformità per abitazioni e uffici secondo la UNI 9614:2017

Macchinari	Rullo compattatore	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Rullo vibrante	Escav. Cingolato	Camion da cantiere	Spettro combinato	Spettro combinato	Ponderazione	Livello finale ponderato
f [Hz]	a(d0,f) [mm/s ²]	a(d0,f) [mm/s ²]	a(d0,f) [mm/s ²]	a(d,f) [mm/s ²]	a(d,f) [mm/s ²]	a(d,f) [mm/s ²]	(A _{TOT} ,f,d) [mm/s ²]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]
1	0	0,02	0	0,00E+00	2,13E-02	0,00E+00	2,13E-02	27	0,00	27
1,25	0	0,01	0	0,00E+00	1,34E-02	0,00E+00	1,34E-02	23	0,00	23
1,6	0	0,01	0	0,00E+00	1,34E-02	0,00E+00	1,34E-02	23	0,00	23
2	0	0,01	0	0,00E+00	7,52E-03	0,00E+00	7,52E-03	18	0,00	18
2,5	0	0,01	0	0,00E+00	1,34E-02	0,00E+00	1,34E-02	23	-0,50	22
3,15	0	0,02	0	0,00E+00	1,68E-02	0,00E+00	1,68E-02	24	-1,50	23
4	0	0,02	0	0,00E+00	1,67E-02	0,00E+00	1,67E-02	24	-2,00	22
5	0	0,02	0,15	0,00E+00	1,67E-02	1,43E-01	1,44E-01	43	-2,50	41
6,3	0	0,02	0	0,00E+00	1,87E-02	0,00E+00	1,87E-02	25	-2,00	23
8	0	0,02	0,12	0,00E+00	1,86E-02	1,14E-01	1,15E-01	41	-3,00	38
10	0	0,07	0,15	0,00E+00	6,55E-02	1,42E-01	1,57E-01	44	-5,00	39
12,5	0	0,14	0,29	0,00E+00	1,30E-01	2,75E-01	3,04E-01	50	-7,00	43
16	0	0,68	0,5	0,00E+00	6,45E-01	4,73E-01	8,00E-01	58	-9,00	49
20	0	0,85	1,67	0,00E+00	8,02E-01	1,58E+00	1,77E+00	65	-11,00	54
25	0	1,19	1,85	0,00E+00	1,12E+00	1,74E+00	2,07E+00	66	-13,00	53
31,5	0	0,83	2,5	0,00E+00	7,77E-01	2,35E+00	2,47E+00	68	-15,00	53
40	0	0,81	6	0,00E+00	7,58E-01	5,61E+00	5,67E+00	75	-17,00	58
50	0	1,77	5,5	0,00E+00	1,65E+00	5,12E+00	5,38E+00	75	-19,00	56
63	0	3,06	5,2	0,00E+00	2,83E+00	4,81E+00	5,58E+00	75	-21,00	54
80	0	0,52	4	0,00E+00	4,80E-01	3,67E+00	3,70E+00	71	-23,00	48
								81	Livello totale (LW)	63,23

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	11	m
(d-d0)	1	m
η	0,05	adim.
c	670	m/s
n	0,5	adim.

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

lla 2.4 - limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente

Luogo	Aw [m/s ²]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89