



Comune di
Buddusò

Regione Sardegna



Comune di
Alà dei Sardi



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "BUDDUSO' SUD I" NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI BUDDUSO' E ALA' DEI SARDI (SS)

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

AEI WIND PROJECT XII S.R.L.

Via Savoia n. 78
00198 - Roma

PEC: aeiwindprojectxii@legalmail.it



OGGETTO

02. STUDI GEOLOGICI E GEOTECNICI

COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA

TIMBRI E FIRME



**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 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 Efisio DEMURTAS

Consulenza studi ambientali: Dott. for. Piero RUBIU

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



Studio Gioed
VIA IS MIRRIONIS N. 178 - 09121 - CAGLIARI

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE	REVISIONE
DATA	DIC/2023	FEB/2024
COD. LAVORO	629/SR	629/SR
TIPOL. LAVORO	D	D
SETTORE	2	2
N. ATTIVITA'	-	-
TIPOL. ELAB.	RS	RS
TIPOL. DOC.	E	E
ID ELABORATO	07	07
VERSIONE	0	1

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

ing. Roberto SESENNA

APPROVATO

ing. Luca 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 INQUADRAMENTO NEL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE	5
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE	7
4.1 ASSETTO GEOLOGICO DI INQUADRAMENTO	7
4.2 CARATTERI TETTONICI E STRUTTURALI GENERALI	9
4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	10
5. IDROGEOLOGIA DELL'AREA	11
5.1 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA	11
5.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE	12
5.3 CARTA IDROGEOLOGICA	12
6. INDAGINE GEOTECNICA	13
6.1 MANUAL INDEX TEST	13
7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	14
8. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SISTEMA FONDAZIONI – TERRENO	15
8.1 PARAMETRI GEOTECNICI.....	18
8.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE	19
8.3 PRESSIONI TERRENO IN SLU	22
8.4 PRESSIONI TERRENO IN SLVf/SLUECC.....	23
8.5 PRESSIONI TERRENO IN SLE/SLD	23
8.6 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	24
9. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO E CRITERI DI PROGRAMMAZIONE, RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITO ED IN LABORATORIO E TECNICHE ADOTTATE CON MOTIVATO GIUDIZIO SULLA AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI OTTENUTI	24
10. VERIFICA DI STABILITÀ DI PENDIO	24
11. CONCLUSIONI	25

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Inquadramento del PAI frane delle opere in progetto

1. PREMESSA

Il presente progetto riguarda la realizzazione di un nuovo parco eolico denominato “BUDDUSO’ SUD I” sito nei territori amministrativi dei Comuni di Buddusò e Alà dei Sardi (provincia di Sassari).

Il Parco Eolico è sito in parte nel territorio comunale di Buddusò ed in parte in quello di Alà dei Sardi; il cavidotto elettrico generale e la stazione utente di connessione alla linea elettrica nazionale ricadono interamente sul territorio di Buddusò. Il progetto prevede l’installazione di 8 aerogeneratori del tipo SIEMENS GAMESA SG 6.6-170 con una potenza nominale di 6,6 MW, per una potenza complessiva del parco eolico di 52,8 MW.

La presente integrazione e revisione progettuale di febbraio 2024, rispetto al layout di impianto iniziale, presenta un’ottimizzazione del posizionamento di 3 aerogeneratori, WTG 3, WTG 7 e WT 8, al fine di ridurre ulteriormente gli impatti ambientali sul contesto paesaggistico e culturale. Infatti, tutti gli 8 aerogeneratori ricadono all’interno delle aree idonee FER ex art 20 comma 8) del D.lgs. 199/2021, essendo esterni alla fascia di rispetto di 3 km dai beni tutelati dalla Parte II o dall’art.136 del D. Lgs. n. 42/2004. Inoltre, il presente layout di progetto non presenta interferenze e incompatibilità con altri parchi eolici già in fase di istruttoria.

L’indagine geologica e geotecnica qui descritta, a corredo del presente studio di Compatibilità geologica e geotecnica, riguarda unicamente le opere accessorie del Parco eolico proposto, ed in particolare il cavidotto interrato, che segue in gran parte la viabilità esistente, ed interessa per un breve tratto un area perimetrata dal PAI (Piano Assetto Idrogeologico), per 75 m lineari in corrispondenza della strada sterrata Lathari - Coiluna.

Per quanto riguarda invece le piazzole degli aerogeneratori e le fondazioni, l’aerogeneratore WTG 06 ricade in area Hg1, per cui non viene richiesto lo studio di Compatibilità geologica e geotecnica (art. 25 delle N.T.A. del PAI) mentre le altre torri non ricadono all’interno delle aree PAI di pericolosità da frana e idraulica.

Lo studio che segue si propone di caratterizzare i siti prescelti da un punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico, al fine di verificare che gli interventi di progetto non modifichino o aumentino il livello di pericolosità e di rischio esistente, non precludano la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio e non peggiorino le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli.

L’analisi è stata sviluppata a partire da una ricerca e analisi dei dati geologici ed idrogeologici esistenti, di buon dettaglio 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;
- 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 (Hg4), elevata (Hg3) e media (Hg2) 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

Le opere in progetto ricadenti nelle perimetrazioni del Piano di assetto Idrogeologico per le quali si necessita del presente studio di Compatibilità geologica e geotecnica riguarda unicamente il cavidotto interrato in progetto, che si estende per vari chilometri sfruttando in gran parte la viabilità esistente, ed in particolare:

- un tratto di lunghezza circa 75 m interessa un areale a pericolosità Hg2 lungo la strada sterrata Lathari - Coiluna (si veda Figura seguente).

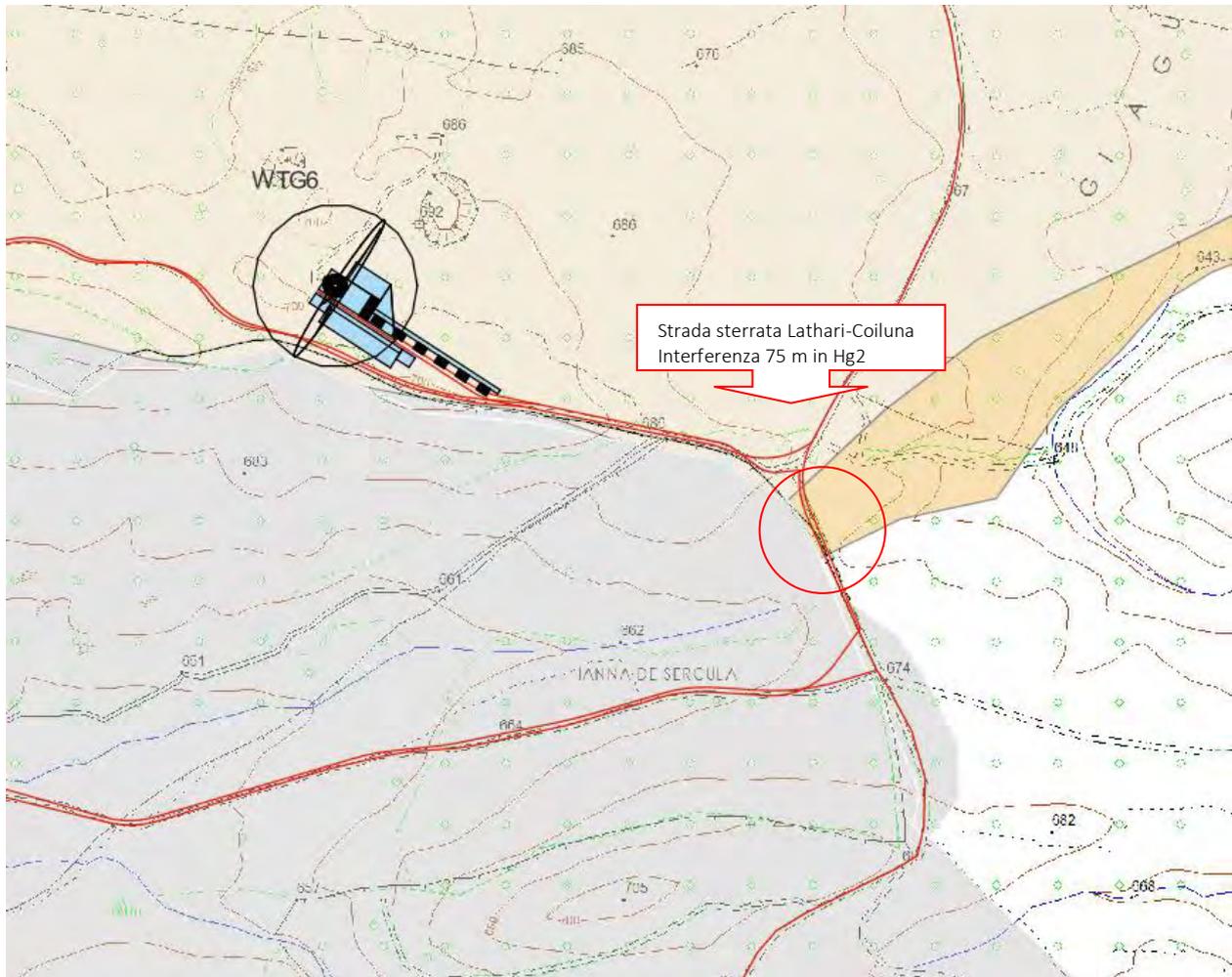


Figura 1 – Particolare della tavola Allegato 1 in cui si evidenzia la posizione dell'aerogeneratore WTG06 in area Hg1 e, cerchiato in rosso, il punto dell'attraversamento del cavidotto in area Hg2.

2.3 INQUADRAMENTO NEL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE

Dalle analisi preliminari effettuate nel sito, le interferenze evidenziate non generano alcuna modifica dell'assetto geomorfologico esistente, non intaccando le condizioni di permeabilità dei suoli, non compromettendo la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità potenziale né la sistemazione idrogeologica del territorio.

Per quanto riguarda inoltre l'interferenza del cavidotto su area Hg2, l'art. 32 comma 3 delle NTA del PAI "Disciplina delle aree di pericolosità media da frana (Hg2)" prevede: <<...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;>>.

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il parco eolico "Buddusò sud I" è ubicato in Comune di Buddusò e Alà dei Sardi (prov. di Sassari), a circa 38 km dalla città di Olbia; l'area interessata si colloca tra gli abitati suddetti, su pianori e rilievi collinari posti su altitudini comprese mediamente tra 600 e 700 m s.l.m. Il territorio è caratterizzato dalla presenza di un ambiente naturale con affioramenti rocciosi, querce da sughero, lecci e roverelle. L'area ricade nelle zone di testata di due importanti sub-bacini idrografici così come suddiviso il reticolo idrografico della Sardegna, il Coghinas – Mannu - Temo e il Posada – Cedrino, rappresentando i pianori oggetto di intervento gli spartiacque dei bacini.

Gli aerogeneratori sono localizzati in aree prettamente incolte e coperte da alberi sparsi, esterne ad aree densamente boscate e ampiamente distanti da centro abitati e aree produttive (circa a 9 km dal centro urbano di Buddusò e 4 km dal centro urbano di Alà dei Sardi). Il cavidotto elettrico di collegamento alla rete nazionale si dirama dapprima in direzione sud su pista sterrata e successivamente in direzione ovest sulla statale SS389 e raggiunge la sottostazione prevista in comune di Buddusò.

Cartograficamente il territorio in cui ricadono gli aerogeneratori risulta racchiuso:

- nel foglio 461 Tavola II, "Alà dei Sardi", dell'I.G.M.I. in scala 1:25.000; foglio 481 Tavola I, "Buddusò", dell'I.G.M.I. in scala 1:25.000
- nelle sezioni 461160 "SANTA REPARATA", 462130 "SOS SONORCOLOS", 481040 "BUDDUSO", 482010 "SA IANNA BASSA" della cartografia tecnica della Regione Sardegna in scala 1:10.000;

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO
"BUDDUSÒ SUD I" NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI
BUDDUSÒ E ALÀ DEI SARDI (SS)**

Progetto definitivo

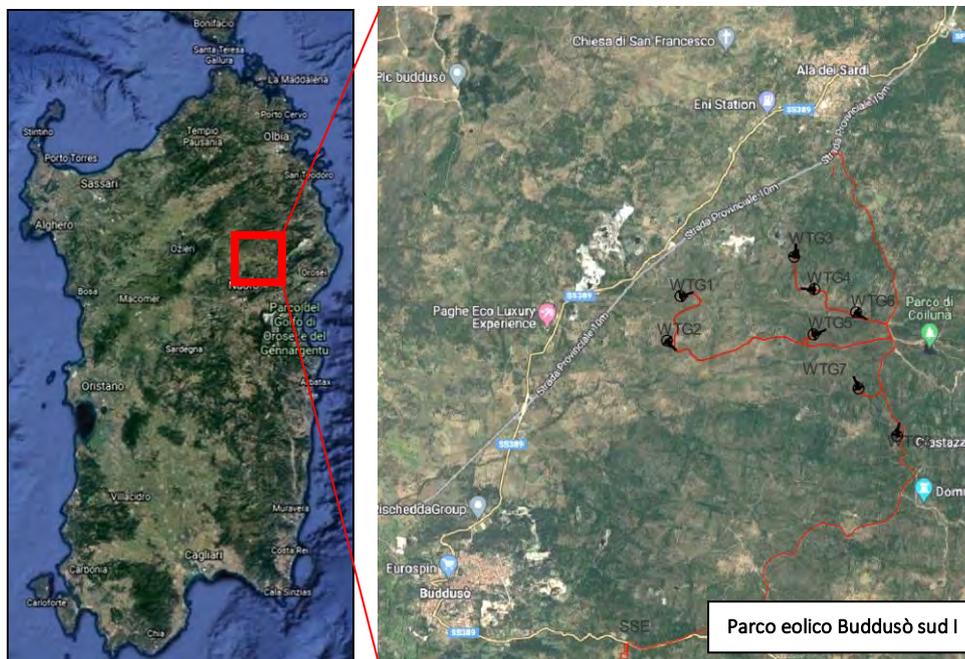


Figura 2 – Inquadramento territoriale generale e vista aerea delle posizioni degli aerogeneratori del parco eolico "Buddusò sud I" nel comune di Buddusò e Alà dei Sardi.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

4.1 ASSETTO GEOLOGICO DI INQUADRAMENTO

Nel territorio la litologia predominante è rappresentata dal *"Complesso granitoidale del Goceano - Bittese"* e dal sistema filoniano, la cui messa in posto è da ricondursi alle fasi distensive dell'orogenesi ercinica avvenuta nel tardo Paleozoico (Carbonifero sup.- Permiano, $\pm 280-300$ Ma).

Il complesso granitoidale intrusivo è rappresentato in prevalenza dai termini monzogranitici equigranulari, a marcata tendenza leucocrata, a grana da media a medio-fine, tessitura orientata, con diverse proprietà geomeccaniche in funzione del grado di fratturazione e alterazione subito, variabile in prevalenza da termini più arenizzati, costituiti da sabbione fortemente alterato con struttura granulare, a litotipi più compatti e massivi. Ad esso sono associate manifestazioni filoniane a composizione sia acida che basica (quartziti, porfidi, filoni, litici e lamprofirici), impostatesi durante le fasi tardive dell'orogenesi ercinica lungo le fratture generatesi nella massa granitica durante il raffreddamento. I filoni sono prevalentemente subverticali, con direzione e dimensioni variabili. Il loro spessore è variabile da pochi centimetri fino a qualche metro, con estensione longitudinale fino a 500 m.

Localmente, in contatto con i graniti, nel settore meridionale del settore di interesse, affiorano litologie paleozoiche più antiche riferibili al complesso degli Ortoderivati e paraderivati, afferenti al *pre – Cambriano*, in

cui vengono riconosciuti petrograficamente gli *Ortogneiss di Lodè – Mamone*, Ortogneiss granodioritici grigi, a grana media, tessitura foliata e isorientata, e i Paraderivati, Micascisti prevalenti.

La messa in posto del complesso granitico intrusivo e i successivi stress tettonici subiti hanno determinato la scomposizione del basamento secondo fratture tettoniche allungate con direzioni preferenziali ENE - WSW e NE - SW, e secondarie ortogonali tra loro WNW - ESE.

Sulle principali lineazioni tettoniche si è avuta l'impostazione della rete idrografica superficiale in epoca quaternaria, che ha prodotto la profonda erosione del basamento roccioso con il progressivo approfondimento e conseguente formazione di valli strette ad andamento rettilineo che drenano le acque di ruscellamento verso i settori orientali e nord occidentali dell'area, attraverso gli ampi bacini idrografici rispettivamente del Posada (a est) e del Coghinas (a nord ovest).

La lunga esposizione delle rocce granitiche agli agenti esogeni, insieme all'intensa fratturazione della roccia, hanno favorito l'instaurarsi di processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica nel tempo generando un primo strato superficiale più debole con la formazione delle *Coltri di arenizzazione granitica*, presenti per lo più nei settori vallivi: essi presentano uno spessore estremamente variabile, in funzione della composizione petrografica e della conformazione della roccia madre, nonché delle discontinuità strutturali che la caratterizzano, tali litologie mostrano un comportamento geotecnico ed idrogeologico estremamente variabile, e sono assimilabili a delle terre da pseudocoerenti a incoerenti.

La roccia granitica in tutta l'area di sviluppo del parco ed in corrispondenza dell'area di posa della nuova sottostazione in progetto, si presenta per lo più affiorante o sub affiorante; sono presenti in tutta l'area numerose cave, sia in esercizio sia dismesse, per l'estrazione del granito, che hanno modificato le caratteristiche del paesaggio locale con la presenza di fronti sub-verticali in corrispondenza di tagli artificiali, e laghetti artificiali.

Nell'area il Quaternario è rappresentato da una modesta e discontinua *Copertura detritica eluvio colluviale e di versante*, costituita da elementi detritici provenienti dal disfacimento della roccia granitica sottostante, in matrice sabbiosa prevalente, rinvenibili per lo più nelle aree di compluvio, sulla quale si sono sviluppati suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. Il loro spessore è in genere modesto, e varia da pochi cm fino all'ordine del metro nelle zone più depresse del sito. Sono inoltre presenti, in modo diffuso, *Depositi antropici* rappresentati da materiali di risulta e di scarto delle attività minerarie dismesse, prevalentemente incoerenti e sciolti, concentrati nelle numerose aree dove erano presenti le attività di cava.

Lungo i corsi d'acqua a ordine gerarchico maggiore invece, esternamente alle aree di sviluppo del parco, sono riconoscibili depositi torrentizi, di epoca attuale e recente (*Depositi alluvionali e Depositi alluvionali terrazzati*), anche nelle aste tributarie di primo e secondo ordine, che, ove presenti, risultano di modesto spessore e prevalentemente sabbioso ghiaiosi, con ciottoli in matrice arenacea spesso cementata.

4.2 CARATTERI TETTONICI E STRUTTURALI GENERALI

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 medio grado dei sedimenti arenacei Paleozoici, esterni all'area in esame e affioranti nel settore più orientale del sito, associato a sistemi di pieghe isoclinali coricate con direzione assiale principale NE-SW, e a locale rottura della placca scistosa e parziale rotazione di zolle. Durante la seconda fase tardo-orogenica, caratterizzata da movimenti più distensivi, si è avuta la messa in posto del Complesso intrusivo granitico, affiorante in modo diffuso nell'area in esame, lungo fratture e faglie preesistenti, e riattivazione delle faglie a carattere prevalentemente distensivo con direzione preferenziale E-W e ENE-WSW. Lungo tali direzioni successivamente si sono impostati i filoni a chimismo acido, che pervadono in modo diffuso la grande placca del Complesso scistoso cristallino.

Successivamente alla fase ercinica il territorio dal punto di vista tettonico è stato interessato da una relativa stabilità, interrotta lievemente dall'orogenesi nord appenninica prima e successivamente con l'orogenesi alpina, che hanno coinvolto solo marginalmente il settore regionale in esame: la prima tramite l'attivazione di una debole tettonica trascorrente con faglie orientate NE-SW, mentre la seconda mediante la riattivazione delle fratture N-S e NE - SW già esistenti, con deboli trascorrenze.

Queste fasi deformative hanno portato alla intensa strutturazione della roccia affiorante, la quale si presenta allo stato attuale intensamente fratturata e variamente alterata, che ha determinato la scomposizione della roccia con fratturazioni da poco pervasive a profonde. Lungo i sistemi di frattura presenti, come detto, si sono impostati i corsi d'acqua, che nel settore in esame scorrono per lo più secondo aste di ordine primario e secondario in prevalenza ortogonali tra loro; i rilievi sono caratterizzati da sommità sub-pianeggianti risalenti all'antico spianamento post-ercinico, interrotte da valli profonde e strette, dovute alla profonda attività erosiva dei corsi d'acqua.

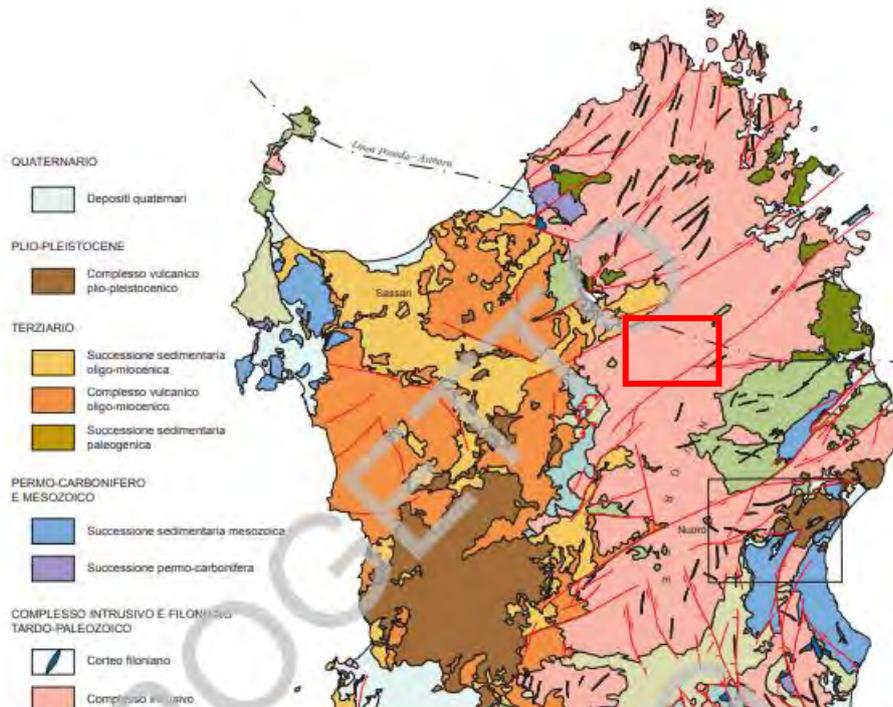


Figura 3 - Schema geologico strutturale della Sardegna. In rosso l'area in esame (Progetto CARG)

4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da un settore con dei rilievi granitici di forma allungata secondo asse ENE-WSW e NE-SW, paralleli alle incisioni dei corsi d'acqua che riprendono le linee di fratturazione tettonica. I rilievi nelle aree sommitali sono prevalentemente pianeggianti: tale carattere è il risultato della graduale demolizione del rilievo granitico paleozoico ad opera degli agenti erosivi, avvenuta alla fine dell'orogenesi ercinica, che ha portato alla formazione di estese superfici erosionali in rilievo, con il denudamento della roccia granitica costituente il basamento affiorante e ha dato luogo a rilievi dolci e arrotondati che si alternano a depositi di versante a debole acclività.

I fenomeni di sollevamento tettonico recente hanno determinato la morfologia del paesaggio con la ridefinizione della superficie erosionale post ercinica, oggi solcata dalle lineazioni tettoniche con direzione sempre ENE-WSW e NE-SW, lasciando in rilievo gli altopiani granitici a forma allungata con direzione medesima alle linee di fratturazione principali suddette.

Il territorio in esame rientra nella fascia altimetrica collinare compresa tra 634 e 698 m s.l.m., il maggiore rilievo è rappresentato dal nodo di Toccoddele, alto m. 781 s.l.m., dal quale parte un ampio altipiano con media prevalente intorno a 670 m s.l.m. Per quanto riguarda le pendenze medie si attestano tra il 1% e il 7,5%. La stazione elettrica è ubicata in territorio del comune di Buddusò su una quota di circa 768 m s.l.m.

L'affioramento prevalente dell'unità litologica del Complesso intrusivo granitico determina una monotonia del paesaggio, caratterizzato per lo più da forme arrotondate e poco acclivi, rocciosità dominante, spezzate da ampie valli rettilinee. Sono presenti sparsi nel territorio tagli artificiali nelle aree sommitali e lungo i versanti, e bacini artificiali, dovuti principalmente alle attività di cava per l'estrazione del pregiato granito locale, sia in esercizio sia inattive, che hanno determinato la presenza frequente di fronti di roccia sub-verticale e cumuli di materiale di risulta proveniente dall'attività estrattiva stessa, composti da blocchi rocciosi e detritici, spigolosi, sciolti, di natura granitica, che nell'Elaborato *D.2.4 Carta Geologica* sono rappresentati dai *Depositi antropici*.

Gli aerogeneratori eolici in progetto sono posti nelle aree sommitali del rilievo, la loro collocazione fa sì che non sussistano evidenze morfologiche di dissesto, né in atto, né potenziali.

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 nelle sommità dei rilievi e altopiani granitici costituenti gli spartiacque tra i due importanti bacini a carattere regionale, il Coghinas e il Posada: il reticolo idrografico in questo settore si presenta in prevalenza con aste di primo ordine, modeste e ad andamento rettilineo, impostate su valli a V ad elevata pendenza, incassate sui rilievi granitici collinari, a regime torrentizio e deflusso idrico superficiale strettamente legato alle precipitazioni, fino alle zone di pianura con corsi d'acqua che assumono un carattere più evoluto a deflusso continuo, su ampie valli prettamente pianeggianti.

Il reticolo idrografico è influenzato dall'assetto strutturale e dalla litologia affiorante, prevalentemente impermeabile. Le sommità dei rilievi ove sorgono le torri eoliche costituiscono gli spartiacque dei corsi idrici superficiali.

La circolazione idrica superficiale interferente con le opere di progetto verrà regimata dal sistema di drenaggio in progetto, dimensionato in modo da permettere l'evacuazione in fossi di guardia da realizzarsi su entrambi i lati della carreggiata della rete stradale coinvolta, al fine di dare continuità agli impluvi naturali presenti.

Le opere di intervento non presentano interferenze al deflusso di piena nell'area di esondazione dell'idrografia presente, poiché l'intera impronta degli aerogeneratori con la piazzola definitiva e della sottostazione ricade al di fuori delle aree esondabili.

Per quanto riguarda invece la circolazione idrica sotterranea, dalle analisi idrogeologiche, bibliografiche e cartografiche condotte, e dai rilievi diretti in situ si evince che nel sito indagato non è presente una falda idrica superficiale. Nei litotipi intrusivi granitici la circolazione idrica profonda, in genere scarsa nel settore di indagine, è limitata alla presenza di discontinuità e fratture nella roccia, che al contatto con la superficie possono portare ad emergenze idriche sorgentizie.

5.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE

Da un punto di vista idrogeologico, nel settore indagato è presente in modo esteso l'Unità idrogeologica a permeabilità medio bassa, comprendente il complesso granitoide fratturato.

I sistemi di fratturazione presenti nel basamento impermeabile definiscono una permeabilità secondaria per fratturazione, con parziale infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano la circolazione idrica profonda, fortemente condizionata dunque dalla presenza di discontinuità, maggiormente intensa in prossimità delle faglie principali.

Il coefficiente di permeabilità rilevato da dati bibliografici¹ varia da valori molto bassi ($>10^{-7}$ m/s) nella roccia sana fino a valori di 10^{-5} m/s nelle zone intensamente fratturate o nelle fasce arenizzate.

Limitatamente alle aree di fondo valle è presente una permeabilità primaria (per porosità) legata ai depositi fluviali e i depositi detritici eluvio colluviali, che presentano spessori da modesti ad alcuni metri nelle aree di piana alluvionale.

5.3 CARTA IDROGEOLOGICA

La monotonia delle unità litologiche, le condizioni stratigrafiche e strutturali del territorio determinano una caratterizzazione idrogeologica del sito piuttosto omogenea, riportata nell'Elaborato D.2.5 - Carta Idrogeologica, che definisce i litotipi principali interessati dalle opere di progetto secondo le caratteristiche di permeabilità, ed in particolare:

Litotipi permeabili per porosità (permeabilità primaria):

Permeabilità alta e medio-alta: depositi a granulometria mista, in matrice sabbioso limosa, talora debolmente argillosa, parzialmente/mediamente addensati; in questa classe sono inseriti i depositi detritici di versante e i depositi alluvionali, poco diffusi nel territorio in esame, localizzati unicamente nelle aree di compluvio e fondovalle; sono compresi inoltre i prodotti di disfacimento del basamento granitico presenti negli strati più superficiali, poco profondi, costituiti in prevalenza da granito arenizzato, con matrice sabbioso argillosa.

Litotipi permeabili per fratturazione (permeabilità secondaria):

Permeabilità medio-bassa: Graniti in facies rocciosa diffusamente fratturati, con discontinuità da poco profonde a profonde con presenza di materiale di riempimento in prevalenza argilloso.

¹ Fonte: Ispra "Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

6. INDAGINE GEOTECNICA

L'analisi geotecnica finalizzata a definire le caratteristiche meccaniche di massima 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 dove possibile attraverso analisi di tipo speditivo *in situ*, attraverso la definizione della resistenza a compressione uniassiale della roccia che fa riferimento alla classe litotecnica determinabile dal "*Manuale Index Test*" proposto dall'ISRM (1978), ridefinita, attraverso analisi più precisa, effettuata sugli affioramenti di roccia, mediante sclerometro per roccia "martello di Schmidt".

I risultati dell'indagine preliminare hanno permesso di rilevare localmente, in modo discontinuo, la presenza di uno strato di alterazione superficiale sull'ammasso granitico roccioso affiorante, poco profondo, in cui i processi pedogenetici hanno portato alla formazione di un suolo di profondità da 0.20 a 0.50 m da piano campagna, su cui è impostata la copertura vegetale, al di sotto del quale si rileva la presenza della roccia lapidea, fratturata, con buone caratteristiche meccaniche con caratteristiche di Resistenza alla compressione (definita in Mpa) discrete. I risultati di tali prove speditive eseguite in situ nelle aree di posa degli aerogeneratori in progetto hanno consentito di effettuare una classificazione geotecnica, che ha portato all'individuazione di unità geotecniche considerate omogenee, in riferimento alla costituzione geologica dei terreni, al grado di alterazione, alle condizioni morfologiche (acclività) e alle condizioni idrogeologiche dell'area. Essi sono sintetizzati nell'Elaborato "*D.2.6 - Carta Geotecnica*" effettuata in scala 1: 10.000, che contiene una prima distinzione dei litotipi sulla base delle caratteristiche tecnico meccaniche. Si tratta di una valutazione di massima, che dovrà essere verificata puntualmente nella fase progettuale esecutiva.

6.1 MANUAL INDEX TEST

Durante le indagini speditive eseguite in situ è stata effettuata una prima valutazione, del tutto indicativa, della resistenza a compressione uniassiale della roccia, attraverso la metodologia proposta dall'ISRM (1978) che permette una classificazione della roccia rappresentativa mediante il "*Manual Index Test*", lungo le aree di posa degli aerogeneratori. Questa prova prevede l'utilizzo in campagna del martello da geologo sull'affioramento roccioso e, in funzione della "reazione" dell'ammasso, è possibile identificare la roccia in una classe litotecnica, avente determinate caratteristiche di Resistenza alla compressione (definita in MPa), attraverso il confronto con la seguente tabella:

MANUAL INDEX TEST (da ISRM, 1978)

CLASSE	DESCRIZIONE	IDENTIFICAZIONE	U.C.S. (MPa)
R1	ROCCIA MOLTO DEBOLE	Si sbriciola sotto colpi decisi con la punta del martello. Si graffia con coltello	1.0-5.0
R2	ROCCIA DEBOLE	Graffiata con difficoltà dal coltello. Piccole scalfitture provocate da colpi decisi con la punta del martello	5.0-25
R3	ROCCIA MEDIAMENTE RESISTENTE	Non può essere scalfita né graffiata dal coltello. Un campione può fratturarsi con un singolo colpo di martello	25-50
R4	ROCCIA RESISTENTE	Un campione richiede più di un colpo di martello per fratturarsi	50-100
R5	ROCCIA MOLTO RESISTENTE	Un campione richiede molti colpi di martello per fratturarsi	100-250
R6	ROCCIA ESTREH. RESISTENTE	Un campione può solo essere scheggiato col martello	>250

- U.C.S. = Resistenza a compressione uniassiale (MPa).
- Le classi da R1 a R6 riguardano terre coesive, argille, argille limose e combinazioni di limo e argilla con sabbia a drenaggio lento.
- Le classi R0 a R6 riguardano rocce.

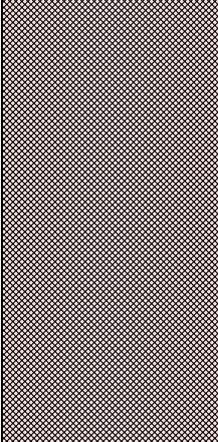
Figura 4: Tabella di riferimento per la definizione del Manual Test Index (ISRM, 1978)

Dalle indagini effettuate, i risultati ottenuti hanno permesso di classificare la roccia in esame secondo le classi R 4 (Roccia Resistente) e R 5 (Roccia molto resistente), con un grado di resistenza alla compressione uniassiale pari a 50-100 MPa e 100-250 MPa.

7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

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 in 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 basamento granitico roccioso, costituito da un primo strato, in facies arenizzata e semilapidea fino alla profondità di -3,5 m, 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, in quanto, la presenza di alcuni pozzi privati nella zona attestano la presenza della falda acquifera profonda a -15 / -20 m dal p.c. nelle aree di progetto.

<i>Unità litologica</i>	<i>profondità</i>	<i>Descrizione</i>
	- 0,50 m	SUOLO
	-3,50 m	GRANITO ARENIZZATO Peso di Volume = 2,20 Ton/m ³ Coesione = 9,8 KPa Angolo di attrito = 34°
	- 10,0 m	GRANITO IN FACIES LAPIDEA Peso di Volume = 2,30 Ton/m ³ Resistenza a compressione monoassiale = 22 Mpa Coesione di picco = 320,60 KPa Angolo di attrito di picco = 37,061° Coesione residua = 256,48 KPa Angolo di attrito residuo = 30,65° Modulo di deformazione = 28,24 GPa

8. 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.

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	$\gamma\gamma$	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.

8.1 PARAMETRI GEOTECNICI

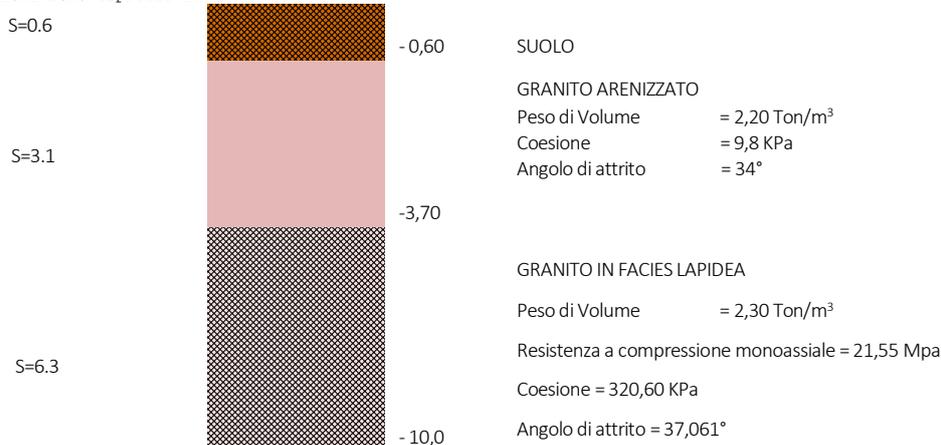
Vengono elencati in modo sintetico i risultati del sondaggio eseguito nel sito, con l'indicazione dei terreni incontrati, degli spessori e dell'eventuale falda acquifera.

Nome attribuito al sondaggio: Sondaggio tipo 1

Coordinate planimetriche del sondaggio nel sistema globale scelto: 0, 0

Quota della sommità del sondaggio (P.C.) nel sistema globale scelto: 0

I valori sono espressi in m



Piano 1 (Z=0.3).....

Fondazione (Z=-2.5) ...

Immagine: Sondaggio tipo 1

Stratigrafie

Terreno: terreno mediamente uniforme presente nello strato.

Sp.: spessore dello strato. [m]

Kor,i: coefficiente K orizzontale al livello inferiore dello strato per modellazione palo. [daN/m³]

Kor,s: coefficiente K orizzontale al livello superiore dello strato per modellazione palo. [daN/m³]

Kve,i: coefficiente K verticale al livello inferiore dello strato per modellazione palo. [daN/m³]

Kve,s: coefficiente K verticale al livello superiore dello strato per modellazione palo. [daN/m³]

Eel,s: modulo elastico al livello superiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/m²]

Eel,i: modulo elastico al livello inferiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/m²]

Eed,s: modulo edometrico al livello superiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/m²]

Eed,i: modulo edometrico al livello inferiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/m²]

CC,s: coefficiente di compressione vergine CC al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CC,i: coefficiente di compressione vergine CC al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CR,s: coefficiente di ricomprensione CR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CR,i: coefficiente di ricomprensione CR al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

E0,s: indice dei vuoti E0 al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione. Il valore è adimensionale.

E0,i: indice dei vuoti E0 al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione. Il valore è adimensionale.

OCR,s: indice di sovraconsolidazione OCR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 1 per terreno NC. Il valore è adimensionale.

OCR,i: indice di sovraconsolidazione OCR al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 1 per terreno NC. Il valore è adimensionale.

Terreno	Sp.	Kor,i	Kor,s	Kve,i	Kve,s	Eel,s	Eel,i	Eed,s	Eed,i	CC,s	CC,i	CR,s	CR,i	E0,s	E0,i	OCR,s	OCR,i
Suolo	0.6	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	600000	600000	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Granito arenizzato	3.1	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	5.1E9	5.1E9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Granito in facies rocciosa	6.3	1.5E6	1.0E6	1.0E6	1.0E6	7.4E9	7.4E9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Coesione: coesione del terreno. [daN/m²]

Coesione non drenata: coesione non drenata (Cu) del terreno. [daN/m²]

Attrito interno: angolo di attrito interno del terreno. [deg]

δ: angolo di attrito all'interfaccia terreno-cls. [deg]

Adesione: coeff. di adesione della coesione all'interfaccia terreno-cls. Il valore è adimensionale.

K0: coefficiente di spinta a riposo del terreno. Il valore è adimensionale.

γ naturale: peso specifico naturale del terreno in sito, assegnato alle zone non immerse. [daN/m³]

γ saturo: peso specifico saturo del terreno in sito, assegnato alle zone immerse. [daN/m³]

E: modulo elastico longitudinale del terreno. [daN/m²]

Poisson: coefficiente di Poisson del terreno. Il valore è adimensionale.

Rqd: rock quality degree. Per roccia assume valori nell'intervallo (0;1]. Il valore convenzionale 0 indica che si tratta di un terreno sciolto. Il valore è adimensionale.

Descrizione	Coesione	Coesione non drenata	Attrito interno	δ	Adesione	K0	γ naturale	γ saturo	E	Poisson	Rqd
Suolo	600	6000	25	17	0.4	0.58	1800	2000	600000	0.3	0
Granito arenizzato	9800	0	34	25	1	0.43	2200	2260	5.10E09	0.3	0.73
Granito in facies rocciosa	32060	0	37	25	1	0.37	2300	2390	7.40E09	0.3	0.83

8.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Dati geometrici dell'impronta di calcolo

Forma dell'impronta di calcolo: rettangolare di area equivalente

Area di ingombro esterno minore: 3764170

Angolo di rotazione corrispondente all'ingombro minore (deg): -22.5

Rapporto di forma trovato (area ingombro esterno/area fondazione): 1.21

Coordinata X del centro impronta: 1103

Coordinata Y del centro impronta: 285

Coordinata Z del centro impronta: -595
Lato minore B dell'impronta: 1766
Lato maggiore L dell'impronta: 1766
Area dell'impronta rettangolare di calcolo: 3118341

Verifica di scorrimento sul piano di posa - Combinazioni non sismiche

Combinazione con fattore di sicurezza minore: SLU 1
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Forza risultante agente in direzione x: 127957.32
Forza risultante agente in direzione y: 53001.66
Forza risultante agente in direzione z: -2361500.97
Inclinazione del carico in direzione x (deg): 3.1
Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.29
Angolo di attrito di progetto (deg): 25.
Azione di progetto (risultante del carico tangenziale al piano di posa): 138500.
Resistenza di progetto: 1001078.17
Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 1.1
Coefficiente di sicurezza normalizzato k_s min (Rd/Ed): 7.23

Verifica di scorrimento sul piano di posa - Combinazioni sismiche

Combinazione con fattore di sicurezza minore: SLV fondazioni 13
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Forza risultante agente in direzione x: 181023.13
Forza risultante agente in direzione y: 58392.59
Forza risultante agente in direzione z: -2361500.97
Inclinazione del carico in direzione x (deg): 4.38
Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.42
Angolo di attrito di progetto (deg): 25.
Azione di progetto (risultante del carico tangenziale al piano di posa): 190207.96
Resistenza di progetto: 1001078.17
Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 1.1
Coefficiente di sicurezza normalizzato k_s min (Rd/Ed): 5.26

Verifica di capacità portante sul piano di posa - Combinazioni non sismiche

Combinazione con fattore di sicurezza minore: SLU 5
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Azione di progetto (risultante del carico normale al piano di posa): -3069951.26
Resistenza di progetto: 84096351.42
Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 2.3
Coefficiente di sicurezza normalizzato k_p min (Rd/Ed): 27.39

Parametri utilizzati nel calcolo:

Progetto definitivo

Forza risultante agente in direzione x: 166344.51
Forza risultante agente in direzione y: 68902.15
Forza risultante agente in direzione z: -3069951.26
Momento agente in direzione x: -841838777.44
Momento agente in direzione y: 2032378601.82
Inclinazione del carico in direzione x (deg): 3.1
Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.29
Eccentricità del carico in direzione x: 662.02
Eccentricità del carico in direzione y: -274.22
Impronta al suolo (BxL): 1766 x 1766
Larghezza efficace ($B'=B-2*e$): 441.84
Lunghezza efficace ($L'=L-2*e$): 1217.44
Coesione di progetto: 3.5
Sovraccarico di progetto: .67
Peso specifico di progetto del suolo : 0.0024
Angolo di attrito di progetto (deg): 39.

Fattori di capacità portante

N	S	D	I	B	G	P	E	Tipo
85.97	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00 Coesione
70.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00 Sovraccarico
86.21	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00 Attrito

Verifica di capacità portante sul piano di posa - Combinazioni sismiche

Combinazione con fattore di sicurezza minore: SLV fondazioni 13
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Azione di progetto (risultante del carico normale al piano di posa): -2361500.97
Resistenza di progetto: 77797681.81
Coefficiente parziale applicato alla resistenza: 2.3
Coefficiente di sicurezza normalizzato $k_p \min (R_d/E_d)$: 32.94

Parametri utilizzati nel calcolo:

Forza risultante agente in direzione x: 181023.13
Forza risultante agente in direzione y: 58392.59
Forza risultante agente in direzione z: -2361500.97
Momento agente in direzione x: -650883715.84
Momento agente in direzione y: 1596003629.3
Inclinazione del carico in direzione x (deg): 4.38
Inclinazione del carico in direzione y (deg): 1.42
Eccentricità del carico in direzione x: 675.84
Eccentricità del carico in direzione y: -275.62
Impronta al suolo (BxL): 1766 x 1766

Larghezza efficace ($B'=B-2*e$): 414.2
Lunghezza efficace ($L'=L-2*e$): 1214.64
Coesione di progetto: 3.5
Sovraccarico di progetto: .67
Peso specifico di progetto del suolo : 0.0024
Angolo di attrito di progetto (deg): 39.
Accelerazione normalizzata massima al suolo: .02

Fattori di capacità portante

N	S	D	I	B	G	P	E	Tipo
85.97	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Coesione
70.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Sovraccarico
86.21	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99 Attrito

8.3 PRESSIONI TERRENO IN SLU

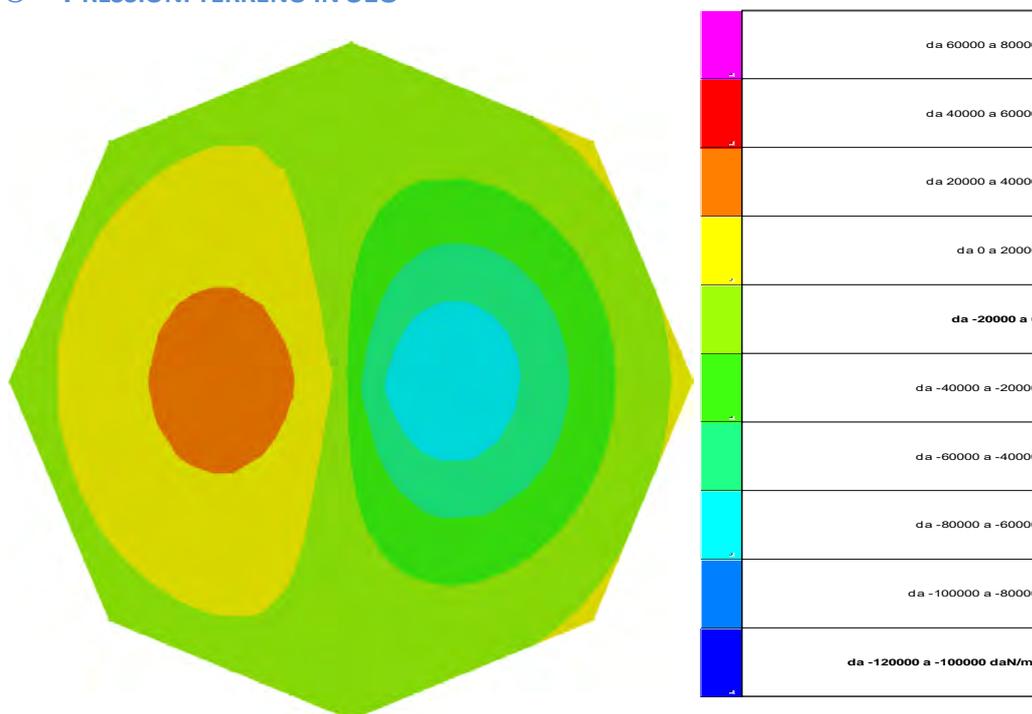


Figura 5 - Rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglia SLU.

8.4 PRESSIONI TERRENO IN SLVf/SLUECC

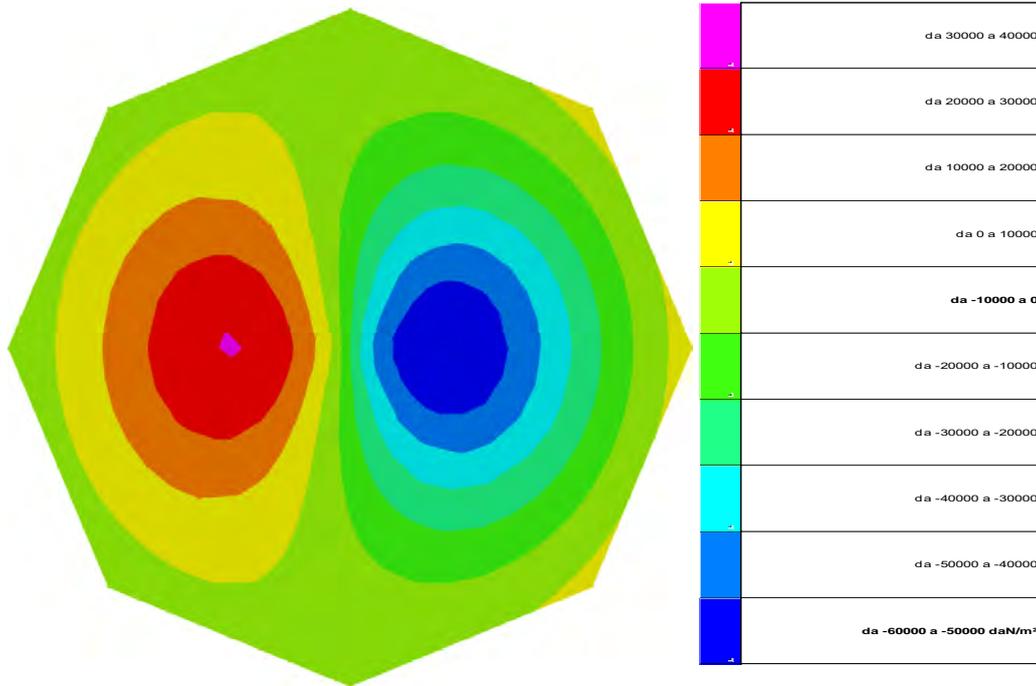


Figura 6 - Rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglie SLVf/SLUEcc.

8.5 PRESSIONI TERRENO IN SLE/SLD

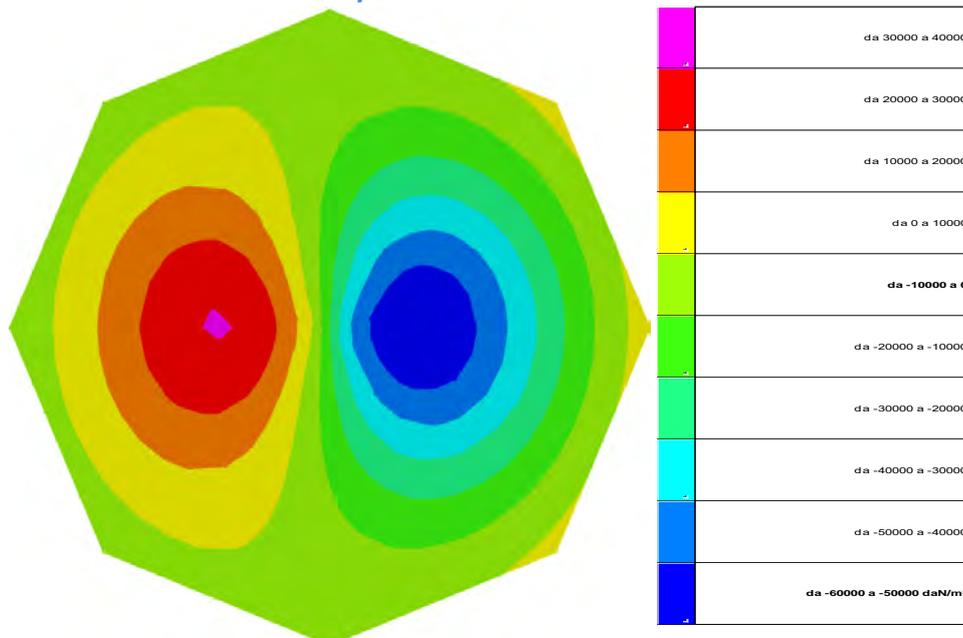


Figura 7 - Rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglie SLE/SLD.

8.6 CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI

Spostamento estremo minimo -0.0005954 m al nodo di indice 294, di coordinate $x = 14.11$, $y = 2.85$, $z = -3.75$, nel contesto SLD 13.

Spostamento estremo massimo 0.0003117 m al nodo di indice 289, di coordinate $x = 7.36$, $y = 2.85$, $z = -3.75$, nel contesto SLD 13.

Cedimento elastico estremo massimo 0.0000286 m al nodo di indice 294, di coordinate $x = 14.11$, $y = 2.85$, $z = -3.75$, nel contesto SLE rara 1.

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

In relazione alle finalità e agli obiettivi con cui sono state individuate le soluzioni progettuali, i lavori di scavo da effettuarsi in aree di pericolosità PAI Hg2 e Hg3 per la posa del cavidotto andranno ad effettuati tutti su strade asfaltate già esistenti:

I lavori non prevedono opere di fondazione significative.

I lavori di interro per la posa del cavidotto saranno da effettuarsi sulla 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.

10. 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.

11. CONCLUSIONI

Lo studio di Compatibilità geologica e geotecnica è stato redatto a supporto del progetto definitivo del Parco Eolico denominato "BUDDUSO' SUD I" sito nei territori amministrativi dei Comuni di Buddusò e Alà dei Sardi (provincia di Sassari) ed in particolare per le opere accessorie (cavidotto) che interessa areali a pericolosità da frana Hg2, così come definite dal Piano assetto Idrogeologico.

Nel presente studio 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, che si presenta in facies arenizzata e semilapidea nelle porzioni più superficiali, e ricoperta da un debole strato pedogeneizzato. Localmente i processi di arenizzazione e degradazione che avvengono tipicamente negli strati più superficiali dei graniti in affioramento, ad opera degli agenti esogeni, determinano una diminuzione delle proprietà geotecniche che tuttavia, come rilevato da studi eseguiti nella zona su litologie simili, migliorano nettamente all'aumentare della profondità.

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.

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 nei terreni ospitanti le opere in progetto, 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; 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.

Particolare cura dovrà essere posta ai lavori di posa del cavidotto, in particolare dove esso andrà a intercettare zone a pericolosità Hg1 e Hg2 secondo il PAI regionale: in questo caso dovranno essere rispettate le prescrizioni previste dal PAI; esso, così come da progetto verrà collocato interrato lungo la pista sterrata esistente e per una profondità di scavo limitata in coerenza con le N.T.A del PAI art. 31 comma 3, 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 cause di pericolosità potenziale né la sistemazione idrogeologica; pertanto le interferenze evidenziate non generano alcuna modifica all'assetto dell'area.

Per quanto riguarda invece l'area di posa dell'aerogeneratore WTG 06, ricadente in area Hg1 del PAI regionale, essa è stata valutata al fine di prediligere un'area pianeggiante distante dai punti di maggior declivio, ove non si evidenziano dagli studi e i rilievi eseguiti in loco, particolari situazioni di instabilità geomorfologica né in atto, né potenziale.

Nella presente relazione inoltre sono riportate le caratteristiche del modello geologico di riferimento, utilizzato per la verifica di capacità portante delle fondazioni delle opere di progetto.

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 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 presenti in progetto, si evince che essi:

- non modifichino 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,
- l'incremento dei carichi agenti sul terreno, relativamente alla messa in opera del cavidotto interrato in progetto, sono da considerarsi minimi; pertanto, non produrranno cambiamenti allo stato attuale del sistema opera – terreno.

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 Buddusò e Alà dei Sardi
Provincia di Sassari - REGIONE SARDEGNA

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO
"BUDDUSÒ SUD I" NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI
BUDDUSÒ E ALÀ DEI SARDI (SS)**

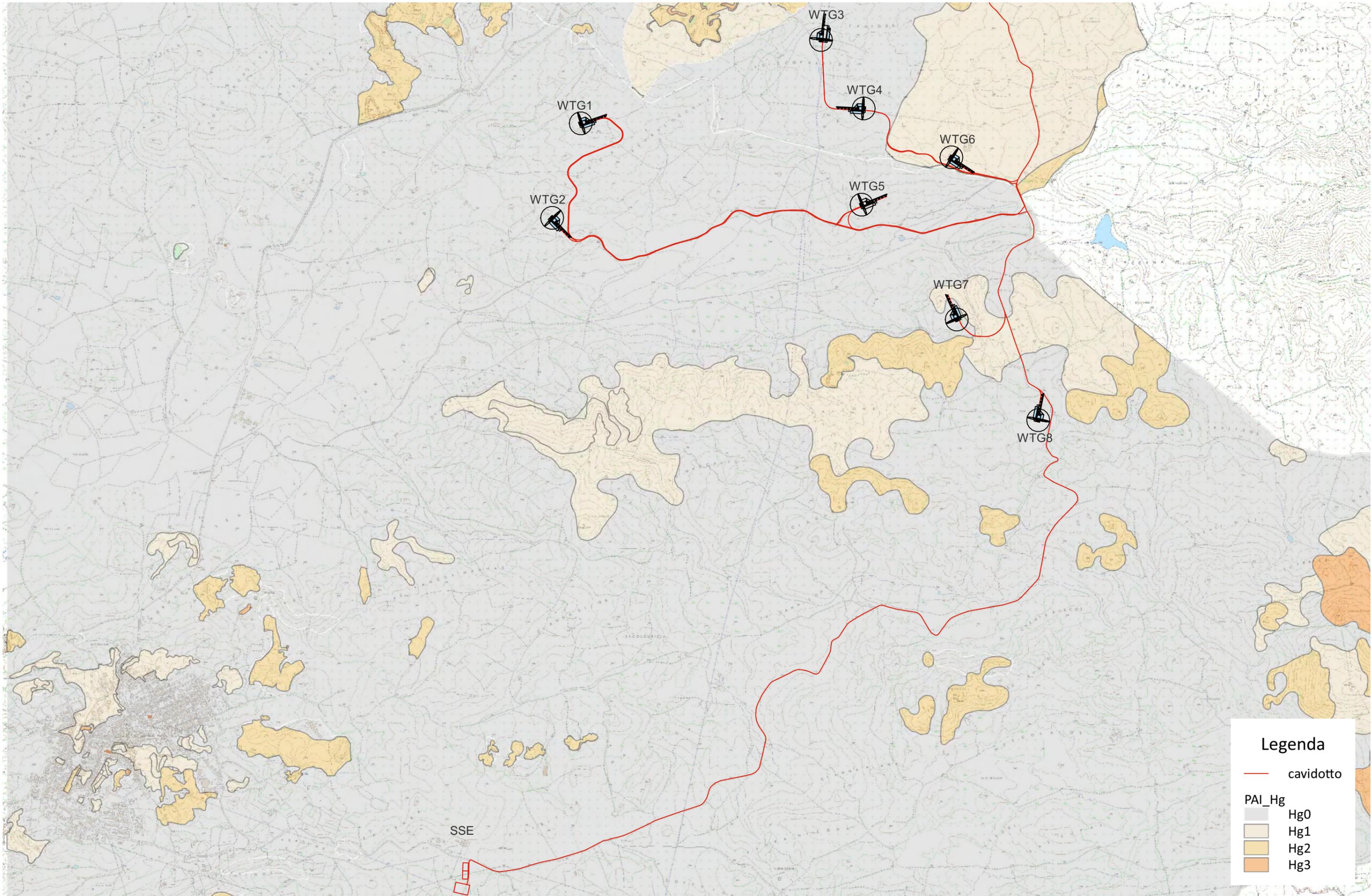
Progetto definitivo



ALLEGATI

Inquadramento su Carta della Pericolosità da frana (scala 1: 25.000)

0 1 2 km



Legenda

- cavidotto
- PAI_Hg
 - Hg0
 - Hg1
 - Hg2
 - Hg3