



REGIONE SARDEGNA



PROVINCIA SUD SARDEGNA



SEUI



ESCALAPLANO



ESTERZILI

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO
 COMPOSTO DA 12 AEROGENERATORI CON POTENZA COMPLESSIVA DI
 57 MW NEL COMUNE DI SEUI (SU), CON OPERE CONNESSE NEI COMUNI
 DI SEUI (SU), ESCALAPLANO (SU) ED ESTERZILI (SU)**



<p>PropONENTE</p>	 <p>LOTO RINNOVABILI SRL Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:lotorinnovabili@legalmail.it</p>				
<p>PROGETTAZIONE</p>	 <p>AGREENPOWER s.r.l. Sede legale: Via Serra, 44 09038 Serramanna (SU) - ITALIA Email: info@agreenpower.it</p> <p style="text-align: right;">Gruppo di lavoro: Ing. Simone Abis - Civile Ambientale Ing. Michele Angei - Elettrico Ing. Enea Tocco - Civile Ambientale Ing. Stefano Fanti - Civile Ambientale Dott. Gianluca Fadda</p> <p style="text-align: right;">Collaboratori: Vamirgeind Ambiente Geologia e Geofisica S.r.l. Ing. Gianluca Vultaggio - Tekto Studio Ing. Nicola Sollai - Strutturista Dott.ssa Archeologa Manuela Simbula Dott. Naturalista Francesco Mascia Dott. Agronomo Vincenzo Sechi Ing. Federico Miscali - Tecnico Acustica Dott. Geologo Luigi Sanciu Ing. Luigi Cuccu - Elettrotecnico Ing. Davide Medici - Analisi Anemologica</p>				
<p>ELABORATO</p>	<p>Nome Elaborato:</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, IDROGEOLOGICA E COMPATIBILITÀ IDRAULICA</p>				
<p>00</p>	<p>Novembre 2022</p>	<p>Prima emissione</p>	<p>L.Sanciu</p>	<p>Agreenpower Srl</p>	<p>Agreenpower Srl</p>
<p>Rev.</p>	<p>Data</p>	<p>Oggetto della revisione</p>	<p>Elaborazione</p>	<p>Verifica</p>	<p>Approvazione</p>
<p>Scala:</p>					
<p>Formato:</p>	<p>A4</p>	<p>Codice Commessa W2203SEU</p>	<p>Codice Elaborato</p>	<p>RELO5</p>	

INDICE

PREMESSA	2
1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2. DETTAGLI PROGETTUALI	4
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
4. VINCOLISTICA	6
4.1 Interazione con il Piano di stralcio di bacino	6
4.2 Interazione con il piano stralcio fasce fluviali	7
5. MODELLO GEOLOGICO	8
5.1 Descrizione geologica di dettaglio	8
5.2 Inquadramento geomorfologico	12
5.3 Inquadramento idrogeologico	13
5.4 Inquadramento climatologico	14
6. RELAZIONE SISMICA	15
6.1 Sismica di base	17
7. MODELLO GEOTECNICO	20
7.1 Progetto indagine geognostica	20
7.2 Stratigrafia dei terreni di fondazione	20
7.3 Considerazione geotecniche	26
8. CONCLUSIONI	28

Allegati

Carta geologica

Carta geomorfologica/idrologica

PREMESSA

Lo scrivente, Geol. Luigi Sanciu è stato incaricato dalla Società Agreenpower Srl per lo studio geologico preliminare dell'area entro la quale ricade il "*PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO SEDDA MEDDAU*". Allo scopo è stata condotta un'indagine geologica (rilevamento di terreno e verifica di fonti bibliografiche) a carattere preliminare al fine di valutarne la fattibilità e orientare correttamente le scelte progettuali come richiesto dalla normativa vigente. Il presente studio, condotto in osservanza alla normativa vigente, si prefigge di:

- definire il modello geologico di riferimento per la progettazione preliminare dell'intervento;
- evidenziare le possibili problematiche di natura geologica o geotecnica;
- fornire, ove possibile, suggerimenti per effettuare le scelte operative più idonee.

In tal senso le indagini vengono svolte con lo scopo di individuare i caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, geomorfologici, idrogeologici e di pericolosità geologica del territorio, in relazione alla realizzazione dell'intervento.

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa vigente in materia a cui si è fatto riferimento per lo svolgimento degli studi e la compilazione del presente documento tecnico è la seguente:

- 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»;
- D.M. 14.01.2018 «Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni»;
- Circolare C.S. LL.PP. n. 617 del 02.02.2009 «Istruzioni per l'applicazione delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008»;
- Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006 «Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone»;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 02.10.2003 «Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri»;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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 la costruzione in zona sismica»;
- Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 «Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica»;
- D.M. LL.PP. 11.03.1988 «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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione» e relativa Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988;
- Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche», che prevede l'obbligatorietà dell'applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero LL.PP.;
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) adottato dalla Giunta Regionale con D.G.R. n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo con Decreto Assessoriale n. 3 del 21.02.2005 con pubblicazione nel BURAS n. 8 del 11.03.2005;
- Norme di Attuazione del P.A.I. - Testo coordinato e ss.mm.

2. DETTAGLI PROGETTUALI

L'impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da n. 12 aerogeneratori di ultima generazione, del produttore NORDEX, serie Delta 4.000 modello N163/5.X TS118-00, ciascuno depotenziato a 4,75 MW, aventi altezza mozzo 118 m e diametro del rotore 163 m, per complessivi 57 MW, interamente ricadenti nei terreni del Comune di Seui (SU)", è denominato "**Parco Eolico Sedda Meddau**".

L'impianto eolico sarà del tipo *grid-connected* e l'energia elettrica prodotta sarà immessa completamente in rete, salvo gli autoconsumi di centrale.

L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori del Parco Eolico Sedda Meddau sarà raccolta attraverso una rete di cavi di potenza in Media Tensione realizzata con cavidotti interrati a 30kV e trasportata ad una sottostazione MT/AT (la Sottostazione Utente), di proprietà del Proponente, ubicata in parte nel Comune di Seui (SU) e in parte in Comune di Escalaplano (SU), dove avverrà l'elevazione di tensione 30/150kV e infine convogliata alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), secondo le modalità di connessione che sono state indicate dal Gestore Terna S.p.A. tramite apposito preventivo di connessione, la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), Codice Pratica n. 202101584, rilasciata in data 21/10/2021 e accettata dal Proponente.

Tale STMG prevede l'allaccio della SU in antenna a 150 kV con una nuova stazione elettrica (SE) di smistamento a 150 kV, di futura costruzione da parte di Terna S.p.a. (da condividere con altri Produttori e quindi a servizio di altri impianti eolici o fotovoltaici) da inserire in entra – esce alla linea RTN esistente a 150 kV "Goni – Ulassai".

In particolare, la Sottostazione Utente MT/AT è la stessa del Progetto di Parco Eolico Nuraxeddu, dello stesso Proponente il Parco Eolico Nuraxeddu.

La SE sarà collegata, tramite due nuovi elettrodotti a 150kV, con una nuova stazione elettrica di trasformazione a 380/150 kV di futura costruzione da parte di TERNA S.p.a., anch'essa da inserire in entra-esce alla linea RTN 380kV "Ittiri-Selargius". Cfr. "ELB.PE.01b Schema a blocchi opere elettriche".

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area è compresa all'interno del comune di Seui ricadente all'interno della provincia del Sud Sardegna.

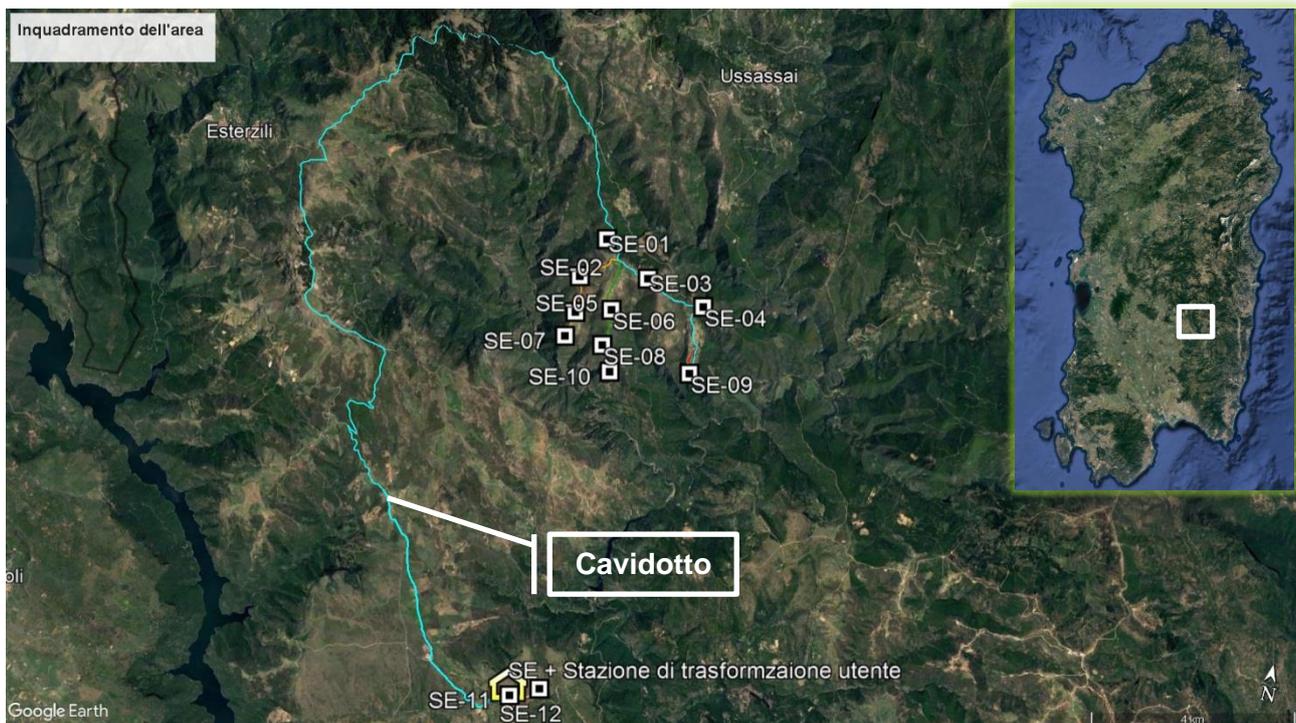


Figura 1 – Inquadramento e localizzazione degli aerogeneratori, cavidotto e stazione di trasformazione utente

Secondo la cartografia IGM (1:25000) l'area è suddivisa tra i Fogli:

541-IV (Aerogeneratori dal SE01 al SE10).

541-III (Aerogeneratori SE11 e SE12, stazione di trasformazione utente).

Secondo la Carta Tecnica Regionale della Sardegna (1:10000):

541010 (Aerogeneratori dal SE01 al SE10)

541090 (Aerogeneratori SE11 e SE12, stazione di trasformazione utente)

531130 - 530160 - 540040 -540080 - 541010 (Cavidotto).

4. VINCOLISTICA

Di seguito sono analizzate le interazioni tra le opere e gli strumenti di pianificazione, vigenti nell'area.

4.1 Interazione con il Piano di stralcio di bacino

Il Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del bacino unico della Regione Sardegna (in seguito denominato PAI) è redatto, adottato e approvato ai sensi: a. della legge 18.5.1989, n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo": Il Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto ai sensi del comma 6 ter dell'art. 17 della Legge 18.05.1989 n. 183 e successive modificazioni, è stato approvato dalla Giunta Regionale con Delibera n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo in forza del Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici in data 21.02.2005, n. 3. Prevede:

— indirizzi, azioni settoriali, norme tecniche e prescrizioni generali per la prevenzione dei pericoli e dei rischi idrogeologici nel bacino idrografico unico regionale e nelle aree di pericolosità idrogeologica;

— disciplina le aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) perimetrate nei territori dei Comuni indicati nell'Allegato A del PAI;

— disciplina le aree di pericolosità da frana molto elevata (Hg4), elevata (Hg3), media (Hg2) e moderata (Hg1) perimetrate nei territori dei Comuni indicati nell'Allegato B del PAI.

Allo stato attuale, non risultano aree perimetrate all'interno del PAI Sardegna. In base ai rilevamenti di terreno che hanno avuto lo scopo di individuare aree di criticità non contemplate dall'attuale vincolistica PAI, non sono emerse neanche in questa fase situazioni di criticità. Alla luce delle considerazioni esposte, non sono emerse condizioni tali da dover implementare il presente elaborato con uno Studio di Compatibilità Idraulica.

4.2 Interazione con il piano stralcio fasce fluviali

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali. Il PSFF costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Il Piano persegue gli obiettivi di settore, ai sensi dell'art. 3 e dell'art. 17 della L. 18 maggio 1989, n. 183, con particolare riferimento alle lettere a), b), c), i), l), m) e s) del medesimo art. 17. Il P.S.F.F. costituisce un approfondimento ed integrazione necessaria al P.A.I. in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali, funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Le fasce fluviali possono essere intese come "aree di pertinenza fluviale", individuano le aree limitrofe all'alveo inciso, interessati da espandimenti nelle fasi di piene quindi potenzialmente inondabili. Le aree appartenenti a una "classe" hanno le stesse probabilità di essere inondate in un determinato periodo di tempo (tempo di ritorno), le delimitazioni sono state effettuate in seguito ad analisi geomorfologiche e idrauliche del territorio. Tuttavia, sono stati considerati esclusivamente le aste principali dei corsi fluviali che sottendono un bacino di più di 30 km² e le fasce fluviali dei relativi affluenti, per portate di piena con tempi di ritorno T fissato in 2, 50, 100, 200 e 500 anni.

L'area del parco eolico ricade nel sub-bacino idrografico n°7 del Flumendosa-Campidano-Cixerri. I vincoli della delibera non trovano applicazione nell'area in cui verranno realizzate le opere in progetto.

5. MODELLO GEOLOGICO

L'area è ubicata nella parte centro-orientale dell'isola, al confine con le subregioni storiche Sarcidano, Salto di Quirra e Ogliastra. Il basamento più antico è costituito dalle rocce paleozoiche metamorfiche di basso grado (metarenarie e metasiltiti) definite queste ultime con il nome di "scisti". Buona parte della successione di metamorfiti è attraversata da filoni idrotermali di quarzo bianco. La parte nord della formazione è attraversata con andamento Est-Ovest da corpi vulcanici ipoabissali noti come "Porfidi quarziferi" di età permiana. Tutta l'area è caratterizzata dall'affioramento delle metamorfiti senza o con scarsa copertura di suolo.

5.1 Descrizione geologica di dettaglio

In riferimento all'area in studio (dove attualmente sono ubicati gli aerogeneratori dall' SE01 all' SE10, rettangolo in giallo) (fig. 2) le litologie affioranti nel settore, sono riportate di seguito (dalla più antica alla più recente):

- **SVI:** Arenarie di San Vito [Cambriano medio – Ordoviciano inferiore]
- **pa:** Porfiri quarziferi [Permiano]

SVI. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta risalenti ad un periodo compreso tra il Cambriano medio e l'Ordoviciano inferiore (Fig.3). La potenza è incerta e stimata nell'ordine del centinaio di metri, il limite inferiore è di natura tettonica mentre il limite superiore è influenzato dai processi erosivi. Poggiano per contatto tettonico sull'Unità tettonica del Gerrei (a sud del territorio comunale). Le metarenarie sono alternate a sedimenti più fini, trasformate in metasiltiti e metapeliti e si presentano in affioramento con un colore dal verdastro al violaceo. Suddetta formazione costituisce il substrato di fondazione degli aerogeneratori dall' SE01 all' SE10.

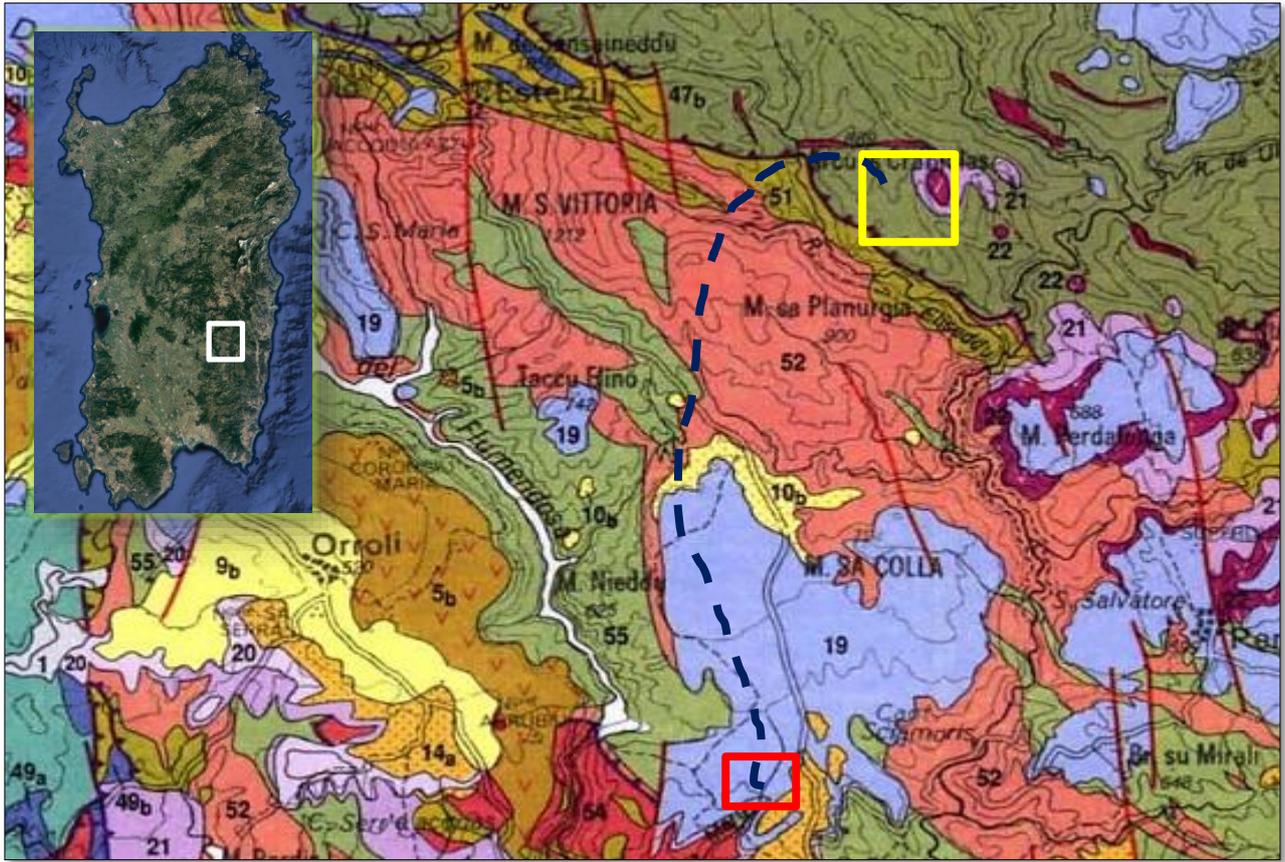


Figura 2 - Stralcio della carta geologica della Sardegna (1:200.000 – Carmignani et al.) con inquadramento dei settori oggetto di studio (si rimanda alla carta geologica allegata per maggior dettaglio).

 aerogeneratori dall' S01 al S10.

 aerogeneratori S11, S12 e stazione di trasformazione utente

 traccia del cavidotto



Figura 3 – Affioramento delle Arenarie di San Vito. L'andamento e la direzione di inclinazione degli strati sono pressoché costanti in tutta l'area.

pa. Lave in colata ed amassi subvulcanici di composizione da riolitica a dacitica, a grana da minuta a media, a struttura porfirica frequente, talvolta con evidenti strutture di flusso, rari livelli di breccie vulcaniche e tufi riolitici. Tale litologia è stata messa in posto a seguito di processi tettonici transpressivi, collegati all'apertura dei bacini permiani (piggy back basin), la colorazione delle rocce è fortemente influenzata dalle formazioni attraversate, in relazione ai diversi processi di alterazione. In bibliografia viene descritta come sequenza vulcanica caratterizzata da grande varietà di strutture da colate laviche a lave autobrecciate. (Figura 4)



Figura 4 – Filone di porfidi quarziferi.

DOR. Litologie carbonatiche a composizione variabile da termini dolomitici a termini calcarei. Strati massivi con potenze massime rilevate nell'area di circa 700m, talvolta a causa degli intensi processi di dolomitizzazione non è evidente la stratificazione. Questa formazione affiora e fa da substrato agli aerogeneratori SE11, SE12 e stazione di trasformazione utente.



Figura 5 – Contatto tra le metamorfiti della Formazione di Monte Santa Vittoria e i soprastanti calcari DOR

5.2 Inquadramento geomorfologico

In settore nord vede morfologie subpianeggianti (con una quota media di 800m), delimitato da profonde incisioni e versanti con forte acclività. Gli aerogeneratori verranno ubicati su ampie superfici pianeggianti. A scala dell'affioramento, non sono rilevabili processi morfogenetici in atto che possono interferire, direttamente o indirettamente, con le opere in progetto. Non sono neanche osservabili processi di erosione accelerata o di deflusso concentrato delle acque e risultano presenti solo fenomeni ordinari di ruscellamento diffuso (figura 6). La mancanza di cause predisponenti fenomeni di instabilità (corsi d'acqua, cornici rocciose, versanti acclivi, coperture detritiche su pendio, etc) permette di stabilire come non vi siano situazioni di pericolosità geomorfologica che possano in qualche modo compromettere la realizzazione dell'intervento.



Figura 6 – Superficie di ruscellamento superficiale tra S02 ed SE05 con indicazione di direzione di scorrimento delle acque

5.3 Inquadramento idrogeologico

La permeabilità del substrato è particolarmente bassa, così che le acque di precipitazione tendono immediatamente a defluire per ruscellamento superficiale. La fratturazione della roccia disposta con immersione a NE, fa sì che le acque di infiltrazione tendano a defluire in direzione del versante rivolto a nord dando origine ad alcune piccole manifestazioni sorgentizie a carattere perenne, pur con portate ridotte (0,2 l/s) mentre nel versante sud sono assenti. Al contrario, le coperture detritiche e alluvionali presentano un'elevata permeabilità primaria, pur non costituendo formazioni acquifere degne di rilievo. La circolazione idrica sotterranea risulta quindi limitata al livello superficiale dei versanti comprendente la coltre detritica e la porzione di roccia fratturata; in particolare, la circolazione lungo le fratture, mostra carattere locale per la presenza di riempimento di materiale fine. Il grado di permeabilità è stato valutato attraverso l'esame delle diverse caratteristiche macroscopiche quali lo stato delle fessurazioni, la disgregazione, l'alterazione e la giacitura dei litotipi, che hanno consentito di dettagliare meglio le litologie metamorfiche e carbonatiche.

- **Complesso metamorfico e filoniano SVI:** pur trattandosi di litologie impermeabili, presenta una permeabilità secondaria per fessurazione, acquisita dalla roccia successivamente alla sua formazione, pertanto la circolazione in ambito subsuperficiale è condizionata dallo stato delle fratture e dalla giacitura delle diverse famiglie di discontinuità. In generale, la formazione è scarsamente permeabile per fratturazione e presenta un coefficiente di permeabilità compreso tra $10^{-7} < K < 10^{-4}$ cm/s.
- **Unità idrogeologica carbonatico-silicoclastica mesozoica DOR:** la copertura carbonatica, con permeabilità localmente alta, dovuta alla fratturazione causata dai processi tettonici e dai fenomeni carsici (porosità secondaria). La presenza dei depositi argillosi basali permette l'affioramento della falda, dando luogo a numerose scaturigini, che in caso di condizioni giaciture favorevoli possono essere perenni anche se con portate modeste. Gli acquiferi più importanti per l'approvvigionamento idrico, sono individuabili proprio in questa unità, grazie all'alto coefficiente di immagazzinamento inoltre il tasso di evapotraspirazione è molto basso e il deflusso superficiale è praticamente inesistente.

5.4 Inquadramento climatologico

La Sardegna presenta un clima marcatamente mediterraneo insulare, caratterizzato da giornate prevalentemente soleggiate, temperature miti e piogge raramente abbondanti. Le piogge sull'isola si presentano spesso intense e non durature, a carattere di rovescio; risultano molto scarse nel Campidano e lungo le coste meridionali, ove cadono meno di 400 mm (valori confrontabili con quelli delle zone semiaride), mentre si attestano tra i 600-700 mm sulle zone interne collinari e più in generale su gran parte dell'Isola. La piovosità maggiore è raggiunta sul massiccio del Gennargentu, dove le precipitazioni possono cadere sotto forma nevosa durante la stagione invernale, superando i 1000 mm. Le correnti oceaniche influenzano maggiormente il versante occidentale della Sardegna, dove le precipitazioni localmente, superano i 700-800 mm annui, anche se, successivamente, durante l'estate, tale area risulta essere tra le più secche dell'Isola. La Sardegna, lontana dagli ostacoli orografici delle grandi masse continentali, è spesso soggetta a venti intensi in qualsiasi periodo dell'anno. I venti più frequenti e forti sono il Maestrale, lo Scirocco e il Libeccio. In inverno, lo Scirocco, richiamato da perturbazioni afromediterranee apporta intense ondate di maltempo sulla Sardegna meridionale, mentre il Libeccio ed il Maestrale favoriscono le piogge sulla parte Occidentale. Il Maestrale è anche responsabile di episodi di freddo e neve invernale, trasportando con sé l'aria artica che sfocia dalla Valle del Rodano nel Mediterraneo. In estate, lo Scirocco porta con sé aria molto calda e asciutta dai deserti nordafricani, la quale spesso si accompagna al pulviscolo sahariano e a temperature elevatissime. Tali avvezioni di aria calda annunciano l'arrivo dell'Anticiclone africano che in estate permane a lungo su queste zone del Mediterraneo. Sotto il profilo termico, la Sardegna presenta un clima molto mite con estati molto calde ed inverni miti. Le temperature medie annuali si attestano tra i 15 ed i 18°C. In estate le temperature superano i 30 °C diffusamente, financo a raggiungere la soglia dei 40 °C. D'inverno le temperature restano miti, in particolare nelle coste, mentre possono scendere sotto 0 °C sui settori interni in quota. In fig. 6 sono rapportate le precipitazioni da ottobre 2020 fino ad aprile 2022 con una chiara evidenza della situazione climatica dell'area che si evolve verso precipitazioni a carattere alluvionale, molto concentrate nel tempo e di forte intensità. Le maggiori precipitazioni (579 mm) cadono nel semestre autunno-inverno, mentre nel semestre primavera-estate cadono 223 mm di pioggia. Il mese meno piovoso risulta essere quello di luglio, in cui le precipitazioni sono pari a 18 mm.

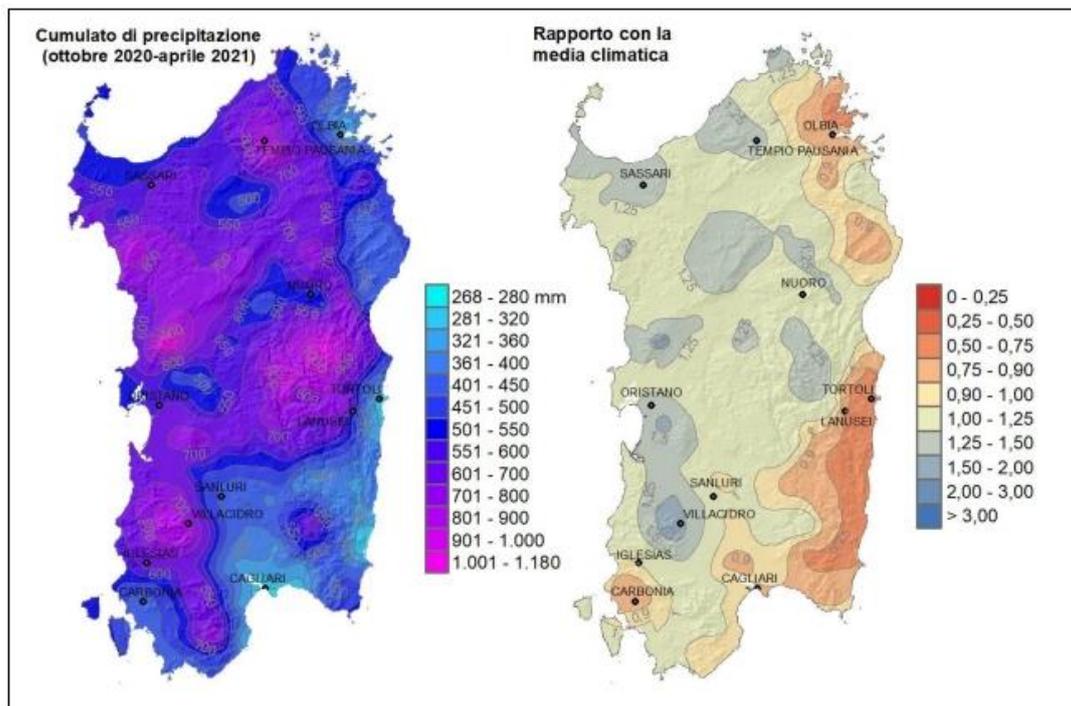


Figura 7 – Cumulativo precipitazioni del periodo ottobre 2020 – aprile 2021 paragonato con la situazione media climatica (fonte ARPAS Sardegna)

6. RELAZIONE SISMICA

Sismicità storica

La sismicità della Regione Sardegna è assai bassa. Tali evidenze sono messe in rilievo da molti indicatori, quali l'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale, che secondo qualsiasi ricostruzione, ci dice che l'intero blocco sardo-corso è rimasto stabile negli ultimi 7 milioni di anni.

Il catalogo storico dei terremoti riporta, infatti, solo due eventi nel Nord della Sardegna, entrambi di magnitudo inferiore a 5 (nel 1924 e nel 1948); il catalogo strumentale (sismicità degli ultimi 25 anni registrata dalla rete nazionale) riporta solo alcuni eventi nel Tirreno e pochissimi eventi a Sud della Sardegna (come gli ultimi eventi del marzo 2006), tutti eventi di magnitudo inferiore a 5. L'evento sismico più forte in Sardegna, infatti, è stato registrato nel 1948 nella zona tra Castelsardo e Tempio Pausania; fu un terremoto che provocò solo qualche lieve danno. Nel 2006 alcune scosse avvennero nel Golfo di Cagliari, spaventando la popolazione senza danni.

Nella zona presa in esame la situazione è analoga: non è impossibile che si verifichi qualche scossa leggera ma la probabilità è molto bassa. Si tratta, insomma, di eventi di bassa energia, e infrequenti.

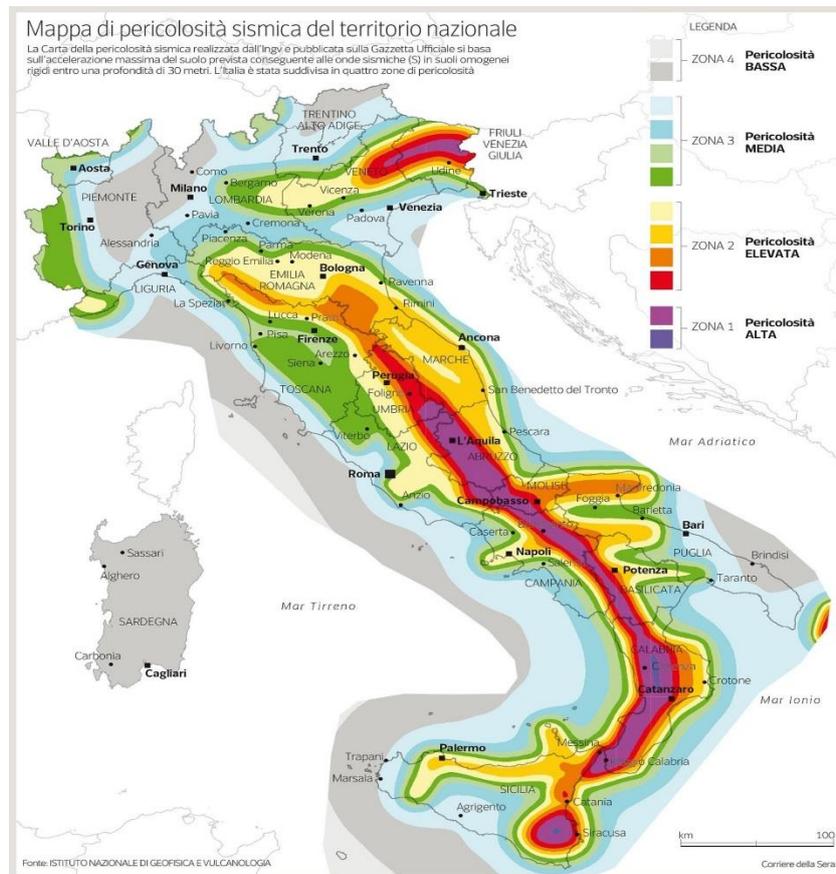


Figura 8 - Mappa della pericolosità sismica nazionale (Fonte INGV)

Dalla mappa si ricavano i valori di a_g teorici (tabella 1) a seconda della zonazione. La Sardegna ricade all'interno della Zona 4 (pericolosità bassa)

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Tabella 1 – Valori di a_g

6.1 Sismica di base

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 14.01.2008 così come gli aggiornamenti relativi di cui al D.M. 17.01.2018, introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La “pericolosità sismica di base”, di seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/> .

Le NTC introducono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Le stesse NTC forniscono, per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_r considerati dalla pericolosità sismica, tre parametri:

- a_g =accelerazione orizzontale massima del terreno (espressa in g/10);
- F_0 =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.

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito non è sintetizzata più dall'unico parametro (a_g), ma dipende dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame (Tabella A1 delle NTC), dalla Vita Nominale e dalla Classe d'Uso dell'opera. I punti del reticolo di riferimento riportati nella Tabella A1 delle NTC hanno un passo di circa 10 km e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

La rappresentazione grafica dello studio di pericolosità sismica di base dell'INGV, da cui è stata tratta la Tabella A1 delle NTC, è caratterizzata da una mappa di pericolosità Sismica del Territorio Nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo rigido (in g) in funzione della probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento considerato.

Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di a_g , F_0 , T^*c uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola e per tali valori, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B. (Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti).

Per la Regione Sardegna, l'assegnazione dei parametri per i vari tempi di ritorno è semplificata dalla tabella sottostante che assegna i singoli valori di a_g .

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantellena, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401

Tabella 2 - valori di a_g, F_o, T_C^* per la Regione Sardegna

L'attività tettonica nel settore considerato, come per tutta l'Isola, è molto bassa in virtù della generale stabilità del blocco sardo-corso negli ultimi 7 m.a. e generalmente non si rilevano deformazioni significative nel corso del tardo Quaternario (Pleistocene superiore e Olocene) se non quelle dovute a fenomeni di subsidenza. Dai dati macrosismici provenienti da studi INGV e di altri enti utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04, consultabili dal sito web "DBMI04", per l'Isola non sono segnalati eventi sismici significativi, al massimo del VI grado della scala Mercalli. Si porta ad esempio il terremoto del 04.06.1616 che 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) risalgono al 1948 (epicentro nel Canale di Sardegna, verso la Tunisia, VI grado) e al 1960 (V grado), con epicentro i dintorni di Tempio Pausania).

Degno di attenzione è sicuramente anche quello avvertito nel cagliaritano il 30.08.1977 provocato dal vulcano sottomarino Quirino mentre, più recentemente (03.03.2001) è stato registrato un sisma di magnitudo 3,3 Richter (IV grado scala Mercalli) nella costa di San Teodoro ed un sisma di analoga magnitudo il 9 novembre 2010, nella costa NW dell'Isola.

Altri episodi, con epicentro nel settore a mare poco a ovest della Corsica e della Sardegna, sono stati registrati in Sardegna nel 2011 con magnitudo compresa tra 2,1 e 5,3 di ipocentro a profondità tra 11 km e circa 40 km di profondità. Si segnalano altri terremoti tra il 2006 e il 2007 nel Medio Campidano seppure di magnitudo mai superiore a 2,7 (13.07.2006, magnitudo 2,7 a 10 km di profondità con epicentro Capoterra; 23.05.2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro Pabillonis; 02.10.2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro tra Pabillonis e Guspini).

Nell'area di interesse. La sismicità storica è stata ricostruita previa consultazione dei seguenti database resi fruibili online dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV):

CPTI15 – Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani 2015

Contiene i dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4 relativi a tutto il territorio italiano.

DBMI15 – Database macrosismico dei terremoti italiani 2015

Fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

Il catalogo storico dei terremoti, secondo i dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (sito internet www.ingv.it) indica solo 2 eventi nel nord Sardegna, entrambi di magnitudo < 5 , avvenuti nel 1838 e nel 1948. Il catalogo strumentale (sismicità degli ultimi

anni registrata dalla rete nazionale) riporta n. 9 terremoti avvenuti nel Tirreno, di magnitudo Richter < 5, ed epicentri perlopiù localizzati a largo della costa nord-orientale dell'isola e n. 2 terremoti a largo della costa meridionale.

7. MODELLO GEOTECNICO

Analizzato il contesto geomorfologico e litologico dell'area e le caratteristiche tipologiche dell'intervento in progetto dovrà essere necessariamente realizzata una campagna di indagini geognostiche a supporto della progettazione esecutiva. Tale indagine sarà finalizzata alla definizione dell'andamento stratigrafico del terreno, alla caratterizzazione geotecnica-geomeccanica dei terreni di copertura, alla valutazione dell'eventuale circolazione idrica sotterranea e alla definizione della categoria sismica del sottosuolo.

In base ai dati di rilevamento ed alla presenza nelle vicinanze di opere di fondazione per gli aerogeneratori, i terreni in oggetto mostrano una buona capacità portante sotto il primo metro dal piano di campagna. Sarà comunque imprescindibile una adeguata campagna geognostica per caratterizzare al meglio i terreni per la verifica puntuale del terreno di fondazione delle torri eoliche.

7.1 Progetto indagine geognostica

La campagna geognostica potrebbe essere articolata come segue:

- Esecuzione di n pozzetti geognostici e prelievo di campioni per analisi di laboratorio.
- Esecuzione di n prove penetrometriche dinamiche pesanti.

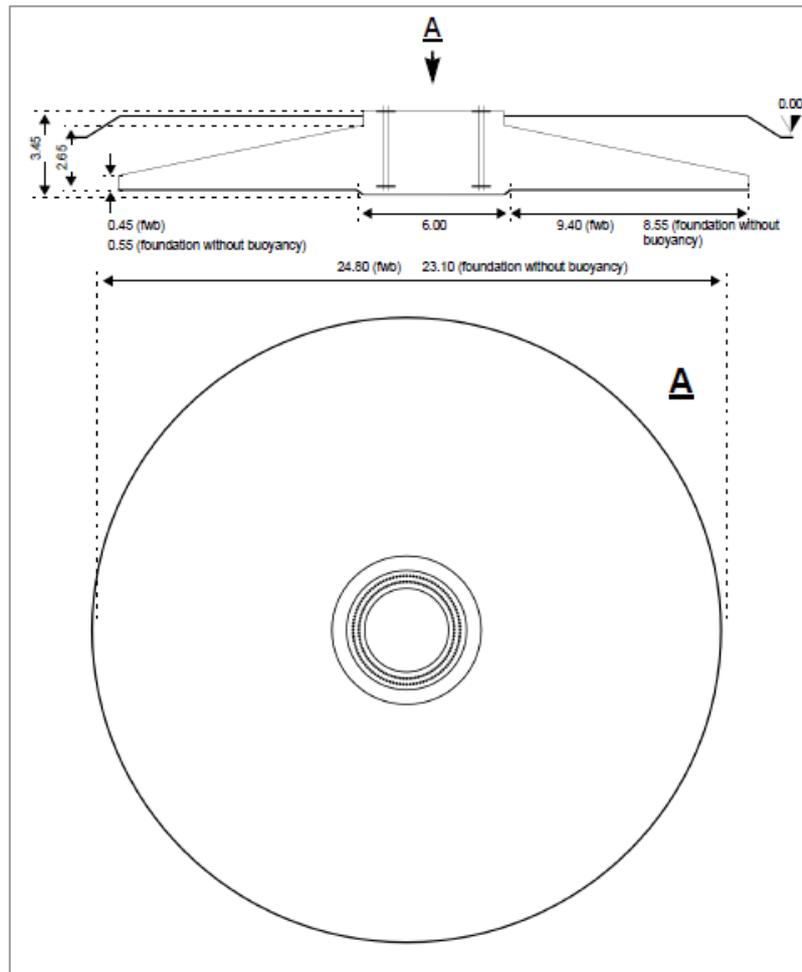
Esecuzione di MASW finalizzate rispettivamente alla estensione areale dei dati puntuali desunti dai sondaggi a carotaggio continuo e per la determinazione della $V_{s_{eq30}}$

7.2 Stratigrafia dei terreni di fondazione

La fondazione di ogni aerogeneratore è progettata come una fondazione circolare con un diametro di 24,80 m. La base ha un diametro di 6,00 m. L'altezza della fondazione è di 3,45 m dal bordo superiore della base al piano di fondazione della base, con la fossa sfalsata di 30 cm al di sotto della

fondazione. La soletta di fondazione aumenta linearmente da 0,45 m (fondazione con galleggiamento) o 0,55 m (fondazione senza galleggiamento) sul bordo a 2,65 m sul bordo superiore.

Data la natura del substrato lapideo affiorante in quasi tutta l'area oggetto di interesse, o comunque posto a profondità circa 1,5 m, non si avrà bisogno di ulteriori strutture come palificazioni o altri sistemi di sostegno delle fondazioni. Salvo diverse condizioni verificate in fase di indagine geognostica puntuale.



Tav.1 - Schema della fondazione dell'aerogeneratore.

L'area nord del parco è contraddistinta dall'affioramento delle rocce metamorfiche (SVI), caratterizzate da intensa stratificazione e blande deformazioni. Le aree individuate come piani di fondazione per gli aerogeneratori, presentano una copertura di suolo molto limitata (dell'ordine di 20-30cm) (figura 9).



Figura 9 – Area di posizionamento dell'aerogeneratore SE02. La formazione SVI affiora al di sotto della copertura del suolo.



Figura 10 - Affioramento delle metamorfite SVI nei pressi dell'aerogeneratore SE05 (ellisse tratteggiata)

L'area sud, dove da progetto dovranno sorgere gli aerogeneratori SE11 e SE12, con stazione di trasformazione utente, andranno a fondarsi sui calcari della Formazione di Dorgali (DOR). Si tratta della litologia prevalente nell'area (vedi descrizione) e consiste in calcari e dolomie affioranti o subaffioranti. La stratificazione è generalmente suborizzontale con i primi 80-90cm interessati da famiglie di giunti più o meno ortogonali che tuttavia non determinano anisotropie tali da poter essere un problema in fase di realizzazione dell'opera. Come si può osservare dalla figura 10, insiste nell'area una copertura di suolo per lo più formato dalla disgregazione dei calcari sottostanti, stimato in un massimo di 60-70cm.



Figura 11 – Area ove sorgerà la stazione di trasformazione utente.

Cabine di raccolta

Gli aerogeneratori individuati coi numeri SE-01, SE03, SE-06, definiti "master", recano nelle loro vicinanze (all'interno della piazzola nella fase di esercizio) delle "cabine di raccolta e smistamento" contenenti quadri elettrici di connessione, di dimensione 9,50 x 2,50 metri in pianta, per un'altezza di 3,20 metri. Le cabine sono di tipo prefabbricato in calcestruzzo armato, rispondenti ai dettami dimensionali e di coibentazione ENEL, e vengono portate in situ già pronte. Essendo prefabbricate, saranno rese solidali a un basamento, anch'esso prefabbricato, poggiato direttamente sul terreno, adeguatamente preparato. I basamenti prefabbricati saranno dotati di entrate e uscite per i cavi di collegamento adeguatamente protetti. Si caratterizzano quindi per la possibilità di totale rimozione, giacché anche il basamento fondale è prefabbricato e viene posizionato in situ tramite gru come il resto della cabina.

Le cabine di raccolta saranno posizionate come da schema sottostante fornito dai progettisti. Data la tipologia del prefabbricato e la sua posa, in questo caso si consiglia di fondare direttamente la struttura su substrato lapideo. Dovrà essere effettuato uno scavo di circa 80cm di profondità per la posa delle cabine, riutilizzando il materiale di risulta come parziale riempimento assieme ad uno strato di 20cm di terra stabilizzata. Dato l'esiguo carico della struttura, non sono contemplate al momento particolari prescrizioni di natura geotecnica, se non la verifica dello stato dell'ammasso roccioso dopo l'apertura dello scavo. Trattandosi di litologie metamorfiche (*Formazione delle Arenarie di S. Vito*), e quindi già soggette a fratturazione secondo i piani della scistosità, potrà essere

necessaria una verifica per eventuale presenza piccole falde superficiali, anche se a carattere effimero. Ciò servirà a prendere le dovute contromisure in fase di messa in opera delle strutture. Nel caso si dovessero presentare le condizioni su dette, sarà opportuno dimensionare un tubo di drenaggio. Al momento del rilevamento geologico, non si sono manifestate le condizioni meteo-climatiche che potessero mettere in evidenza tali fenomeni.

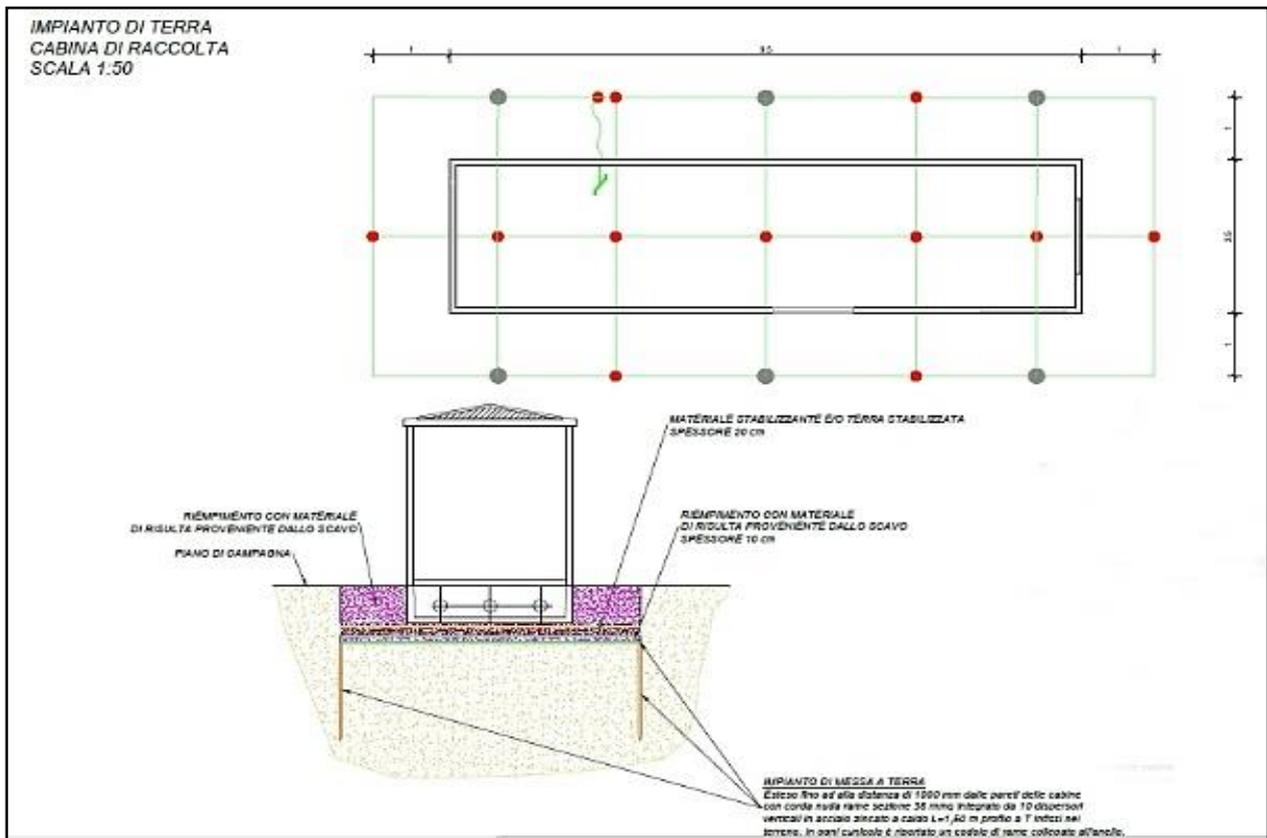


Fig.12 - Schemi costruttivi delle cabine di raccolta (non in scala)

Cavidotto

La sezione di scavo per la messa in posa dei cavidotti varia da 1-1,50 m di profondità, mentre negli attraversamenti (TOC) la profondità potrebbe superare i 2m. Per maggiori dettagli sulle sezioni di scavo dei cavidotti si veda l'Elaborato ELB.PE.01f "Tracciato elettrodotti interno MT su CTR e sezioni tipiche di scavo".

Il percorso del cavidotto partendo dagli aerogeneratori più a sud S11 ed S12, intercetterà le litologie carbonatiche mesozoiche per quasi metà dell'intero tracciato. In questo tratto la roccia carbonatica è affiorante o ricoperta da 1 – 2m di coperture alluvionali quaternarie. Il resto del tracciato è impostato su litologie metamorfiche/scistose. Anche qui affioranti o ricoperte da una coltre di depositi alluvionali o di pendio. Il materiale risultante dalle operazioni di scavo, per sua natura e composizione, potrà

essere riutilizzato per l'interramento dello scavo (in particolare per quanto riguarda le parti del cavidotto indicate nello schema 2 come "pacchetto stradale proveniente da roccia frantumata di idonea granulometria" e "materiale scavato in precedenza"). Dalla cartografia attuale, non risultano passaggi del cavidotto in zone soggette a vincolistica P.A.I.

Nella sezione tipo del cavidotto, che può variare in dimensioni a seconda del numero di cavi, manterrà comunque lo schema costruttivo.

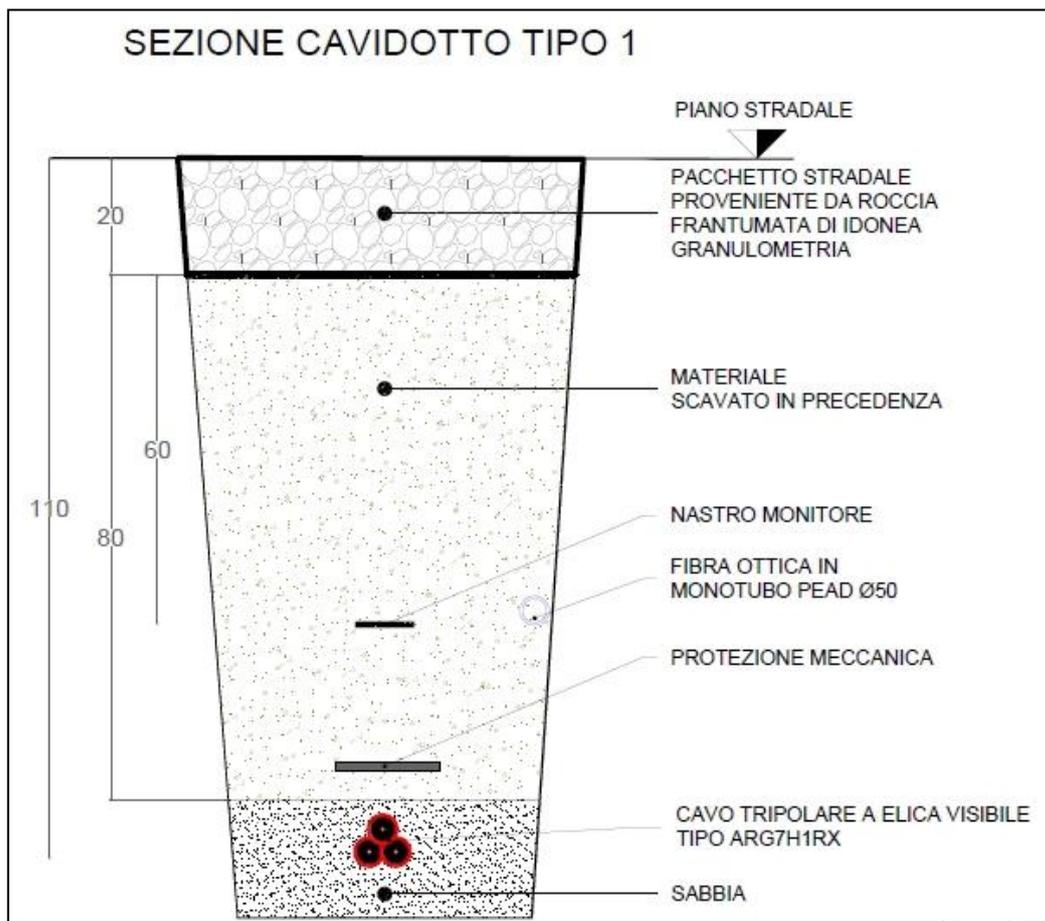


Figura 13 – Sezione-tipo di cavidotto.

7.3 Considerazione geotecniche

In base alle considerazioni fatte precedentemente, tenendo conto dei dati raccolti durante le precedenti campagne di indagini e dalle scelte eseguite in fase esecutiva, la presenza del substrato lapideo, anche con discontinuità e piccole fratturazioni garantirà la tenuta delle opere in progetto. Ferma restando la necessità di validare le valutazioni in questa sede con i dati provenienti dalle indagini geognostiche puntuali, da eseguirsi ad hoc in sede di progettazione esecutiva.

Il capitolo 6.4.2 delle N.T.C 2018 specifico delle “fondazioni superficiali” sintetizza gli accorgimenti progettuali del complesso opera-fondazione ponendo accento specifico sull’individuazione del piano di fondazione così come di seguito riportato: La profondità del piano di posa della fondazione deve essere scelta e giustificata in relazione alle caratteristiche e alle prestazioni della struttura in elevazione, alle caratteristiche del sottosuolo e alle condizioni ambientali. Il piano di fondazione deve essere situato sotto la coltre di terreno vegetale nonché sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto d’acqua. In situazioni nelle quali sono possibili fenomeni di erosione o di scalzamento da parte di acque di scorrimento superficiale, le fondazioni devono essere poste a profondità tale da non risentire di questi fenomeni o devono essere adeguatamente difese.

Considerando quanto specificato precedentemente, in via preliminare è possibile ricavare dei dati geotecnici generali, in base alla classificazione degli ammassi rocciosi che sfruttano

Il valore di resistenza a compressione monoassiale (A1), è stato stimato in fase preliminare, mancando prove di campagna o di laboratorio, osservando la risposta della roccia alla sua percussione con il martello da geologo. Nelle litologie affioranti si può ipotizzare un valore compreso tra 5-25 Mpa, a cui viene assegnato indice parziale RMR pari a 2. Al fine di avere un risultato più cautelativo si è ipotizzata la presenza di giunti umidi.

Indice parziale	Parametro	Metamorfiti fratturate	Metamorfiti fratturate (Valore Indice parziale)	Metamorfiti massive	Metamorfiti massive (Valore Indice parziale)
A1	Resistenza alla compressione monoassiale	5-25	2	5-25	2
A2	RQD %	<25	3	25-50	8
A3	Spaziatura dei giunti	< 60 mm	5	< 60 mm	5
A4	Condizioni dei giunti	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm. Giunti continui	10	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti roccia molto alterate	20
A5	Acqua	assente		assente	
	Condizioni generali	Giunti umidi	10	Giunti umidi	10
BRMR			30		45
Indice correttivo per l'orientamento dei giunti Ic (fondazioni)		-7			
	RMR		23		38
	Classe roccia		IV		IV
	Coesione (kPa)		150		225
	Angolo di attrito interno (°)		20		27.5
	Modulo elastico E (Gpa)		2.1		5.01

Il collegamento tra gli aerogeneratori sarà mediante stradelle scavate su roccia affiorante o su terreni di copertura. Il terreno asportato dalle operazioni di sbancamento sarà riutilizzato in situ per la realizzazione di piazzole o rifinitura delle stradelle stesse e non può essere considerato un rifiuto. Ciò in base alla normativa vigente ed in particolare al Art.185 c.1 lett. c) D. Lgs 152/2006 e DPR n. 120/2017 che vede “*il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato*”;

8. CONCLUSIONI

Nonostante la complessa situazione strutturale del settore, influenzata da numerose strutture tettoniche compressive e distensive e dalle interferenze tra fatturazione, stratificazione e scistosità, i terreni di natura rocciosa e quindi dotati di elevatissima portanza e stabilità nei riguardi delle sollecitazioni verticali e orizzontali dovute al peso delle costruzioni, alle spinte dei versanti e a quelle del vento.

Per la formazione dei rilevati (realizzabili col materiale litoide asportato durante il tracciato delle piste di accesso e con i detriti di copertura) non si rilevano problemi particolari data la presenza di deboli coltri di detrito di pendio e la generalmente bassa acclività dei versanti intersecati dal tracciato mentre la situazione idrogeologica dell'area non dà luogo a problemi di sorta se si prevedano idonee cunette di scolo nelle aree di impluvio.

La geomorfologia dell'area è abbastanza favorevole per la realizzazione delle opere (dato che il progetto interessa prevalentemente le creste del rilievo) e non sono stati evidenziati dissesti in atto o potenziali. Non sono presenti problemi di natura erosiva legati a acque superficiali o sotterranee (se non quelli dovuti all'asportazione della frazione fine dei suoli in caso di eccezionali eventi meteorologici) ma comunque non riportabili all'impatto derivante dal progetto in esame oltre che non pregiudizievoli per lo stesso.

In base alle caratteristiche geomeccaniche (elevata resistenza al taglio e comprimibilità quasi nulla) del substrato lapideo sul quale poggeranno le opere, si può considerare il basamento altamente performante. Da ciò si conviene che non si hanno obblighi particolari nella scelta della tipologia delle fondazioni.

In fase di avviamento dei cantieri, lo scrivente si rende disponibile per un sopralluogo per verificare le considerazioni esposte nella presente relazione.