

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

COMUNI DI

MORES - ITTIREDDU - NUGHEDU SAN NICOLO' - BONORVA



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE - POTENZA DI PICCO 124 MWp DA REALIZZARSI IN LOCALITA' "SA COSTA"

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

Committente:

VEN.SAR. s.r.l.

Arch. Alessandro Reali

Coordinamento e Progettazione generale:

SO.GE.S s.r.l.

Ing. Piero Del Rio

Tavola:

R.I 04

Rev:

01



Scala:

Data:

Febbraio 2024

Prog. opere strutturali:

Studio ing. Andrea Massa

Ing. Andrea Massa

Prog. opere civili - elettriche:

Studio Ing. Nicola Curreli

Ing. Nicola Curreli

Collaboratori:

Ing. Silvia Indeo

Ing. Michele Marrocu

Ing. Simona Pisano

Coordinamento V.I.A.:

SIGEA s.r.l.

Dott. Geol. Luigi Maccioni - Valutazione ambientale
ing. Manuela Maccioni - Paesaggistico

Dott. Agr. Vincenzo Satta - Agronomia, flora, fauna

Dott.ssa Daniela Deriu - specializzata in archeologia

Prof. Geol. Marco Marchi - Georisorse

Dott. Geol. Stefano Demontis - Geologia Tecnica

Dott. Geol. Valentino Demurtas Georisorse

Dott. Ing. Federico Miscali - Acustica

Dott. Ing. Massimiliano Lostia di Santa Sofia - Acustica

Dott. Ing. Michele Barca - Acustica

Dott. Michele Orrù - GIS

Studio Anemologico:

Demoenergia 2050 Srls

Studi Economici:

Dott. Daniele Meloni

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. IL PROGETTO IN SINTESI	4
2.1 – Area di Cantiere Temporaneo.....	5
2.2 - Viabilità	5
2.3 - Scavi e Riporti.....	7
2.4 - Cavidotti ed Opere Edili	8
2.5 - Stazione di Trasformazione e Cabina di Consegna.....	9
2.6 - Montaggio Aerogeneratori	10
2.7 – Rete cavidotti interrati	13
2.8 - Smantellamento opere di cantiere e pulizia	13
2.9 - Messa in esercizio dell'impianto	14
2.10 - Opere di Sistemazione Ambientale.....	14
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	15
4. MODELLO GEOLOGICO.....	17
4.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	17
4.2 - GEOLOGIA DELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO.....	24
4.3 – INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	26
4.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E CENNI IDROGRAFICI	29
5 – MODELLO GEOTECNICO	30
5.1 – PREMESSA.....	30
5.2 - LITOSTRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO.....	30
5.3 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	31
5.4 - TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE	35

5.5 – MODELLAZIONE GEOTECNICA	36
5.6 - INDAGINI PROPOSTE	37
6. MODELLO SISMICO	38
6.1 PREMESSA	38
6.2 VALUTAZIONE DI PERICOLOSITÀ' SISMICA LOCALE.....	38
6.2.1 Pericolosità sismica di base	38
6.2.2 Sismicità storica dell'area.....	41
6.3 CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI AI FINI SISMICI.....	42
6.3.1 Approccio di calcolo della Risposta Sismica Locale (RSL)	42
6.3.2 Spettro di risposta elastico	44
6.3.3 Parametri sismici dell'area di intervento	46
6.3.4 Valutazione del potenziale di liquefazione	48

1. INTRODUZIONE

La presente relazione riporta i risultati degli studi finalizzati a definire il modello geologico, sismico e geotecnico per il progetto relativo alla realizzazione di un impianto eolico, denominato "Sa Costa", che la società VEN.SAR S.r.l. con sede in Via Scano 6 - Cagliari, si propone di realizzare nei territori comunali di Mores, Ittireddu, Nugheddu San Nicolò e Bonorva in Provincia di Sassari (Fig. 1 – 2).



Figura 1 - Ubicazione progetto

L'intervento ricade nella Sardegna settentrionale nella sub regione del Mejjogu

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Istituto Geografico Militare I.G.M. in scala 1:25.000 : F. 193; Quadrante I; NE.

- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – Fogli 573-040 .e F. 573080.

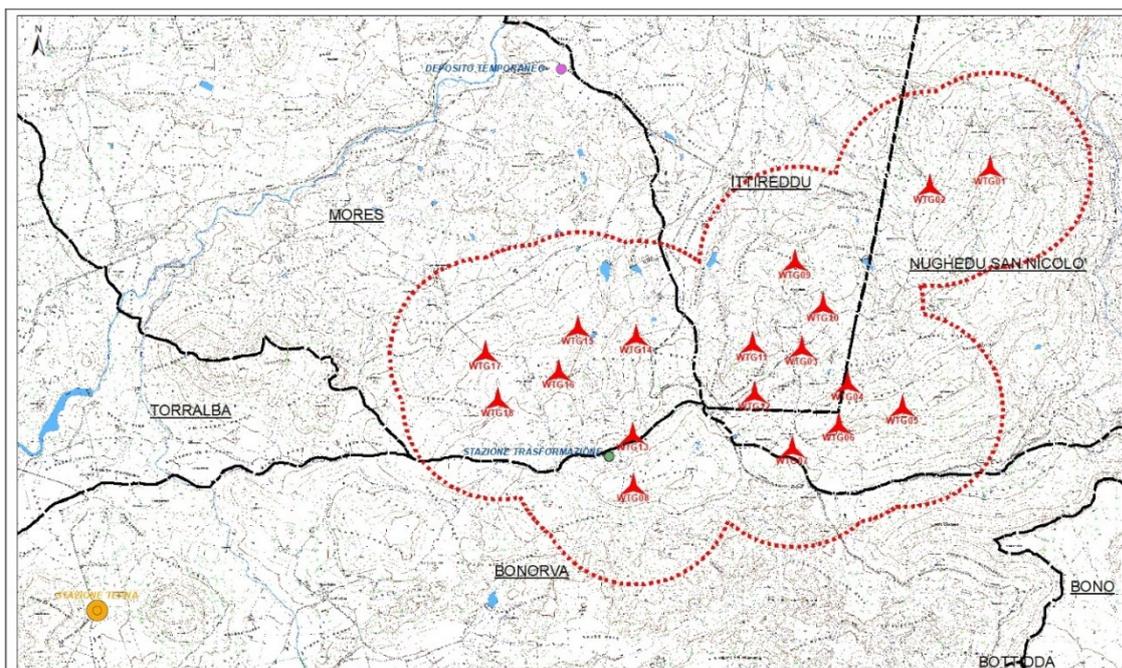


Figura 2 - Territori comunali interessati dal progetto

L'impianto in progetto si compone di 18 aerogeneratori dei quali 14 con potenza di 6,8 MW e 4 con potenza di 7,2 MW, per una potenza globale installata di 124 MW.

Gli aerogeneratori prescelti sono caratterizzati da un'altezza al mozzo di 119 mt e diametro del rotore di 162 mt. Pertanto, l'altezza massima sarà di 200 mt.

2. IL PROGETTO IN SINTESI

La realizzazione dell'impianto è stimata in 26 mesi. In ordine cronologico di esecuzione le opere da realizzare sono:

1. predisposizione area di cantiere temporaneo;
2. sistemazione e/o adeguamento della viabilità;

3. scavi e riporti per piazzole, fondazioni, sostegni e sottostazione;
4. realizzazione dei cavidotti ed opere edili sottostazione;
5. montaggio degli aerogeneratori;
6. opere di sistemazione ambientale.

2.1 – AREA DI CANTIERE TEMPORANEO

L'area di cantiere temporaneo, necessaria la logistica del personale e dei mezzi d'opera, occupa una superficie di 5.380 mq circa.

Sarà realizzata senza ricorrere ad opere permanenti e, pertanto, ripristinando a fine lavori lo stato dei luoghi nelle condizioni iniziali.

L'area sarà recintata ed organizzata in settori funzionali ad ospitare le baracche di cantiere, lo stoccaggio dei materiali, il parcheggio e la manutenzione dei mezzi etc.

L'area di cantiere temporaneo costituisce, tra l'altro, anche il luogo di transito dei componenti degli aerogeneratori.

Si precisa che sarà predisposto un settore opportunamente isolato, nel quale depositare momentaneamente eventuali terre per le quali si ravvisa la necessità di sottoporre al regime della 152/2006.

2.2 - VIABILITÀ

L'installazione degli aerogeneratori in progetto richiede l'accessibilità fino ai siti di posa, di mezzi speciali per il trasporto della componentistica delle macchine, oltre che l'accesso delle due autogrù necessarie per il montaggio delle torri, delle navicelle e dei rotor.

A tal fine ci si avvarrà del sistema della viabilità esistente basato sulle strade di importanza locale e sovralocale, che presentano caratteristiche sostanzialmente

idonee alla percorrenza dei mezzi speciali sebbene si renderanno necessari alcuni interventi puntuali di adeguamento del percorso di accesso al parco eolico.

Le caratteristiche principali dei predetti interventi sono descritte negli elaborati ricompresi dalla sigla RPS 01 alla RPS 12.

Si tratta, principalmente, di opere minimali di rimozione di cordoli, cartellonistica stradale e *guard rail*, che saranno prontamente ripristinati una volta concluse le attività di trasporto, nonché, di interventi di rimodellamento e adeguamento della viabilità interna.

Lo sviluppo lineare complessivo della viabilità funzionale alla realizzazione dell'impianto eolico in progetto sarà di 14.142 mt circa.

Le seguenti foto danno un quadro del contesto di intervento.



Foto 1 – Viabilità interna



Foto 2 - Viabilità interna

2.3 - SCAVI E RIPORTI

Gli scavi per la posa dei cavi elettrici finalizzati al trasporto della energia elettrica prodotta e per il monitoraggio e telecontrollo delle macchine, avverranno, per quanto possibile, al lato dei tracciati delle strade come evidenziato nella cartografia di progetto.

Lo sviluppo complessivo dei cavidotti è previsto in 16.882 metri, per la cui posa si stimano scavi per 14.114 mc di terre e rocce, dei quali 8.915 mc saranno utilizzati nel rinterro delle condutture, mentre la parte restante sarà conferiti a discarica.

La tabella seguente riporta il quadro riassuntivo delle volumetrie movimentate per la realizzazione delle opere dell'impianto eolico in progetto.

Fase lavorazione	Volume di Scavo m3	Volume di riutilizzo m3	Volume scarica e/o centro di recupero - m3
Area di cantiere	1.100	750	350
Piazzole	15.582	10.722	4.860
Fondazione aerogeneratori	28.340	15.614	12.726
Viabilità	12.586	4.690	7.896
Sottostazione	2.596	1.473	1.123
Cavidotti MT	9.558	5.878	3.680
Cavidotto AT	4.556	3.037	1.519
TOTALE	74.318	42164	32.154

Tabella 1 – Volumetrie previste

2.4 - CAVIDOTTI ED OPERE EDILI

Tutte le nuove linee elettriche collocate all'interno di cavidotti di idonea sezione, saranno interrate ad una profondità minima di un 1,4 metri dal piano di campagna, laddove il percorso coincide con quello della viabilità. Negli altri casi saranno interrate a profondità superiori.

Lo scavo sarà realizzato con mezzi meccanici per gran parte del tracciato ma, in prossimità di eventuali manufatti o situazioni particolari, si procederà anche manualmente.

I cavidotti saranno posati su un letto di sabbia grezza di spessore di almeno 10 cm, mentre la larghezza dello scavo entro cui saranno posati sarà di 45 cm netti (usando una benna da 50).

Insieme ai cavidotti sarà interrata una treccia di rame da 35 mmq. Il tutto sarà ricoperto da almeno 30 cm di sabbia grezza sulla quale verrà steso un corrugato da 50 mmq per alloggiare i cavi del controllo remoto che saranno ricoperti da 10 cm di sabbia. Si

procederà quindi al ricoprimento con materiale arido, avendo cura di collocare un nastro di segnalazione a circa 50 cm dal piano di campagna.

Il rinterro avverrà immediatamente, avendo cura di costipare ed eventualmente innaffiare il materiale al fine di evitare successivi cedimenti; nei brevissimi tratti interessati da pavimentazione, si procederà al ripristino dopo qualche giorno a garanzia di una migliore tenuta della stessa.

Considerato che parte del materiale di riempimento e ricoprimento dei cavi è costituito da sabbia, si avrà un surplus di materiale di scavo.

2.5 - STAZIONE DI TRASFORMAZIONE E CABINA DI CONSEGNA

Come è noto, la stazione di trasformazione è preposta ad elevare in Alta Tensione, la corrente prodotta a Media Tensione nel campo eolico, al fine di renderla idonea ad essere immessa nella rete di alta tensione esistente.

In sintesi, la stazione elettrica di trasformazione AT/MT degli impianti è costituita da:

- N.1 stalli trasformatore AT/MT;
- Viabilità di accesso alla stazione elettrica e opere di accesso e recinzione.

La sottostazione di trasformazione occuperà un'area totale di 3.000 mq, di cui 320 mq coperti.

Tutta l'area della sottostazione sarà pavimentata con un massetto di calcestruzzo. Sarà altresì recintata mediante lastre prefabbricate di cemento dello spessore di 5 cm intercalate, ogni 2,5/3 m, da sostegni prefabbricati dello stesso materiale. La recinzione, di altezza pari a 3.0 m, verrà fatta poggiare su un cordolo di calcestruzzo a filo del piano di campagna.

Per quanto concerne l'allacciamento alla RTN è previsto il collegamento della sottostazione di partenza al sistema di sbarre a 220 kV della futura stazione Elettrica di Trasformazione SE della RTN 220 kV da inserire in entra esci sulla linea 220 kV.

2.6 - MONTAGGIO AEROGENERATORI

L'installazione degli aerogeneratori viene svolto direttamente dalla ditta fornitrice che sottoscrive contratti di fornitura chiavi in mano con l'ausilio di operai specializzati e manovalanza locali.

L'installazione si articola nella seguente sequenza logica di attività:

- trasporto dei componenti in sito;
- allestimento dei componenti per il montaggio;
- montaggio principale con autogru;
- montaggio meccanico fino di dettaglio;
- cablaggio elettrico;
- commissioning.

Il trasporto dell'aerogeneratore avviene utilizzando autotreni con semirimorchi modulari (foto 3 e 4).



Foto 3 – Trasporto modulo torre



Foto 4 – trasposto pala

Il montaggio meccanico avviene secondo le seguenti fasi:

- posizionamento della stazione di trasformazione BT – MT;
- installazione del primo segmento torre e inghisaggio della base;
- installazione dei restanti segmenti torre;
- installazione del gruppo telaio;
- installazione del gruppo telaio generatore;
- installazione del gruppo rotore completo.



Foto 5 -Assemblaggio aerogeneratore



Foto 6 -Montaggio torre



Foto 7 – Installazione pale

2.7 – RETE CAVIDOTTI INTERRATI

Le connessioni degli aerogeneratori con la sottostazione di partenza saranno garantite da una rete in cavo interrato. Le interconnessioni dei singoli aerogeneratori con la sottostazione e le caratteristiche tecniche dei cavi previsti risultano nello schema elettrico.

Nei punti di intersezione tra la rete in cavo e le strade esistenti si prevede il possibile utilizzo della tecnica T.O.C. (perforazione orizzontale teleguidata). Tra le tecniche "Nodig" la T.O.C. risulta essere la meno invasiva e consente di eseguire tratte relativamente lunghe.

L'impiego di questo tipo di tecnica, nel caso di specie per i cavidotti elettrici, rende possibile l'attraversamento di criticità tipo corsi d'acqua, opere d'arte e altri ostacoli come sottoservizi, senza onerose deviazioni ma soprattutto senza alcuna movimentazione di terra all'interno dell'area critica di particolare interesse.

2.8 - SMANTELLAMENTO OPERE DI CANTIERE E PULIZIA

L'attività consiste nello smontaggio delle segnalazioni temporanee, delle delimitazioni, degli accessi e della cartellonistica, la pulizia delle aree di stoccaggio dei materiali, lo smontaggio delle attrezzature di sollevamento e ponteggio (se installate) e di tutte le recinzioni provvisorie, sbarramenti, protezioni, segnalazioni e avvisi necessari ai fini della sicurezza, nonché la dismissione di tutte le misure necessarie ad impedire la caduta accidentale di oggetti e materiali, nonché lo smantellamento dell'eventuale container adibito ad ufficio di cantiere.

2.9 - MESSA IN ESERCIZIO DELL'IMPIANTO

Al termine della realizzazione delle opere di rete, a cura del gestore, l'impianto viene messo in tensione. L'attività consiste, in questo caso, in un controllo finale dell'impianto eolico sia dal punto di vista dei collegamenti elettrici che delle regolazioni dei sistemi di supervisione e controllo.

Si procede quindi ad un controllo generale di tutte le connessioni elettriche e dei parametri di regolazione.

Questa fase permette di evitare malfunzionamenti dell'impianto, che influirebbero negativamente sulle prestazioni e quindi sulla produzione di energia elettrica.

L'impianto completato entra in funzione e viene consegnato al Committente.

2.10 - OPERE DI SISTEMAZIONE AMBIENTALE

Durante i lavori si avrà cura di asportare lo strato di suolo agrario, il quale verrà collocato all'interno dell'area di cantiere per essere riutilizzato successivamente per il ripristino della vegetazione in tutte le situazioni che andranno a produrre modifiche dell'assetto vegetazionale e della morfologia del sito.

Una volta completate le opere di montaggio la maggior parte della superficie delle piazzole provvisorie può essere smantellata e restituita alle condizioni precedenti l'intervento.

Il ripristino viene avviato immediatamente dopo il completamento delle operazioni di installazione, lasciando ai piedi della torre una piccola superficie livellata, o quasi di circa 15x15 metri, che servirà in caso di manutenzione del generatore o di sue componenti.

Il ripristino ha l'obiettivo, per quanto possibile, di riportare alle condizioni "ex ante" la morfologia del sito avvalendoci dei rilievi, delle fotografie e del medesimo materiale movimentato durante la fase di realizzazione. Successivamente, laddove necessario,

si interverrà con tecniche di ingegneria naturalistica per accelerare il rinverdimento e la ricrescita di specie erbacee autoctone.

Si procederà disponendo il suolo agrario asportato nella fase iniziale, sul quale si provvederà all'impianto di specie erbacee autoctone al fine di predisporre di una prima e rapida copertura del suolo.

L'insediamento delle specie erbacee avverrà tramite semina e spaglio, seguita da copertura con leggero strato di terreno vegetale da effettuare con rullatura o erpicatura meccanica. Trattandosi di specie erbacee pioniere autoctone appartenenti al genere graminacee, verrà garantita la copertura del suolo completa del sito nell'arco di 2 anni, favorendo nel contempo le condizioni favorevoli all'insediamento della vegetazione naturale.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo studio e le indagini sono stati eseguiti in conformità alla seguente normativa:

- d.m.11 marzo 1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Circolare del Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n.30483: istruzioni riguardanti le indagini di cui al D.M. 11 marzo 1988.
- Decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180 e successive m. e i.: "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da fenomeni franosi nella regione Campania";

- d.lgs. 31 marzo 1998, n. 112: Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59, (G.U. n. 92 del 21 aprile 1998, s.o. n. 77/L);
- o.p.c.m. del 20 marzo 2003, n. 3274: primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (Supplemento Ordinario n. 72 della Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003);
- d.m. 14 gennaio 2008, approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (Supplemento Ordinario n. 30 della Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008);
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, circolare 2 febbraio 2009 recante istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al d.m 14 gennaio 2008;
- Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica:
 1. UNI EN 1998-1:2005 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
 2. UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica:
 1. UNI EN 1997-1:2005 Parte 1: Regole generali;
 2. UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- Legge Regionale 25 novembre 2004, n. 8: Norme urgenti di provvisoria salvaguardia per la pianificazione paesaggistica e la tutela del territorio regionale.
- d.m. 17/01/2018 – Aggiornamento Norme Tecniche Costruzioni -

- Circolare C.S. LL.PP. n. 7 del 21.01.2019 «Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni» di cui al d.m. 17.01.2018»;

4. MODELLO GEOLOGICO

4.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Si premette che dell'area vasta nella quale ricade l'impianto in progetto è stata realizzata la carta geologica in scala 1:10.000 (T.I.02 - Rev 1).

L'area di progetto ricade tra i rilievi del Goceano e il versante meridionale della Piana di Chilivani.

La Piana di Chilivani costituisce, da un punto di vista geo-strutturale, una fossa tettonica (semi-graben) orientata ENE-OSO, di strutturazione terziaria oligo-miocenica, che rappresenta una delle diverse articolazioni a livello regionale, grossolanamente ortogonali alla complessa fossa tettonica principale; ovvero una diramazione laterale coniugata della più ampia fossa tettonica sarda, della quale è grossomodo coeva, che ha un andamento generale N-S.

La Fossa di Chilivani è pertanto delimitata, sia a nord che a sud, da due sistemi di faglie conosciute rispettivamente come Faglia di Berchidda e Faglia di Olbia, con le loro rispettive coniugate.

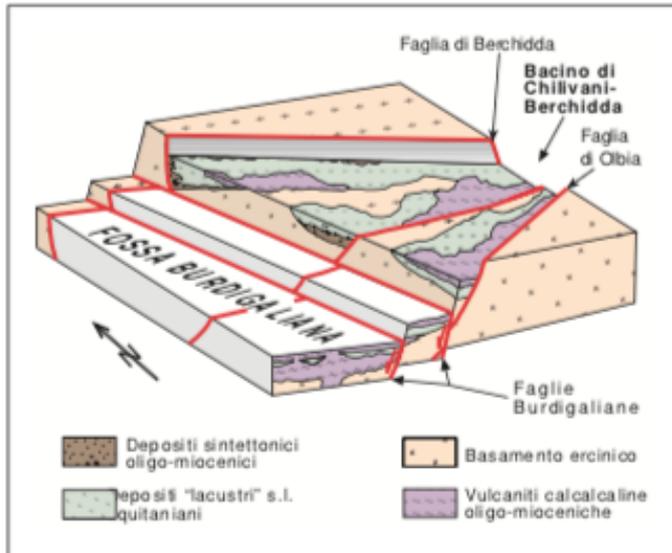


Fig. 198 - Schema dell'intersezione tra il Bacino di Chilivani-Berchidda, sviluppato lungo strutture transensive oligo-aquitane, e la parte settentrionale della Fossa sarda Auct. limitata da faglie dirette del Burdigaliano superiore.

L'horst, o alto tettonico, meridionale di questa fossa è costituito, in questo settore dai rilievi paleozoici che culminano nella Catena del Goceano, localizzati verso SE ed E. La piana di Chilivani rappresenta pertanto il vero e proprio graben, o basso tettonico.

I principali dei disturbi tettonici del settore hanno andamenti generali secondo le direttrici ENE-OSO e NNO-SSE approssimativamente. Queste faglie, connesse con la complessa evoluzione geodinamica della Sardegna, hanno età comprese tra l'Oligo-Miocene ed il Plio-Quaternario. Parte di queste fratture sono state vulcanicamente attive e produttive sia nell'Oligo-Miocene sia nel Plio-Quaternario.

Qui di seguito viene descritta la sequenza stratigrafica:

Paleozoico:

Il complesso delle rocce di questa era, definite come basamento cristallino, affiora come prima accennato a est sud-est della fossa tettonica di Chilivani ed è presente

solo marginalmente nel settore est della carta geologica allegata. Nell'allegata carta geologica è cartografato con la sigla GEN e comprende: metarenarie quarzose micacee, quarziti, filladi quarzose e filladi; l'età è compresa tra il Cambriano medio (?) e l'Ordoviciano inferiore.

A più ampia scala regionale, a formare il complessivo horst tettonico, si riscontrano anche altre formazioni costituite da metaconglomerati poligenici ed eterometrici, metagrovacche vulcaniche e metavulcaniti, metapeliti e metasiltiti con, verso l'alto della serie, metacalcari scuri e metacalcari micritici, metarenarie, quarziti e filladi del basamento di basso grado metamorfico del Goceano. Tutte queste formazioni sono presenti in affioramenti articolati e dislocati anche e soprattutto dalla tettonica ercinica. L'età di formazione di tutte queste unità si estende fino al Devoniano inferiore.

Cenozoico:

La letteratura geologica del Logudoro e del Meilogu definisce questa vasta regione della Sardegna settentrionale come un bacino intra-cratonico terziario.

Il bacino del Logudoro è un semi-graben orientato NNW, il cui riempimento è costituito da due sequenze stratigrafiche principali. La più antica di queste è una successione sedimentaria costituita da calcari litorali e sabbie alla base, seguite da marne tipiche di ambiente marino più profondo, con una età che va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano, poggia sulle sottostanti vulcaniti oligo-mioceniche ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva. Su questa superficie erosiva giace una sequenza deposizionale più giovane, che arriva fino al Tortoniano-Messiniano, costituita da sabbie fluvio-marine alla base e da calcari di piattaforma interna, ricchi in alghe. Queste due sequenze sedimentarie principali, evidenziate originariamente presso Florinas, sono state successivamente documentate in tutta la Sardegna settentrionale.

Tra le due sequenze sono evidenti i movimenti tettonici che originarono sollevamenti differenziali e, in parte, causarono l'erosione dei sedimenti della sequenza sedimentaria più antica e la deposizione di sedimenti silico-clastici di ambiente continentale e transizionale.

Gli stessi aspetti stratigrafici e strutturali sono presenti anche nel più settentrionale bacino di Porto Torres, con cui il bacino del Logudoro è collegato tramite una complessa zona di connessione.

Le caratteristiche stratigrafiche evidenziano che la strutturazione del bacino del Logudoro e delle fosse terziarie, ad andamento NNW della Sardegna settentrionale, è successiva alla tettonica che ha originato le Fosse transtensive oligo-aquitaniane a direzione ENE, quale il bacino costiero dell'Anglona, quello di Chilivani-Berchidda e quello di Ottana. Le differenze riguardano sia le direttrici strutturali che l'intera evoluzione tettono-sedimentaria. Il bacino del Logudoro ha pertanto caratteristiche tettono-sedimentarie tipiche dei bacini intracratonici. Le relazioni spaziali e temporali dei depositi vulcanici e sedimentari del bacino del Logudoro con quelli dell'adiacente bacino di Chilivani-Berchidda mostrano che la loro evoluzione non è coerente, nella Sardegna settentrionale, con un unico rift oligo-miocenico ad andamento meridiano («Fossa Sarda» Auct.).

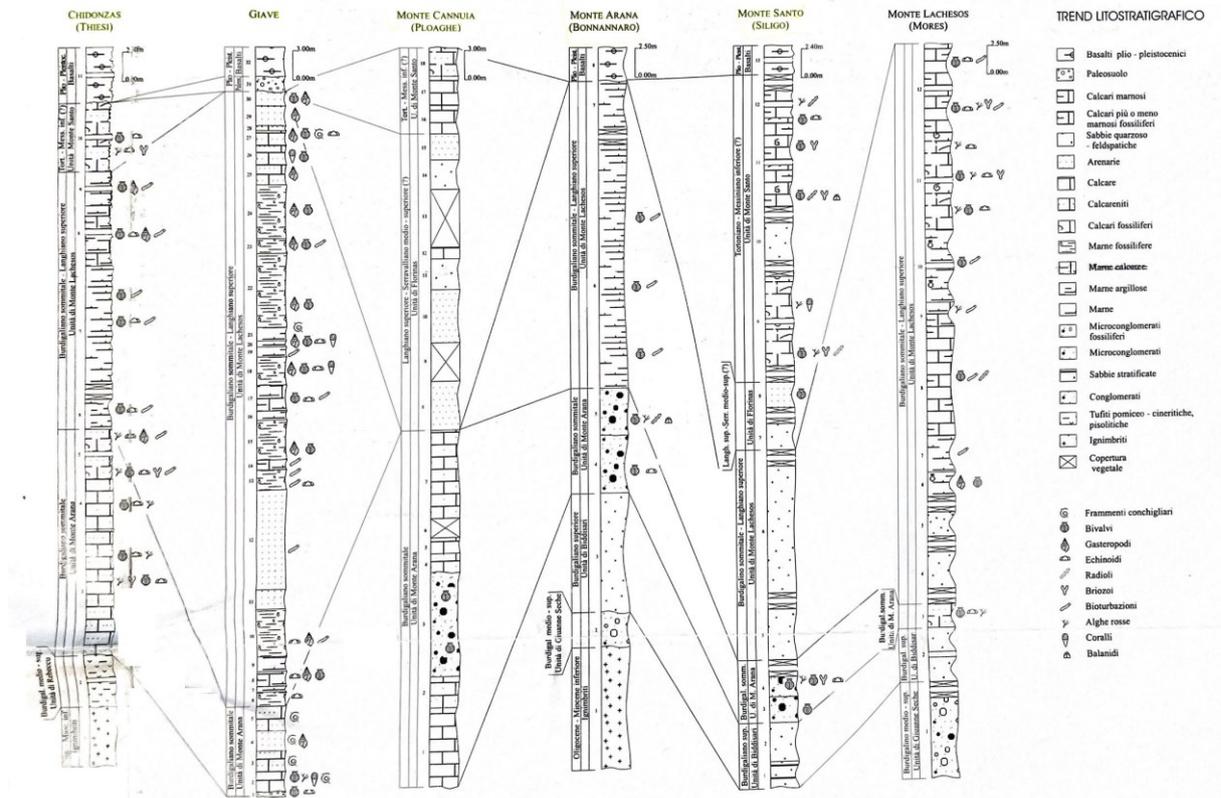
Riassumendo la sequenza stratigrafica in successione dal basso verso l'alto, si hanno:

- Duomi e colate di lave andesitiche e basaltico-andesitiche con breccie autoclastiche. 22-21 Ma (età in milioni di anni).
- Ignimbriti saldate, a tessitura eutassitica, alternate a flussi piroclastici scarsamente saldati a composizione riodacitica. 23-19 Ma.
- Duomi e colate di lave andesitiche e basaltico-andesitiche 19-18 Ma.
- Duomi e colate di lave riodacitiche con locali livelli piroclastici intercalati 17 Ma.

- Flussi piroclastici pomiceo-cineritici a composizione riolitica bianco rosati, talvolta rimaneggiati, ed epiclastiti di ambiente lacustre con intercalazioni di selci, siltiti e marne con resti di piante. Burdigaliano.
- Sabbie quarzoso-feldspatiche e conglomerati eterometrici di ambiente da conoide alluvionale a fluvio-deltizio. con elementi del basamento paleozoico e di vulcaniti oligo-mioceniche. "Formazione di Oppia Nuova". Burdigaliano ? medio-superiore.
- Biocalcareni e calcari fossiliferi litorali. Sabbie poco cementate silicee con livelli conglomeratici discontinui intercalati ai "Calcari di Mores". Burdigaliano superiore.
- Marne e calcareniti alternate a siltiti "Marne di Borutta". Langhiano.
- sabbie silicee di colore chiaro poco o niente cementate; di ambiente fluvio-marino; alla base siltiti scure e conglomerati continentali. Biocalcareni di ambiente litorale con subordinate componenti silico-clastiche di ambiente fluviale intercalate in "Sabbie di Florinas". Serravalliano(?).
- Calcari chiari bioclastici di piattaforma interna con intercalazioni silico-clastiche. "Calcari di Monte Santo". Tortoniano-?Messiniano inferiore.
- Colate e dicchi a composizione basaltica alcalina. Pliocene-Pleistocene.
- Detriti di versante; Depositi clastici di ambiente fluviale. Olocene.

Di seguito vengono riportate, in figura, le colonne stratigrafiche delle sequenze vulcaniche e sedimentarie e il trend litostratigrafico generale del settore compreso tra Bonorva e Codrongianos (da: Barca et al, 2000).

S. BARCA, C. SPANO, A. CAU, L. COTTONE, D. DEIDDA, G. SANNA



A livello regionale queste vulcaniti, di ambiente orogenico, si sono messe in posto secondo la seguente successione spazio-temporale.

Nell'intervallo di tempo compreso tra 32 e 26 Ma, lave calcalcaline intermedio-basiche (andesiti e andesiti basaltiche) si sono riversate sporadicamente all'interno ed ai bordi del graben principale e di quelli associati che attraversano la Sardegna occidentale da nord a sud. I loro prodotti sono presenti principalmente come cupole o colate laviche e, in misura minore, come corpi ipoabissali.

A partire da circa 23 Ma. flussi piroclastici altamente esplosivi (composizionalmente variabili da riodaciti a rioliti), derivanti da anatessi della crosta continentale e/o frazionamento da magmi parentali basici, si sono riversati in vasti settori dei suddetti graben, in alternanza con lave basiche, intermedie ed acide. Sia l'attività effusiva che

quella esplosiva sono continuate fino al 13 Ma circa, quando cessarono i movimenti di deriva e l'arco vulcanico sardo divenne inattivo.

La maggior parte dei prodotti di questa attività vulcanica sono stati eruttati e depositati in un ambiente subaereo. Tuttavia, in alcune aree, vulcaniti da basiche a intermedie, come lave a cuscino, ialoclastiti e brecce di esplosione, generate dall'attività vulcanica sottomarina sin-rift (nell'arco di tempo 21-18 Ma, sono anche presenti, intercalati in rocce sedimentarie). Piroclastiti di flusso a bassa saldatura (pomiceo-cineritiche), con composizioni da riolite a riodacite, eruttate da vulcani subaerei, si trovano intercalate in sedimenti marini pelagici post-rift o in ambiente fluvio-lacustre ("Lacustre" nella Valle del Tirso, nell'Anglona e nel Logudoro). Nel Logudoro, gli ultimi episodi ignimbrici, a prescindere dal grado di saldatura, hanno un carattere alto in potassio di tipo Shoshonitico. Verso la parte più bassa della piana di Chilivani e verso il bacino di Oschiri, la deposizione di queste piroclastiti in ambiente "umido" ha provocato nella parte vetrosa (ceneri e pomici) fenomeni di almirolisi per interazione con le acque, provocando incipienti argillificazioni di tipo smectitico/montmorillonitico.

In particolare, nell'area prescelta per il parco eolico, la sequenza stratigrafica è limitata alle vulcaniti oligo-mioceniche. I siti individuati per l'installazione delle torri eoliche ricadono sia sulle andesiti basaltiche (sigla CGU nella carta geologica allegata), sia sulle piroclastiti di flusso, o ignimbrici, a diverso grado di saldatura (rappresentate in carta con le sigle HVN e OER).

In sequenza, le lave andesiti basaltiche risultano le più antiche di questa serie vulcanica (Aquitaniense inferiore) e sono sormontate e ricoperte da coltri piroclastiche di flusso. Riguardo queste ultime va precisato che sono state riportate in cartografia come due unità distinte in base al loro grado di saldatura: l'unità OER (Burdigaliano) rappresenta le piroclastiti di flusso più saldate e litoidi con aspetto, il riferimento alla saldatura, quasi di lave "lava-like"; l'unità cartografica HVN (Miocene inferiore) rappresenterebbe le piroclastiti meno saldate. Nella pratica, nel settore interessato dal

parco eolico, la situazione risulta decisamente più sfumata rispetto alla cartografia. Le unità OER e HVN rappresentano aree a grado di saldatura prevalente più o meno marcata, ma tale distinzione risulta labile trovandosi, nelle due diverse formazioni suddette, piroclastiti con grado di saldatura equivalente e paragonabile, relativamente alle aree dei siti di installazione delle torri eoliche in progetto.

Completano la sequenza vulcanica oligo-miocenica lembi di piroclastiti e/o epiclastiti pomiceo-cineritici di deposizione in ambiente fluvio-lacustre con rimaneggiamenti più o meno marcati (Burdigaliano) che però non interferiscono con i siti di installazione delle torri eoliche.

Verso occidente, limitrofi all'area cartografata, affiorano depositi marini miocenici (Burdigaliano superiore). Questi sono rappresentati da calcareniti, calcari bioclastici e calcari nodulari a componente terrigena, oltre a conglomerati e sabbie con, talora, componente argillosa.

Nella parte meridionale della carta geologica, affiorano piccoli lembi di colate basaltiche plio-quadernarie, che si riscontrano in vasti espandimenti più ad ovest.

Chiudono infine la sequenza delle dei terreni affioranti i depositi olocenici costituiti da alluvioni, talora terrazzate, depositi eluvio colluviali, oltre a depositi di versante e di frana presenti sui fianchi, a ridosso delle testate degli espandimenti ignimbrici e delle colate basaltiche, nei versanti più acclivi. L'età di queste formazioni è olocenica.

4.2 - GEOLOGIA DELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO

Nell'area prescelta per il parco eolico la sequenza stratigrafica è dominata dalle vulcaniti oligo-mioceniche. I siti individuati per l'installazione delle torri eoliche, infatti, ricadono sia sulle andesiti basaltiche (sigla CGU nella carta geologica allegata), sia sulle piroclastiti di flusso, o ignimbrici, a diverso grado di saldatura (rappresentate in carta con le sigle HVN e OER). In sequenza, le lave andesiti basaltiche risultano le più

antiche di questa serie vulcanica (Aquitaniense inferiore) e sono sormontate e ricoperte da coltri piroclastiche di flusso. Riguardo queste ultime va precisato che sono state riportate in cartografia come due unità distinte in base al loro grado di saldatura: l'unità OER (Burdigaliano) rappresenta le piroclastiti di flusso più saldate e litoidi con aspetto, il riferimento alla saldatura, quasi di lave "lava-like"; l'unità cartografica HVN (Miocene inferiore) rappresenterebbe le piroclastiti meno saldate. Nella pratica, nel settore interessato dal parco eolico, la situazione risulta decisamente più sfumata rispetto alla cartografia. Le unità OER e HVN rappresentano aree a grado di saldatura prevalente più o meno marcata, ma tale distinzione risulta labile trovandosi, nelle due diverse formazioni suddette, piroclastiti con grado di saldatura equivalente e paragonabile, relativamente alle aree dei siti di installazione delle torri eoliche in progetto.

Le potenze delle vulcaniti intermedio basiche (andesiti basaltiche) in facies lavica, e delle piroclastiti ignimbriche (rioliti e riodaciti), in successioni ripetute di eventi raggiungono potenze di diverse decine di metri.

Si rimarca che dette litologie sono caratterizzate da una inesistente permeabilità per porosità e da una bassa permeabilità per fratturazione, in cui la circolazione idrica sotterranea è limitata e circoscritta lungo le principali fratturazioni.

Dal punto di vista dell'evoluzione morfologica, non si segnalano fenomeni franosi significativi, sia per la configurazione topografica caratterizzata da basse pendenze, sia per le caratteristiche geotecniche dei materiali prevalentemente rocciosi e relativamente fratturati. Pertanto, l'installazione del parco eolico, da questo punto di vista è perfettamente compatibile e non può determinare evoluzioni morfologiche negative.

4.3 – INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il paesaggio è collinare, caratterizzato da dolci rilievi che delimitano a nord e a sud la piana di Chilivani-Oschiri-Berchidda che si sviluppa da ovest ad est, drenando le acque verso il bacino del Fiume Coghinas. Ad occidente, dove iniziano ad affiorare le successioni marine mioceniche, i rilievi tendono ad assumere un aspetto tabulare in virtù delle coperture di questi sedimenti da parte di pianori vulcanici basaltici recenti.

Sempre verso ovest è presente uno spartiacque, a quote relativamente modeste tra il bacino idrografico del Coghinas e quello del Rio Mannu di Porto Torres.

L'area in cui ricade il parco eolico è caratterizzata da vulcaniti sulle quali si è evoluto un paesaggio di collina dominato da una dorsale formata da una serie di sommità allineate in direzione NE-SW.

La dorsale si sviluppa su quote variabili tra 500 e 700 m s.l.m. presso la *Punta Sordanu.*; Questa dorsale funge da linea spartiacque dalla quale si dipartono numerose incisioni che scorrono da un lato in direzione SE, dall'altro verso NW. Proprio su questo versante, esposto a nord, è prevista l'installazione degli aerogeneratori.

I versanti sono complessi con tratti moderatamente acclivi e rettilinei nella parte alta mentre le pendenze si addolciscono man mano che si procede verso il basso. Lungo il versante sono presenti piccole aree subpianeggianti in corrispondenza di ripiani.

Come si evince dalla carta delle acclività (All. T.I 03.1) della quale si riporta la legenda nella figura 3, gli aerogeneratori risultano posizionati in aree con pendenze inferiori al 15%.

Le incisioni che solcano il versante drenano le acque verso il *riu Mannu* che scorre in direzione NE lungo una valle alluvionale.

CODICI	CLASSI %	DESCRIZIONE		SIMBOLO
A1	0 - 2.5	Elevata difficoltà di drenaggio		
A2	> 2.5 - 5	Difficoltà di drenaggio		
A3	> 5 - 15	Classi per le quali devono essere consigliate attenzioni per le pratiche agricole		
A4	> 15 - 25	Rafforzamento delle misure di sistemazione idraulico-forestale		
A5	> 25 - 40	Sconsigliato qualunque intervento di dissodamento		
A6	> 40 - 60	Art. 31 PPR, Aree a forte acclività	R.D.L. 3267/1923	
A7	> 60 - 80			
A8	> 80			

Figura 3 – classi di pendenza

E' stata inoltre elaborata la carta geomorfologica (TI 04.1) in scala 1:10.000 i cui contenuti sono riportati nella seguente legenda.

LITOLOGIA DEL SUBSTRATO	
Rocce prevalentemente calcaree, anidritiche e gessose	
Rocce prevalentemente arenitiche (arenarie e sabbie)	
Rocce rudiliche (ghiaie e conglomerati)	
Rocce effusive e vulcanoclastiche	
Rocce intrusive e metamorfiche massive	
MATERIALI DELLA COPERTURA DETRITICA COLLUVIALE ED ELUVIALE	
Materiali della copertura detritica colluviale poco consolidati e costituiti da frazione limo-argillosa prevalente con subordinate inclusioni sabbioso-ghiaiose e/o di blocchi lapidei	
Materiali sciolti per accumulo detritico di falda a pezzatura minuta prevalente	
MATERIALI DEGLI ACCUMULI DI FRANA	
Materiali sciolti per accumulo di frana per crollo e colata di detriti; abbondante frazione lapidea in matrice fine scarsa o assente.	
MATERIALI ALLUVIONALI, MORENICI, LACUSTRI, PALUSTRI	
Materiali granulari più o meno addensati dei terrazzi fluviali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa	
Materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente	
FORME STRUTURALI E VULCANICHE	
Superficie subpianeggiante	
Scarpata di erosione selettiva	
Cono vulcanico	
FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITA'	
Corpo di frana di crollo	
Orlo di scarpata di degradazione	
FORME FLUVIALI E DI VERSANTE DOVUTE AL DILAVAMENTO	
Superficie a ruscellamento diffuso	
Ruscellamento concentrato	
Vallecola a V	
Vallecola a conca	
Nicchia di sorgente	
Corsa d'acqua	
FORME ANTROPICHE	
Nuraghe	
Laghetto artificiale	

Figura 4 – Legenda carta geomorfologica

In particolare, nel settore previsto per l'installazione degli aerogeneratori il paesaggio è costituito forme tabulari debolmente inclinate e vergenti verso NNO, alternate a deboli rilievi collinari a profilo convesso. Sono inoltre rappresentati rilievi, a forma conica, tipica degli apparati vulcanici di scorie (e.g.: Ittireddu).

Nelle aree interessate dalle opere in progetto il PAI non ha rilevato situazioni di pericolosità da frana. Le condizioni di stabilità sono buone in relazione alla assenza di agenti geodinamici che possano in futuro turbare il presente equilibrio.

Si segnala che non sono presenti emergenze geomorfologiche che rivestono carattere scientifico o paesaggistico.

4.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E CENNI IDROGRAFICI

Il settore ricade nel bacino idrografico del Fiume Coghinas e ne costituisce la parte più occidentale, limitrofa al bacino idrografico del Rio Mannu di Porto Torres. Le scarse precipitazioni e relativamente basse quote topografiche di questa porzione di territorio del bacino, fanno sì che gli apporti idrici al Fiume Coghinas siano praticamente irrilevanti.

I corsi d'acqua sono effimeri e si riducono quali esclusivamente a fenomeni di ruscellamento in occasione delle scarse precipitazioni.

Il settore è dominato da litologie a permeabilità da molto bassa a medio bassa per fratturazione in cui la circolazione idrica sotterranea è circoscritta principalmente lungo le linee di discontinuità tettonica e le fratturazioni. Lungo le faglie possono esserci dei circuiti preferenziali con elevate portate, caratterizzate da circolazioni profonde in contesti ristretti e limitati arealmente, come ad esempio le sorgenti termominerali di San Martino, a nord, e Santa Lucia, a sud, distanti però dal sito in esame.

Poiché le torri eoliche insistono su litologie vulcaniche oligo-mioceniche ignimbriche in preponderanza e lave andesitico-basaltiche, subordinate notoriamente impermeabili e prive di falde acquifere, l'apparato sorgentizio è pressoché assente, ed è rappresentato da qualche sorgente effimera con portate pressoché nulle in risposta quasi istantanea ai periodi di maggiore piovosità.

Identico discorso riguarda i pozzi, scavati e/o trivellati in passato per ricerche d'acqua. Questi pozzi, con esigui prelievi atti a soddisfare esclusivamente limitatissime esigenze di case campestri, sono presenti soprattutto nel settore più a nord nelle coltri alluvionali della piana di Chilivani.

In zone limitrofe al parco eolico, sono presenti alcune sorgentizi, con portate sempre molto limitate, ubicate nella serie sedimentaria miocenica che affiora ed acquista

potenza ad ovest della zona di indagine; tali formazioni non sono però presenti nelle aree interessate dal parco eolico.

In conclusione, facendo riferimento ad indagini idrogeologiche specifiche particolareggiate ed approfondite anche con perforazioni esplorative profonde fino a 300 m, tra le quali il Progetto Speciale 25 della CASMEZ "Risorse idriche sotterranee in Sardegna", si giunge alla conclusione che questa regione risulta fundamentalmente sterile sotto il profilo idrogeologico.

5 – MODELLO GEOTECNICO

5.1 – PREMESSA

In questo paragrafo si descrivono le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del sito in relazione alle problematiche individuate e alle soluzioni progettuali proposte. Il modello è stato ricavato attraverso l'esecuzione di pozzetti esplorativi eseguiti mediante escavatore a braccio rovescio associato a osservazioni di campagna e rilievi stratigrafici lungo alcuni tagli stradali.

5.2 - LITOSTRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

Dal punto di vista litologico, sotto lo strato pedogenetico argilloso di spessore sempre inferiore a 80 cm, sono state individuate 3 tipologie di terreno su cui saranno imbasate le fondazioni degli aerogeneratori:

- Andesiti Basaltiche
- Piroclastiti debolmente saldate
- Piroclastiti saldate

Si tratta di litologie aventi caratteristiche geomeccaniche da eccellenti a molto buone in quanto dotate di elevate capacità di resistenza alla compressione, in grado quindi

di sopportare i carichi previsti dalle fondazioni senza rotture e/o sensibili deformazioni. In ogni caso, su ciascuna area delle fondazioni andranno effettuate le relative verifiche strutturali e geotecniche di questo progetto definitivo, rimandando ad indagini geognostiche di dettaglio per una definizione compiuta della situazione stratigrafica e dei parametri meccanici dei punti specifici nei quali verranno realizzate le fondazioni degli aerogeneratori.

5.3 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Durante la campagna di scavo dei pozzetti geognostici sono stati prelevati campioni di terra la cui analisi ha permesso di determinare le caratteristiche delle tre tipologie rilevate riportate nella seguente tabella 2.

	Angolo di attrito ϕ (°)	Peso di volume γ (g/cm ³)	Coesione c (kg/cm ²)	Costante di winkler k (kg/cm ³)		Resistenza alla compressione σ_c (Mpa)	Modulo elastico E (kg/cm ²)
ANDESITI BASALTICHE CGU	35 - 45	2,15 - 2,4	200	8,44	46,22	2,76 - 57,65	3,2/10
PIROCLASTITI debolmente Saldate HVN	36 - 37	2,01 - 2,10	3,26	4,77	26,34	45 Mpa	03/7,6
PIROCLASTITI saldate OER	36- 37	2,3	3,26	5,03	28,44	45	03/7,6

Tabella 2 – Caratteristiche geotecniche delle litologie

Per rapporto alle tre tipologie di terreno rilevate gli aerogeneratori sono così ripartiti:

LITOLOGIA

AEROGENERATORE

Andesiti basaltiche

15 – 16 – 17 - 18

Piroclastiti debolmente saldate

3 – 7 – 8 – 9 -10 - 11 – 12 – 13 - 14

Piroclastiti saldate

1 – 2 – 4 – 5 - 6

Tabella 3 - Ripartizione aerogeneratori per litologia

Queste litologie si presentano in superficie molto alterate tanto da poter essere assimilabili a rocce deboli ($\sigma_c < 25$ Mpa), tuttavia le loro resistenza a compressione monoassiale tende ad aumentare rapidamente con la profondità. Qui di seguito vengono presentate le foto dei pozzetti con una sintetica descrizione.

POZZETTO 1 (presso WTG 18)



Profondità (m)	Descrizione	Note
0 - 0,30	Suolo argillo – sabbioso con ghiaia; colore bruno; presenza di radici poco addensato secco	
0,30 - 0,50	Roccia in disfacimento consistenza terrosa; argillo- sabbiosa con frammenti litoidi; mediamente compatto; nocciola scuro - secco	
0,5 - 1,45	Roccia in disfacimento semi-lapidea; molto alterata compatta, grigia - secca	Rifiuto a 1,45

POZZETTO 2 (WTG 16) Profondità 2,40m



Profondità (m)	Descrizione	Note
0 - 0,70	Suolo argilla con sabbia; plastico; colore marrone; poco addensato marrone scuro.	
0,70 - 2,40	Roccia granulare in disfacimento; consistenza terrosa da mediamente addensata ad addensata con frammenti lapidei; asciutta; color ocra:	Massima profondità raggiungibile

POZZETTO 3 (WTG 11) Profondità 1,9 m



Profondità (m)	Descrizione	Note
0 - 0,70	Suolo argilloso; plastico; marrone scuro con radici; umido.	
0,70 – 1,20	Roccia granulare in disfacimento (Piroclastiti lapidee) di consistenza terrosa; argillose con frammenti lapidei da mediamente addensata ad addensata con tratti semilitoidi; poco umida.	
1,20 -1,90	Piroclastiti in forma argillosa (Tufiti) argillo-sabbiosi; grigia; addensata; poco umida.	Massima profondità raggiungibile

POZZETTO 4 (WTG 3) Profondità m 0, 7



Profondità (m)	Descrizione	Note
0 - 0,20	Suolo; ciottoli immersi in una matrice sabbiosa, presenza di radici secco; Marrone scuro.	
0,20 – 0,7	Roccia in disfacimento litoide (pietraia)	rifiuto

5.4 - TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Sono previste delle fondazioni superficiali nei terreni caratterizzati dalla presenza di andesiti basaltiche e piroclastiti saldate, aventi ciascuna un volume di circa 1050 m³ mentre sono previste in questa fase delle fondazioni profonde nei terreni caratterizzati da piroclastiti debolmente saldate.

La tipologia delle opere di fondazione è consona alle caratteristiche meccaniche del terreno definite in base alla modellazione geotecnica effettuata.

Nel caso in esame, la struttura di fondazione è costituita da:

- Fondazioni dirette, per gli aerogeneratori ricadenti nelle aree caratterizzate dalla presenza di piroclastiti saldate e andesiti
- Fondazioni profonde, per gli aerogeneratori ricadenti nelle aree caratterizzate dalla presenza di piroclastiti debolmente saldate

Le fondazioni previste hanno tutte diametro pari a 25 metri, un'altezza minima di 50 cm ed un'altezza massima di 425 cm.

Come da indicazioni del fornitore degli aerogeneratori, le fondazioni dovranno avere una classe di resistenza C50/60 e nella connessione dell'anchor cage si dovrà utilizzare una malta C90/105.

La connessione tra l'aerogeneratore e la fondazione è realizzata a mezzo di 120+120 barre M36 post-tese, fornite dalla casa di produzione dell'aerogeneratore ed annegate nel getto di fondazione, e delle quali si riporta la vista isometrica.

5.5 – MODELLAZIONE GEOTECNICA

Ai fini del calcolo strutturale, il terreno sottostante l'opera viene modellato secondo lo schema di Winkler, cioè un sistema costituito da un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti. Ciò consente di ricavare le rigidità offerte dai manufatti di fondazione, siano queste profonde o superficiali, che sono state introdotte direttamente nel modello strutturale per tener conto dell'interazione opera/terreno.

5.6 - INDAGINI PROPOSTE

Come già accennato, la puntuale ed esaustiva caratterizzazione dei terreni di imposta degli aerogeneratori sarà determinata attraverso una campagna di indagini geognostiche e geofisiche così articolata:

- n° 2 pozzetti esplorativi da eseguirsi mediante escavatore a braccio rovescio spinti sino alla profondità di 3 metri dal p.c. o al raggiungimento del bed-rock qualora lo scavo risulti impedito;
- n° 1 perforazione ad andamento verticale eseguita a rotazione a carotaggio continuo, con carotieri di diametro compreso fra 86 e 127 mm, spinta sino alla profondità minima di 20 metri dal p.c.
- n° 6 indagine geofisiche mediante metodologia MASW da eseguirsi in ognuno dei sei areali in cui ricadono i seguenti gruppi di aerogeneratori:

Areale	Gruppo aerogeneratori
1	WTG 15, WTG 16, WTG 17, WTG 18
2	WTG 13, WTG 14, WTG 8,
3	WTG 9, WTG 10, WTG 11
4	WTG 3, WTG 4, WTG 12
5	WTG 5, WTG 6, WTG 7
6	WTG 1, WTG 2

La prospezione geofisica si prefigge di fornire risultati per una profondità minima pari a 30 metri relativamente a:

- Prove e analisi di laboratorio su rocce (peso di volume; prova di compressione monoassiale su provini cilindrici in controllo di carico con determinazione del carico di rottura).
- Prove e analisi di laboratorio su terre (peso di volume; prove di taglio diretto; eventuali prove di compressione edometrica e determinazione dell'indice plastico).

Le prove e analisi su roccia saranno eseguite in numero di almeno una per carotaggio. Le prove e le analisi su terre saranno meglio definite in corso di scavo e in relazione alle configurazioni geometriche finali previste dal progetto per ciascuna fondazione.

6. MODELLO SISMICO

6.1 PREMESSA

La normativa antisismica italiana disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

Con l'Ordinanza p.c.m. n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica», entrata in vigore dal 25.10.2005, in concomitanza con la pubblicazione della prima stesura delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" e dalla successiva o.p.c.m. n. 3519/2006, sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale.

6.2 VALUTAZIONE DI PERICOLOSITÀ' SISMICA LOCALE

6.2.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

In relazione alla pericolosità sismica di base, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità in funzione di altrettanti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo (ag 475), ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% attribuiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_s 30 > 800$ m/s alle quali si applicano norme tecniche differenti le costruzioni.

A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g, come riportato nella seguente tabella.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g]	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g]
1	$0,25 < a_g \leq 0,35g$	0,35g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25g$	0,25g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15g$	0,15g
4	$\leq 0,05g$	0,05g

Tabella 4 - Zona /azione sismica utile per la progettazione

La classificazione sismica del territorio nazionale è rappresentata nella figura 5 dalla quale si evince che l'intera regione Sardegna ricade in zona "4", ossia tutti i comuni sono contraddistinti da «pericolosità sismica **Bassa**» a cui corrisponde la normativa antisismica meno severa ed al parametro a_g è assegnato un valore di $0,025 \div 0,05$ g da adottare nella progettazione.

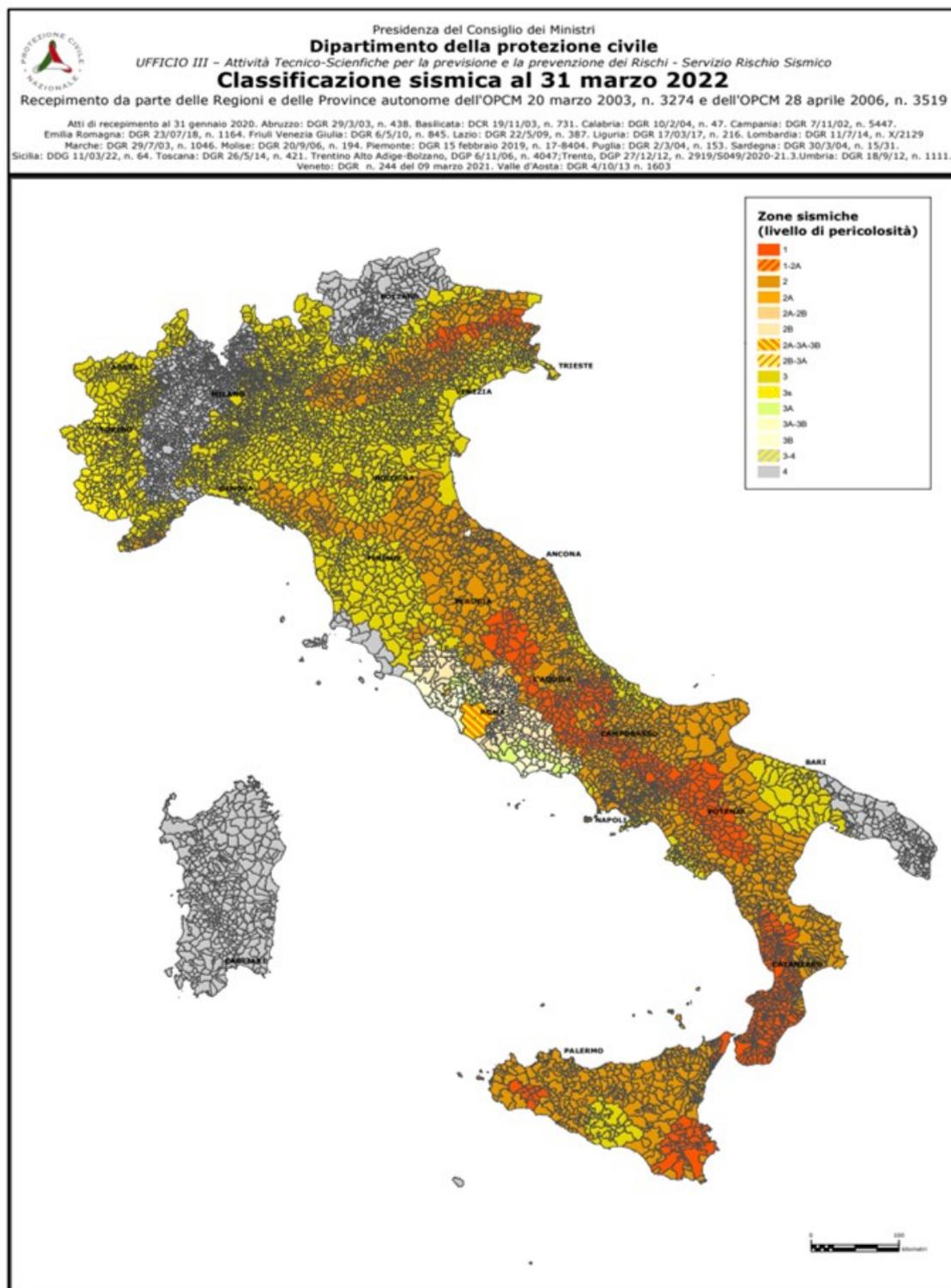


Figura 5 - Classificazione sismica al 31 marzo 2022

6.2.2 SISMICITÀ STORICA DELL'AREA.

La storia sismica del territorio interessato dall'opera in progetto è stata ricostruita attraverso il database Macrosismico Italiano e il catalogo storico.

Il primo evento storico risale al 1616 con intensità stimata 4 avvenuta a Cagliari; nel 1771 è registrato un sisma a Cagliari, Villacidro e Teulada con area epicentrale nella Sardegna Meridionale. Nel secolo successivo l'evento del 1838, il più

forte, che raggiunse il VI grado della scala Mercalli, poi nel 1850, nel 1870 e successivamente il più forte, registrato a Teulada con intensità 5 nel 1897 e con area epicentrale nel Tirreno meridionale.

Nel XX secolo si segnalano gli eventi del 1944, 1948, 1960 e del 1977. In tempi più recenti si segnala il sisma del 26 aprile 2000, del 3 marzo 2001, del 12 dicembre 2004, del 5 febbraio 2009, del 9 novembre del 2010 (grado 3.3 della scala Richter) che ha colpito il settore NO della Sardegna. Nel medio Campidano, si segnalano quelli del: 13 luglio 2006, magnitudo 2,7 a 10 km di profondità con epicentro Capoterra; 23 aprile 2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro Pabillonis; 2 ottobre 2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro tra Pabillonis e Guspini.

Infine, nel 2011, in cui una serie di sismi con epicentro nel settore poco a ovest della Corsica sono stati registrati anche nel settore settentrionale della Sardegna.

Si tratta, pertanto, di eventi di bassa energia, generalmente con intensità inferiore a 5, rari e piuttosto superficiali (profondità inferiori a 20 km). Dal punto di vista della pericolosità sismica, ossia della probabilità di occorrenza di questi eventi, il livello è così basso che non è possibile valutare in maniera adeguata e affidabile; pertanto, per tutta la Sardegna è stato assegnato un valore di "default" di accelerazione massima molto pari a 0,050 g.

6.3 CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI AI FINI SISMICI

Per la definizione delle azioni sismiche di progetto, ai sensi del d.m. del 17.01.2018 deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale.

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_s eq di propagazione delle onde di taglio entro gli strati caratterizzati da una velocità delle onde sismiche inferiore a 800 m/s. Per identificare la categoria di sottosuolo finalizzata alla definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 5, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

6.3.1 APPROCCIO DI CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

I valori di V_s eq possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito (Es. prove penetrometriche).

Di seguito è riportata la suddivisione del sottosuolo in categorie in base al d.m. 17 gennaio 2018 - Tab. 3.2.II - "Norme tecniche per le costruzioni".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente</i>

	consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti 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 5- Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato dal d.m. 17/2018 -- Tab. 3.2.II

Nel caso specifico, in relazione all'assetto geologico e da quanto emerso dall'esame delle stratigrafie di indagini eseguite si ritiene verosimile l'appartenenza alla categoria di sottosuolo A.

La normativa contempla anche le condizioni morfologiche del sito in esame; essa per configurazioni topografiche superficiali semplici, individua le seguenti classi:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 6 - Categorie topografiche d.m. 17/2018 - Tab. 3.2.III

L'area in oggetto è posizionata su pendii con inclinazione media inferiore a 15%, pertanto appartiene alla categoria **T1**.

6.3.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri sul sito di riferimento rigido orizzontale:

- **ag** - accelerazione orizzontale massima al sito
- **F_o** - valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- **T_c**- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Poiché le probabilità PVR di superamento nel periodo di riferimento VR variano al variare dello stato limite considerato, nelle verifiche devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo e di esercizio. In particolare, sono da valutare gli Stati Limite di Esercizio SLO (Stato Limite di Operatività) e SLD (Stato Limite di Danno) e gli Stati Limite Ultimi SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) e SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso). Per la determinazione di a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido) è indispensabile conoscere le coordinate geografiche decimali dell'opera da verificare che nel caso in esame sono state poste come latitudine 40.49727 e longitudine 8.90411 (Aerogeneratore WTG11)

I valori di a_g , F_o e T_c^* per gli "stati limite di esercizio", SLO e SLD, e per gli "stati limite ultimi", SLC e SLD, sono calcolati con interpolazione basata sulle distanze, per maglie di riferimento rappresentative dell'intera area nella quale dovranno essere attuati gli interventi, utilizzando la classe d'uso I di cui alla tabella successiva.

CLASSE I	Presenza occasionale di persone, edifici agricoli
CLASSE II	Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziale. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente.
CLASSE III	Affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti con attività particolarmente pericolose per l'ambiente
CLASSE IV	Funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente.

Tabella 7 – Classi d'uso

I dati sismici locali sono calcolati sulla base della Vita nominale V_N di un'opera, convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. Nelle NTC 2018 i valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella seguente.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	≤ 10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	≥ 50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	≥ 100

Tabella 8 - Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per diversi tipi di costruzioni

Nel caso in esame si tratta di costruzioni con livelli di prestazioni ordinari " V_N ."

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate, inoltre, in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U

$$V_R = V_N \cdot C_U.$$

Nelle NTC 2018 scompare la limitazione di 35 anni come periodo minimo di riferimento per la valutazione dell'azione sismica. Questo comporta valutazioni differenti del periodo di ritorno T_R per le Costruzioni temporanee e provvisorie. Rimangono inalterati i valori del coefficiente d'uso C_U , definito al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 9.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 9- Valori del coefficiente d'uso C_U

Vita Nominale	Classe d'uso dell'opera	Periodo di riferimento per l'azione sismica
$V_N \geq 50$	II	$V_R = 50$

Tabella 10 - - valori caratteristici del sito

6.3.3 PARAMETRI SISMICI DELL'AREA DI INTERVENTO

In base ai dati di localizzazione, tipologia dell'opera e classe d'uso sono stati calcolati i parametri sismici relativi alle verifiche SLO, SLD, SLE e SLC

Per quanto sopra, posto come coordinate geografiche dell'area:

Latitudine 40°29'53.86"; Longitudine 8°54'20.81",

per VR=50 anni si ottengono i seguenti periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite di Operatività SLO, Stato Limite del Danno SLD, Stato Limite di Salvaguardia dell'Esercizio SLE e Stato Limite di prevenzione del Collasso SLC:

81% Operatività (SLO) TR = 50 anni

63% Danno (SLD) TR = 50 anni

10% Salvaguardia Esercizio (SLE) TR = 475 anni

5% Collasso (SLC) TR = 975 anni

Le forme spettrali previste dalle NTC/2018 definite dai parametri a_g , F_o , e T_c^* (calcolati con il programma AMV Software company) sono riportate nella tabella sottostante.

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g/g	F_o	T_c^*
SLO	50	0,0186	2,61	0,27
SLD	50	0,0235	2,67	0,3
SLV	475	0,05	2,88	0,34
SLC	975	0,0603	2,98	0,37

Tabella 11 - Forme spettrali previste dalle NTC/2018

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max} si ricava dal valore dell'accelerazione orizzontale massima del sito a_g su suolo rigido con la seguente relazione

$$a_{max} = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$

in cui

S_S coefficiente di amplificazione stratigrafica indicato nella Tab. 3.2.II delle NTC/2018 relativo a ciascuna classe di sottosuolo.

S_T coefficiente di amplificazione topografica riportato nella Tab. 3.2.III delle NTC/2018.

Utilizzando per i terreni in esame un sottosuolo di categoria A, quindi caratterizzati da un coefficiente $S_S=1$ ed essendo la morfologia dell'area pianeggiante, quindi una configurazione topografica di categoria T1 ($S_T=1$), le accelerazioni orizzontali massime del sito riferite ai vari stati limite sono le seguenti:

STATO LIMITE		a_{max}
Stati limiti di esercizio	SLO	0,01302
	SLD	0,01645
Stati limiti ultimi	SLE	0,035
	SLC	0,04221

Tabella 12– valori a_{max}

6.3.4 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La liquefazione dei terreni avviene soprattutto nelle litologie costituite da sabbie fini, da limi saturi quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e, conseguentemente, gli sforzi efficaci da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero. Le verifiche vengono omesse in quanto le caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche e sismiche nell'area permettono di escludere l'instaurarsi di fenomeni di liquefazione.