



IMPIANTO EOLICO E FOTOVOLTAICO "CAMPANEDDA IBRIDO"

COMUNE DI SASSARI

PROPONENTE



Bentusoliana Energie Rinnovabili s.r.l.
Via Cavour, n. 33
07100 SASSARI (SS)

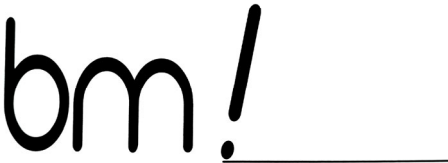
IMPIANTO EOLICO E FOTOVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI - PROGETTO DEFINITIVO

CODICE ELABORATO

OGGETTO:
Relazione Previsionale sull’impatto dovuto alle vibrazioni

PD-R05

COORDINAMENTO



BRUNO MANCA | STUDIO TECNICO DI INGEGNERIA
LOC. RIU IS PIRAS, SN | 09040 SERDIANA (SU)
+39 347 5965654 P.IVA 02926980927
SDI: W7YVJK9 ATTESTATO ENAC N° I.A.PRA.003678
INGERUNOMANCA@GMAIL.COM PEC: BRUNO.MANCA@INGPEC.EU
WWW.BRUNOMANCA.COM WWW.LMBRAS360.COM

Studio Tecnico Dott. Ing Bruno Manca

GRUPPO DI LAVORO S.I.A.

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori
F&F SYSTEM Srl
F&F Engineering Srl
Dott. Giulio Casu
Dott.ssa Ing. Ilaria Giovagnorlo
Dott. Giorgio Lai
Dott. Federcio Loddio
Dott. Giovanni Lovigu
Dott. Ing Bruno Manca
Dott. Nat. Maurizio Medda
Dott.ssa Geol. Consuelo Nicolo
Dott.ssa Archeol. Marta Pals
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas
Dott. Nat. Fabio Schirru
Dott. Agr. Giuseppe Puggioni
Federica Zaccheddu

REDATTORE

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE
00	Maggio 2024	Prima emissione

FORMATO
ISO A4 - 297 x 210

INDICE

1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	5
4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA.....	9
5. PROPIRETA' MECCANICHE DEI TERRENI	11
5.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO.....	11
5.2. Successione sedimentaria mesozoica	18
5.3. Depositi Quaternari dell'area continentale	19
5.4. Caratteri geostrutturali, geometria e caratteristiche delle superfici di discontinuità.....	21
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE	23
6.1. M.A.S.W. – Tecnica e parametri utilizzati.....	24
6.2. Risultati delle indagini	27
6.2.1. M.A.S.W. – elaborazione risultati	27
7. MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	29
7.1. Modello Geologico di Sito	29
7.2. Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse	30
8. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO	31
8.1. Modello di propagazione dell'onda nel terreno.....	33
8.2. Valutazione della propagazione delle vibrazioni	34
9. SORGENTI DI VIBRAZIONE.....	35
9.1. Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto	35
9.2. Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale	36
9.3. Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere	36
9.4. Scenari di riferimento di cantiere.....	37
9.5. Recettori.....	38
9.6. Scenari di riferimento di esercizio	38
1.1. Limiti di riferimento.....	39
10. SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI	43
10.1. Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante	43
2.1. Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata	44
10.2. Propagazione delle vibrazioni di un autocarro	45
10.3. Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato	46
10.4. Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico	47
1. MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI	48
10.5. Criteri di azione e misure di mitigazione.....	48
11. CONCLUSIONI	50

Indice delle figure

Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto	5
Figura 2 Inquadramento topografico (Zona Nord), CTR 1:10.000	6
Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25.....	7
Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS)	8
Figura 5 Alcune sezioni tipo per la posa dei cavidotti	10
Figura 6 Particolari costruttivi dell'impianto fotovoltaico.....	11
Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	12
Figura 8 Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata in arancio (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)	13
Figura 9 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)	13
Figura 10 Particolare della sezione geologica con dettaglio dell'area in studio	15
Figura 11 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 179 "Porto Torres"	15
Figura 12 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 foglio 459 "Sassari"	16
Figura 13 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse.....	17
Figura 14 Calcare della Formazione di Monte Nurra.....	19
Figura 15 Calcare oolitico della Formazione di Campanedda.....	19
Figura 16 Coltri eluvio-colluviali.	20
Figura 17 Fratturazione in blocchi alla scala dell'affioramento. (Formazione di Monte Nurra).....	21
Figura 18 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 46,0 m	25
Figura 19 Localizzazione stendimento M1/R1 e T1	26
Figura 20 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	28
Figura 21 Modello geologico del sito (6.2.1 NTC 2018).....	30
Figura 22 - Curva di ponderazione asse generico	32
Figura 23 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie.....	32
Figura 24 - rapporto tra le velocità di propagazione Vp e Vr	33
Figura 25 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza.....	40
Figura 26 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta	40
Figura 27 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614.....	41
Figura 28 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014).....	42
Figura 29 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere	43

Figura 30 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	43
Figura 31 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere	44
Figura 32 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	44
Figura 33 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere.....	45
Figura 34 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	45
Figura 35 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere	46
Figura 36 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	46
Figura 37 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere	47
Figura 38 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni	47

1. PREMESSA

Il proponente **Bentusoliana Energie Rinnovabili S.r.l.** intende realizzare un impianto eolico e fotovoltaico in località **"Campanedda"** tra Monte Su Zumburu e Monte Nudo nel **Comune di Sassari** e denominato **"Campanedda Ibrido"**, per il cui progetto è stato conferito, alla scrivente Geol. Cosima Atzori, regolarmente iscritta all'Albo Professionale dei Geologi della Sardegna al n°656, con studio in Sestu (CA) – C.D. Pittarello - Loc. Scala Sa Perda 87, C.F. TZRC5M72H41B354F e P.I.V.A. 03191600927, l'incarico professionale per la redazione della Relazione Previsionale sull'impatto dovuto alle vibrazioni.

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

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

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

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

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

1. **UNI 9614/2017** "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";

2. **UNI 9916/2014** "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni negli edifici";
3. **ISO 2631-2:2003** Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz) Regione n. 14 del 7/2/2022 dal Comitato Istituzionale.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Sassari è un comune di 123.850 abitanti, capoluogo dell'omonima provincia, è situato nella parte Nord Occidentale dell'isola e confina da NNW in senso orario con Stintino, Porto Torres, Sorso, Sennori, Osilo, Muros, Ossi, Tissi, Usini, Uri, Olmedo e Alghero.

Il terreno sul quale verrà realizzato il progetto ricade nella località "**Campanedda**".

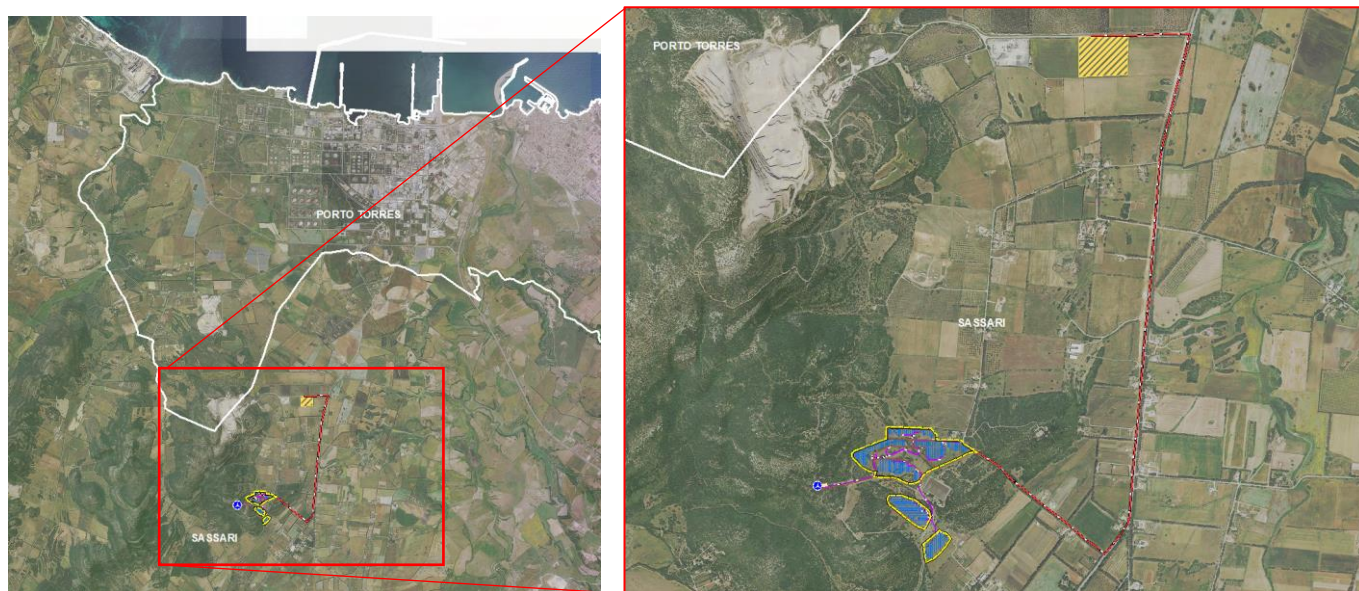


Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto

Le coordinate geografiche del centroide ipotetico di riferimento della porzione di impianto in località "**Cugia Manna**" sono: **1.444.084E - 4.513.294N**

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 foglio **458 I "Palmadula"** e **459 IV "La Crucca"**
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – sez. **458040 "Monte Alvaru"**-sez.**459010 "Campanedda"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:50000 – foglio **459 "Sassari"**, Carta Geologica d'Italia – scala 1:100000 – foglio **179 "Porto Torres"**

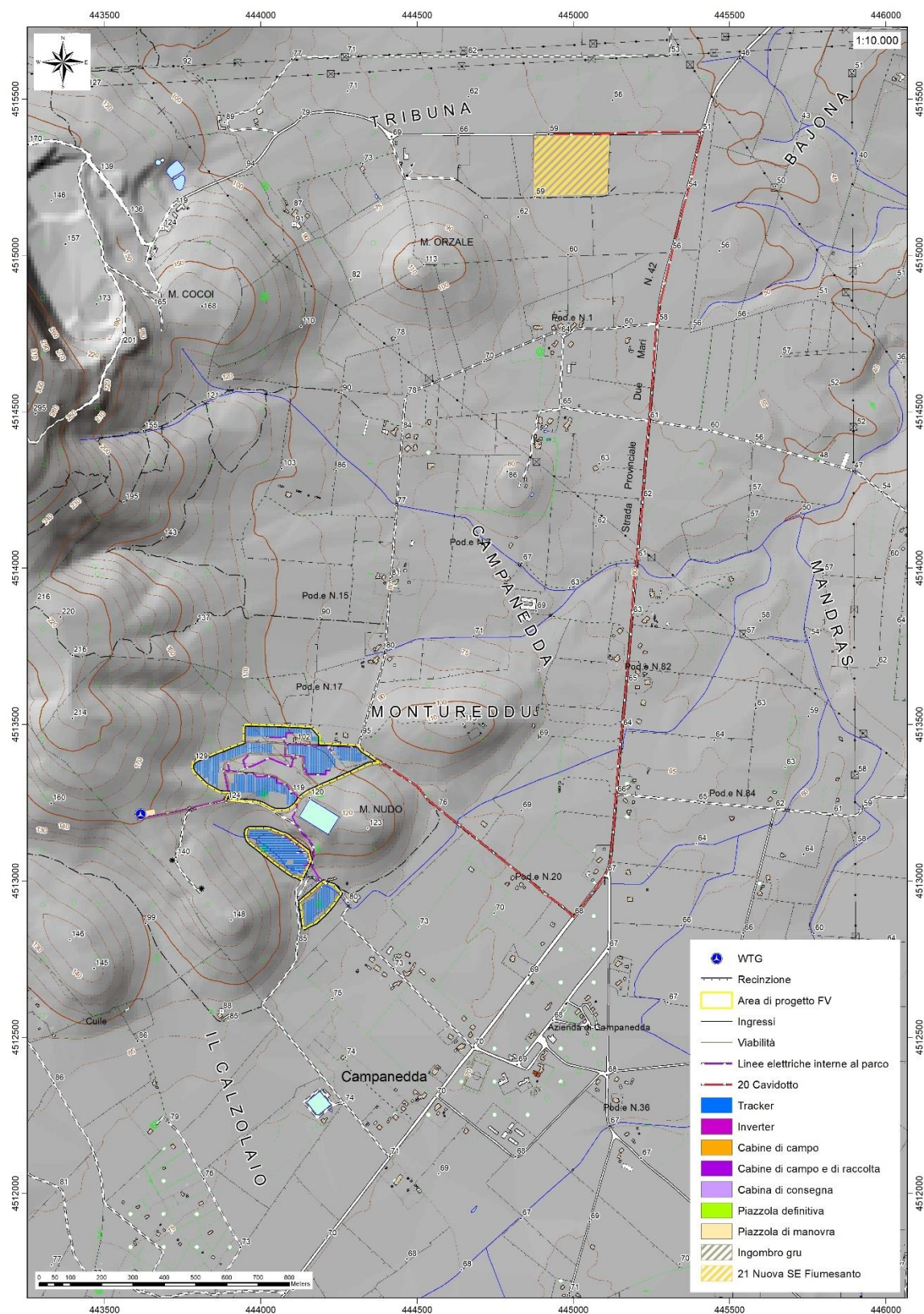


Figura 2 Inquadramento topografico (Zona Nord), CTR 1:10.000

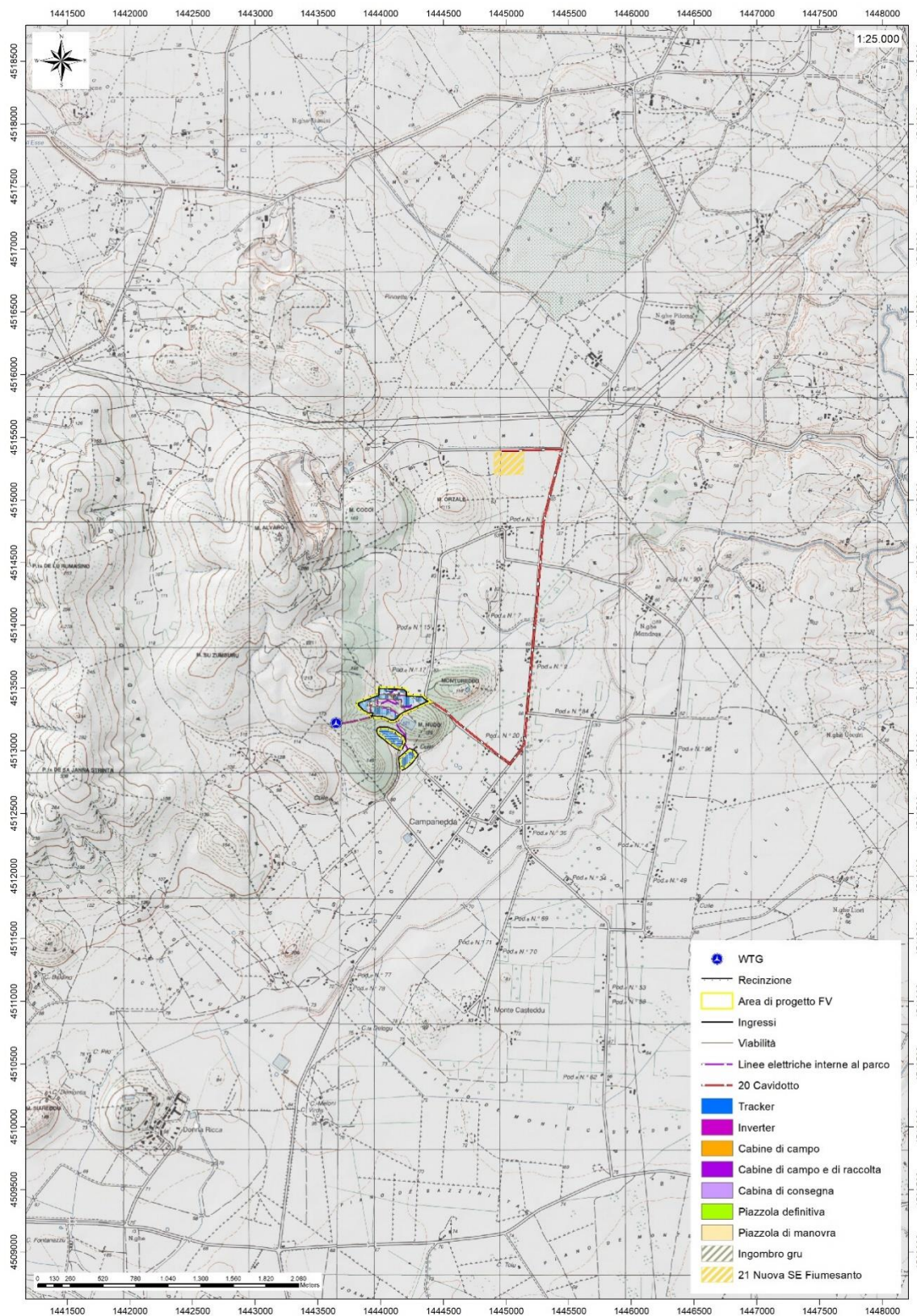


Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25

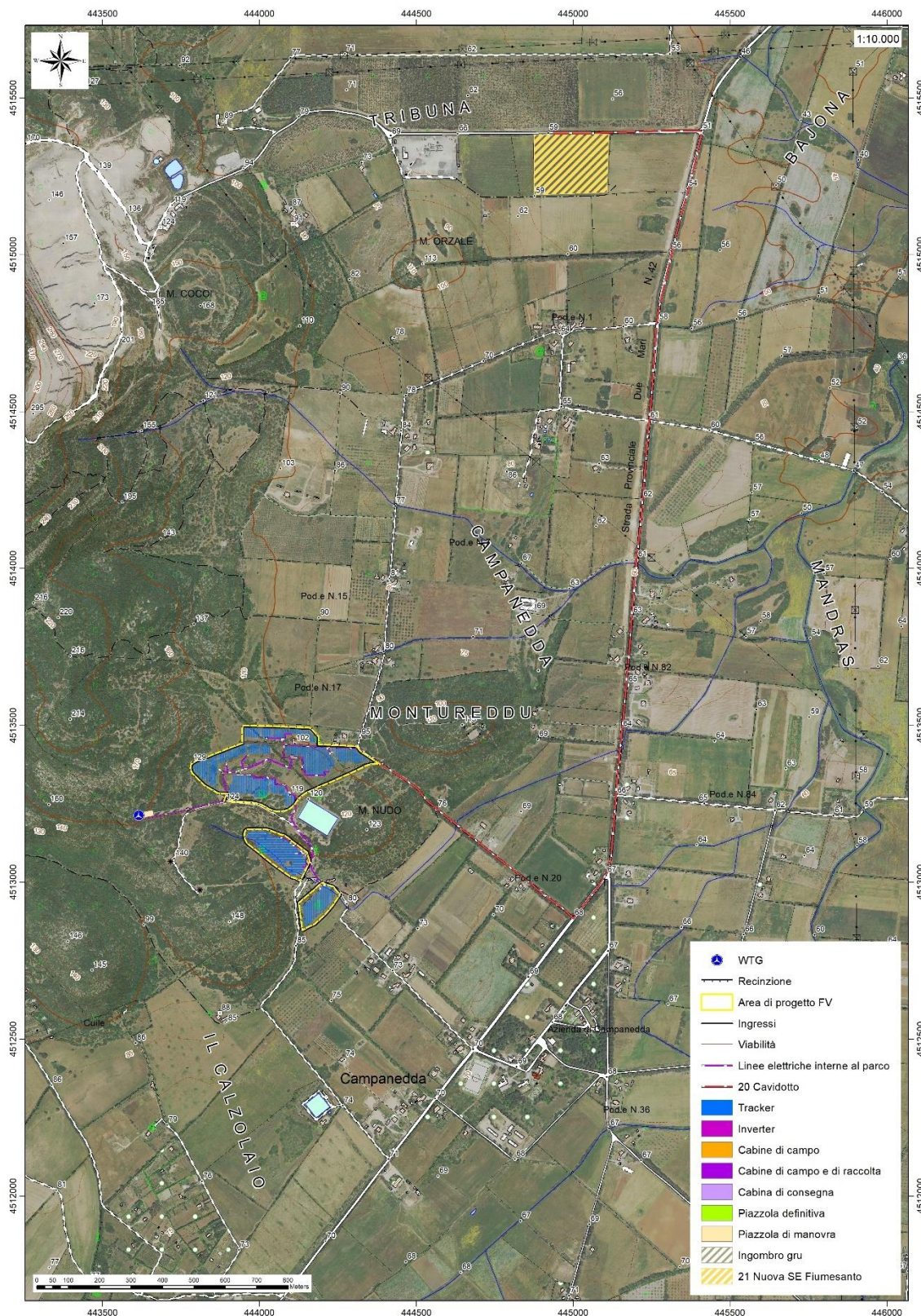


Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS)

4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

L'impianto in progetto prevede due sezioni – eolica e fotovoltaica - dedicate alla produzione dell'energia, ed altre destinate alla conversione e trasporto dell'energia. Avrà una potenza complessiva installata di 13,10 MWp collegato con gruppi di conversione DC/AC e trasformazione in BT-MT di tipo 0.4/30 kV, di trasformazione MT-AT di tipo 30kV-36kV e consegna alla rete pubblica in AT a 36 kV.

La sezione eolica comprende un unico generatore da 7,2 MW modello Enventus V162 della Vestas Si tratta di una turbina ad asse orizzontale, funzionante controvento e con rotore a tre pale ad inclinazione variabile, con controllo attivo dell'imbardata.

Condizioni Operative	
Potenza in condizioni standard	7,2 MW
Vento: velocità di inserimento	3 m/s
Vento: velocità di disinserimento	25 m/s
Classe del vento	IEC S
Range operativo temperature di lavoro	Da -20 °C a +45 °C
Rotore	
Diametro	162 m
Area Spazzata	20612 m ²
Intervallo di velocità operative	4,3 – 12,1 rpm
Senso di rotazione	Orario (vista frontale)
Orientazione	Controvento
Inclinazione	6°
Conicità del mozzo	6°
Numero di pale	3
Freni Aerodinamici	Pale orientabili interamente in bandiera



La fondazione dell'aerogeneratore è costituita da un plinto in calcestruzzo armato nel quale vengono inghisati i tirafondi della torre di sostegno. Nella fase progettuale esecutiva, in relazione alla caratterizzazione geologica puntuale delle aree di sedime, verrà definito per l'aerogeneratore il tipo di fondazione da adottare (diretta o su pali).

L'impianto - nella sua sezione fotovoltaica - è suddiviso in cinque campi, asserviti a gruppi di inverter. I pannelli costituenti il campo sono raggruppati in stringhe che, raccolte in gruppi, sono collegate agli ingressi degli inverter e ai gruppi di trasformazione BT-MT, raccolti in una cabina per ciascun campo. Le cabine di campo sono collegate ad anello tra loro e con la cabina di raccolta, dove confluisce anche la

sezione eolica collegata in antenna. Il collegamento ad anello consente di evitare perdite di produzione nel caso di fuori servizio. Dalla cabina di raccolta un elettrodotto si dirige alla cabina di consegna, posta al limite della proprietà. La produzione di energia elettrica è realizzata con generazione da pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino, installati in parte su supporti inseguitori monoassiali (tracker), in parte su supporti fissi; entrambe le strutture sono in acciaio zincato, e tengono i pannelli in elevazione da terra per permettere il passaggio dei mezzi agricoli e la coltivazione della superficie sottostante.

I trackers sono strutture modulari in acciaio zincato, dotate di una barra rotante sulla quale sono cablati i pannelli fotovoltaici in posizione orizzontale; la rotazione della barra comporta anche la rotazione dei pannelli ad essa solidali. L'asse di rotazione della barra è disposto lungo la direttrice Nord-Sud e l'angolo di rotazione possibile varia da -55° a $+55^{\circ}$ (rispetto al piano orizzontale). In questa maniera i pannelli FV presentano la propria superficie captante quanto più possibile perpendicolare ai raggi solari nell'arco della giornata, incrementando la propria produttività sino al 25%; le condizioni ottimali si verificano dal momento in cui il sole è alto 35° sull'orizzonte in direzione Est, e si mantengono sino a quando si abbassa a 35° in direzione Ovest.

Tutte le strutture di supporto dei moduli FV avranno altezza da terra tale da lasciare sotto il bordo inferiore dei pannelli, posti alla massima inclinazione di 55° per quelli montati su tracker e di 25° per quelli fissi, un franco rispettivamente di 2,10 m e 1,30 m; questo valore è in linea con la normativa in merito ad impianti agrivoltaici, ed è dipendente dal tipo di produzione agricola o allevamento di bestiame prevista.

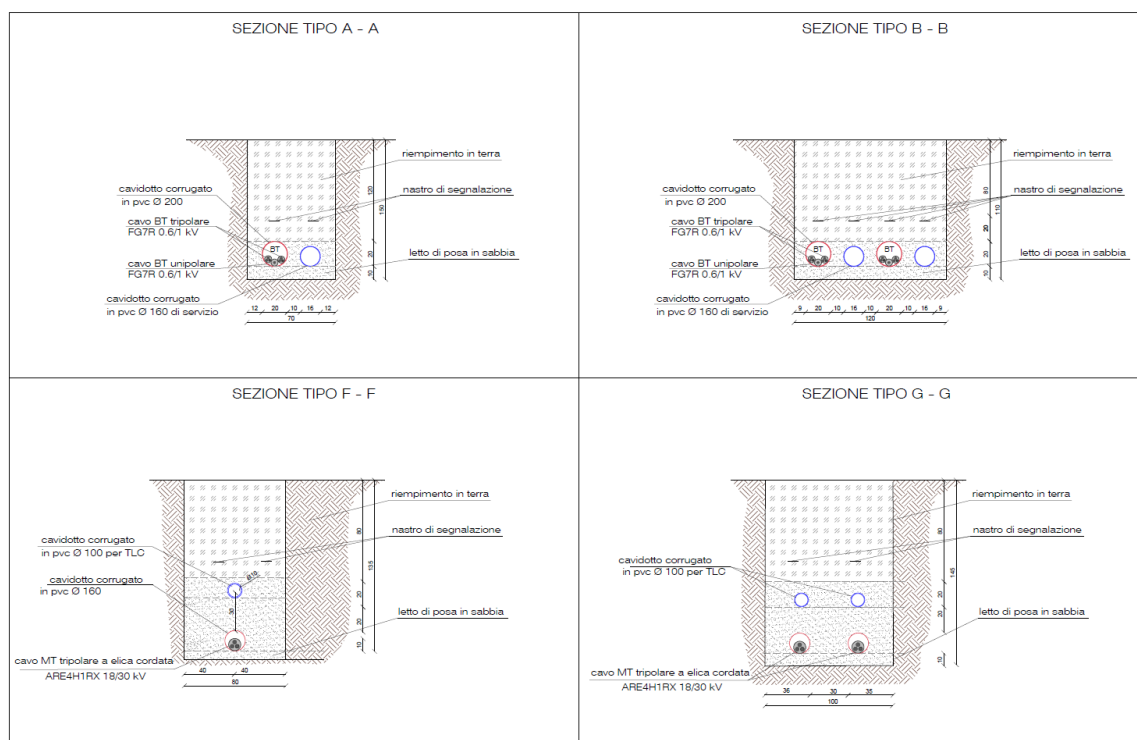


Figura 5 Alcune sezioni tipo per la posa dei cavidotti

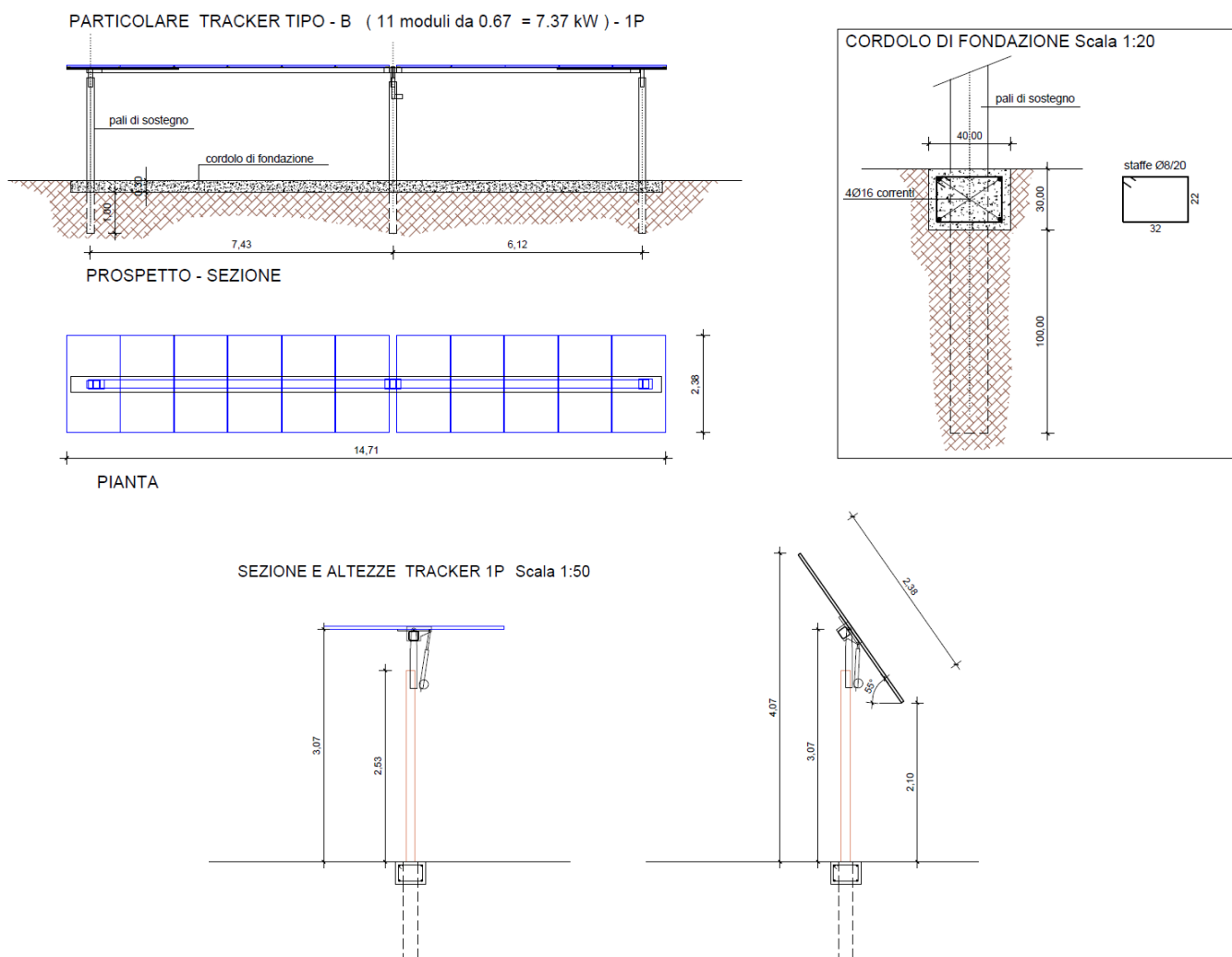


Figura 6 Particolari costruttivi dell'impianto fotovoltaico

Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.

5. PROPIRETA' MECCANICHE DEI TERRENI

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

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

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

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

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa. Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., avviene la messa in posto dei batoliti granitici tardo ercinici, questa ha prodotto metamorfismo termico e di alta pressione delle rocce esistenti.

L'area di studio ricade parzialmente nella zona a Falde Interne del basamento varisico sardo; ma comprende soprattutto rocce delle coperture mesozoiche, che in quest'area dell'Isola sono costituite da sedimenti alluvionali del Buntsandstein (Trias medio), su cui poggiano in trasgressione i sedimenti carbonatici di ambiente neritico (Muschelkalk) e poi quelli evaporitici (Keuper). Seguono le rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e i depositi quaternari. Le Unità Tettoniche affioranti nel settore occidentale dell'area vasta sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore, note come Unità di Canaglia, Li Trumbetti e Argentiera.

Il settore di interesse all'installazione dell'impianto eolico fotovoltaico si trova nella zona cosiddetta a Falde interne, caratterizzata da fenomeni di medio e basso metamorfismo, localizzata nell'area geografica della Nurra. L'area vasta è costituita principalmente da unità di età paleozoica e mesozoica di origine sedimentaria, da rocce magmatiche a carattere effusivo, e da depositi recenti rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati che vanno a colmare le vallecole e/o i piccoli impluvi presenti. Per quanto riguarda l'assetto strutturale dell'area vasta, quest'ultima riflette essenzialmente eventi deformativi di età cenozoica ed in minor misura mesozoica. La tettonica varisica, che

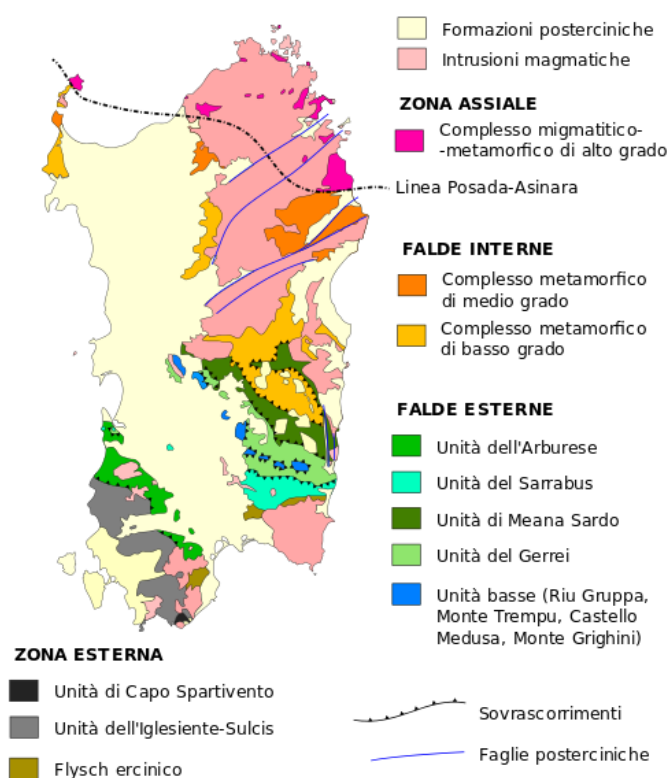


Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

è polifasica ed è responsabile della strutturazione del basamento, ha rilevanza solo nel settore della Nurra occidentale.

La Nurra è costituita da un alto strutturale immergente verso est, che si è sviluppato nel Terziario, che confina ad E coi depositi del Miocene inferiore del semi-graben del bacino di Porto Torres.

Nella parte occidentale della Nurra affiora il basamento paleozoico in diverse unità strutturali impilate tettonicamente per via di alcuni sovrascorrimenti ercinici orientati circa NW-SE e E-W, che dalla più profonda alla più superficiale si distinguono in Unità di Argentiera, Li Trumbetti e Canaglia. In quest'area, il basamento paleozoico è coperto in maniera discontinua dalla successione vulcano-sedimentaria del Permiano.

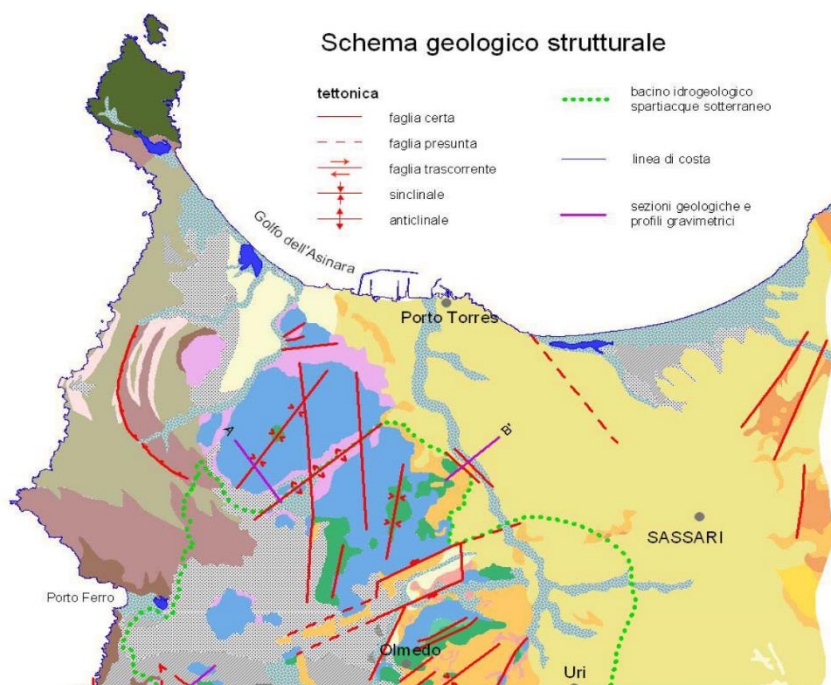


Figura 8 Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata in arancio (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)

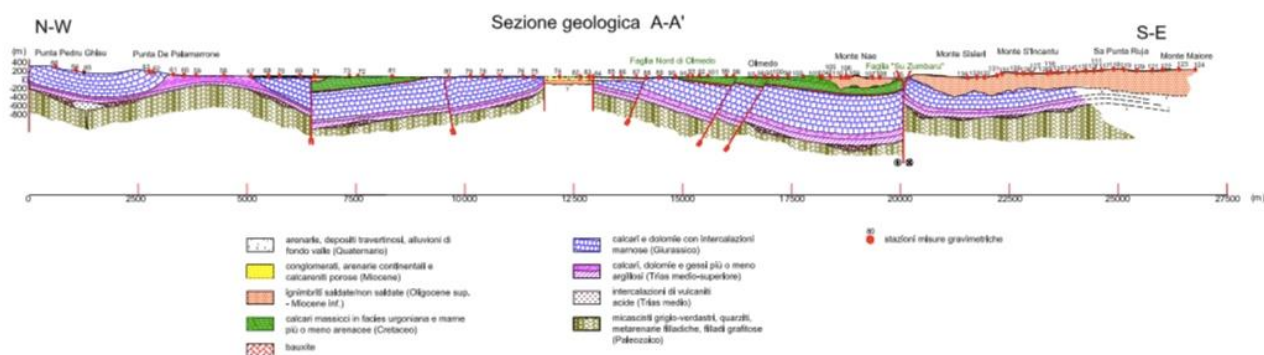


Figura 9 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)

Le rocce mesozoiche della Nurra poggiano generalmente sui depositi continentali permo-triassici o direttamente sul basamento, e sono rappresentate da depositi di piattaforma carbonatica sottoposta ad oscillazioni eustatiche e a fasi tettoniche distensive, che hanno favorito l'ingressione dei mari epicontinentali alternati a fasi subaeree. Il controllo tettonico, attivo in vari intervalli cronostratigrafici, insieme al controllo eustatico, ha condizionato l'evoluzione sedimentaria della piattaforma. Infatti, la successione mesozoica presenta un tipico aspetto a "duomi e bacini" dovuto alla sovrapposizione di due sistemi di pieghe che hanno interessato la piattaforma carbonatica mesozoica prima durante il Cretaceo medio (pieghe e sovrascorrimenti orientati NW-SE), e poi nel Cretaceo superiore (piegamenti orientati NE-SW).

La successione mesozoica è rappresentata da una sequenza di calcari, dolomiti e marne e depositi evaporitici il cui spessore può superare i 700 m.

In particolare, nell'area vasta affiorano le seguenti litologie, di seguito riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000:

h1m – Depositi antropici, discariche minerarie. OLOCENE

bb - Depositi alluvionali, sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE

b2 - Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE

b - Depositi alluvionali. OLOCENE

NRR - FORMAZIONE DI MONTE NURRA (cfr. Formazione di Gamba di Moro GDM) Dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose. Alla base calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite. DOGGER

NDD - FORMAZIONE DI CAMPANEDDA (cfr. Formazione di Monte Zirra ZRR). Calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce. LIAS

KEU - KEUPER AUCT. Marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere. TRIAS SUP. (LONGOBARDICO SUP. - ?RETICO)

MUK - MUSCHELKALK AUCT. Calcari laminati sottilmente stratificati e calcari dolomitici in grossi strati. TRIASSICO MEDIO (LADINICO)

BUN - BUNTSANDSTEIN AUCT. Alternanza di arenarie, argilliti, siltiti, livelli marnosi con gesso e conglomerati poligenici alla base ("Verrucano" sensu Gasperi & Gelmini, 1979). TRIASSICO MEDIO (ANISICO)

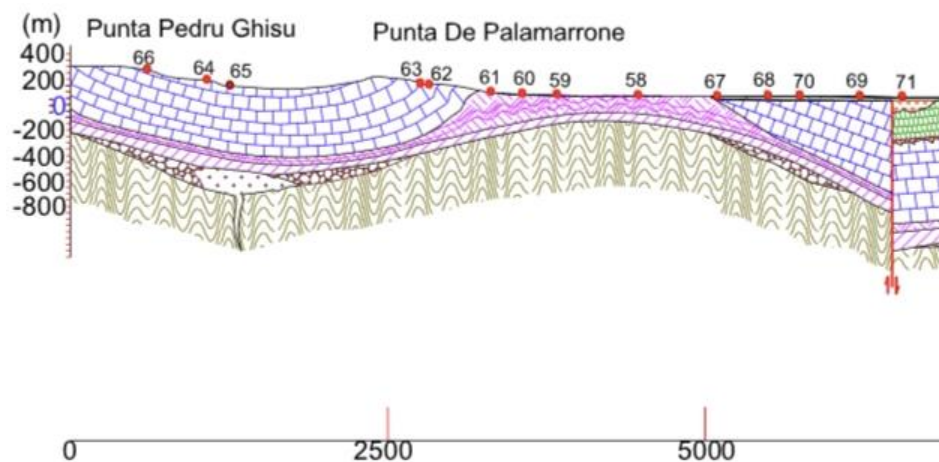


Figura 10 Particolare della sezione geologica con dettaglio dell'area in studio

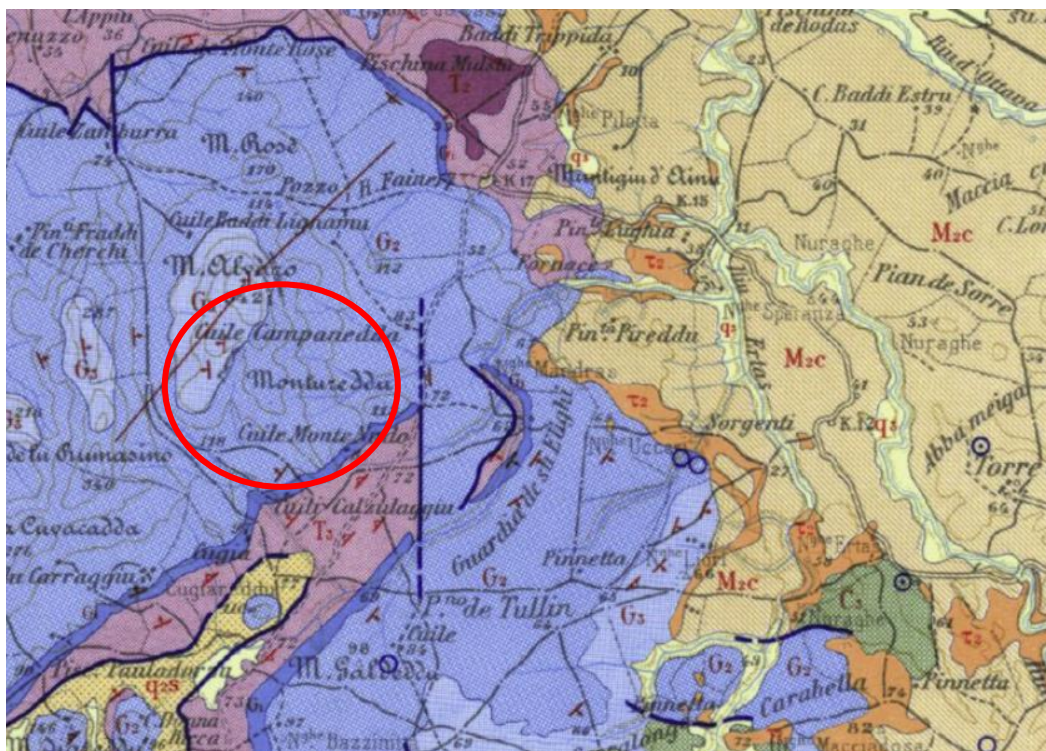


Figura 11 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 179 "Porto Torres"



Figura 12 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 foglio 459 "Sassari"

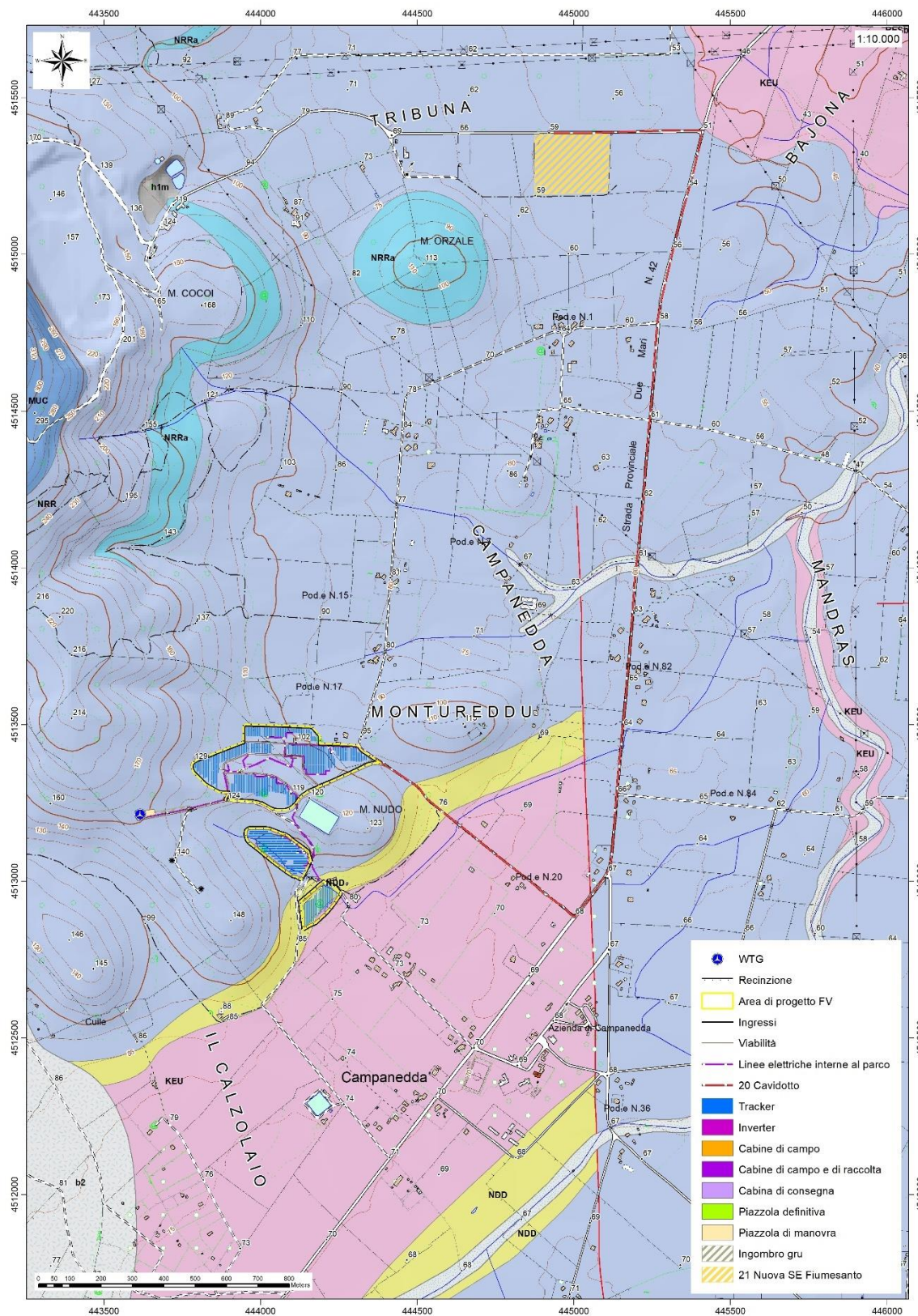


Figura 13 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse

5.2. SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MESOZOICA

Le rocce della successione mesozoica sono deformate da una tettonica con tipico stile di copertura. La parte più bassa della successione, presenta rocce con caratteri di sedimentazione prevalentemente terrigena (Triassico), che evolve a piattaforma carbonatica (Giurassico). Vengono descritte quelle affioranti nell'area di interesse, a partire dalla più recente fino alla più antica.

MUC - Formazione di Monte Uccari (cfr. Formazione Punta Cristallo IST). E' costituita da calcari micritici e bioclastici grigio biancastri ben stratificati; dolomie grigiastre e lenti di calcare oolitico con ciottoli a carofite. La successione, di potenza di un centinaio di metri, viene riferita al Giurassico superiore (MALM) per via della ricca associazione di alghe dasycladacee.

NRRa - Litofacies nella Formazione di Monte Nurra (cfr Formazione Gamba di Moro GDMa). Intercalazioni di arenarie quarzose e siltiti arenacee. DOGGER

NRR - Formazione di Monte Nurra (cfr Formazione Gamba di Moro GDM). La successione, potente fino a 150-200m, è costituita da dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose. Alla base calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite. La ricca fauna a spugne, coralli ermatipici, lamellibranchi, gasteropodi, brachiopodi, echinodermi e briozoi ha permesso di collocare la successione nel Giurassico medio (DOGGER).

NDD - Formazione di Campanedda (cfr. Fm. Monte Zirra ZRR). Affiora presso la località omonima con una successione di spessore variabile tra 10-15m che sormonta il sottostante Keuper. La successione è costituita da calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce. Il ricco contenuto fossilifero a foraminiferi, coralli, gasteropodi, brachiopodi, ammoniti ed echinidi permette di attribuire la successione al Giurassico inferiore (LIAS).

KEU - Keuper AUCT. La successione, di spessore valutabile in 40-50 m, presenta due litofacies non sempre affioranti costituite da marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere. TRIAS SUP. (LONGBARDICO SUP. - ?RETICO)

MUK - Muschelkalk AUCT. La successione, spesso non oltre 10-15m, è costituita da calcari laminati sottilmente stratificati e calcari dolomitici in grossi banchi. Si possono individuare quattro livelli che, dalla base verso il tetto, sono costituiti da marne dolomitiche nodulari giallastre e dolomie grigie laminate e attraversate da bioturbazioni, seguite da calcari marnosi e livelli argillosi, e da calcari bioclastici, per terminare con calcari intercalati a livelli di dasycladacee e foraminiferi. Viene attribuita al Ladinico per la presenza di alcuni conodonti, sebbene siano presenti alghe, coralli, foraminiferi, bivalvi, brachiopodi, crinoidi, e ammoniti. TRIASSICO MEDIO (LADINICO)

BUN - Buntsandstein AUCT. Alternanza di arenarie, argilliti, siltiti, livelli marnosi con gesso e conglomerati poligenici alla base ("Verrucano" sensu Gasperi & Gelmini, 1979). TRIASSICO MEDIO (ANISICO)



Figura 14 Calcari della Formazione di Monte Nurra.



Figura 15 Calcare oolitico della Formazione di Campanedda.

5.3. DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi di versante, coltri eluvio-colluviali e depositi alluvionali. Vengono descritti dal più antico al più recente.

(a) Depositi di versante: sono costituiti da detriti spigolosi e a varia granulometria accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Sono depositi in genere monogenici ed eterometrici, con clasti spigolosi o scarsamente elaborati ed una notevole matrice fine. Gli affioramenti più estesi si rinvencono alla base dei versanti, oppure in corrispondenza dei compluvi dove formano delle fale di detrito piuttosto estese. Lo spessore di questi depositi, che generalmente non sono cementati e sono fissati da vegetazione, solitamente è variabile nell'ordine massimo di qualche metro alla base dei versanti e nei compluvi. Olocene.

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



Figura 16 Coltri eluvio-colluviali.

(b) Depositi alluvionali: si tratta di depositi di spessore modesto (compreso tra qualche metro e 15m lungo il Riu Mannu), costituiti da materiale sabbiosi, limosi o ghiaiosi depositati lungo i corsi d'acqua.

(bb) Depositi alluvionali: si tratta di sedimenti fini, costituiti da sabbie con rare ghiaie.

(h1m) Depositi antropici: si tratta di depositi imputabili ad attività antropica, ascrivibili a discariche minerarie derivanti dall'attività estrattiva di materiali quali sabbie silicee, ghiaie e rocce calcaree. I depositi sono costituiti da materiali litoidi più o meno grossolani e formano cumuli di modesta estensione con spessore massimo di 15-20m.

5.4. CARATTERI GEOSTRUTTURALI, GEOMETRIA E CARATTERISTICHE DELLE SUPERFICI DI DISCONTINUITÀ

I principali lineamenti strutturali, nell'area vasta, derivano dall'evoluzione stratigrafica e tettonica oligo-miocenica, responsabile dello sviluppo dei bacini del Logudoro e di Porto Torres e dell'intenso vulcanismo calcalcalino.

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento delle coperture mesozoiche, costituite da arenarie grossolane, conglomerati basali, e marne, argille e calcari bioclastici. I depositi quaternari sono principalmente costituiti da coltri eluvio-colluviali di spessore molto modesto e depositi di versante.

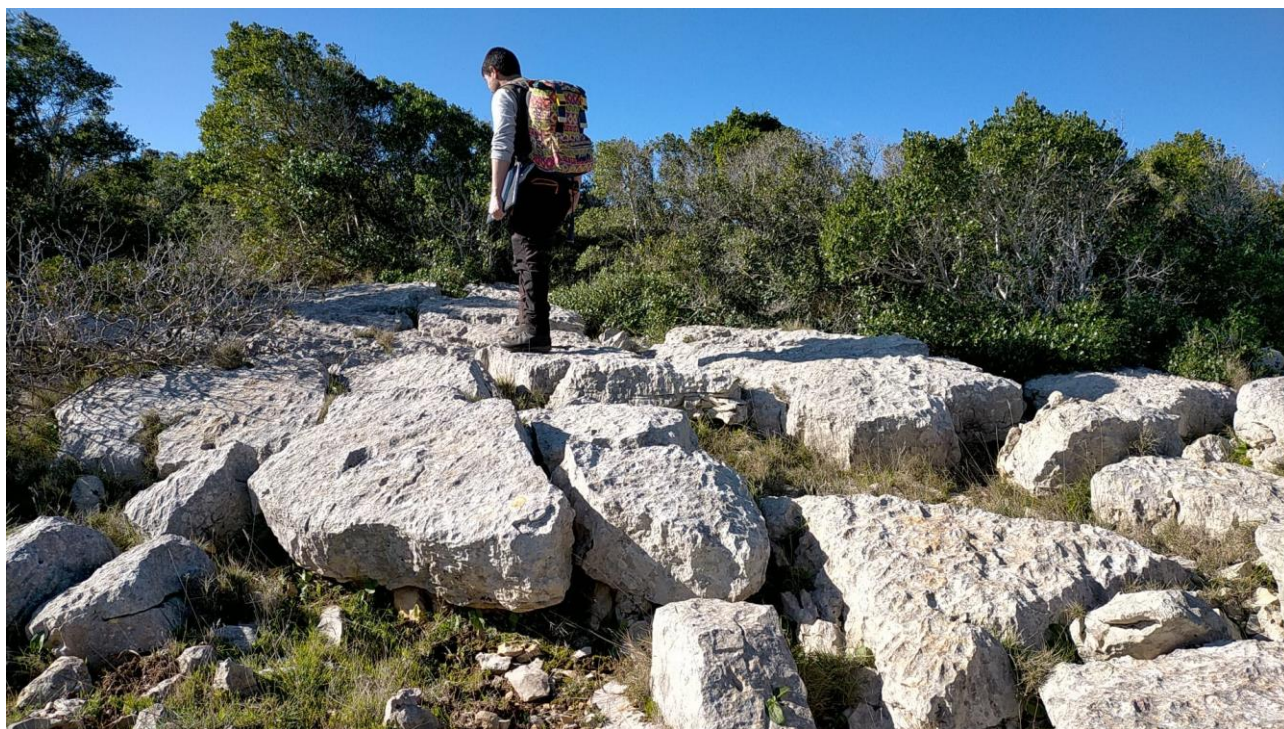


Figura 17 Fratturazione in blocchi alla scala dell'affioramento. (Formazione di Monte Nurra)

Sono presenti alcune importanti discontinuità, tra cui una faglia che si estende per circa 2 km lungo la direzione N-S, localizzata ad S di P.ta Janna Strinta. Dal rilevamento geologico di dettaglio è emersa la presenza di altre faglie, sia nel costone orientale (con orientamento N-S e NW-SE) che in quello occidentale (WNW-ESE).

L'area interessata dal progetto è posizionata nelle coperture mesozoiche: in particolare nella formazione di Monte Nurra (NRR).

Le rocce della Formazione di Monte Nurra presentano evidente stratificazione (S0), che rappresenta la struttura principale sia alla scala dell'affioramento che alla mesoscala, mentre la fratturazione è visibile soprattutto alla scala dell'affioramento.

Anche le rocce della Formazione di Monte Uccari presentano una stratificazione ben sviluppata, evidente alla scala dell'affioramento.

I pannelli fotovoltaici verranno posizionati in basse colline (a quote dai 75m ai 150m slm) in Località **Campanedda**, ai piedi del versante nord-orientale di due rilievi tra loro paralleli e orientati NW-SE denominati Monte Su Zumburu (220m) e Monte Nudo (123).

L'area vasta del settore in studio presenta delle morfologie tipiche di calcari duri e cristallini del mesozoico, stratificati e con forme accidentate che vanno da aspre a sub-pianeggianti, spesso con piani di inclinazione orientati, variamente fratturati ed erosi.

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi arrotondati e dislivelli dell'ordine di 200 m circa tra monte e valle. La forma prevalentemente rotondeggiante dei rilievi dell'area di intervento è il risultato della graduale demolizione del rilievo ad opera degli agenti erosivi sulle rocce di natura prevalentemente carbonatica, modellate dal carsismo.

I prodotti di erosione sia della prima fase che della seconda e attuale vengono trasportati dall'acqua e dal vento e si depositano in relazione alla loro dimensione e all'energia di trasporto delle acque lungo le pendici dei versanti e nelle valli andando a costituire le coperture sedimentarie.

Le morfologie osservabili in quest'area sono strettamente connesse alle caratteristiche di messa in posto delle litologie e dalle caratteristiche fisico-chimiche delle litologie presenti e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti, in particolare il carsismo.

Il carsismo si sviluppa principalmente a seguito della dissoluzione chimica delle rocce carbonatiche.

Il processo carsico rientra nel grande insieme delle azioni di disgregazione compiute dagli agenti esogeni a spese delle rocce affioranti sulla crosta terrestre. La corrosione avviene per opera delle acque meteoriche che, oltre a contenere una certa quantità di anidride carbonica atmosferica disciolta al loro interno, scorrendo sulla superficie del suolo ed attraversando lo strato superficiale del suolo si arricchiscono ulteriormente di CO₂. Queste acque reagiscono con la roccia calcarea intaccandola lentamente, sia in superficie sia infiltrandosi nel reticolo, fino a dar luogo nell'arco del tempo a veri e propri condotti di dimensioni variabili, che costituiscono i classici acquiferi tipici delle rocce carbonatiche. Infatti le acque ricche di anidride carbonica sono particolarmente aggressive nei confronti del carbonato di calcio.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

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

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

- Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;

L'indagine geognostica è stata realizzata essenzialmente mediante prospezione geofisica. Sono state realizzate impiegando la metodologia **sismica a rifrazione** e **tomografia elettrica** e con la tecnica **MASW**. Sono state posizionate in corrispondenza della base fondante della turbina. Per analogia geologica le stesse possono essere utilizzate per valutare le caratteristiche fisico-meccaniche preliminari dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico.

L'indagine sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, è in grado di ricostruire una sismo-stratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del DM 17/01/2018.

L'indagine sismica a rifrazione con acquisizione ed elaborazione tomografica in onde longitudinali (P) permette di ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, andando a stimare lo stato di addensamento e/o fratturazione del terreno investigato. E' molto utile anche per classificare la cosiddetta "rippabilità" degli ammassi rocciosi e per ottenere per via indiretta una classificazione dell'ammasso roccioso.

La tomografia elettrica è una tecnica geofisica che restituisce, del sottosuolo investigato, l'immagine 2D della distribuzione della resistività elettrica. Trova le sue migliori applicazioni in situazioni complesse, dove può manifestare tutto il suo elevato potere risolutivo, sia laterale che verticale. Nel caso in esame è stata impiegata con lo scopo di individuare l'eventuale presenza di cavità di origine carsica nella formazione delle dolomie.

In data 24/08/2021 è stata realizzata la prospezione geofisica integrativa ad opera della ditta Geoservice S.R.L., articolata in:

- Esecuzione di n° 1 stendimenti di sismica con tecnica MASW (M1)
- Esecuzione di n°1 stendimento di sismica a rifrazione in onde P
- Esecuzione di n° 1 stendimenti di geoelettrica.

Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nella sezione sismica.

Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego del software specialistici.

Lo stendimento è stato posizionato in modo da esser rappresentativo delle condizioni litostratigrafiche e geostrutturali, in accordo con quanto rilevato dai rilievi di superficie.

Nella Tabella seguente è riportato il quadro riassuntivo delle indagini svolte, con le sigle identificative, la direzione di esecuzione (da geofono iniziale a quello finale), e la loro lunghezza complessiva, mentre nella figura seguente è rappresentato il punto dove sono state effettuate le indagini.

Stendimento	Metodo di indagine geofisico	Orientamento	Lunghezza(m)
M1	MASW	SE-NW	69,0
R1	Sismica a rifrazione in onde P	SE-NW	69,0
T1	Geoelettrica	SE-NW	93,0

Di seguito si riportano le specifiche di rilievo e gli esiti dell'elaborazione dei profili sismici acquisiti.

6.1. M.A.S.W. – TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo." (da Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006). L'indagine svolta ha visto l'applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.

Figura 18 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza $L = 46,0$ m

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

Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.

La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.



Figura 19 Localizzazione stendimento M1/R1 e T1

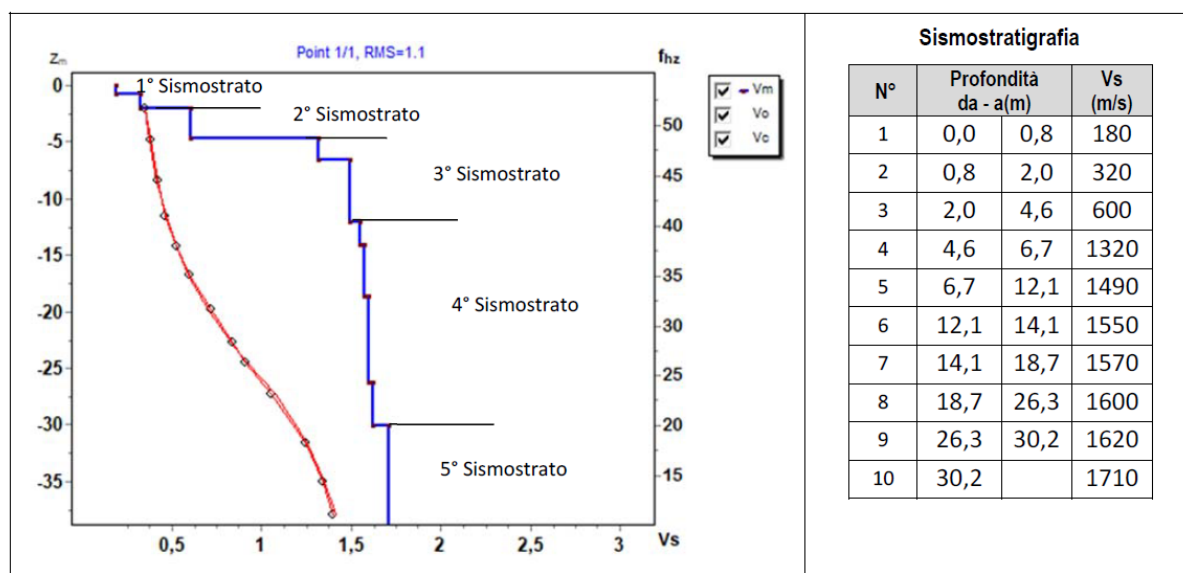
6.2. RISULTATI DELLE INDAGINI

6.2.1. M.A.S.W. – ELABORAZIONE RISULTATI

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

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 2,0	1° sismostrato con Vs tra 180 e 320 m/s , terre da poco a mediamente addensate
2,0 – 4,6	2° sismostrato con Vs di 600 m/s , Roccia fratturata
4,6 – 12,1	3° sismostrato con Vs tra 1320 e 1490 m/s , Substrato roccioso debolmente fratturato
12,1 – 30,2	4° sismostrato con Vs tra 1550 e 1620 m/s , Substrato roccioso sano
>30,2	5° sismostrato con Vs di 1710 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs



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

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

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **4,6 m** (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **4,6 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 4,6/0,0124=371 m/s**.

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

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,0	terre	1.600	500	250	0,33	265	32	98	265
2	2,0-4,6	10%	1.800	1.200	600	0,33	1.726	173	647	1.726
3	4,6-12,1	15%	2.000	2.810	1.405	0,33	10.533	1.580	3.952	10.533
4	12,-30,2	20%	2.100	3.170	1.585	0,33	14.073	2.815	5.276	14.073
5	>30,2	30%	2.200	3.420	1.710	0,33	17.152	5.146	6.433	17.152

Figura 20 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

7. MODELLAZIONE GEOLOGICA

7.1. MODELLO GEOLOGICO DI SITO

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione delle opere e nelle varie fasi di realizzazione. L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti.

Nello specifico:

- Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia –vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle opere fondanti con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali delle coltri di alterazione dei depositi alluvionali.
- Presenza di sacche argillose non attualmente identificabili che possono cambiare il grado di portanza dei terreni – sarà opportuno in fase di progettazione definitivo/esecutiva eseguire dei saggi sul terreno per confermarne o meno la presenza.

Dalle informazioni ricavate dal seguente studio è stato costruito il modello geologico preliminare del sito che sintetizza e descrive i caratteri litologici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici trattati nei capitoli precedenti:

LITOTIPO A (0,00-2,00) – terre poco addensate, suolo/cappellaccio di alterazione dei calcari

LITOTIPO B (2,00 – 4,60) – Calcari fratturati

LITOTIPO C (4,60 – 12,10) – Calcari debolmente fratturati

LITOTIPO D (12,1 – 30,2) – Substrato roccioso sano (CALCARI)

CAMPANEDDA IBRIDO		Campanedda - MODELLO GEOLOGICO			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		Litotipo A	Litotipo B	Litotipo C	Litotipo D
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1600	1800	2000	2100
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1700	1900	2000	2100
Angolo di attrito interno	[°]	25	29,06	36,83	45,58
Coesione	[kg/cm ²]	0	0.75	0.47	2,7
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cm ²]	32	173	1580	2815
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0.33	0.33	0.33
Modulo di taglio (G)	[kg/cm ²]	98	647	3952	5276
Velocità onde di taglio	[m/sec]	250	600	1405	1585

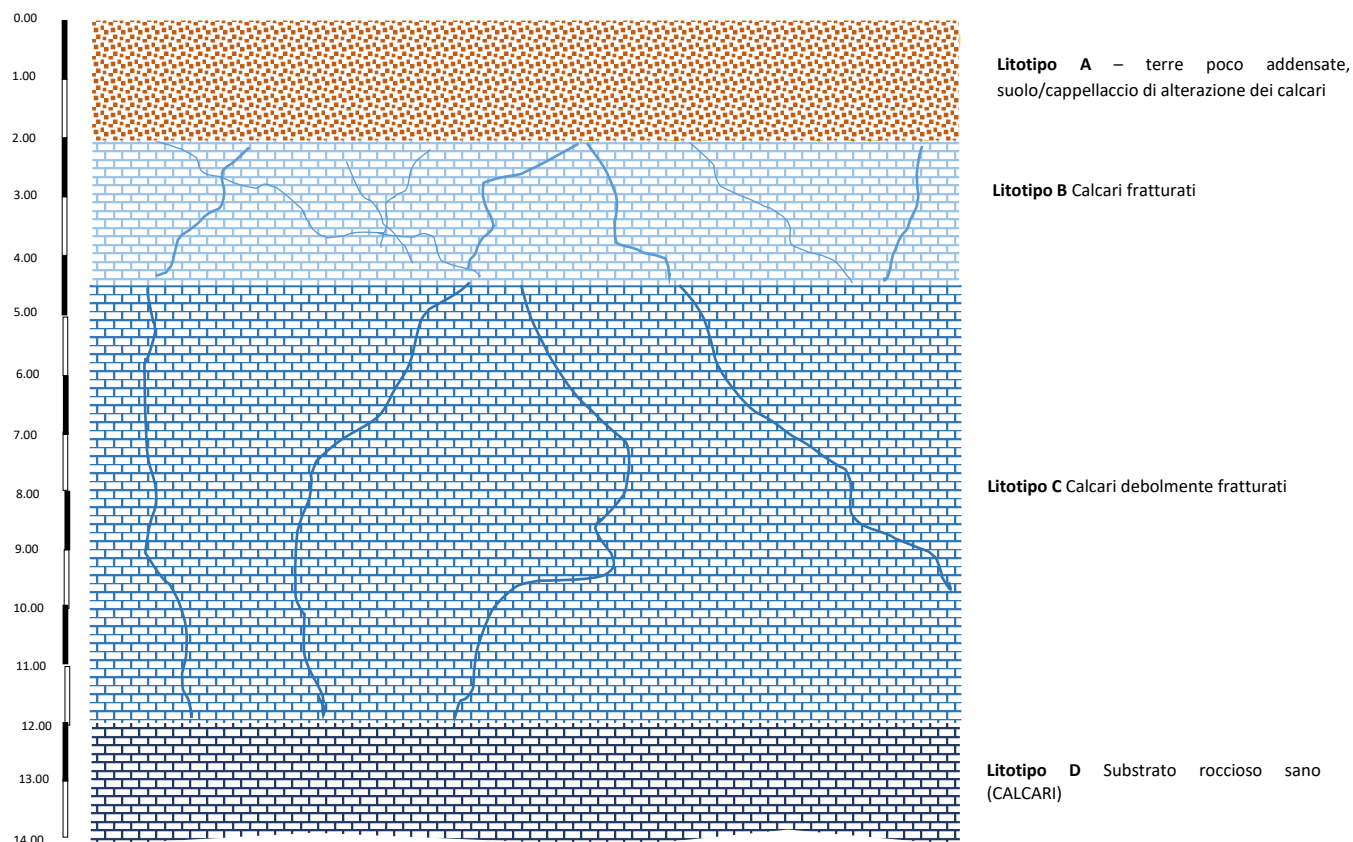
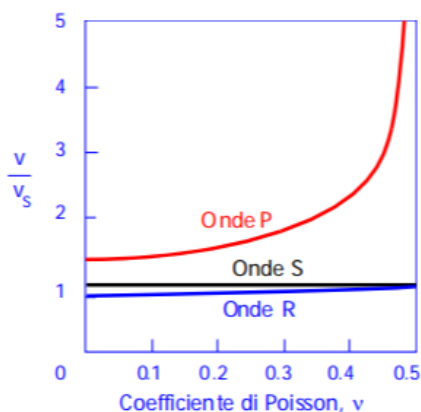


Figura 21 Modello geologico del sito (6.2.1 NTC 2018)

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

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

il rapporto V_p/V_s dipende dal coefficiente di Poisson; in genere la V_r è sempre di poco minore della V_s .



per $v = 0,25$ $V_r = 0,919 V_s$

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

$v = 0,40$ $V_r = 0,943 V_s$

$v = 0,50$ $V_r = 0,955 V_s$

Modello Geologico di sito– Profilo sismico M1

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

Profondità in m (da-a)	V_s (m/sec)	v	V_r (m/sec)
0,00 – 2,00	250	0,33	233
2,00 – 4,60	600	0,33	560
4,60 - 12,10	1405	0,33	1312
12,10 – 30,20	1585	0,33	1479

8. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO

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

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

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

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

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

La norma UNI 9614/2017, che richiama e fa riferimento primario alla ISO 2631-2:2003 prevede di valutare il livello complessivo di accelerazione ponderata nell'intervallo da 1 ad 80 Hz: se il segnale disturbante è caratterizzato da un'emissione concentrata entro una singola banda di 1/3 di ottava, è sufficiente correggere il valore misurato applicando la correzione riportata in Fig. 17 (ad esempio essa vale -19 dB a 50 Hz). Se viceversa lo spettro è continuo ed esteso a più bande, occorre anzitutto calcolare il livello di accelerazione corretto a ciascuna frequenza, indi sommare energeticamente i livelli di accelerazione alle varie frequenze onde ricavare il valore complessivo:

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

Questa metodica rende tuttavia le cose molto complicate in presenza di fenomeni di propagazione che producono un'attenuazione con la distanza che dipende fortemente dalla frequenza. Occorre, infatti, effettuare un calcolo separato della propagazione a ciascuna frequenza, e ricalcolare poi, punto per punto, il livello di accelerazione complessiva ponderata.

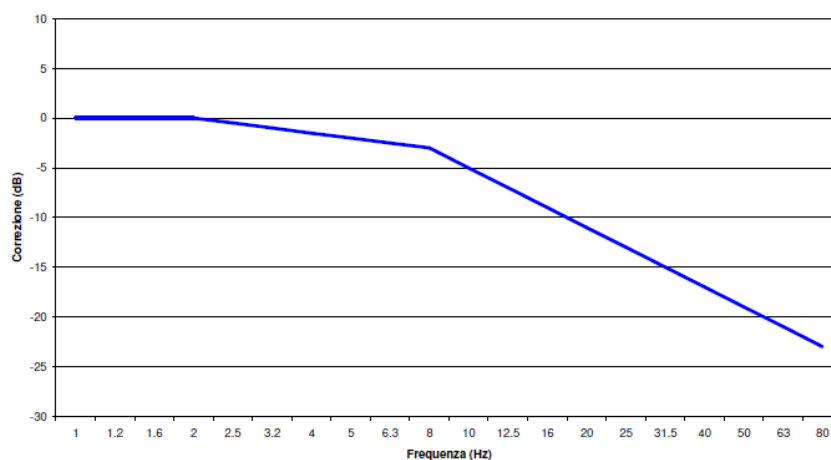


Figura 22 - Curva di ponderazione asse generico

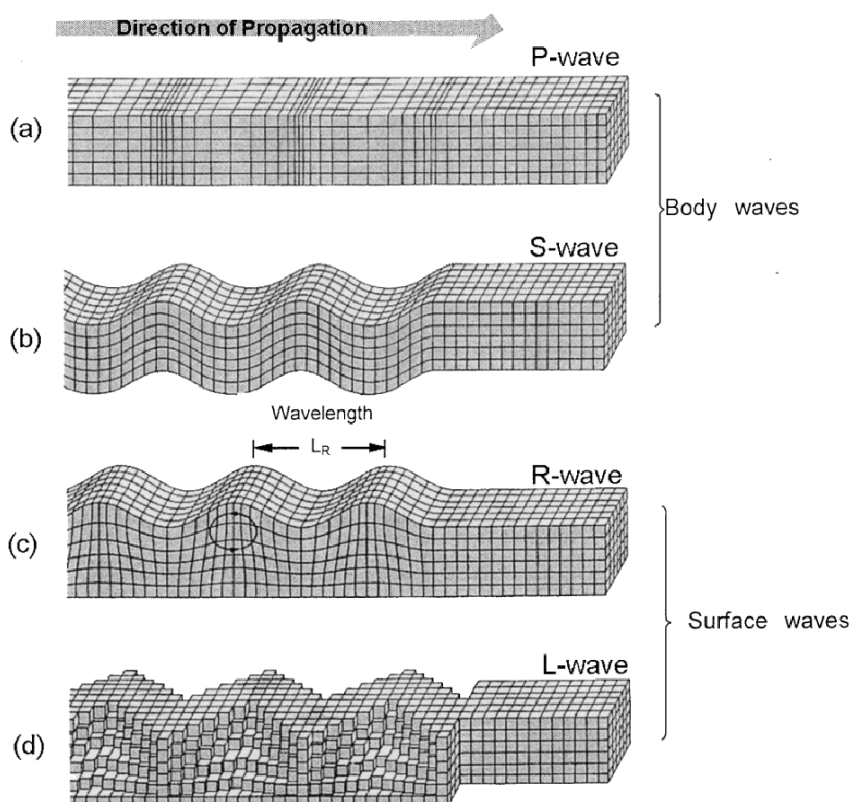
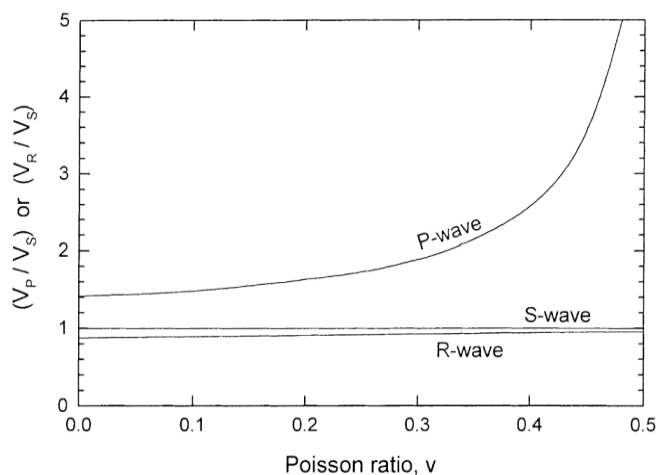


Figura 23 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie

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

Figura 24 - rapporto tra le velocità di propagazione V_p e V_r

La velocità di propagazione dei diversi tipi di onde non è la stessa: le onde di compressione (onde P) sono le più veloci, mentre le onde di taglio e di superficie viaggiano con velocità più basse, in dipendenza del valore del modulo di Poisson del terreno. La fig.24 mostra il rapporto fra velocità di propagazione delle onde P ed R riferito alla velocità di propagazione delle onde di superficie S.

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

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

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

8.1. MODELLO DI PROPAGAZIONE DELL'ONDA NEL TERRENO

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

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

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

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

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

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

8.2. VALUTAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI

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

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

Modello Geologico di sito– Profilo sismico M1 $v=0,33$ $V_r = 0,933 V_s$

Profondità in m (da-a)	V_s (m/sec)	v	V_r (m/sec)	η	n
0,00 – 2,00	250	0,33	233	0.05	0.5
2,00 – 4,60	600	0,33	560	0.05	0.5
4,60 - 12,10	1405	0,33	1312	0.01	0.5
12,10 –30,20	1585	0,33	1479	0.01	0.5

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

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

9. SORGENTI DI VIBRAZIONE

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

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

Nel caso specifico in studio le sorgenti sono:

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

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

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda il traffico indotto dal cantiere, si prevede un flusso di mezzi per il trasporto di materiali, componenti e personale quantificabile in punte di 10-15 transiti giornalieri in occasione dell'approntamento delle materie necessarie alla realizzazione delle opere fondanti, in aggiunta al flusso di traffico locale attualmente presente (poche decine di veicoli/giorno) sulla viabilità di accesso al cantiere.

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

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

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

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

Scenario 02 – attività di posa dei cavidotti;

Scenario 03 – attività di realizzazione delle fondazioni della torre di supporto e delle basi di fondazione dei pannelli;

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

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

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

Altresì nella valutazione del disturbo e sempre cautelativamente, i macchinari verranno considerati posizionati nel punto più vicino al ricettore in relazione all'attività da essi svolta. Non è tuttavia possibile escludere il verificarsi di eventuali superamenti temporanei dei limiti differenziali solamente in occasione di specifiche o particolari lavorazioni svolte in vicinanza dei ricettori. In questi casi si deve fare riferimento alla **gestione di attività temporanee (cantieri) in deroga ai limiti massimi** previsti dalla norma **UNI 9614/2017**

al punto 9.5 e contenuta nell'**Appendice C** che prevede la stesura del **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

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

9.4. SCENARI DI RIFERIMENTO DI CANTIERE

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

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

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

1. Escavatore
2. Autocarro

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

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

MOD. GEO.01	Distanza minima oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alla soglia limite di 7,2 mm/sec ²
Scenario 01	123m
Scenario 02	87m
Scenario 03**	127 m

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

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

9.5. RECETTORI

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

9.6. SCENARI DI RIFERIMENTO DI ESERCIZIO

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

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

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

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

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

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

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

Vari studi inerenti a Wind Farm realizzate con modello di pala eolica (Vestas V162-5.6; HH = 125m; RD = 162m)¹ riportano che le vibrazioni associate al funzionamento delle turbine eoliche possono essere

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

rilevate con gli strumenti, ma lo sono sotto la soglia di percezione, anche all'interno di un parco eolico, rilevando valori ben al di sotto dei limiti di percezione umana. Anche da monitoraggi diretti attraverso accelerometri risulta che i movimenti sismici (vibrazioni) indotti sul terreno sono così bassi da difficilmente indurre qualsiasi risposta fisica e/o strutturale. Due studi MA DEP review (Styles 200521; Schofield 201022) indicano che a 100m di distanza da una turbina il moto massimo indotto è pari a circa 120 nanometri (circa 1Hz).

Infine, il Ministero dell'Ambiente, del Clima e dell'Energia dello Stato federale del BadenWuerttemberg, Germania, ha pubblicato uno studio dettagliato sugli infrasuoni e le vibrazioni indotte da turbine eoliche. I risultati hanno rilevato che i livelli di velocità di vibrazione di una turbina Nordex N117 da 2,4 MW a distanze inferiori a 300 metri erano inferiori a $0,1 \times 10^{-4}$ metri/sec.

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

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

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

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

◆ Vestas V162-7,2 = 4,3 – 12,1 giri/min

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

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

1.1. LIMITI DI RIFERIMENTO

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

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

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

Figura 25 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

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

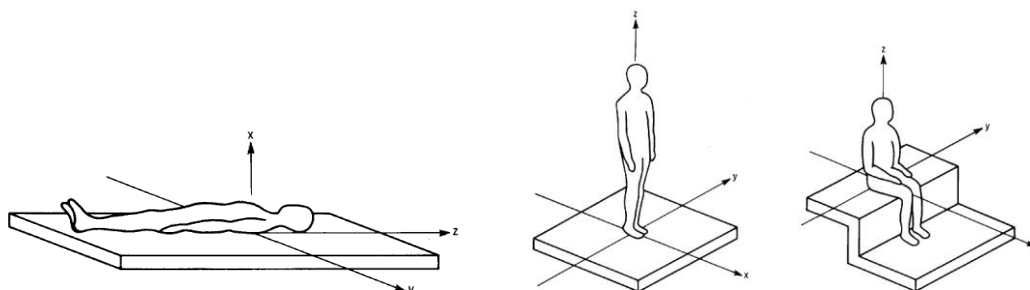


Figura 26 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

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

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

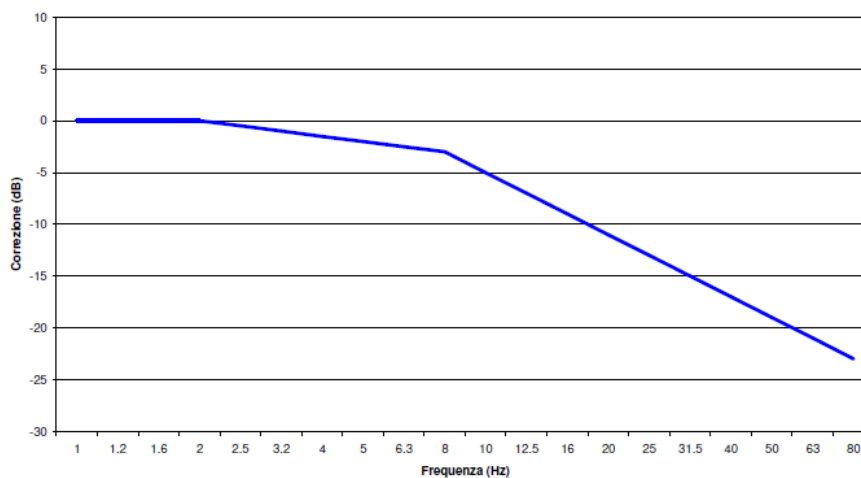


Figura 27 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614

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

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

La DIN4150-3 considera 3 classi di edifici:

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

E considera due tipi di vibrazione:

1. Vibrazione di breve durata;
2. Vibrazione permanente

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

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

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

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

Figura 28 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014)

10.SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI

10.1. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN RULLO VIBRANTE

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

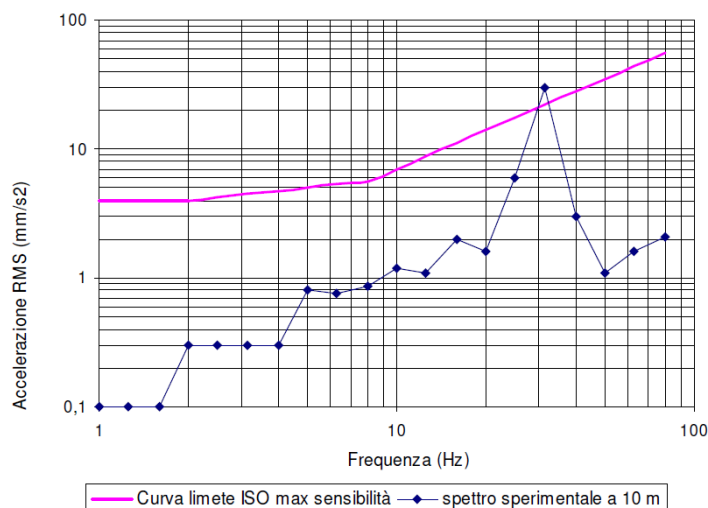


Figura 29 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere

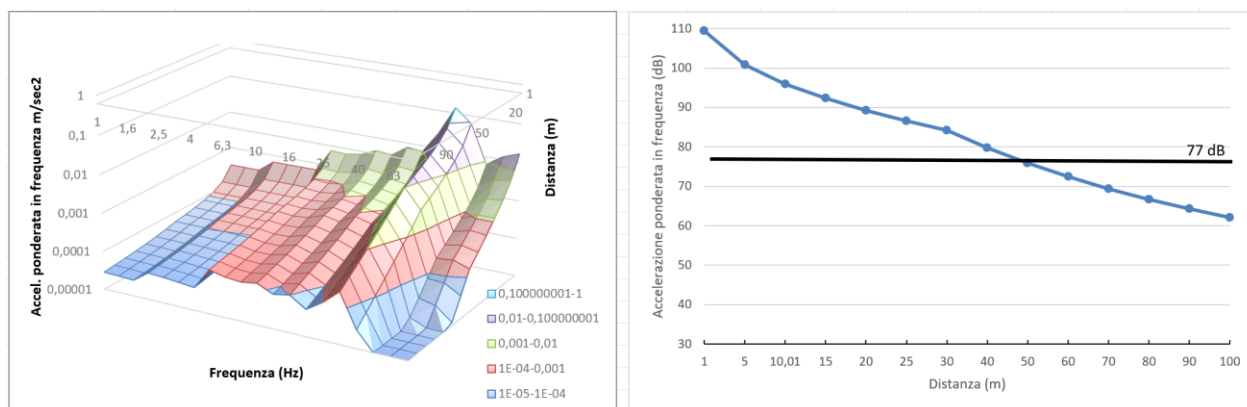


Figura 30 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

2.1. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UNA PALA CINGOLATA

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

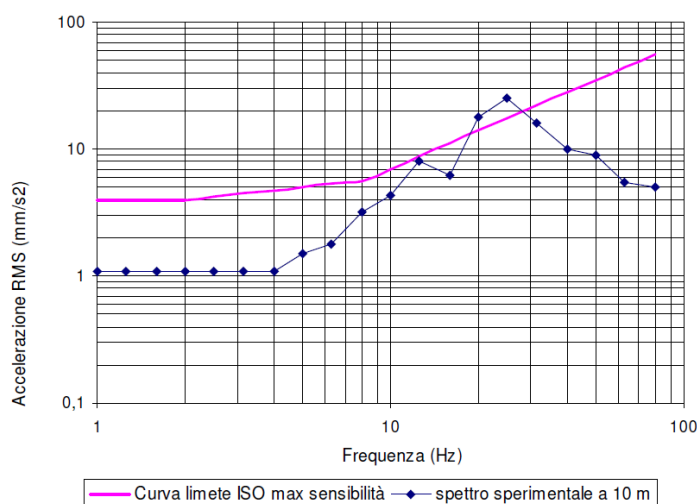


Figura 31 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere

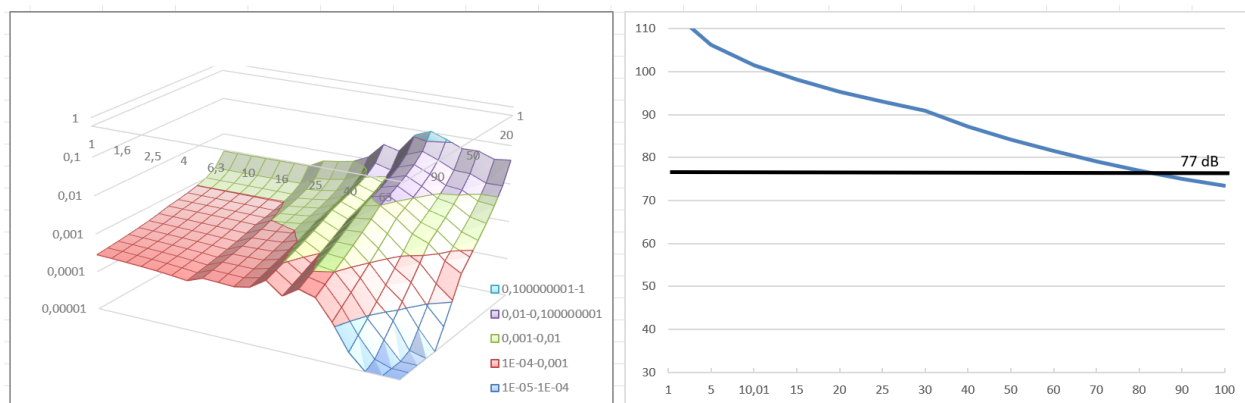


Figura 32 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10.2. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN AUTOCARRO

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

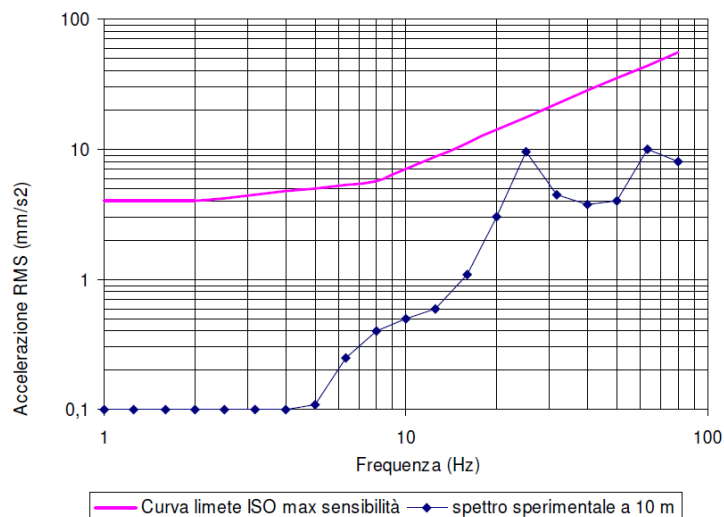


Figura 33 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10m dall'asse di cantiere

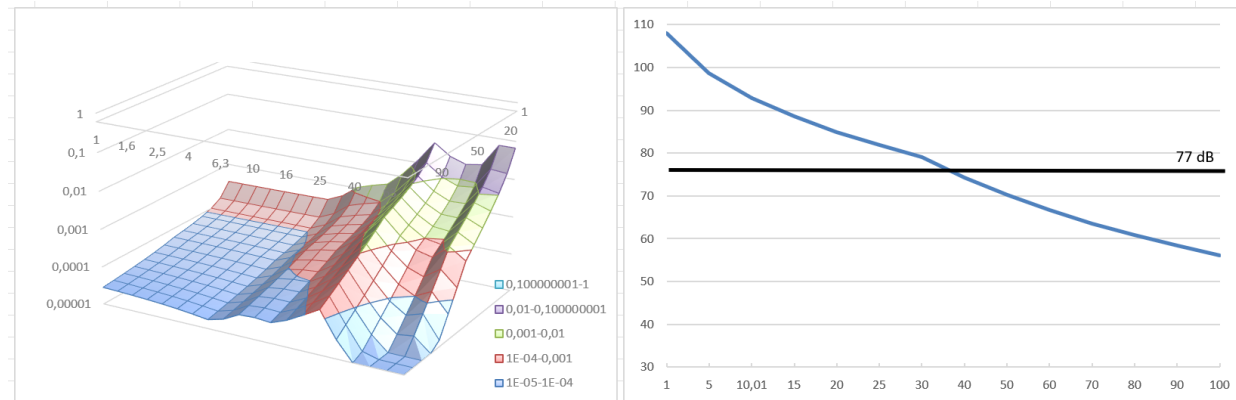


Figura 34 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10.3. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN ESCAVATORE CINGOLATO

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

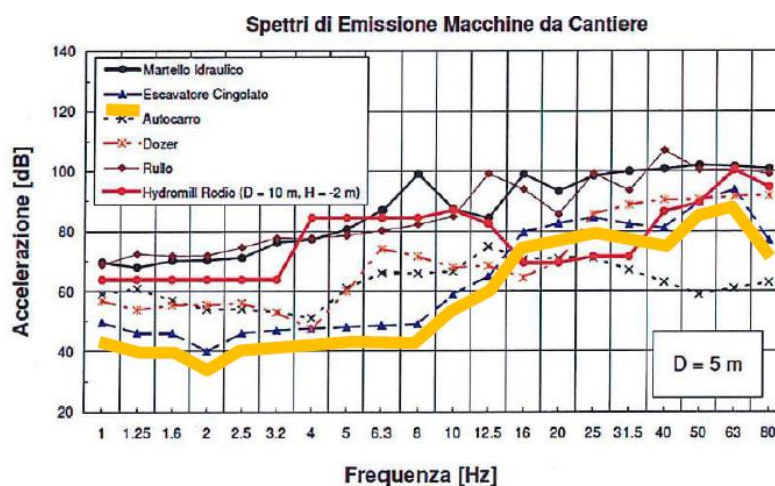


Figura 35 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere

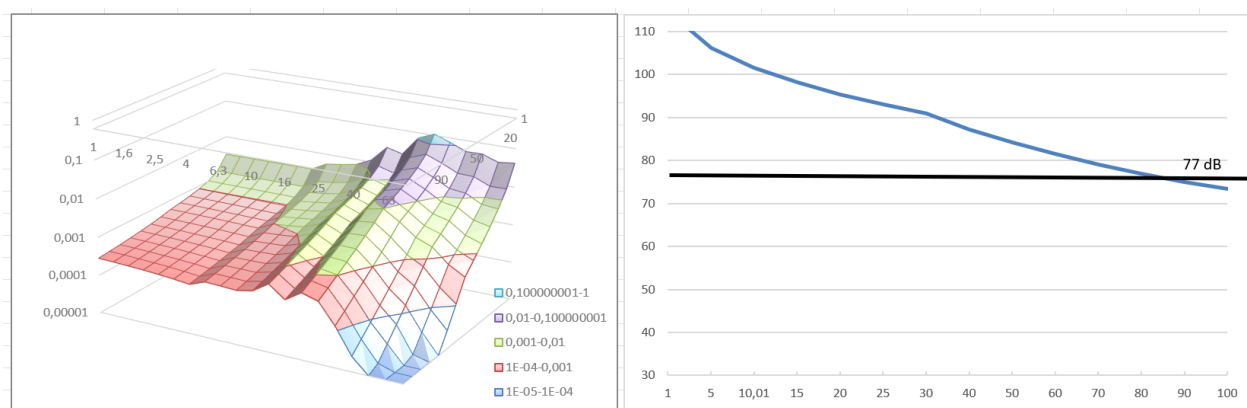


Figura 36 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

10.4. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN MARTELLO IDRAULICO

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

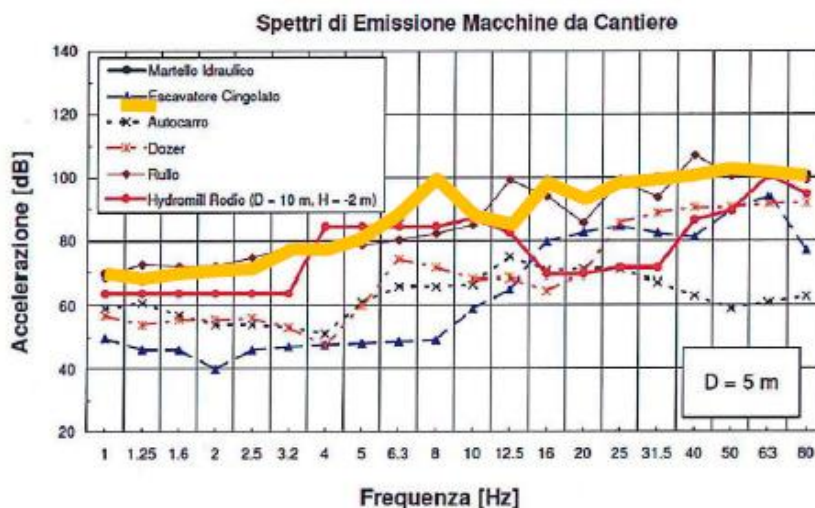


Figura 37 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere

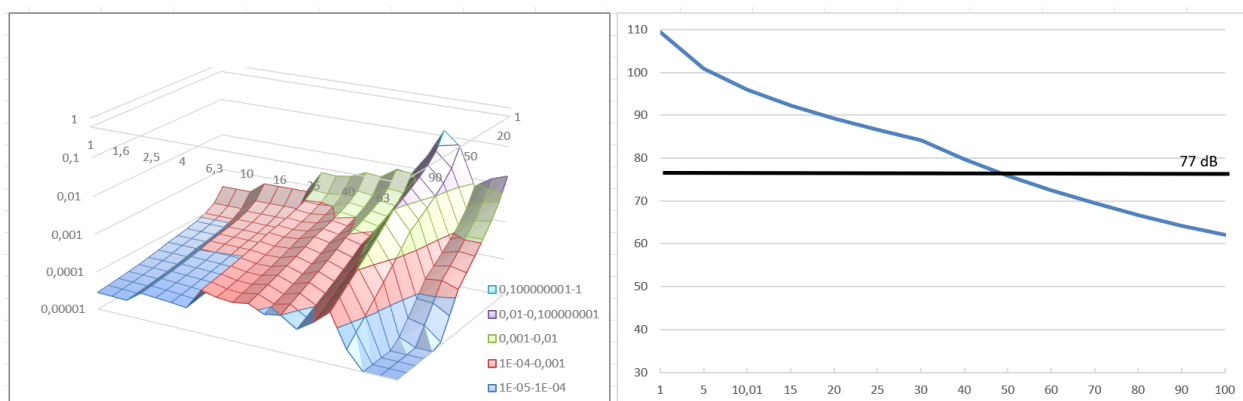


Figura 38 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

1. MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI

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

10.5. CRITERI DI AZIONE E MISURE DI MITIGAZIONE

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

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

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

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

Un altro criterio da tenere in considerazione è:

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

Risulta evidente che il miglior approccio alla gestione di tale tematica nel suo complesso venga studiato approfonditamente dall'impresa esecutrice dei lavori in base alla propria dotazione di attrezzature e mezzi e alla sua organizzazione. L'analisi preventiva di tutte le situazioni di impatto e delle relative modalità di gestione sarà contenuta in un documento che l'impresa dovrà fornire all'ente o al soggetto controllore prima dell'inizio dei lavori contenente le misure di mitigazione che verranno adottate nell'ambito di una più ampia strategia di gestione dell'impatto e di tutte quelle azioni risolutive anche in presenza di lamentele e/o esposti.

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

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

strutturali in esso evidenziate. Verrà predisposto un accurato calendario minimo dei controlli da attuare per tutta la durata delle lavorazioni.

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

11.CONCLUSIONI

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

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

L'analisi porta ad un range di distanze di sicurezza, nella peggiore delle ipotesi (considerando la contemporaneità dei mezzi in azione per le diverse attività di cantiere), compreso tra i 87m (posa dei cavidotti) e i 127m (fase di realizzazione delle fondazioni delle torri a supporto degli aerogeneratori e delle piazzole di servizio).

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

All'interno di queste distanze in generale non ricadono recettori sensibili quali abitazioni; tuttavia, ricadono all'interno diversi recettori con attività lavorative diurne.

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

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