

"PARCO EOLICO SENNORI (SS)"

Progetto per la realizzazione di un parco eolico con potenza pari a 42 MW sito nel Comune di Sennori (SS) con opere di connessione alla RTN nel Comune di Tergu (SS)

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE

HE Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



TITOLO ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA

SCALA

COMMESSA

SVIL- 1000190562

CODIFICA DOCUMENTO

SEN-PD-R18_00

4

3

2

1

0

PRIMA EMISSIONE

Agosto 2024

MG

VF

EG

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

Questo disegno non può essere riprodotto, nè utilizzato altrove, nè ceduto a terzi in tutto o in parte senza il consenso scritto degli autori

INDICE

1	PREMESSA	2
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE.....	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	7
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	11
6	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	13
7	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	15
8	CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' DELL'AREA E VALUTAZIONI SUL RISCHIO SISMICO	16
9	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO	21
10	CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA DEL SOTTOSUOLO	22

1 PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato "Sennori (SS)" composto da 6 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 7,0 MW, per una potenza complessiva di 42 MW, ubicato nel comune di Sennori (SS) e proposto dalla società Edison Rinnovabili S.p.A., facente parte del Gruppo Edison, con sede legale in Milano via Foro Buonaparte 31, 20121.

Il modello tipo di aerogeneratore scelto avrà potenza nominale di 7,0 MW, con diametro rotore fino a 163 m e altezza massima al top della pala pari a 180,0 m. per l'aerogeneratore SEN01 e pari a 200,0 m per gli aerogeneratori SEN02-SEN03-SEN04-SEN05 e SEN 06. Questa tipologia di aerogeneratore è allo stato attuale quella ritenuta più idonea per il sito di progetto dell'impianto.

Oltre che degli aerogeneratori, il progetto si compone dei seguenti elementi:

- elettrodotto interrato con cavi a 36 kV, di collegamento tra gli aerogeneratori e la nuova Stazione Elettrica di Terna 150/36KV "Tergu";
- edificio di consegna;
- nuova Stazione Elettrica di Terna 150/36KV "Tergu"; da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150 kV "Sennori – Tergu" e "Ploaghe Stazione – Tergu" (progetto in capo ad un altro proponente);
- raccordi di connessione AT a 150 kV, tra la stazione 150 KV "Tergu" le linee RTN a 150 kV "Sennori – Tergu" e Ploaghe Stazione – Tergu" (progetto in capo ad un altro proponente);

Si precisa che la progettazione della futura stazione elettrica di Terna 150/36KV "Tergu" e dei relativi raccordi aerei da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150 kV "Sennori – Tergu" e "Ploaghe Stazione – Tergu", riportati nella documentazione progettuale, sono in carico ad altro produttore avente ruolo di capofila nei confronti di Terna S.p.A.

Il presente documento si propone di descrivere la caratterizzazione geotecnica e sismica dei siti in oggetto e di riportare le verifiche geotecniche relative alla realizzazione delle fondazioni dell'aerogeneratore.

Le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni sono state desunte dallo studio geologico redatto dal Dott. Geologo Carlo Cibella allegato al presente progetto.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE

Nella attuale fase di progettazione definitiva, si eseguiranno dei calcoli preliminari basati sullo studio geologico del dott. Carlo Cibella.

L'analisi dei terreni e il predimensionamento delle fondazioni (cfr. relazione di predimensionamento delle fondazioni SEN-PD-R05-00) suggeriscono l'adozione di entrambe le soluzioni tipologiche di fondazioni su pali e dirette.

Per tali motivi la scelta definitiva della tipologia di fondazione, si rimanda alla fase di progettazione esecutiva, supportata dalle indagini geologiche puntuali su ciascun aerogeneratore,

Come risulta dal calcolo di pre-dimensionamento, la fondazione indiretta proposta sarà costituita da un plinto circolare, di diametro 20,00 m e spessore variabile su pali di adeguata lunghezza. All'interno del plinto di fondazione sarà annegata una gabbia di ancoraggio metallica cilindrica dotata di una piastra superiore di ripartizione dei carichi ed una piastra inferiore di ancoraggio. Entrambe le piastre sono dotate di due serie concentriche fori che consentiranno il passaggio di barre filettate ad alta resistenza di diametro 36 mm, che, tramite dadi, garantiscono il corretto collegamento delle due piastre. Dietro ai lati del manufatto dovrà essere realizzato uno strato di drenaggio dello spessore di 180 cm, munito di tubazione di drenaggio forata per l'allontanamento delle acque dalla fondazione. Nella fondazione, oltre al sistema di ancoraggio della torre, saranno posizionate le tubazioni passacavo in PVC corrugato, nonché gli idonei collegamenti alla rete di terra. Il dimensionamento finale delle fondazioni sarà effettuato sulla base dei parametri geotecnici derivanti dalle prove in sito e di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso di appositi sondaggi in fase di progettazione esecutiva.

Come risulta dal calcolo di predimensionamento, la fondazione di tipo diretto è costituita da un plinto circolare avente diametro pari a 25m. Questo presenta una suola di forma troncoconica, con altezza pari a 0,80m al bordo esterno e pari a 2,55m in corrispondenza della parte centrale, ad un raggio di 3,00m. Al centro del plinto è presente un colletto cilindrico di raggio pari a 3,00m che si eleva sulla suola di ulteriori 0,60m per un'altezza complessiva pari a 3,15m.

Come detto, il dimensionamento finale delle fondazioni sarà effettuato sulla base dei parametri geotecnici derivanti dalle prove in sito e di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso di appositi sondaggi in fase di progettazione esecutiva.

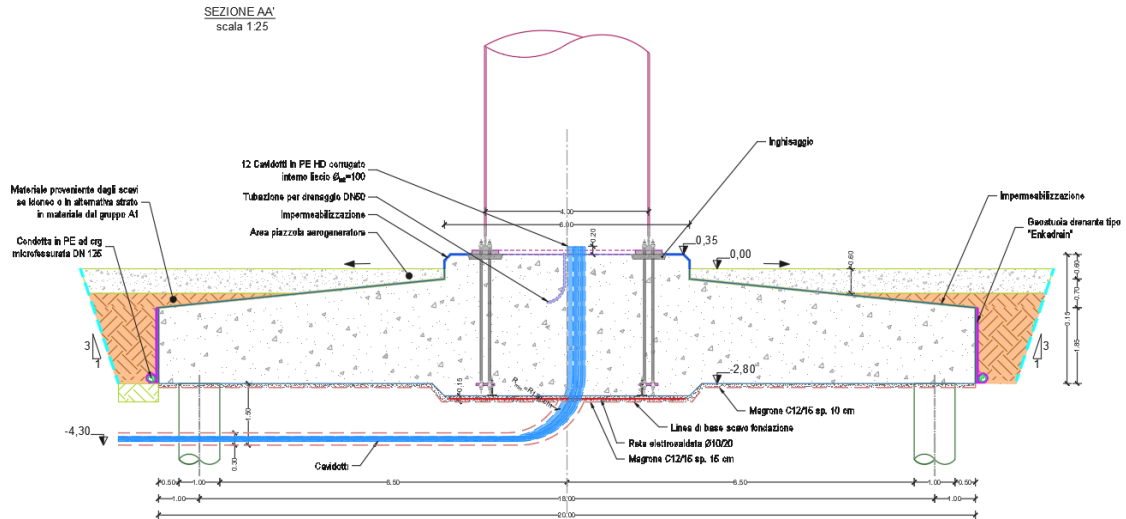


Figura 1 - Sezione del plinto su pali

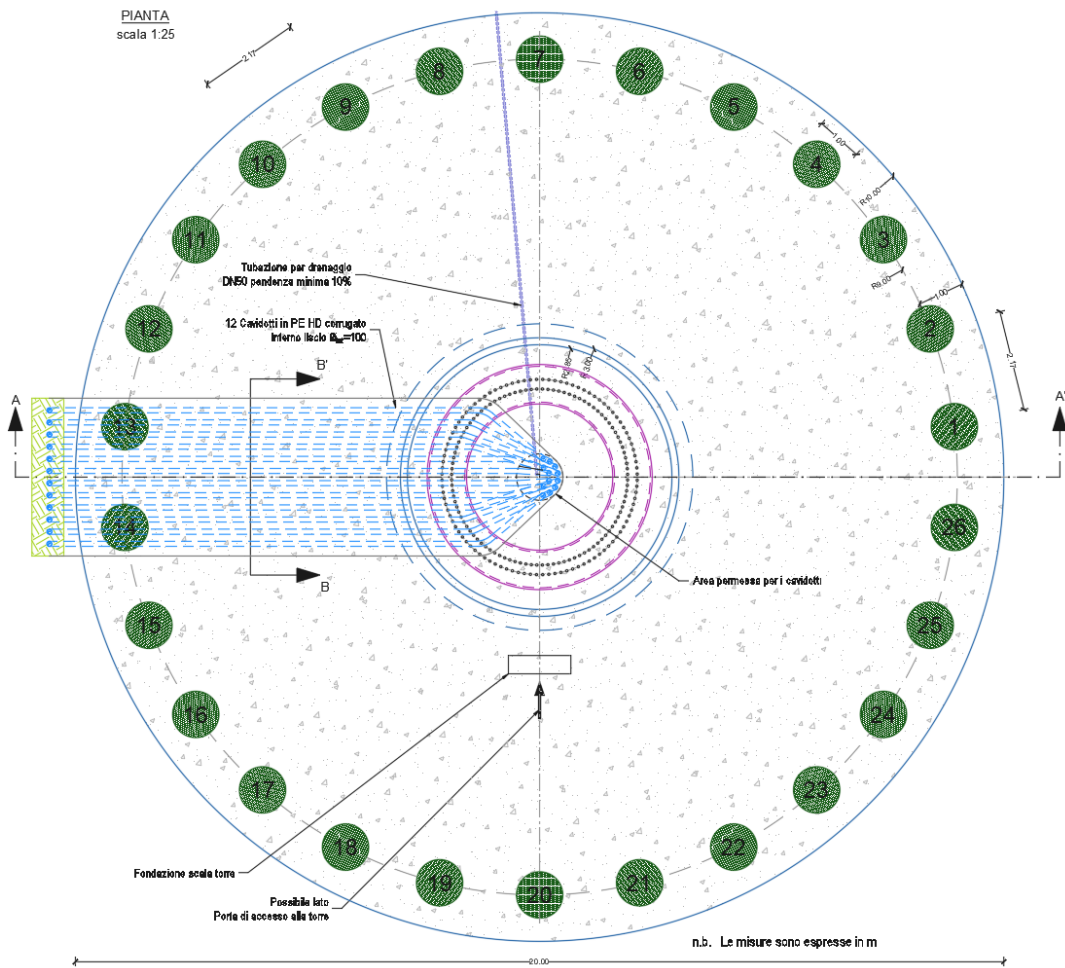


Figura 2 - Pianta del plinto di fondazione su pali

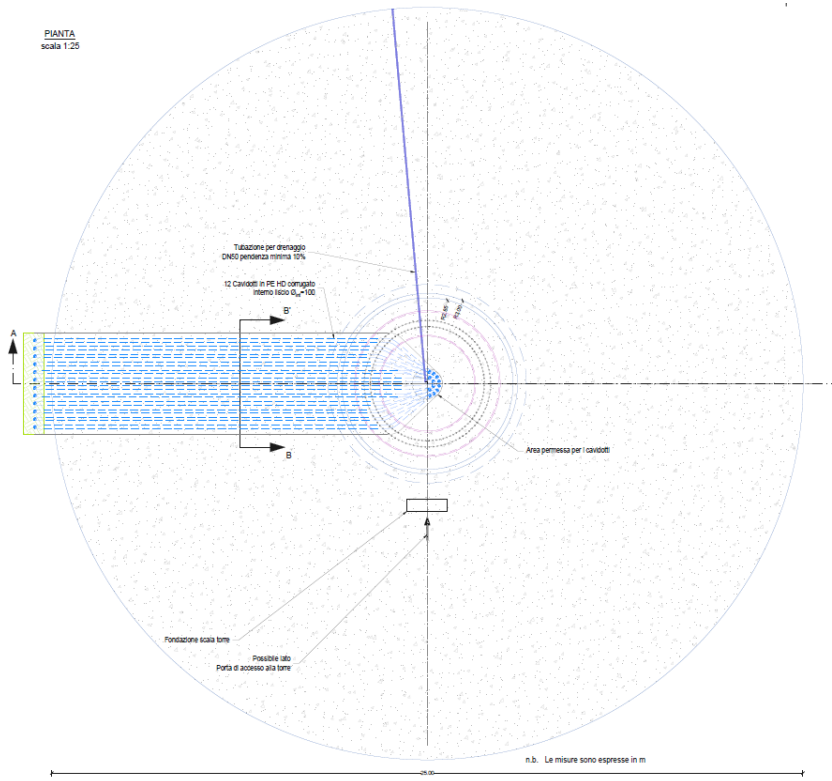


Figura 3 - Pianta del plinto diretto

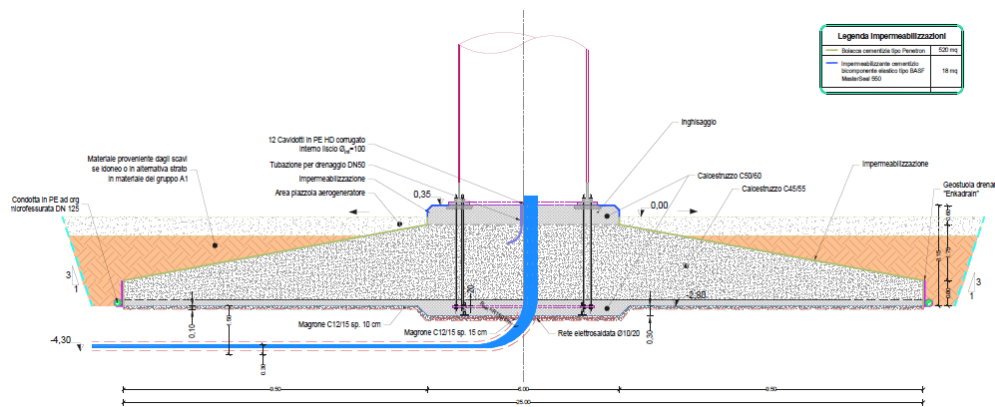


Figura 4 - Sezione del plinto diretto

3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la normativa tecnica nazionale in vigore: “Norme Tecniche per le Costruzioni”, D.M. 17/01/2018.

Si farà, inoltre, riferimento alle seguenti normative:

Legge n. 1086 del 05.11.1971 “Norme per la disciplina delle opere in c.a. normale e precompresso, ed a struttura metallica”;

Legge n. 64 del 02.02.1974 – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.

IEC 60400-1 “Wind Turbine safety and design”;

Eurocodice 2 “Design of concrete structures”.

Eurocodice 3 “Design of steel structures”.

Eurocodice 4 “Design of composite steel and concrete structures”.

Eurocodice 7 “Geotechnical design”.

Eurocodice 8 “Design of structures for earthquake resistance”.

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori ricadono nelle contrade Su Pezzu Sa Rughe (SEN-01 e SEN-02), Badde Iscorigosu (SEN-03), M. Balvarigas (SEN-04), Funtana Ruja (SEN-05), Sa Coa De Renau (SEN-06 e Edificio Consegna).

Di seguito cartografie e fogli di mappa catastali interessati dalle opere:

IGM 25 K:

- 441_II_Sorso
- 442_III_Sèdini
- 459_I_Sassari
- 460_IV_Osilo

CTRN 10K WGS84:

- 442090
- 442130
- 441160
- 459040
- 460010

Catastali

- Comune di Sennori - Fogli 24,21,15,14,9,8,5 e 4
- Comune di Osilo -Fogli 29, 21, 5, 21
- Comune di Tergu (B)— Fogli 2
- Comune di Tergu (C) - Fogli 5,3,2,1

Di seguito le coordinate assolute nel sistema UTM 32 WGS84 degli aerogeneratori:

NOME	EST	NORD	Riferimenti catastali
SEN-01	467572	4514323	Sennori-Foglio 24, p.lla: 39-38
SEN-02	468077	4514587	Sennori-Foglio 24, p.lla: 34
SEN-03	468245	4515046	Sennori-Foglio 21, p.lla: 39
SEN-04	468583	4515434	Sennori-Foglio 21, p.lle: 33
SEN-05	468479	4516040	Sennori-Foglio 21, p.lla: 75
SEN-06	468528	4516546	Sennori-Foglio 21, p.lla: 14
Edificio Consegna	468439	4516796	Sennori-Foglio 14, p.lla: 105

Tabella 1 - Coordinate aerogeneratori nel sistema UTM 32 WGS84

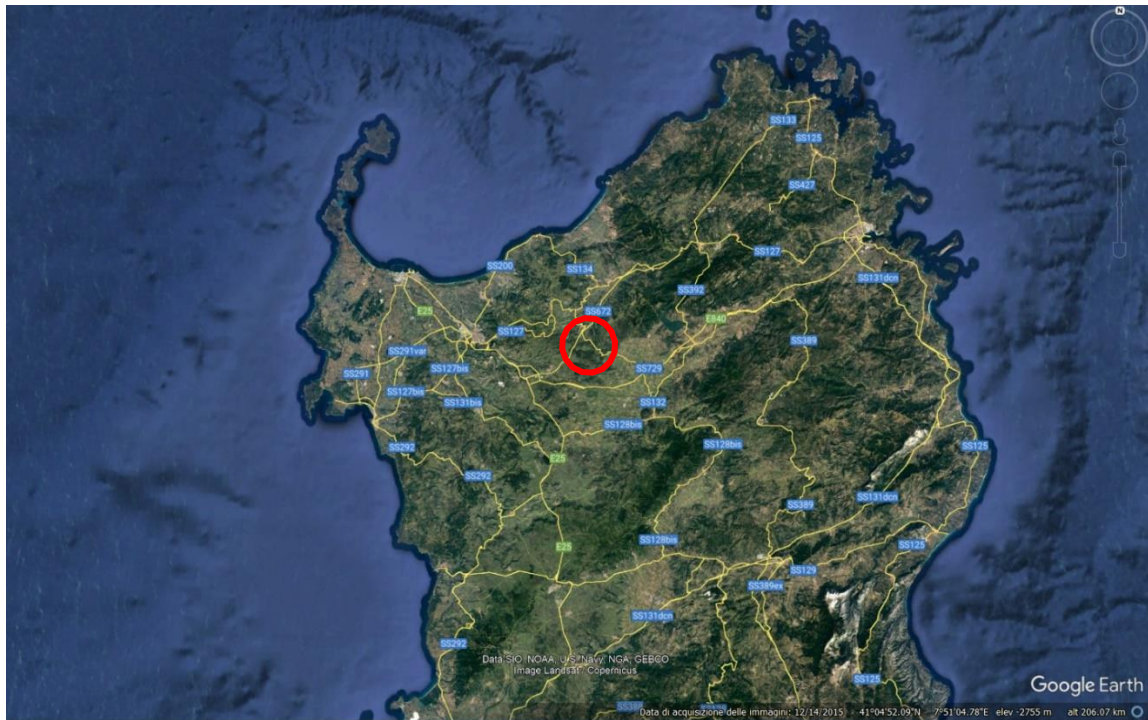


Figura 5 - Ubicazione area di impianto da satellite

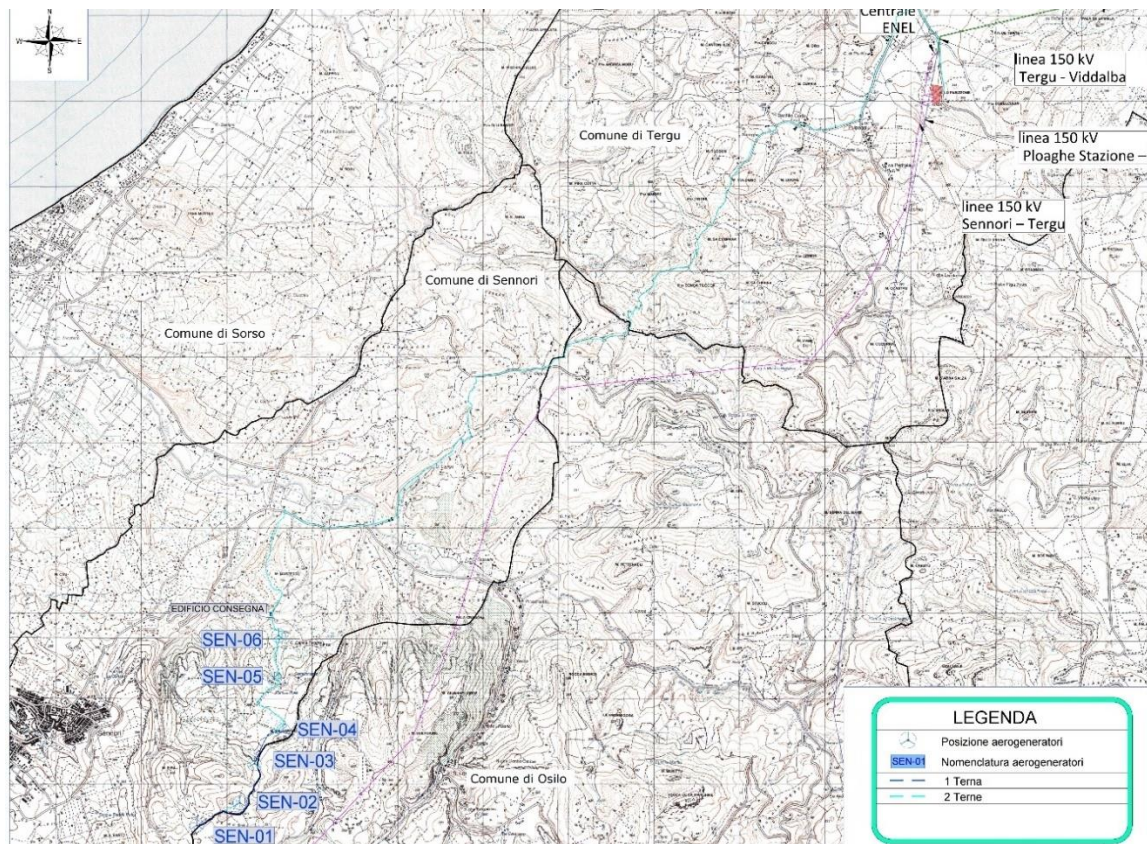


Figura 6 - Inquadramento impianto su IGM 1:25.000

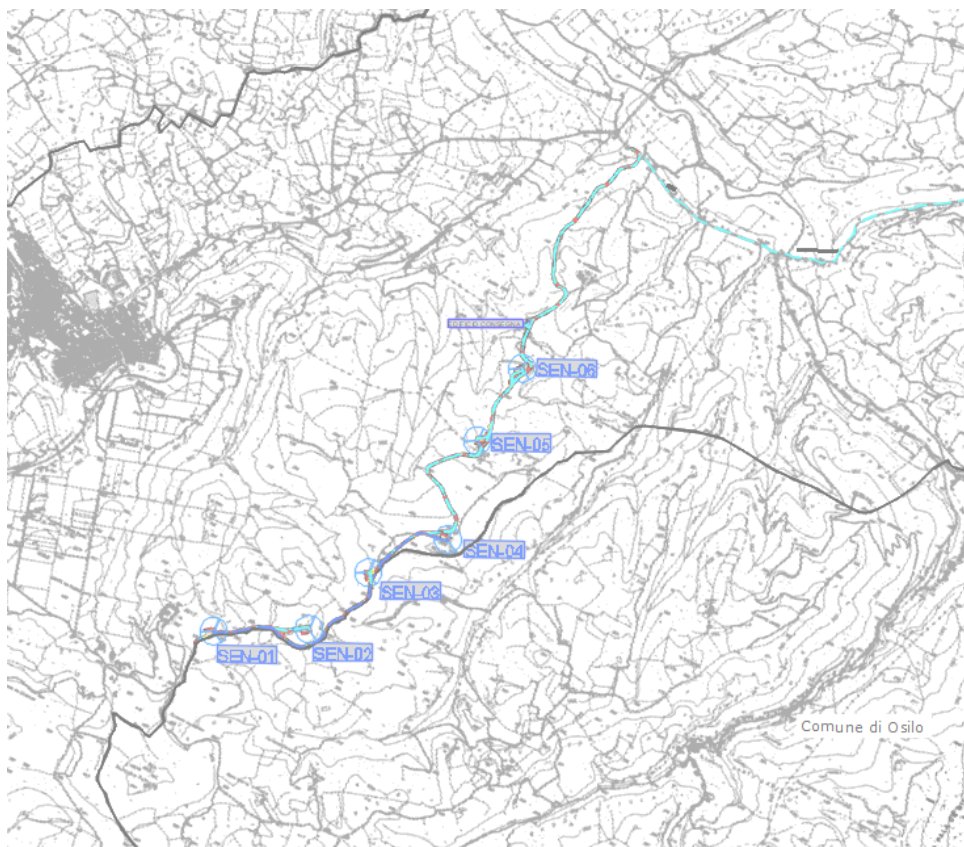


Figura 7 - Inquadramento impianto su CTR 1:10.000



Figura 8 - Inquadramento impianto su ortofoto

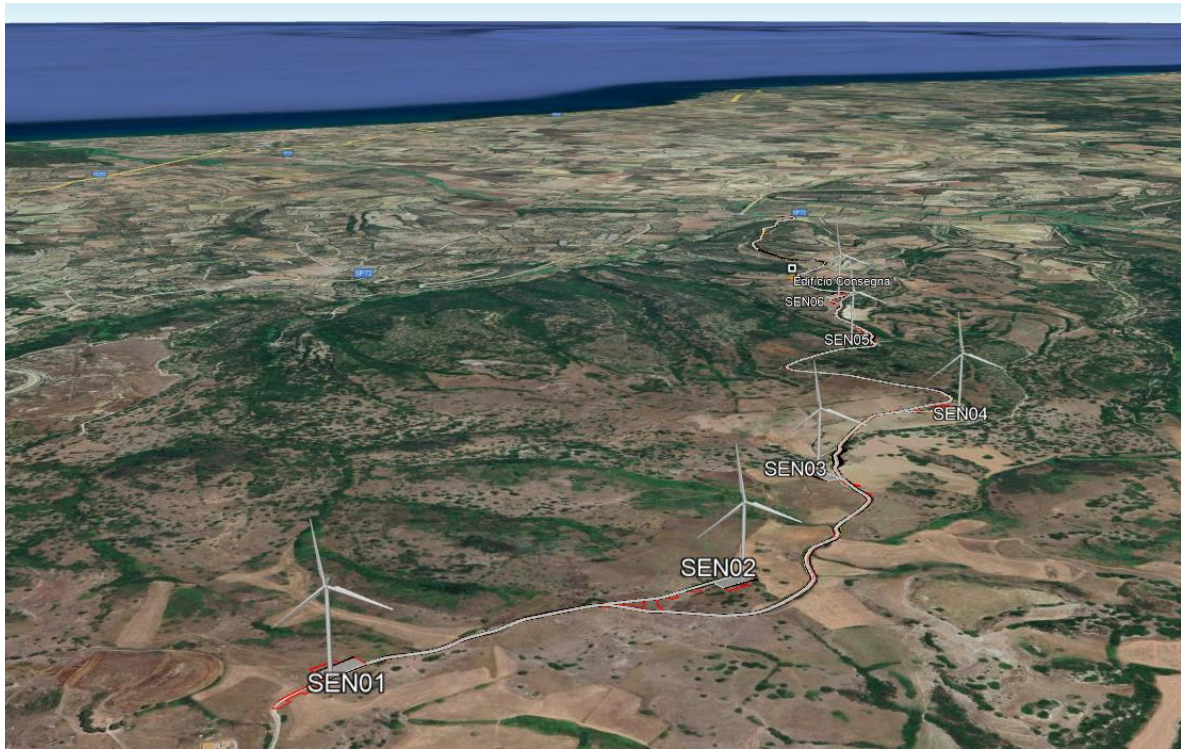


Figura 9 - Inquadramento impianto su google 3D

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La storia geologica della Sardegna parte dal Precambriano quando le masse continentali erano suddivise in più placche e si è conclusa nel Quaternario.

Nell'Ordoviciano, le placche continentali cominciarono a convergere fra loro e nel Carbonifero, le placche iniziarono a collidere. Il processo collisionale tra le masse continentali fece aumentare il gradiente geotermico formando enormi masse di magma che intrappolato nella crosta si è raffreddato molto lentamente dando origine al grande batolite granitico che affiora per un terzo del blocco sardo-corso.

L'area ha un assetto stratigrafico-strutturale caratterizzato da un substrato composto da rocce vulcaniche e sedimentarie dell'Oligocene-Miocene, ricoperto da depositi continentali e marini di età compresa tra il Burdigaliano superiore ed il Tortonianio-Messiniano.

Nell'area interessata affiorano terreni, insieme ad altre formazioni che dal punto di vista geostrutturale, appartengono al “Bacino del Logudoro”, una delle tante depressioni tettoniche che si formarono in successione andando a costituire al cosiddetta Fossa Sarda, estesa dal Golfo di Cagliari al Golfo dell'Asinara. Si tratta di una zona che ha subito uno sprofondamento nell'ambito dei fenomeni geodinamici legati alla rotazione in senso antiorario del blocco sardo-corso e alla conseguente apertura del Bacino Balearico, avvenuta tra l'Oligocene ed il Miocene Bacino del Logudoro (da Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia e Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna a scala 1:200 000).

I complessi geologici che si possono rinvenire in prossimità dell'area interessata dal progetto sono, a partire dal più recente al più antico:

- depositi sedimentari continentali;
- depositi sedimentari di ambiente marino;
- rocce vulcaniche.

La formazione di questa sequenza è dovuta al fatto che a partire dal Burdigaliano si verifica una intensa attività vulcanica cui seguì un periodo di ingressione marina entro il bacino che in via di sprofondando, il quale diede luogo al cosiddetto “Secondo Ciclo Sedimentario Miocenico”. Si formarono depositi di natura carbonatica e marnosa la cui sedimentazione avvenne fino al Serravalliano, terminando con una fase regressiva del mare che diede luogo a depositi di sabbie e arenarie. Una ulteriore ingressione marina,

definita come “Terzo Ciclo Sedimentario Miocenico”, avvenne ancora a causa di fenomeni di sprofondamento del Bacino del Logudoro, con formazione di depositi sedimentari carbonatici, a partire dal Tortoniano per terminare nel Messiniano.

Nel seguito vengono descritte in dettaglio le formazioni riportate nella carta geologica, dalla più recente alla più antica:

Depositi terrigeni continentali (*Olocene – Attuale*): detrito di falda, coltri eluvio colluviali, sabbie limo-argillose con clasti detritici medio-fini, massive, più o meno intensamente pedogenizzate. Spessore: 1-3 m.

Depositi carbonatici marini, (Formazione di Montesanto *Tortoniano-Messiniano inf.*), calcari bioclastici di piattaforma interna con rare intercalazioni silicoclastiche, calcareniti e calciruditi clinostratificate, con livelli a rodoliti, con foraminiferi bentonici (*Amphistegina*), gasteropodi, bivalvi, echinidi. Spessore: variabile, fino ad un massimo di 50 m.

Depositi vulcano-sedimentari, si tratta di depositi vulcanici di ambiente continentale di flusso piroclastico a chimismo riolitico, con tessitura macroeutattica per la presenza di con fiamme deformate plasticamente che possono raggiungere il metro di lunghezza, epiclasiti, tufiti e cineriti. Spessore: fino a 25 m.

Lave basaltico-andesitiche-riolitiche, (*Burdigaliano p.p.*), si tratta di depositi vulcanici di lave andesitiche grigio scure, lave riolitiche e dacitiche, in duomi o colate, in genere massive, talvolta con foliazione da flusso marcata da fratturazione platy jointing. Intercalati alle colate, depositi piroclastici di caduta, con spessori di alcuni metri. Frequenti e importanti alterazioni idrotermali con vaste zone di silicizzazione. Spessore in affioramento: può raggiungere il centinaio di metri (OSL).

Più puntualmente gli aerogeneratori ricadono entro un'area situata a Est dell'abitato di Sennori (SS) che geologicamente è composta:

gli aerogeneratori denominati SEN-01, SEN-02, ricadono sui depositi terrigeni continentali, gli aerogeneratori SEN-03 e SEN-04 ricadono sulle calcareniti e calciruditi algali, gli aerogeneratori SEN-05 e SEN-06 sui depositi vulcano-sedimentari di ambiente continentale.

L'Elettrodotto orientato in direzione SO-NE, attraversa con una lunghezza di 12,00 Km circa in linea d'aria i territori Comunali di Sennori, Osilo e Tergu per arrivare alla futura Stazione Elettrica Terna di Tergu.

6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il sito di progetto è posto nella Sardegna nord-occidentale a Est rispetto all'abitato del Comune di Sennori nella Provincia di Sassari ad una quota compresa tra i 220 e i 370 m s.l.m., ad una distanza di circa 1,7 Km in linea d'aria. Il territorio è prevalentemente alto-collinare a vario grado di acclività, impostato sui depositi carbonatici marini, sui depositi vulcano-sedimentari e sulle lave basaltico-andesitiche-trachitiche.

L'assetto morfologico dell'area mostra aspetti caratteristici di un ecosistema dove nel corso del tempo ed in connessione con le condizioni morfoclimatiche esistenti, i vari agenti e processi geomorfologici, hanno determinato i lineamenti morfologici in stretta relazione con le caratteristiche geologiche delle litologie affioranti, la cui resistenza all'erosione determina le forme assunte dal paesaggio, in seguito all'azione modificatrice degli agenti geodinamici.

In generale, l'area presenta una morfologia con forme dolci in corrispondenza delle litologie essenzialmente plastiche con incisioni vallive, cui si contrappongono in corrispondenza degli affioramenti più competenti, forme più aspre.

Sono presenti orli di scarpate di altezza inferiore ai dieci metri in corrispondenza delle arenarie dei depositi terrigeni continentali, frutto dell'azione erosiva dei corsi d'acqua e del ruscellamento delle acque superficiali

Il reticolo idrografico è costituito da linee d'impluvio che presentano un diverso grado di approfondimento man mano che ci si sposta dalla sommità degli altipiani verso le zone perimetrali presentandosi come vallecole strette, appena accennate, con profilo a V, passando a vallecole con fondo a conca in corrispondenza dei versanti impostati sui terreni più coerenti. Alla base dei versanti nella formazione dei depositi carbonatici le valli si presentano strette con fondo piatto.

Le superfici sulle quali è più intensa l'azione modellante delle acque piovane sono coincidenti con gli affioramenti dei depositi terrigeni continentali.

L'idrografia dell'area in esame è poco sviluppata; i corsi d'acqua che attraversano l'area interessata non costituiscono dei veri e propri fiumi ma, in presenza di piogge cospicue, possono presentare portate importanti.

In particolare troviamo il Rio Sorso che attraversa l'area a nord di Sennori con andamento est-ovest, il cui corso a tratti meandriforme ha creato una vasta area subpianeggiante.

Altri corsi d'acqua, Rio su Golfu, Rio Sinnadolzu, Rio de Sos Bagnos, presentano valli piuttosto incise con andamento pressoché rettilineo.

Detti corsi d'acqua presentano deflussi superficiali esigui o del tutto assenti nei periodi estivi, mentre in presenza di piogge abbondanti possono essere soggetti anche a piene di una certa entità.

Entrando nel dettaglio, di seguito si descrivono le pendenze dei siti sui quali verranno realizzati gli aerogeneratori in progetto:

- L'aerogeneratore denominato **Sen-01** è posto entro un'area il cui versante Est è quello con maggiore pendenza del 34% e del 10% nel versante N-S
- L'aerogeneratore denominato **Sen-02** è posto entro un'area il cui versante Est è quello con maggiore pendenza del 40% e del 27% nel versante N-S
- L'aerogeneratore denominato **Sen-03** è posto entro un'area il cui versante Sud è quello con maggiore pendenza del 49% nel versante N-S
- L'aerogeneratore denominato **Sen-04** è posto entro un'area il cui versante Est è quello con maggiore pendenza del 20% del 9% nel versante N-S.
- L'aerogeneratore denominato **Sen-05** è posto entro un'area il cui versante Sud ha pendenza del 42 % e il versante Est 38% nel versante O-E.
- L'aerogeneratore denominato **Sen-06** è posto entro un'area il cui versante Est ha pendenza del 69% e il versante Est 53% nel versante O-E.

7 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

I terreni affioranti nell'area in studio sono stati suddivisi in classi con caratteristiche idrogeologiche differenti:

- Terreni permeabili per porosità,
- Terreni permeabili per porosità e fratturazione.
- Terreni poco permeabili

I terrigeni continentali, cui si associano detriti di versante e suoli, sono terreni di formazione recente, con composizione terrigena e clastica e diverso grado di addensamento. La loro permeabilità è del tipo primario, per porosità, e si può considerare elevata, dell'ordine di 1×10^{-2} cm/sec.

I depositi carbonatici, una permeabilità per fratturazione e carsismo. L'attività geodinamica ha prodotto fenomeni di compressione e dislocazione in masse rocciose generalmente compatte, dal comportamento fragile, generando sistemi di fratture con ampia spaziatura. L'acqua si infiltra in senso verticale nelle discontinuità e può trovare delle vie di scorrimento anche secondo la giacitura dei piani di strato. La permeabilità varia da media laddove le fratture possono essere più ampie e ravvicinate a bassa laddove le sequenze di strati rocciosi sono integre e non si verifica infiltrazione, il coefficiente K varia tra 1×10^{-4} e 1×10^{-6} cm/sec.

Depositi vulcano-sedimentari, presentano una permeabilità per porosità e per fratturazione, può essere da media a medio-alta con un coefficiente K variabile tra 1×10^{-3} e 1×10^{-5} cm/sec.

Lave basaltico-andesitiche-riolitiche, presentano una permeabilità per porosità e fratturazione, può essere da molto bassa a bassa, con un coefficiente K variabile tra 1×10^{-5} e 1×10^{-6} cm/sec, in base al grado di addensamento e di cementazione variabile.

8 CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' DELL'AREA E VALUTAZIONI SUL RISCHIO SISMICO

Per ridurre gli effetti del terremoto, l'azione dello Stato si è concentrata sulla classificazione del territorio, in base all'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e sull'applicazione di speciali norme per le costruzioni nelle zone classificate sismiche.

La legislazione antisismica italiana, allineata alle più moderne normative a livello internazionale, prescrive norme tecniche in base alle quali un edificio debba sopportare senza gravi danni i terremoti meno forti e senza crollare i terremoti più forti, salvaguardando prima di tutto le vite umane. Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione.

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata [l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003](#), sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003.

Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

In virtù della normativa vigente (Definizione dei terreni secondo l'Ordinanza 3519/06 – Categoria sismica), il territorio nazionale è suddiviso, sotto il profilo sismico, in quattro diverse categorie alle quali è associata un'accelerazione orizzontale massima:

Zona Sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
1	$ag > 0,25 \text{ g}$
2	$0,15 < ag \leq 0,25 \text{ g}$
3	$0,05 < ag \leq 0,15 \text{ g}$
4	$ag \leq 0,05 \text{ g}$

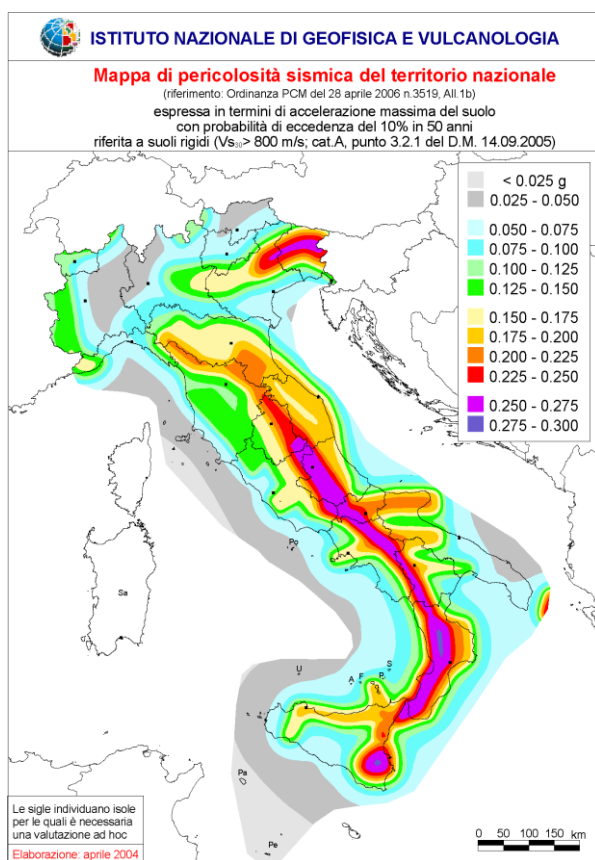
Tabella 2 – Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido

Secondo il predetto O.P.C.M., il territorio del Comune di Sennori, così come tutta la Regione Sardegna, viene classificato come “Zona 4”, a cui corrisponde un valore dell'accelerazione orizzontale di picco “ag” $\leq 0.05\text{g}$.

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 17/01/2018) hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per

ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

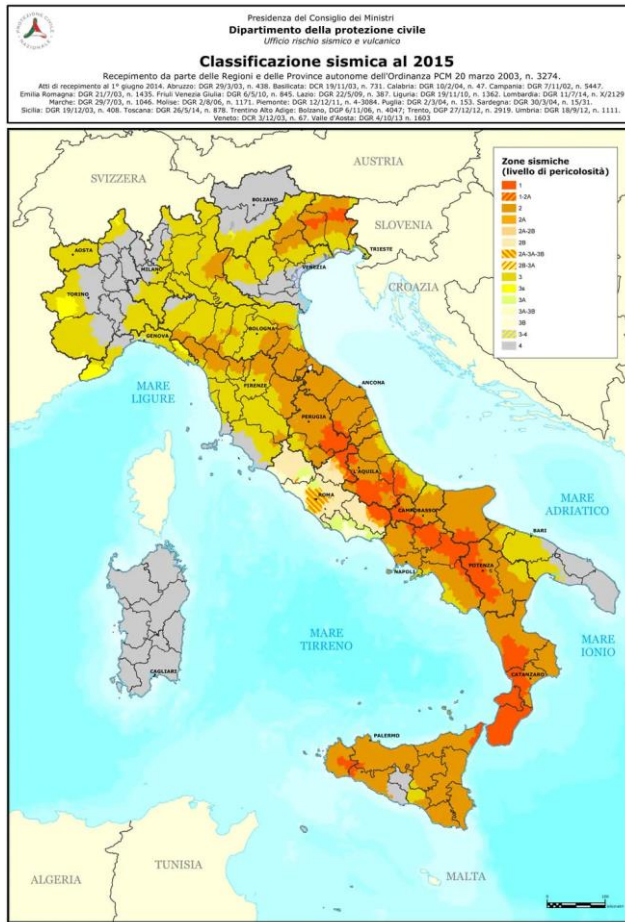
Dal Gennaio 2018, con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento “propria” individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio



nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli

enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).



Il territorio comunale di Sennori, come già accennato, è incluso nell'elenco delle zone sismiche 4, con un valore di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag) minore o uguale a 0.05. E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

Negli ultimi decenni non sono stati pochi i terremoti di energia non esattamente trascurabile localizzati in Sardegna oppure

poche decine di chilometri dalle sue coste con epicentro in mare. Il 18 giugno 1970, ad esempio, un terremoto di magnitudo Mw 4.8 localizzato nel Mare di Sardegna, alcune decine di chilometri a nord-ovest di Porto Torres, viene avvertito distintamente anche lungo le coste Liguri e in Costa Azzurra. Sette anni più tardi, il 28 agosto 1977, è la volta di un terremoto di magnitudo Mw 5.4 localizzato in mare, un centinaio di km a sud-ovest di Carloforte. Anche se la distanza è considerevole, la scossa viene avvertita in modo molto sensibile in tutta la Sardegna meridionale e provoca panico a Cagliari. Più di recente, il 26 aprile 2000, due forti scosse (la maggiore di magnitudo Mw 4.8) localizzate nel Tirreno centrale, poche decine di km a est di Olbia sono avvertite in gran parte dell'isola suscitando spavento lungo la costa nord orientale, in particolare a Olbia e Posada e il 24 Marzo 2006 a Capo Teulada con magnitudo 4.03.

Sono noti anche quelli che, tra i terremoti storicamente più antichi, quello del 4 giugno 1616 determinò danneggiamenti vari a edifici della Cagliari di allora e ad alcune torri costiere attorno a Villasimius. Altri terremoti degni di nota (oltre ai primi registrati dall'Istituto Nazionale di Geofisica negli anni 1838 e 1870 rispettivamente del VI e V grado della scala Mercalli e successivamente il 17 Agosto 1771, sempre nella stessa area di 4.3°. Risalgono al 1948 (epicentro nel Canale di Sardegna, verso la Tunisia, VI grado della scala Mercalli) e al 1960 (V grado della scala Mercalli, con epicentro i dintorni di Tempio Pausania). Allora, i terremoti venivano registrati dall'Istituto Nazionale di Geofisica, e gli effetti venivano misurati soltanto con la scala Mercalli in quanto non esistevano strumentazioni per poter misurare la magnitudo.

E' opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato, nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 800 m/sec. Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei (es. calcari e calcareniti) gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bed rock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di propagazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

In particolare l'esame della risposta sismica locale consente di affermare che nell'area interessata dal progetto, di cui al presente studio, si può escludere "la presenza di aree soggette a fenomeni di liquefazione".

In definitiva si osserva che l'area strettamente oggetto di interventi risulta sismicamente stabile in relazione alle caratteristiche geomorfologiche, litologiche, stratigrafiche e sismiche.

9 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

La normativa sismica (N.T.C. 2018 di cui al D.M. 17/01/18 e ss.mm.ii.) raggruppa i diversi terreni nei cinque tipi riportati nella seguente tabella 3.2.II.

Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina 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.</i>
E	<i>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.</i>

Tabella 3 –

Come già affermato i terreni presenti nell'area interessata dagli aerogeneratori denominati SEN-01, SEN-02, ricadono sui depositi terrigeni continentali, gli aerogeneratori SEN-03 e SEN-04 ricadono sulle calcareniti e calciruditi algali, gli aerogeneratori SEN-05 e SEN-06 sui depositi vulcano-sedimentari di ambiente continentale, tutti terreni il cui spessore è superiore a 30 metri.

Data la successione stratigrafica, il sottosuolo si può fare rientrare nella categoria **B**, pertanto è composto da “*Depositi di terreni a grana grossa addensati o terreni a grana fine consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{seq} compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”.

- *Il coefficiente topografico è il T1.*

10 CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

L'area interessata dal Parco Eolico, dal punto di vista dei terreni di fondazione, ricade all'interno di unità le cui caratteristiche fisico-meccaniche variano in base alla natura litologica, al grado di cementazione ed alterazione. I tipi litologici sono:

Depositi terrigeni continentali:

Il peso dell'unità di volume (γ) è compreso tra 17.1 e 18.1 KN/m³, $c' = 0-10$ KPa, l'angolo di attrito in condizioni drenate $\phi' = 18-22^\circ$;

Depositi carbonatici marini:

- Facies Calcareniti e calciruditi algali

Il peso dell'unità di volume (γ) è compreso tra 18.5 e 19.6 KN/m³, $c' = 10-19$ KPa, l'angolo di attrito in condizioni drenate $\phi' = 29-34^\circ$;

- Facies Arenarie

Il peso dell'unità di volume (γ) è compreso tra 19.7 e 20.2 KN/m³, $c' = 15-21$ KPa, l'angolo di attrito in condizioni drenate $\phi' = 32-35^\circ$;

Depositi vulcano-sedimentari:

si tratta di depositi detritici di origine vulcanica in matrice vulcanica aventi la granulometria della sabbia grossa.

Per la caratterizzazione litotecnica, è stata presa in considerazione la parte alterata della formazione. I parametri geotecnici desunti da risultati reperibili in letteratura sono i seguenti:

- Facies sabbioso detritica: il peso dell'unità di volume (γ) è compreso tra 17.7 e 18.5 KN/m³, c' (coesione drenata) è compresa tra 5 e 15 KPa, l'angolo di attrito in condizioni drenate $\phi' = 27-32^\circ$;

Lave basaltico-andesitiche-riolitiche:

Il peso dell'unità di volume (γ) è compreso tra 19.3 e 20.6 KN/m³, $c' = 20-50$ KPa, l'angolo di attrito in condizioni drenate $\phi' = 32-36^\circ$; la resistenza a compressione $\sigma = 30-120$ Mpa