



Comune di Ussassai, Esterzili e Escalaplano

Provincia di Nuoro e Sud Sardegna

Regione Sardegna



NUOVO IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA "SERRA JONI" NEI COMUNI DI USSASSAI (NU), ESTERZILI E ESCALAPLANO (SU)

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

Acciona Energia Global Italia S.r.l.

Via Achille Campanile, 73 - 00144 Roma

Phone: (+39) 06 50514225

PEC: accionaglobalitalia@legalmail.it



OGGETTO

2. STUDI GEOLOGICI E GEOTECNICI

STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA



**STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI**

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO

VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI

TEL. +39 011 43 77 242

studiorosso@legalmail.it

info@sria.it

www.sria.it

dott. ing. Roberto SESENNA
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.8530J
Cod. Fisc. SSN RRT 75B12 C665C

dott. geol. Francesca DEMURTAS
Ordine dei Geologi della Regione Sardegna
Posizione n.644
Cod. Fisc. DMR FNC 79S55 E441X

dott. ing. Luca DEMURTAS
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cagliari
Posizione n.6062
Cod. Fisc. DMR LCU 77E10 E441L

CONSULENZA

Coordinatore e responsabile delle attività: Dott. ing. Giorgio Efsio DEMURTAS

Consulenza studi ambientali: Dott. for. Piero RUBIU

SIATER s.r.l. VIA CASULA N. 7 - 07100 - SASSARI



VIA IS MIRRIONIS N. 178 - 09121 - CAGLIARI

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE	
DATA	DIC/2023	
COD. LAVORO	612/SR	
TIPOL. LAVORO	D	
LOTTO	-	
STRALCIO	-	
SETTORE	2	
TIPOL. ELAB.	RS	
TIPOL. DOC.	E	
ID ELABORATO	07	
VERSIONE	0	

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

geol. Francesca DEMURTAS

APPROVATO

geol. Francesca DEMURTAS

ELABORATO

D-2.7

INDICE

1. PREMESSA	2
2. QUADRO NORMATIVO	3
2.1 CRITERI DI RIFERIMENTO PER LA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA – GEOTECNICA	4
2.2 INQUADRAMENTO NEL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE.....	4
2.3 COMPATIBILITÀ DELLE OPERE CON LE PRESCRIZIONI PAI	6
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	9
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE	10
4.1 ASSETTO GEOLOGICO DI INQUADRAMENTO.....	10
4.2 CARATTERI TETTONICI E STRUTTURALI	12
4.3 ASSETTO GEOMORFOLOGICO GENERALE.....	13
5. IDROGEOLOGIA DELL'AREA	16
5.1 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA	16
5.2 CARATTERI IDROGEOLOGICI DEI TERRENI	17
6. ASPETTI LITOLOGICI LOCALI	18
7. INDAGINE GEOTECNICA	19
7.1 DISCONTINUITÀ NELL'AMMASSO ROCCIOSO	20
8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO	22
8.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	22
8.2 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	23
9. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SISTEMA FONDAZIONI – TERRENO	24
9.1 PARAMETRI GEOTECNICI	26
9.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE	27
9.3 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI	27
10. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO E CRITERI DI PROGRAMMAZIONE, RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITO ED IN LABORATORIO E TECNICHE ADOTTATE CON GIUDIZIO SULLA AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI OTTENUTI.	30
11. VERIFICA DI STABILITÀ DI PENDIO	31
12. CONCLUSIONI	32

ALLEGATI

1 - Perimetrazione su Cartografia PAI frane

1. PREMESSA

Il presente progetto riguarda la realizzazione di un nuovo parco eolico denominato "SERRA JONI" in Comune di Ussassai (provincia di Nuoro), Esterzili e Escalaplano (provincia del Sud Sardegna). Il Parco Eolico è sito nel comune di Ussassai e Esterzili, parte del cavidotto elettrico e la stazione utente di connessione alla linea elettrica nazionale ricadono invece nel territorio confinante di Seui e Escalaplano.

Il progetto prevede l'installazione di 7 aerogeneratori del tipo NORDEX N163 o similare. Gli aerogeneratori hanno potenza nominale massima pari a 7,0 MW, per una potenza complessiva massima del parco eolico pari a 49 MW. L'altezza massima delle torri sino al mozzo (HUB) è di 158.5 m, il diametro del rotore ha dimensione massima di 163 m, per un'altezza complessiva massima della struttura di 240 m. È inoltre, previsto, a integrazione dell'impianto, un sistema di accumulo elettrochimico (BESS) di potenza massima pari a 15 MW per una potenza totale in immissione pari a 64 MW, che sarà installato nei pressi della cabina di connessione in MT.

L'indagine geologica e geotecnica qui descritta, a corredo del presente studio di Compatibilità geologica e geotecnica, riguarda le opere interferenti con le aree PAI di pericolosità da frana, quali piazzole e fondazioni degli aerogeneratori WTG1, WTG2, WTG3, WTG4, WTG5 ricadenti in aree PAI Hg2 "aree a pericolosità media", e il cavidotto interrato, che segue in gran parte la viabilità esistente, interessando per alcuni tratti anch'esso aree perimetrate dal PAI, come si evidenzia nell'ALLEGATO 1 al presente elaborato. Lo studio ha lo scopo di determinare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei terreni interessati dallo sviluppo del progetto, e di un loro intorno significativo, nonché verificare la compatibilità geologica e geotecnica delle opere del presente progetto, ai sensi e in rispetto delle prescrizioni PAI.

L'analisi è stata sviluppata a partire da una verifica dei dati disponibili, di carattere bibliografico e cartografico, come cartografia geologica ufficiale e aerofotogrammetrie, sulla cui base è stato svolto un rilevamento di campagna geologico e geomorfologico, necessario alla definizione dei caratteri geostrutturali generali dell'area, delle superfici di discontinuità e gli aspetti idrogeologici e geotecnici del territorio indagato.

I dati raccolti sono stati restituiti in forma cartografica, utilizzando come base la cartografia tecnica della Regione Sardegna alla scala 1: 10.000.

Si precisa che il rilevamento geologico e le osservazioni di campagna di seguito descritte sono servite ad una descrizione preliminare delle litologie affioranti; esse dovranno essere necessariamente approfondite, in fase esecutiva, in modo da valutare nel dettaglio le caratteristiche geologiche e geotecniche in corrispondenza di ogni aerogeneratore in progetto.

2. QUADRO NORMATIVO

Il riferimento normativo principale per il presente elaborato è costituito dal "Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del bacino unico della Regione Sardegna" redatto, adottato e approvato ai sensi delle seguenti leggi:

- L. 18.5.1989, n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo", dell'articolo 1, commi 1, 4, 5 e 5-bis, del D.L. 11.6.1998, n. 180, "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", convertito con modificazioni dalla legge 3.8.1998, n. 267;
- Decreto-legge 12.10.2000, n. 279, "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali", convertito con modificazioni dalla legge 11.12.2000, n. 365;
- D.P.C.M. 29 settembre 1998, "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180";
- L.R. 22.12.1989, n. 45, "Norme per l'uso e la tutela del territorio regionale", e s.m.i., tra cui quelle della legge regionale 15.2.1996, n.9.

Nelle aree di pericolosità da frana in particolare il PAI ha le finalità di:

- garantire nel territorio della Regione Sardegna adeguati livelli di sicurezza di fronte al verificarsi di eventi idrogeologici e tutelare quindi le attività umane, i beni economici ed il patrimonio ambientale e culturale esposti a potenziali danni;
- inibire attività ed interventi capaci di ostacolare il processo verso un adeguato assetto idrogeologico di tutti i sottobacini oggetto del piano;
- costituire condizioni di base per avviare azioni di riqualificazione degli ambienti fluviali e di riqualificazione naturalistica o strutturale dei versanti in dissesto;
- stabilire disposizioni generali per il controllo della pericolosità idrogeologica diffusa in aree non perimetrate direttamente dal piano;
- impedire l'aumento delle situazioni di pericolo e delle condizioni di rischio idrogeologico esistenti alla data di approvazione del piano;
- evitare la creazione di nuove situazioni di rischio attraverso prescrizioni finalizzate a prevenire effetti negativi di attività antropiche sull'equilibrio idrogeologico dato, rendendo compatibili gli usi attuali o programmati del territorio e delle risorse con le situazioni di pericolosità idraulica e da frana individuate dal piano;

Progetto definitivo

- rendere armonico l'inserimento del PAI nel quadro della legislazione, della programmazione e della pianificazione della Regione Sardegna attraverso opportune previsioni di coordinamento;
- offrire alla pianificazione regionale di protezione civile le informazioni necessarie sulle condizioni di rischio esistenti;
- individuare e sviluppare il sistema degli interventi per ridurre o eliminare le situazioni di pericolo e le condizioni di rischio, anche allo scopo di costituire il riferimento per i programmi triennali di attuazione del PAI;
- creare la base informativa indispensabile per le politiche e le iniziative regionali in materia di delocalizzazioni e di verifiche tecniche da condurre sul rischio specifico esistente a carico di infrastrutture, impianti o insediamenti.

2.1 CRITERI DI RIFERIMENTO PER LA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA – GEOTECNICA

L'articolo 25 delle Norme di Attuazione dei PAI prescrive che i progetti proposti per l'approvazione nelle aree di pericolosità da frana molto elevata, elevata e media debbano essere accompagnati da uno studio di compatibilità geologica e geotecnica predisposto secondo i criteri indicati all'Allegato F delle N.T.A.

Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica ha l'obiettivo di valutare il progetto con riferimento alla finalità ed agli effetti ambientali; analizza le relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dei dissesti attivi o potenziali dell'area interessata, verifica e dimostra la coerenza del progetto con le previsioni e le norme del PAI, prevede adeguate misure di mitigazione e compensazione all'eventuale incremento del pericolo e del rischio sostenibile associato agli interventi in progetto. La compatibilità geologica e geotecnica dell'intervento proposto è verificata in funzione dei dissesti in atto o potenziali che definiscono la pericolosità dell'area interessata in relazione alle destinazioni e alle trasformazioni d'uso del suolo collegate alla realizzazione dell'intervento stesso.

2.2 INQUADRAMENTO NEL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE

Sulla base delle perimetrazioni relative alla pericolosità da frana del PAI regionale, alcuni aerogeneratori in progetto ricadono in aree censite dal PAI: in particolare le piazzole e relative fondazioni degli aerogeneratori WGT1, WGT2, WGT3, WGT4 e WGT5 sono perimetrate in aree a pericolosità da frana media Hg2: "Zone con frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici; zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi"; gli aerogeneratori WGT6 e WGT7 ricadono in aree a pericolosità da frana moderata Hg1: "Zone con fenomeni franosi presenti o potenziali marginali".

Dai rilievi eseguiti in loco, la collocazione delle torri eoliche, poste sui crinali dei rilievi montuosi, prevalentemente rocciosi, fa sì che non sussistano particolari situazioni di instabilità geomorfologica né in atto né potenziale: la pericolosità da frana censita nel settore è verosimilmente dovuta a incrementi di pendenza dei

Progetto definitivo

versanti, non interessati dalle opere di progetto, e alla presenza di compluvi dove comunque non sono presenti indizi di dinamiche geomorfologiche in corso. La posizione degli aerogeneratori è stata qui valutata al fine di prediligere aree pianeggianti che non mostrano alcun elemento di pericolosità geomorfologica apprezzabile, in quanto distanti dai versanti e dai punti di maggior declivio.

Il cavidotto interrato in progetto seguirà in gran parte la viabilità stradale esistente: esso verrà collocato all'interno dell'attuale cassonetto stradale così come da progetto; pertanto, le interferenze evidenziate non generano alcuna modifica dell'assetto geomorfologico esistente.

Nell'Allegato 1 alla presente relazione è riportato l'inquadramento del progetto sulla cartografia PAI frana, mentre nella tavola "D.3.2 – Carta della rete idrografica e delle interferenze idrauliche" allegata al progetto sono individuate le interferenze delle opere di progetto con il reticolo idrografico art. 30 ter N.T.A. del PAI e la pericolosità idraulica individuata nel territorio.

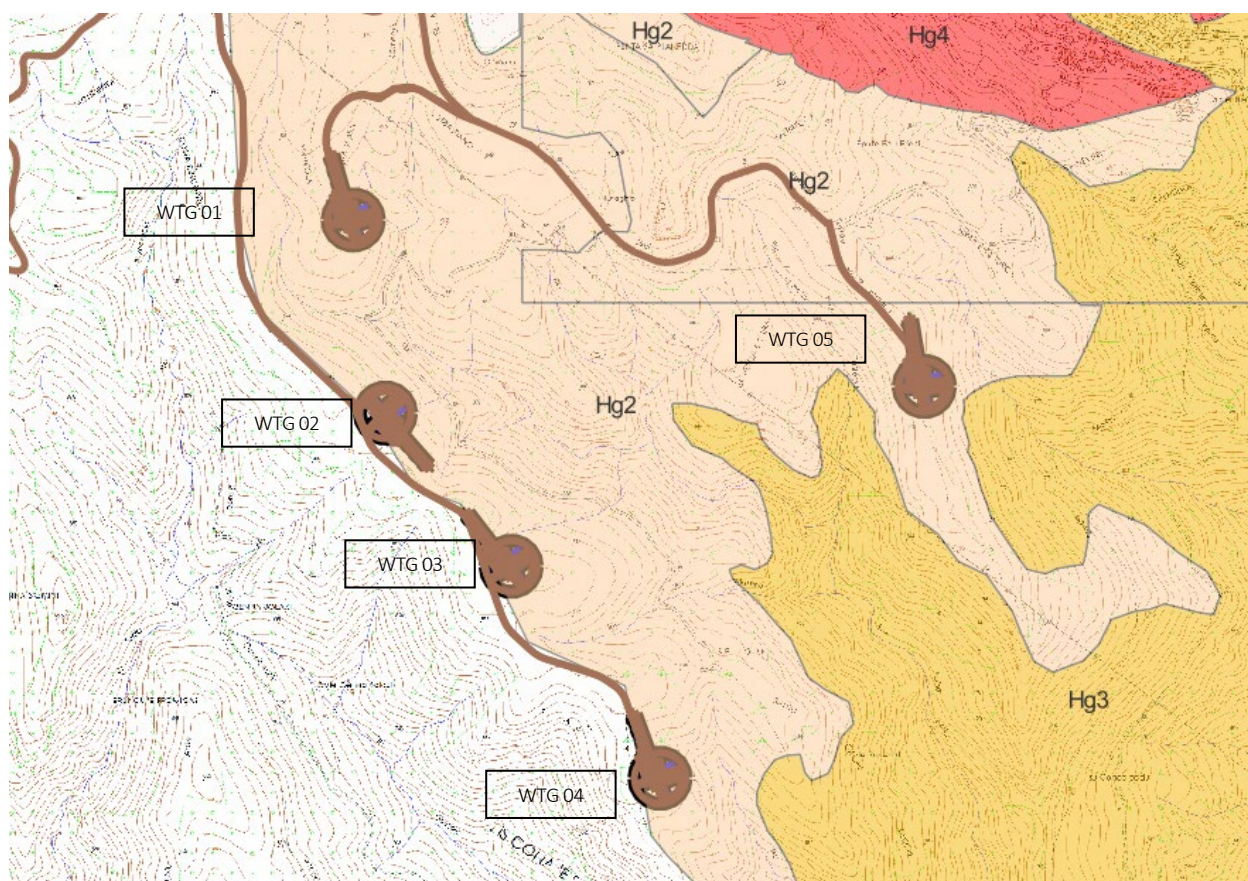


Figura 1 – Particolare dell'ubicazione degli aerogeneratori WTG 1, 2, 3, 4 e 5 su planimetria PAI frana, ricadenti in area Hg 2.

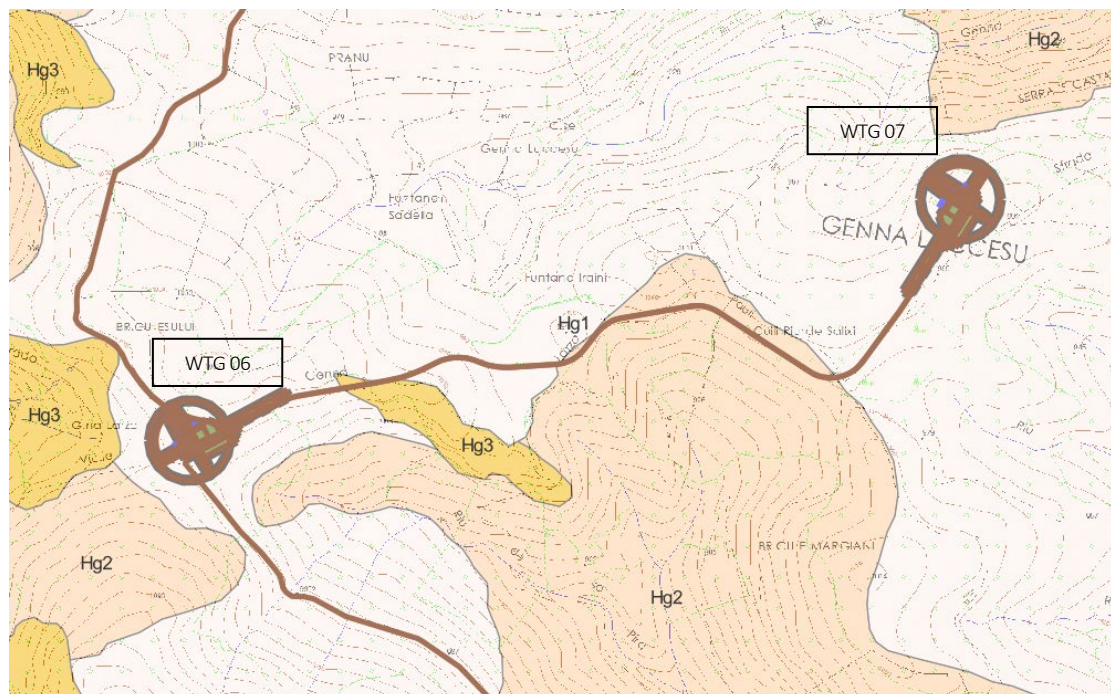


Figura 2 - Particolare dell'ubicazione degli aerogeneratori WTG 6 e 7 su planimetria PAI frana, ricadenti in area Hg 1.

2.3 COMPATIBILITÀ DELLE OPERE CON LE PRESCRIZIONI PAI

Relativamente alle aree cartografate a pericolosità da frana, si evidenzia l'interferenza delle torri eoliche e delle relative fondazioni delle WGT1, WGT2, WGT3, WGT4 e WGT5 in aree Hg2, mentre per le torri WTG 6 e WTG 7 in aree Hg1. L'art. 33 delle N.T.A. del PAI Disciplina le aree di pericolosità media da frana (Hg2), il quale definisce: << 1) Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25 delle N.T.A. del PAI, nelle aree a Pericolosità media da frana sono consentiti tutti gli interventi, le opere e le attività ammessi nella pericolosità molto elevata da frana, alle medesime condizioni stabilite negli articoli 31 e 32. ... 3) In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità media da frana sono inoltre consentiti esclusivamente: a) gli ampliamenti, le ristrutturazioni e le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici; >>

Inoltre, alcuni tratti del cavidotto in progetto interferiscono con aree a pericolosità Hg1, Hg2 e Hg3 (per quest'ultimo caso per un tratto limitato pari a 170 m totali su strada asfaltata esistente, vedi Figura 3), così come l'ultimo tratto del cavidotto di collegamento alla Sottostazione elettrica utente e di trasformazione ricadono in area Hg1.

Progetto definitivo

Viste le prescrizioni delle N.T.A. del PAI, considerando le aree a pericolosità maggiore Hg3, la posa del cavidotto in progetto, che andrà a realizzarsi su strade già esistenti, è coerente con le previsioni e le norme del PAI, in quanto all'Art. 31, comma 3 prescrivono "In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente" e: "allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti"; ... i: "ampliamenti, ristrutturazioni e nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici."

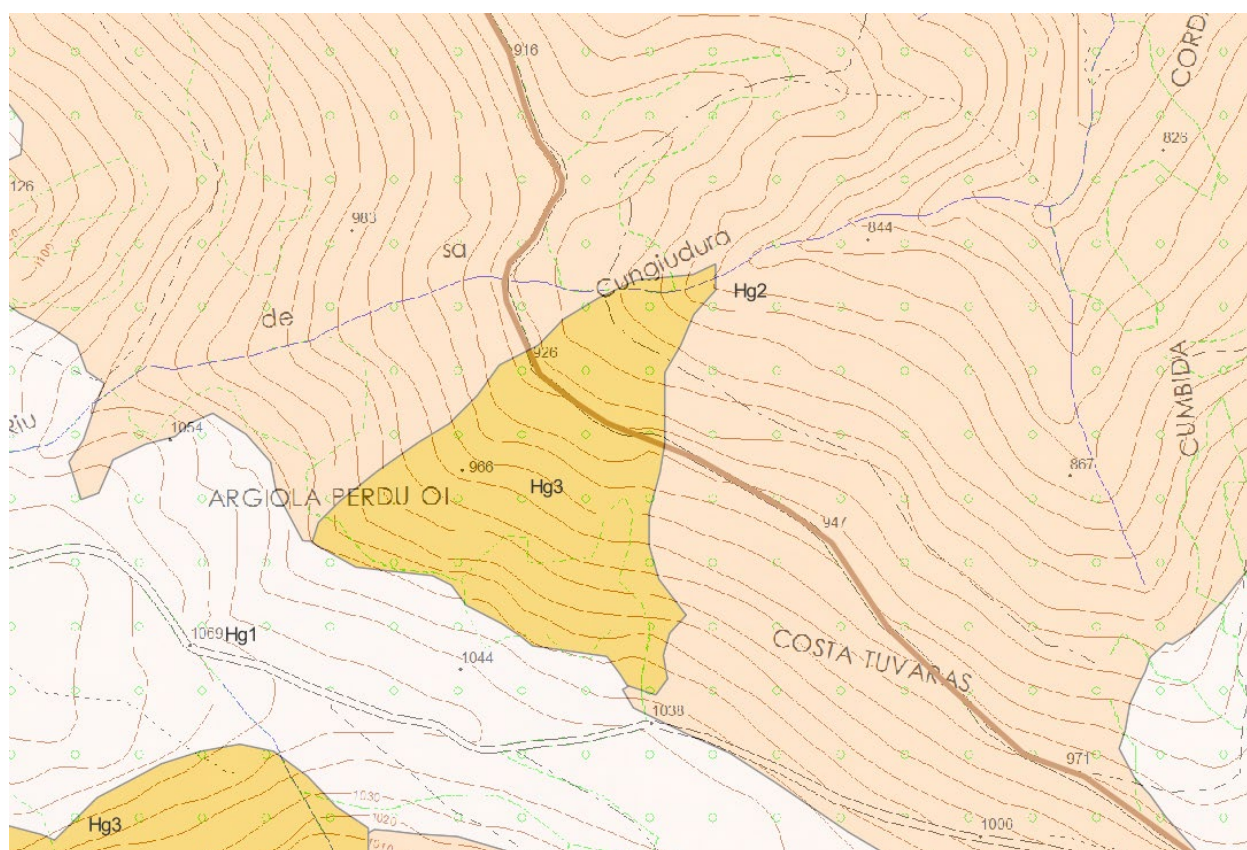


Figura 3 – Interferenza del cavidotto su area Hg3 del PAI, su strada asfaltata per una lunghezza complessiva di 170 m.

Il cavidotto interrato in progetto verrà collocato all'interno dell'attuale cassonetto stradale così come da progetto; pertanto, le interferenze evidenziate non generano alcuna modifica dell'assetto geomorfologico esistente.



Comuni di Ussassai, Esterzili e Escalaplano
Provincia di Nuoro e Sud Sardegna - REGIONE SARDEGNA

**NUOVO IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
DA FONTE EOLICA "SERRA JONI" NEI COMUNI DI
USSASSAI (NU), ESTERZILI E ESCALAPLANO (SU)**



Progetto definitivo

Analizzati gli articoli delle Norme tecniche del PAI di interesse per il progetto in studio, considerato che il parco eolico e le relative opere connesse, ai sensi di quanto stabilito dall'art. 18, comma 1, lettera a) del decreto-legge n. 77 del 2021 (che ha modificato l'art. 7-bis, comma 2-bis del D.Lgs. 152/06), costituiscono intervento di pubblica utilità, indifferibile e urgente, si ritiene che le opere in progetto non siano in contrasto con quanto previsto dalle N.T.A. del PAI. E che gli interventi in progetto sono predisposti al fine di evitare di aumentare il livello del pericolo e del rischio da frana preesistente.

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il parco eolico "Serra Joni" è ubicato nei comuni di Ussassai e Esterzili, a circa 32 km ad ovest di Tortolì in una zona montana ad altitudine compresa tra 800 e 1100 m.s.l.m.; l'area interessata si colloca sulla strada vicinale asfaltata che congiunge gli abitati di Esterzili e Ussassai, su versanti montani debolmente vegetati. L'area è circondata da una vegetazione bassa come corbezzoli e più in generale le specie tipiche della macchia mediterranea con caratteristiche montane per i 1000 m di altitudine. L'area appartiene al bacino idrografico del Flumendosa e in particolare del sottobacino del Rio Elixedda e Rio San Gerolamo. Cartograficamente il territorio in cui ricadono gli aerogeneratori risulta racchiuso:

- Nella sezione 010 della tavola 541, "Nuraghe Salei", della CTR numerica in scala 1:10000;
- Nella sezione 040 della tavola 540, "Esterzili", della CTR numerica in scala 1:10000;
- nel Foglio 540 - "Mandas" della cartografia geologica ufficiale in scala 1:50.000 (ISPRA).

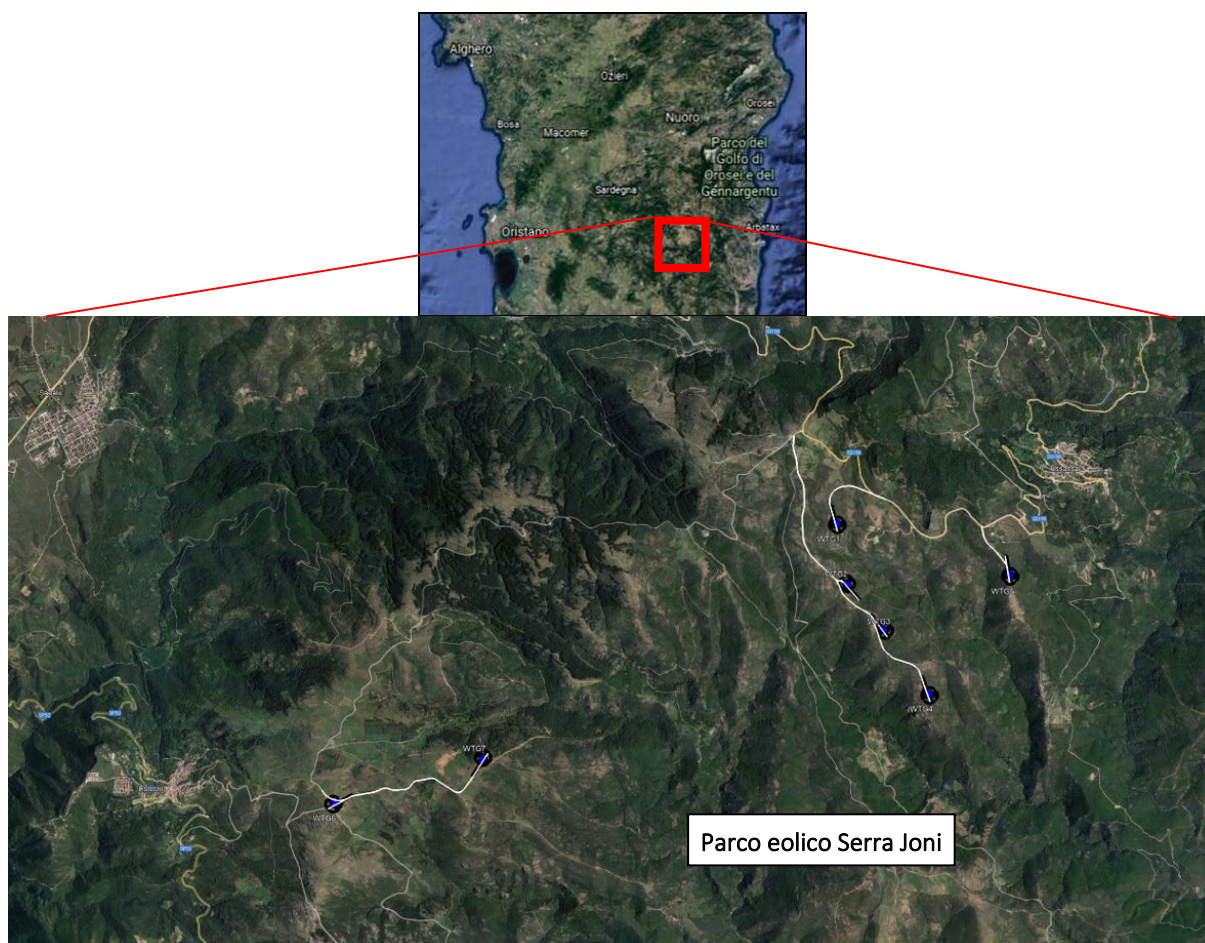


Figura 4 – Inquadramento territoriale generale e vista aerea delle posizioni degli aerogeneratori del parco eolico "Serra Joni" nei comuni di Ussassai e Esterzili e viabilità interna al parco.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

4.1 ASSETTO GEOLOGICO DI INQUADRAMENTO

Il settore di sviluppo del parco eolico in progetto ricade su litologie appartenenti al Paleozoico, rappresentate dal Complesso metamorfico sedimentario, e locali intrusioni del Complesso filoniano in facies porfirica, e al Quaternario, rappresentato da depositi detritici eluvio colluviali e di versante.

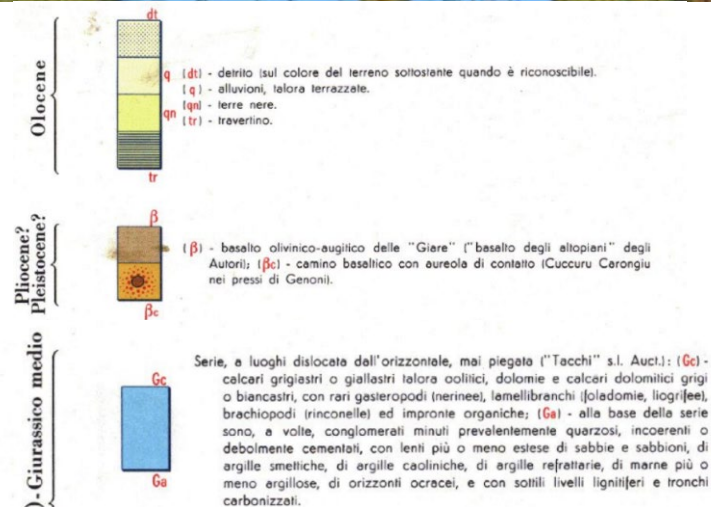
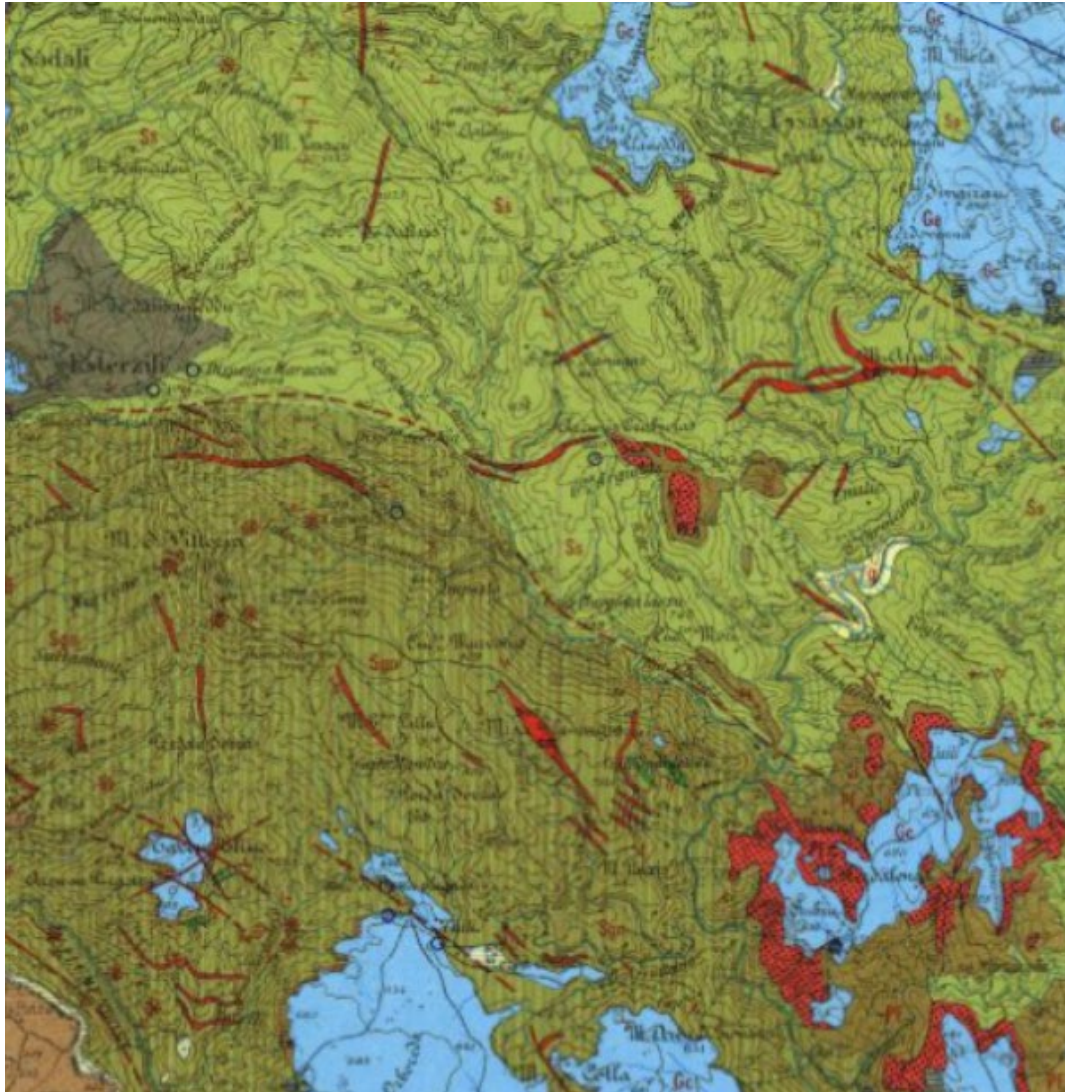
- Il Complesso metamorfico sedimentario rappresenta l'affioramento più antico, costituito da più facies a vario grado evolutivo, prevalentemente scistose e polifasiche, metarenarie e quarziti, alternate a filladi riferibili all'Ordoviciano sup. – Siluriano. L'alta scistosità contribuisce ad accentuare la sfaldabilità della roccia, che localmente si presenta con un alto grado di alterazione e con media e alta fratturazione. Questa successione terrigena appartiene in scala più ampia alla Formazione delle filladi grigie del Gennargentu, del Complesso metamorfico di Basso Grado della Barbagia. All'interno di questo Complesso alcuni autori¹ hanno evidenziato la presenza di due Unità tettoniche sovrapposte, l'Unità Tettonica della Barbagia, il cui spessore apparente si aggira sui 2000 m, interessante principalmente le aree del territorio di Ussassai, che si sovrappone alla seconda Unità di Meana Sardo, affiorante estesamente nel settore sud occidentale nei territori di Esterzili e Seui (a sud).

- L'uniformità del Complesso metamorfico è interrotto dall'affioramento del Sistema intrusivo filoniano, a prevalente chimismo acido, la cui messa in posto è ascrivibile alla fase estensiva tardo ercinica, ed è rappresentato da porfidi granitici e granodioritici, rosati, e filoni idrotermali a quarzo prevalente. Lo spessore di questi filoni è di circa 30 – 50 m in media, e presentano direzione prevalente NW-SE, parallele e coincidenti con le linee di fratturazione tettoniche del territorio.

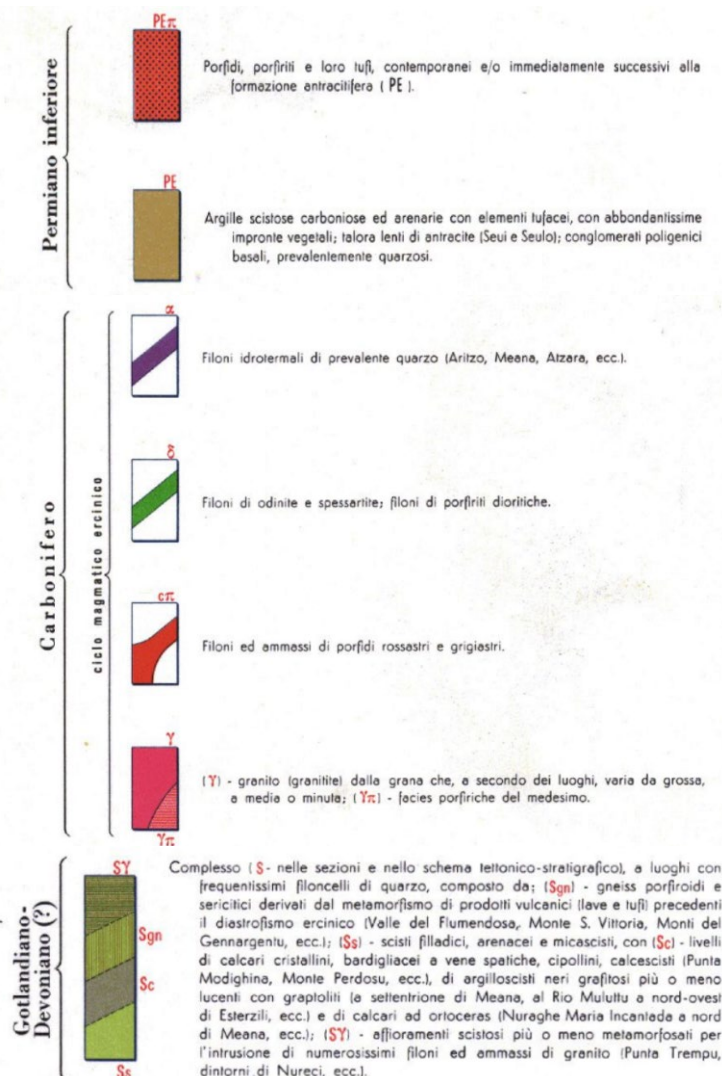
- Sui rilievi paleozoici nell'intorno degli abitati di Ussassai, Escalaplano e Esterzili, esternamente all'area di indagine, sono presenti le coperture sedimentarie afferenti al Mesozoico, costituite da Calcari dolomitici giurassici della Formazione di Dorgali, con giacitura da suborizzontale a debolmente inclinata (2°-5°) rappresentanti piccoli altopiani tabulari, noti come "Tacchi" o "Tonneri", con spessore massimo affiorante di 60 m.

- Il Quaternario è come detto rappresentato dalla Copertura detritica eluvio-colluviale e di versante, costituita dai prodotti di alterazione delle rocce originarie, con talvolta inclusi blocchi di notevoli dimensioni, rinvenibili lungo le aree di impluvio e alla base del versante, esternamente all'area di sviluppo del parco in progetto.

¹ Dessau G., Duchi G., Moretti A., Oggiano G. (1982) – Geologia della zona del valico del Correboi (Sardegna centro-orientale). Rilevamento, Tettonica, Giacimenti Minerari – Boll. Soc. Geol. It. 101.



Progetto definitivo



4.2 CARATTERI TETTONICI E STRUTTURALI

L'area, come l'intero territorio isolano, è stata interessata da varie fasi deformative legate a più eventi tettonici che nel corso delle varie epoche hanno profondamente influenzato la morfologia dell'intera regione, conferendole la conformazione attuale.

A livello regionale la fase deformativa più importante che ha definito la morfologia odierna è l'orogenesi ercinica. Essa si è manifestata in due eventi deformativi principali: una prima fase compressiva, avente come conseguenze un metamorfismo di basso grado associato a sistemi di pieghe isoclinali coricate con direzione assiale principale NW-SE, e scistosità penetrativa di piano assiale che rappresenta la superficie strutturale più evidente alla scala dell'affioramento; a tale periodo sono attribuibili le diffuse mineralizzazioni di quarzo presenti

Progetto definitivo

nell'area; tale fase ha portato al sovrascorrimento delle successioni arenacee Paleozoiche, con trasporto tettonico (tettonica a falde) secondo direzione SW.

Durante la seconda fase tardo-orogonica, caratterizzata da movimenti più distensivi, si è avuta la messa in posto del batolite ercinico lungo fratture e faglie preesistenti, la riattivazione delle faglie a carattere prevalentemente distensivo con direzione preferenziale N-S e NNW-SSE e secondario ortogonale E-W e ENE-WSW. Lungo tali direzioni successivamente si sono impostati i filoni sia acidi che basici che pervadono in modo diffuso l'ammasso granitico. Queste direzioni principali sono quelle che hanno determinato i maggiori lineamenti morfo-strutturali e le linee di cresta dei rilievi attuali secondo direzione prevalente N-S.

La tettonica post-ercinica ha limitati effetti in Sardegna. Discordanze sono note a vari livelli della successione, ma sino all'Eocene medio l'evoluzione della Sardegna sembra caratterizzata solo da lenti movimenti verticali che determinano profonde trasgressioni e regressioni sul penepiano paleozoico.

Nell'Oligocene la collisione appenninica riattiva il basamento sardo-corso, con faglie trascorrenti generalmente controllate da vecchi lineamenti ercinici e soprattutto tardo ercinici. A questa tettonica trascorrente seguono, nel Miocene inferiore e nel Plio- Pleistocene, fasi distensive associate faglie a normali dirette N-S e NW-SE, nella Sardegna orientale. Il territorio indagato è attraversato, con direzione da N-S a NNO –SSE, da una importante linea di dislocazione relativa appunto al periodo Plio – pleistocenico, che ha giocato un ruolo di primaria importanza nell'evoluzione delle valli dei corsi d'acqua principali della zona, impostati sul substrato metamorfico.

Alle strutture tettoniche principali si aggiungono sistemi secondari di faglie pluridimensionali, soprattutto NE-SO e E-O, contemporanee e successive, che si riflettono morfologicamente in anomalie dell'andamento planimetrico dei fiumi.

Diverse fasi neotettoniche sono state riconosciute nell'area, sulla base di un importante ringiovanimento del rilievo avvenuto probabilmente in momenti successivi. Si tratta di una tettonica distensiva con direttrice NO- SE generalmente sovrapposta a strutture precedenti.

4.3 ASSETTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

Morfologicamente il territorio è caratterizzato da un ambito prettamente montano. I rilievi sono prevalentemente caratterizzati da sommità sub pianeggianti regolari, residui di una antica superficie di spianamento erosionale (penepiano post – ercinico), a carattere prettamente roccioso, presentano in affioramento le successioni scistose paleozoiche, che si attestano a quote medie di 850-900 m s.l.m., come tutti i siti di posa delle pale eoliche in progetto; i versanti dei rilievi sono generalmente a forte acclività e caratterizzati da profonde incisioni fluvio torrentizie, che suddividono e scompongono l'antico altipiano paleozoico in più rilievi isolati.

Progetto definitivo

I rilievi si presentano per lo più allungati secondo una direzione preferenziale N-S, con andamento lineare dovuto a strutturazioni tettoniche, faglie e direttrici che si sviluppano in prevalenza nelle direzioni N-S e NW-SE e secondariamente ortogonali.

Nel dettaglio, le aree di posa degli aerogeneratori in progetto presentano superfici regolari a carattere roccioso, da pianeggianti a sub pianeggianti, con bassa / nulla acclività, sviluppandosi principalmente nelle aree sommitali dei rilievi rocciosi dell'area: tale conformazione morfologica conferisce localmente alle aree di indagine un assetto morfologico stabile.

Lungo i versanti invece, con l'aumentare delle pendenze, si evidenziano quei processi morfologici individuati anche nelle Carte del PAI regionale.

I versanti sono caratterizzati infatti da condizioni di pericolosità geomorfologica e da frana di medio - elevata intensità, date da processi gravitativi dovuti in primis alla variazione litologica tra le sequenze sedimentarie delle unità tettoniche paleozoiche, rappresentate dall'alternanza di metarenarie quarziti e filladi carboniose, la cui intensa fratturazione per la tettonizzazione dell'area e l'esposizione agli agenti esogeni portano ad un loro continuo arretramento, con rilascio di cumuli di blocchi e massi, che generano spesso frane di crollo; in secondo luogo i versanti si rileva un'elevata pericolosità da frana legata alla presenza di coltri detritiche di versante, di potenza variabile da pochi cm a valori superiori al metro, dovuti allo smantellamento della roccia scistosa sottostante, spesso in continuità con detriti di falda provenienti dallo smantellamento delle coperture carbonatiche mesozoiche sommitali. Tali coltri sono poste in condizioni di instabilità sul versante, esternamente alle aree di progetto, e soggette a continua erosione ad opera delle acque di ruscellamento superficiale.



Figura 5 -sito su cui andrà posizionata la WTG 06, in Comune di Esterzili



Figura 6 – Pianoro su cui andrà ubicata la WTG 04, in Comune di Ussassai

5. IDROGEOLOGIA DELL'AREA

5.1 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

Per quanto riguarda la circolazione idrica superficiale, il settore in esame ricade nel tratto montano del bacino del rio San Girolamo (o Flumineddu) e dei tributari, affluente principale del Fiume Flumendosa, ricadente nel settore idrografico Sub bacino 07 – Flumendosa Campidano Cixerri. Il Rio San Girolamo nasce alle pendici del Gennargentu, in prossimità della punta Perda 'e Liana in agro di Gairo: la valle è impostata sul complesso metamorfico paleozoico, su una linea di faglia avente direzione N-S e NNO-SSE, e mostra in generale un andamento meandriforme, con locali scalzamenti delle sponde e sinuosità nel suo percorso. Attraversa i territori di Gairo, Ussassai, Seui, Ulassai, Perdassdefogu, Escalaplano ed infine Ballao dove in prossimità del centro abitato confluisce, dopo circa 60 km di percorso, nel Flumendosa.

Nel settore indagato il reticolo idrografico superficiale è caratterizzato da forti pendenze e profonde valli, la cui direzione è strettamente condizionata dall'assetto tettonico del territorio, e secondariamente dalla diversa erodibilità e permeabilità dei litotipi affioranti

Le aste tributarie e i corsi d'acqua minori presentano uno schema di tipo dendritico, e si sviluppano su litologie prettamente impermeabili, a limitata acclività e omogenee. Presentano un regime tipicamente torrentizio, con piene improvvise e di breve durata, deflusso superficiale nullo per la maggior parte del periodo dell'anno, ma con piene importanti in corrispondenza di precipitazioni intense, in quanto l'impermeabilità del substrato determina valori alti dei coefficienti di deflusso.

Le acque di ruscellamento superficiale prima di essere intercettate dalle linee di drenaggio svolgono un ruolo importante nella dinamica dei versanti. Le condizioni climatiche, l'elevata pendenza dei versanti, la degradazione della vegetazione e il modellamento antropico dei versanti operato per ricavare aree coltivabili, favoriscono l'erosione del suolo da parte delle acque superficiali con trasporto e movimentazione a valle dei depositi detritici sciolti, e continuo arretramento dei rilievi.

Dal punto di vista idrogeologico le formazioni metamorfiche si presentano impermeabili, con locale permeabilità a seconda dei termini maggiormente fessurati, determinando solitamente acquiferi non rilevanti ed emergenze idriche in funzione dei rapporti di giacitura e alle caratteristiche litologiche.

Le litologie del Complesso carbonatico mesozoico presentano un coefficiente di permeabilità per fessurazione della roccia medio alto, che talvolta sono sede di importanti acquiferi sotterranei, e danno luogo a emergenze idriche di portata limitata, al contatto tra le litologie metamorfiche paleozoiche, che costituiscono il letto della falda idrica.

La circolazione idrica sotterranea si fa più marcata nei depositi detritici di versante e fluvio torrentizi, caratterizzati da medio alti coefficienti di permeabilità per porosità, la cui variabilità è funzione della presenza di sedimenti fini limo argillosi in matrice. I depositi dei fondo valle sono caratterizzati da tale permeabilità, che

permette una facile alimentazione degli acquiferi in essa contenuti, che coincidono spesso con la stessa falda in subalveo alimentata dalle acque fluviali.

5.2 CARATTERI IDROGEOLOGICI DEI TERRENI

Dal punto di vista idrogeologico le unità litologiche affioranti presentano caratteristiche differenti in funzione del loro grado di permeabilità. In particolare:

Complesso metamorfico del Paleozoico: esso presenta una permeabilità da bassa a nulla, che può variare a seconda dei termini maggiormente fessurati, determinando acquiferi di media portata.

Complesso carbonatico del Mesozoico: presenta un coefficiente di permeabilità medio alto, legato all'intensa fratturazione della roccia, è spesso sede di acquiferi importanti, con direzione di deflusso corrispondente alla direzione principale della fessurazione (NW-SE e ortogonale).

Depositi detritici di falda: sono caratterizzati da permeabilità bassa o nulla, funzione dei sedimenti argillosi e limosi in matrice.

Depositi alluvionali: presentano un coefficiente di permeabilità legato alla porosità della matrice, nel complesso classificabile medio alta.

6. ASPETTI LITOLOGICI LOCALI

Le formazioni geologiche presenti nel territorio, interessanti gli interventi di progetto nell'area di interesse risultano essere, da quelle più antiche a quelle più recenti:

- **Basamento Metamorfoico paleozoico**

Il basamento metamorfoico costituisce l'ossatura dei versanti e dei bacini idrografici. È costituito da una successione terrigena potente, afferente a unità litostratigrafiche alloctone, trasposte e variate nei loro caratteri originari durante la fase orogenetica ercinica: esse sono costituite da un'alternanza di termini metarenacei quarzosi e metasiltiti (Formazione delle filladi grigie, *Unità tettonica della Barbagia*) e da metarenarie micacee fini, metasiltiti e metapeliti (Formazione delle Arenarie di San Vito e Formazione di Monte Santa Vittoria, *Unità tettonica di Meana Sardo*).

Il basamento metamorfoico è individuato in questo studio come un unico complesso scistoso, intensamente fratturato e localmente intensamente alterato, in funzione della natura mineralogica e petrografica dei sedimenti.

Le opere incidenti su tali litologie sono in particolare: tutti gli aerogeneratori in progetto, nuovi raccordi stradali, la viabilità esistente, sterrata e asfaltata, interessata dal passaggio dei mezzi d'opera da mantenere al termine di lavori.

- **Depositi detritici eluvio colluviali e detriti di versante**

Lungo i versanti e nelle aree di impluvio si rinvengono i depositi detritici eluvio colluviali e detriti di falda, formati in prevalenza per gravità ed erosione idrica superficiale delle rocce soprastanti e del basamento, nonché dall'alterazione ed erosione della roccia basale: essi sono costituiti da elementi litici di varia natura, in prevalenza di natura carbonatica e scistosa, poco elaborati, a struttura interna caotica, con matrice limo – argillosa, da bruna a rossastra, ricoprenti il basamento paleozoico. Essi presentano spessori variabili da pochi cm a qualche metro.

Le opere incidenti su tali litologie sono in particolare: la viabilità esistente, sterrata e asfaltata, interessata dal passaggio dei mezzi d'opera da mantenere al termine di lavori.

7. INDAGINE GEOTECNICA

L'analisi geotecnica finalizzata a definire le caratteristiche meccaniche dei terreni direttamente interessati alla posa degli aerogeneratori, è stata effettuata sulla base della litologia e dell'assetto strutturale dei terreni, che ha consentito di ipotizzare un modello geotecnico del terreno in esame.

Il modello proposto discende dai risultati del rilievo diretto in campagna e alla analisi delle acclività, seguendo la norma UNI EN ISO 14689:2018 "Identificazione e classificazione delle rocce". La classificazione della roccia è stata effettuata con il metodo di Beniauskas (1989), in funzione di un indice RMR calcolato sulla base delle caratteristiche delle discontinuità rilevate in campagna e sulla analisi dei processi tettonici e morfologici in atto e/o potenziali dei terreni.

La classificazione geotecnica effettuata ha portato all'individuazione di unità geotecniche considerate omogenee in riferimento alla costituzione geologica dei terreni, alla acclività, al grado di fratturazione e alterazione e alle condizioni idrogeologiche dell'area. Si tratta di valutazioni di massima, che dovranno essere verificate puntualmente nella fase progettuale esecutiva.

L'analisi è stata effettuata sulle litologie scistose, direttamente interessate dalle opere in progetto. Esse sono state distinte due unità, I - 1 e I - 2, sulla base dell'acclività e dell'indice RMR; I - 1 si riferisce alle aree in sommità con morfologia sub-pianeggiante, cui corrisponde un valore dell'indice RMR pari a 63 - classe II: tale valore classifica la roccia come "buona" e corrisponde a resistenza a compressione monoassiale media (50-100 Mpa).

I - 2 è riferita alle zone di pendio con pendenze che vanno dal 30 al 50%, in cui la fratturazione della roccia è stata considerata sfavorevolmente orientata rispetto al pendio.

L'unità I - 1 sugli scisti interessa le parti sommitali dei versanti a quote variabili da 850 a 1100 m s.l.m. e allungate nella direzione dei rilievi: essa interessa le aree di posa di tutti gli aerogeneratori in progetto. Sono aree caratterizzate dall'affioramento del substrato metamorfico fratturato, talora mascherato dalla presenza della regolite che caratterizza l'area per l'elevata pietrosità. Localmente sulla copertura è presente un suolo poco sviluppato e sottile. I terreni si caratterizzano per una permeabilità primaria nulla, e per una permeabilità secondaria per fratturazione medio-bassa, in funzione del grado e della persistenza delle fratture in profondità e della presenza o meno di materiali di riempimento.

L'unità I - 2 caratterizza le aree prossime all'unità I - 2 e le opere accessorie al parco (viabilità e cavidotto). Sono aree definite da pendenze variabili tra il 30 e il 50%, che si estendono dalle parti alte del versante fino ai piedi del pendio. Nella porzione più elevata dei versanti si osserva l'orizzonte di disfacimento superficiale della roccia in posto, distribuita in maniera disomogenea, su cui si attesta una più consistente copertura vegetale erbacea e arbustiva. La roccia in affioramento si presenta in facies rocciosa, la fratturazione della roccia è discontinua e anisotropa. Le unità geotecniche descritte sono sintetizzate nell'Elaborato "2.6 - Carta Geotecnica" effettuata in scala 1: 10.000, che contiene una prima distinzione dei litotipi sulla base delle caratteristiche tecnico

meccaniche e sull'analisi delle pendenze dei versanti. Si tratta di una valutazione di massima, che dovrà essere verificata puntualmente nella fase progettuale esecutiva.

7.1 DISCONTINUITÀ NELL'AMMASSO ROCCIOSO

Durante le indagini speditive in situ è stato effettuato il rilievo delle giaciture e delle discontinuità sull'ammasso roccioso affiorante. L'orientazione di tali fratture nello spazio è stata rappresentata in fase di elaborazione dati attraverso le proiezioni equiareali di Schmidt, riportate di seguito, prendendo in considerazione l'emisfero inferiore della sfera ideale di riferimento.

Le giaciture delle discontinuità strutturali, rilevate in campagna sulle rocce scistose, sono caratterizzate da una generale direzione NE-SW, immersione a SE con inclinazioni variabili da 60° a sub verticali (80-85°) nell'area est del parco (WTG 1, 2, 3, 4 e 5), e ortogonale NW-SE; con inclinazioni prevalentemente verticali, riscontrate anche nei filoni intrusivi, nel settore ovest (WTG 6 e 7). Dalla rappresentazione di seguito riportata si rileva come la direzione di fratturazione dominante sia N30-N40, ma con elevata dispersione delle giaciture attorno alle direzioni principali.

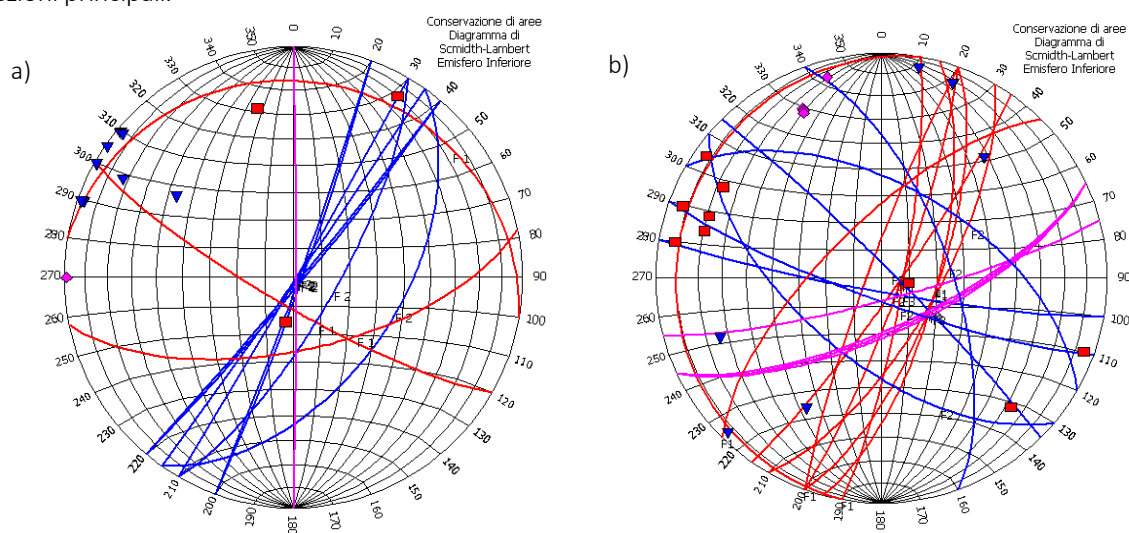


Figura 7 – Proiezioni stereografiche dei piani di frattura rilevati nel settore est (a - Comune di Ussassai) e ovest (b - Comune di Esterzili) del parco.

Il plottaggio dei piani di frattura rilevati ha evidenziato quindi che il settore in esame è stato fortemente influenzato dalla sovrapposizione di più fasi deformative, da ricondurre alla messa in posto delle falde interne, in corrispondenza della fase collisionale dell'orogenesi ercinica, e alle fasi distensive dei complessi intrusivi filoniani nella fase finale dell'orogenesi.

Di seguito è riportata la tabella contenente i dati ottenuti per la classificazione e caratterizzazione dell'ammasso roccioso sulla base delle discontinuità rilevate e delle osservazioni in campagna.

Progetto definitivo

Basamento scistoso compatto	RMR base	RMR corretto	Classe	Descrizione	Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Resistenza a compressione (MPa)	Angolo di attrito residuo (°)
I - 1	68	61	Seconda	Buono	28,24	63	320,60	37	256,48	50-100	30.2
I - 2	57	52	Terza	Mediocre	24	62	33,5	28.5	16,7	25-50	28.14

8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

La ricostruzione litostratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame è stata effettuata, in via del tutto preliminare nella presente fase di progetto, sulla base dei risultati acquisiti con il rilievo di superficie, le indagini speditive precedentemente descritte, e ricerca e acquisizione di studi e indagini eseguiti su litologie simili in prossimità delle aree di indagine. Nel presente paragrafo si riporta un modello geologico dell'area, così come richiesto dal Testo Unico "Norme tecniche per le costruzioni" NTC 2018, schematizzato nel profilo geologico riportato di seguito, che fa riferimento ad una stratigrafia rappresentata dal substrato metamorfico in facies rocciosa, costituita da un primo strato alterato e argillificato fino alla profondità di 3,50 m (del tutto cautelativo per le verifiche geotecniche di progetto), al quale sussegue in profondità la roccia massiva più compatta, fratturata, con buone caratteristiche meccaniche.

Nel presente modello si esclude l'assenza di circolazione idrica superficiale nelle profondità di progetto, per il carattere prettamente impermeabile delle litologie riscontrate e per l'assetto morfologico del territorio. I parametri geotecnici di seguito riportati, che costituiscono i valori di massima per le unità litologiche affioranti, fanno riferimento a dati ottenuti per la classificazione e caratterizzazione dell'ammasso roccioso sulla base delle discontinuità rilevate e delle osservazioni in campagna e da studi precedenti eseguiti dagli scriventi su litologie del tutto simili in aree limitrofe, utilizzando i valori minimi riscontrati, così da effettuare le verifiche geotecniche nelle condizioni più cautelative possibili. Sarà necessario, comunque, nelle successive fasi di progetto, eseguire analisi e indagini geognostiche specifiche per ogni sito di posa di fondazione delle torri eoliche, al fine di avere un quadro geologico e geotecnico di dettaglio per ciascuna aerostazione in progetto.

8.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Il complesso basale paleozoico è rappresentato da un substrato scistoso caratterizzato da una irregolare alternanza di livelli da decimetrici a metrici di metarenarie quarzose e micacee, metapeliti, filladi quarzose, filladi e quarziti.

Le metarenarie e le quarziti presentano un grado di compattezza particolarmente elevato, mentre le metapeliti e le filladi presentano superficialmente scarsa compattezza.

La giacitura degli scisti è essenzialmente a reggipoggio con una inclinazione media di 20°, ma localmente si possono osservare situazioni a franapoggio in corrispondenza degli assi di alcune pieghe che presentano una inclinazione di pochi gradi verso valle.

Le caratteristiche geotecniche variano in funzione della fratturazione, della alterazione della roccia e della foliazione e della scistosità. Più è spinto il grado di metamorfismo tanto più le superfici di scistosità sono coerenti, e quindi la roccia assume delle discrete caratteristiche geotecniche, che tendono a diminuire in presenza della foliazione, potendole definire come rocce semicoerenti.

8.2 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

<i>Unità litologica</i>	<i>profondità</i>	<i>Descrizione</i>
	- 0,50 m	SUOLO
	-3,50 m	COMPLESSO METAMORFICO PALEOZOICO ALTERATO Peso di Volume = 17,65 kN/m ³ Coesione = 16 KPa Angolo di attrito = 28°
	- 10,0 m	COMPLESSO METAMORFICO PALEOZOICO COMPATTO Peso di Volume = 18,63 kN/m ³ Resistenza a compressione monoassiale = 22 Mpa Coesione di picco = 320,60 KPa Angolo di attrito di picco = 37 ° Coesione residua = 256,48 KPa Angolo di attrito residuo = 30° Modulo di deformazione = 28,24 GPa

9. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SISTEMA FONDAZIONI – TERRENO

In questo capitolo si riportano le verifiche di stabilità dell'insieme fondazione - terreno, ovvero la determinazione della capacità portante attraverso lo SLU ai sensi delle NTC 2018, eseguite considerando le caratteristiche dei terreni sottostanti il piano di posa, sulla base della stratigrafia individuata nel Modello geologico di riferimento.

La determinazione della capacità portante ai fini della verifica è stata condotta secondo il metodo di Rock Terzaghi, che per roccia utilizza la seguente formula:

$$Q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot e_c + q \cdot N_q \cdot e_q + \frac{1}{2} \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot e_\gamma$$

Il valore Q_{lim} ricavato è stato in seguito ridotto attraverso un coefficiente di sicurezza che tiene conto della qualità della roccia nell'ammasso significativo, l'RQD² (Rock Quality Degree) del materiale di progetto. Essendo un numero compreso tra (0-1] ciò corrisponde a coefficientare la resistenza di progetto R_d con un fattore che la fa decrescere quadraticamente al diminuire del grado di qualità della roccia. La Q_{lim} risulta quindi elevata per roccia integra, con indice RQD prossimo a 1, mentre decresce rapidamente al decrescere della qualità

$$Q_{lim,d} = RQD^2 \cdot Q_{lim}$$

Questo metodo di calcolo, essendo un calcolo per rottura localizzata, non richiede le stesse ipotesi restrittive sulla profondità del piano di posa del metodo di Terzaghi originario; può quindi essere condotto con qualsiasi approfondimento della fondazione.

La verifica allo SLU indicato deve essere effettuata con riferimento ad una delle seguenti combinazioni di coefficienti:

- Approccio 1

Combinazione C1: A1+M1+R1

Combinazione C2: A2+M2+R2

- Approccio 2: A1+M1+R3.

I coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici previsti dal D.M. 14 gennaio 2008 sono riportati nelle tabelle che seguono.

Progetto definitivo

Tabella 1 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G1}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{G1}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Parametro	Grandezza	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1.0	1.0

Tabella 3 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli S.L.U. di fondazioni superficiali.

Verifica	Coefficiente parziale γ_R		
	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante della fondazione	1.0	1.8	2.3

La verifica alla capacità portante del terreno di fondazione deve essere condotta in riferimento allo stato limite GEO che, come disciplinato nella Circolare del 2/02/2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" – cap. C6.2.3.1, "con riferimento agli stati limite GEO si possono menzionare gli stati limite che riguardano il raggiungimento del carico limite nei terreni di fondazione.

Le verifiche per il calcolo della capacità portante sono state affrontate considerando l'approccio 2, con combinazione di calcolo A1+M1+R3.

9.1 PARAMETRI GEOTECNICI

Vengono elencati in modo sintetico i risultati del sondaggio eseguito nel sito, con l'indicazione dei terreni incontrati, degli spessori e dell'eventuale falda acquifera.

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
δ	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
c	Coesione del terreno espressa in [kPa]
ca	Adesione del terreno espressa in [kPa]
τ_1	Tensione tangenziale, per calcolo portanza micropali con il metodo di Bustamante-Doix, espressa in [kPa]
α	Coeff. di espansione laterale

Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]	ca [kPa]
Suolo	17,652	19,614	25.00	16.67	0,0	0,0
Scisto molto fratturato	17,652	18,633	28.14	18.76	16,7	8,3
Scisto mediamente fratturato	18,633	19,614	29.96	19.97	17,6	8,8

Descrizione stratigrafia e falda

Simbologia adottata

N	Identificativo strato
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno associato allo strato

N	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno
1	-0,3	-0,3	-0,3	Suolo
2	-3,9	-3,9	-3,9	Scisto molto fratturato
3	-15,0	-15,0	-15,0	Scisto mediamente fratturato

Falda

Falda non presente

Costante di Winkler

Direzione	Simbolo	Kw [Kg/cm ² /cm]
Verticale	Kvv	3.095
Orizzontale	Kwo	Calcolata dal programma (Kwo=Kvv*tan(φ))

9.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Carico limite

Piastra

Simbologia adottata

Ic	Indice combinazione
N	Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN]
Np	Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN]
Qu	Portanza ultima terreno, espressa in [kN]
Qd	Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
Qp	Portanza di progetto ((Pu+Pup)/n), espressa in [kN]
Nt	Carico verticale trasmesso al terreno (N+Np), espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza a carico limite (Pd/Nt). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

Ic	N	Np	Qu	Qup	Qd	Nt	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
1	59972,16	0,00	2224966,27	0,00	967376,64	59972,16	16.130 (1)

Scorrimento

Piastra

Simbologia adottata

n°	Indice plinto
T	Carico orizzontale trasferito al terreno, espresso in [kN]
Tp	Carico orizzontale trasferito ai pali, espresso in [kN]
Ru	Resistenza ultima allo scorrimento, espressa in [kN]
Rd	Resistenza di progetto allo scorrimento, espressa in [kN]
FS	Fattore di sicurezza allo scorrimento (Rd/T). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

n°	T	Tp	Ru	Rd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
1	5679,03	0,00	25934,50	23576,81	4.152 (1)

9.3 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI

Simbologia adottata

Oggetto	Oggetto al quale appartiene il punto di calcolo
X, Y	Coordinate punto in cui è stato calcolato il cedimento, espresso in [m]
w	Cedimento, espresso in [cm]
Ic	Indice combinazione

Id	X	Y	w	Ic
	[m]	[m]	[cm]	
Piastra n° 1	12,25	0,00	0,1127	2
Piastra n° 1	12,19	1,20	0,0989	2
Piastra n° 1	12,01	2,39	0,1119	2

Progetto definitivo

Piastra n° 1	11,72	3,56	0,0974	2
Piastra n° 1	11,32	4,69	0,1085	2
Piastra n° 1	10,80	5,77	0,0931	2
Piastra n° 1	10,19	6,81	0,1032	2
Piastra n° 1	9,47	7,77	0,0884	2
Piastra n° 1	8,66	8,66	0,0968	2
Piastra n° 1	7,77	9,47	0,0823	2
Piastra n° 1	6,81	10,19	0,0889	2
Piastra n° 1	5,77	10,80	0,0750	2
Piastra n° 1	4,69	11,32	0,0798	2
Piastra n° 1	3,56	11,72	0,0669	2
Piastra n° 1	2,39	12,01	0,0699	2
Piastra n° 1	1,20	12,19	0,0582	2
Piastra n° 1	0,00	12,25	0,0596	2
Piastra n° 1	-1,20	12,19	0,0494	2
Piastra n° 1	-2,39	12,01	0,0493	2
Piastra n° 1	-3,56	11,72	0,0408	2
Piastra n° 1	-4,69	11,32	0,0395	2
Piastra n° 1	-5,77	10,80	0,0328	2
Piastra n° 1	-6,81	10,19	0,0305	2
Piastra n° 1	-7,77	9,47	0,0256	2
Piastra n° 1	-8,66	8,66	0,0228	2
Piastra n° 1	-9,47	7,77	0,0203	2
Piastra n° 1	-10,19	6,81	0,0187	2
Piastra n° 1	-10,80	5,77	0,0174	2
Piastra n° 1	-11,32	4,69	0,0165	2
Piastra n° 1	-11,72	3,56	0,0158	2
Piastra n° 1	-12,01	2,39	0,0154	2
Piastra n° 1	-12,19	1,20	0,0151	2
Piastra n° 1	-12,25	0,00	0,0151	2
Piastra n° 1	-12,19	-1,20	0,0152	2
Piastra n° 1	-12,01	-2,39	0,0155	2
Piastra n° 1	-11,72	-3,56	0,0160	2
Piastra n° 1	-11,32	-4,69	0,0167	2
Piastra n° 1	-10,80	-5,77	0,0177	2
Piastra n° 1	-10,19	-6,81	0,0191	2
Piastra n° 1	-9,47	-7,77	0,0208	2
Piastra n° 1	-8,66	-8,66	0,0237	2
Piastra n° 1	-7,77	-9,47	0,0265	2
Piastra n° 1	-6,81	-10,19	0,0316	2
Piastra n° 1	-5,77	-10,80	0,0339	2
Piastra n° 1	-4,69	-11,32	0,0408	2
Piastra n° 1	-3,56	-11,72	0,0419	2
Piastra n° 1	-2,39	-12,01	0,0507	2
Piastra n° 1	-1,20	-12,19	0,0506	2
Piastra n° 1	0,00	-12,25	0,0610	2
Piastra n° 1	1,20	-12,19	0,0594	2
Piastra n° 1	2,39	-12,01	0,0712	2
Piastra n° 1	3,56	-11,72	0,0680	2
Piastra n° 1	4,69	-11,32	0,0810	2
Piastra n° 1	5,77	-10,80	0,0760	2
Piastra n° 1	6,81	-10,19	0,0900	2
Piastra n° 1	7,77	-9,47	0,0832	2

Progetto definitivo

Piastra n° 1	8,66	-8,66	0,0979	2
Piastra n° 1	9,47	-7,77	0,0893	2
Piastra n° 1	10,19	-6,81	0,1042	2
Piastra n° 1	10,80	-5,77	0,0939	2
Piastra n° 1	11,32	-4,69	0,1086	2
Piastra n° 1	11,72	-3,56	0,0967	2
Piastra n° 1	12,01	-2,39	0,1114	2
Piastra n° 1	12,19	-1,20	0,0988	2
Piastra n° 1	0,00	0,00	0,1400	2

10. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO E CRITERI DI PROGRAMMAZIONE, RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITO ED IN LABORATORIO E TECNICHE ADOTTATE CON GIUDIZIO SULLA AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI OTTENUTI

In relazione alle finalità e agli obiettivi con cui sono state individuate le soluzioni progettuali, la collocazione delle torri eoliche, poste sui crinali dei rilievi montuosi, prevalentemente rocciosi, fa sì che non sussistano particolari situazioni di instabilità geomorfologica né in atto né potenziale: la posizione degli aerogeneratori è stata qui valutata al fine di prediligere aree pianeggianti che non mostrano alcun elemento di pericolosità geomorfologica apprezzabile, in quanto distanti dai versanti e dai punti di maggior declivio.

I lavori di scavo da effettuarsi in aree di pericolosità PAI Hg2 e Hg3 per la posa del cavidotto andranno ad effettuarsi tutti su strade asfaltate già esistenti: i lavori di interro per la posa del cavidotto interesseranno la pavimentazione stradale esistente, non modificando o alterando le condizioni di permeabilità esistenti del suolo e non modificando o eventualmente incrementando le condizioni di pericolosità esistenti gravanti sul sito

Le opere di fondazione previste saranno di tipo diretto, grazie alle buone caratteristiche geotecniche dei terreni, con plinto di fondazione adeguatamente dimensionato, e saranno concentrati entro i primi 3 m dal piano campagna, non comportando alterazioni anche all'attuale assetto idrogeologico del territorio, in quanto non sono presenti falde idriche superficiali nei terreni ospitanti le opere in progetto.

Le lavorazioni previste interessano solamente i primi metri del substrato e non vanno a incidere sulla circolazione idrica sotterranea; il drenaggio delle acque superficiali sarà curato attraverso il dimensionamento dei fossi di guardia in particolare nelle piste e nelle strade di accesso, per scongiurare i fenomeni di ruscellamento incanalato ed erosione degli strati più superficiali del suolo.

11. VERIFICA DI STABILITÀ DI PENDIO

Le verifiche di stabilità globale dei versanti non sono state effettuate in quanto i lavori in progetto non presentano interventi strutturali atti a modificare le condizioni di stabilità attualmente esistenti.

L'incremento dei carichi agenti sul terreno per la messa in opera del cavidotto interrato sono da considerarsi minimi, non producendo cambiamenti dello stato attuale del sistema opera – terreno.

12. CONCLUSIONI

Lo studio di Compatibilità geologica e geotecnica è stato redatto a supporto del progetto definitivo del Parco Eolico denominato "Serra Joni" sito nei territori amministrativi dei Comuni di Ussassai (NU), Esterzili e Escalaplano (SU).

Nella presente relazione sono riportate le caratteristiche geologiche, stratigrafiche, morfologiche e idrogeologiche di massima dell'area interessata dallo sviluppo del parco eolico, sulla base dei rilievi di superficie eseguiti nell'area e indagini speditive in situ, la fotointerpretazione, l'analisi cartografica dei dati di base, e all'osservazione della roccia in affioramento, presente in modo esteso nel sito indagato.

In particolare, lo studio ha evidenziato che le aree direttamente interessate dallo sviluppo degli aerogeneratori sono delle superfici pianeggianti e subpianeggianti, con pendenze prossime allo 0,5 – 10% e caratterizzate dall'affioramento della roccia granitica sin dalla superficie, rappresentato da un substrato scistoso caratterizzato da una irregolare alternanza di livelli da decimetrici a metrici di metarenarie quarzose e micacee, metapeliti, filladi quarzose, filladi e quarziti.

La giacitura degli scisti è essenzialmente a reggipoggio con una inclinazione media di 20°, ma localmente si possono osservare situazioni a franapoggio in corrispondenza degli assi di alcune pieghe che presentano una inclinazione di pochi gradi verso valle.

I parametri geotecnici dei materiali, utili per le verifiche geotecniche propedeutiche alla progettazione, sono riportati nel modello geologico di riferimento così come richiesto dalla normativa vigente (NTC 2018).

Dal punto di vista geomorfologico, nell'area esaminata non sono stati rilevati movimenti gravitativi profondi che possano coinvolgere estese porzioni di territorio; gli aerogeneratori WTG 01, 02, 03, 04 e 05 ricadono sulla sommità di un crinale di forma allungata NW-SE ricadenti in Hg2, i cui versanti mostrano una pendenza elevata, ma non evidenziano indizi di dinamiche geomorfologiche in corso. I lavori di scavo e di posa delle fondazioni per gli aerogeneratori in questione interesseranno comunque i settori pianeggianti del rilievo, e non andranno a modificare le dinamiche dei versanti.

Dal punto di vista idrogeologico, la tipologia di intervento in progetto non comporta alterazioni nell'attuale assetto idrologico del territorio, in quanto non sono presenti falde idriche superficiali, mentre le poche sorgenti presenti sono ubicate distanti dai siti di intervento. Le lavorazioni previste interessano solamente i primi metri del substrato e non vanno a incidere sulla circolazione idrica sotterranea; dovrà comunque essere curato il drenaggio delle acque superficiali, in particolare nelle piste e nelle strade di accesso, per scongiurare i fenomeni di ruscellamento incanalato ed erosione degli strati più superficiali del suolo.

Particolare cura dovrà essere posta ai lavori di posa del cavidotto, in particolare dove esso andrà a intercettare zone a pericolosità Hg2 e Hg3 secondo il PAI regionale: in questo caso dovranno essere rispettate le prescrizioni previste dal PAI; esso, così come da progetto verrà collocato all'interno dell'attuale cassonetto stradale o eventualmente in banchina, senza intaccare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo idrografico e alle condizioni di permeabilità dei suoli, non compromettendo la riduzione o l'eliminazione delle

Progetto definitivo

cause di pericolosità potenziale né la sistemazione idrogeologica; pertanto le interferenze evidenziate non generano alcuna modifica all'assetto geomorfologico attuale.

Le verifiche geotecniche condotte risultano soddisfatte ai sensi della normativa vigente (NTC 2018), anche nel caso di fondazione diretta con plinto di fondazione adeguatamente dimensionato, grazie alle buone caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione. Si precisa che in fase esecutiva le verifiche dovranno essere maggiormente approfondite per ogni aerogeneratore, sulla base delle indagini geognostiche da eseguirsi in corrispondenza di ogni pala eolica in progetto, valutando la necessità di aumentare la dimensione e profondità del plinto di fondazione e la necessità di migliorare il terreno di fondazione, laddove il terreno dovesse presentare localmente parametri geotecnici più scadenti di quelli ipotizzati.

Per maggiori dettagli sulle verifiche su descritte, nonché per le verifiche a ribaltamento e i calcoli preliminari delle strutture di fondazione, si rimanda interamente all'Elaborato "D.2.3 - Calcoli preliminari delle fondazioni degli aerogeneratori", parte integrante del presente progetto.

Considerando gli interventi descritti si evince che essi:

- non modificano le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo idrografico,
- non modificheranno le condizioni di permeabilità esistenti del suolo e di stabilità del versante,
- non modificheranno né incrementeranno le cause di pericolosità e di danno potenziale del territorio,

Così come enunciato dunque, in seguito alla valutazione del progetto in riferimento alle finalità ed agli effetti attesi, viene verificata la coerenza del progetto con le previsioni e le norme del PAI, e si evince la compatibilità geologica e geotecnica delle opere previste in progetto.



Comuni di Ussassai, Esterzili e Escalaplano
Provincia di Nuoro e Sud Sardegna - REGIONE SARDEGNA

**NUOVO IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
DA FONTE EOLICA "SERRA JONI" NEI COMUNI DI
USSASSAI (NU), ESTERZILI E ESCALAPLANO (SU)**

Progetto definitivo



ALLEGATI



Comuni di Ussassai, Esterzili e Escalaplano
Provincia di Nuoro e Sud Sardegna - REGIONE SARDEGNA

**NUOVO IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
DA FONTE EOLICA "SERRA JONI" NEI COMUNI DI
USSASSAI (NU), ESTERZILI E ESCALAPLANO (SU)**

Progetto definitivo



ALLEGATO 1

– Perimetrazione su Cartografia PAI frane –