



Comune di
Tempio Pausania



Comune di
Aglientu

Regione Sardegna



NUOVO IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA "CAMPOVAGLIO" NEI COMUNI DI TEMPIO PAUSANIA - AGLIENTU (SS)

PROGETTO DEFINITIVO

Acciona Energia Global Italia S.r.l.

Via Achille Campanile, 73

00147 - Roma

Phone: (+39) 06 50514225

PEC: accionaglobalitalia@legalmail.it



PROPONENTE

2 – STUDI GEOLOGICI E GEOTECNICI

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

OGGETTO



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

TIMBRI E FIRME

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

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



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

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	AGO/2023
COD. LAVORO	576/SR
TIPOL. LAVORO	D
SETTORE	G
N. ATTIVITA'	02
TIPOL. ELAB.	RS
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	01
VERSIONE	0

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

ing. Roberto SESENNA

APPROVATO

ing. Luca DEMURTAS

ELABORATO

D.2.1

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	4
3.1 PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE	4
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE	6
4.1 ASSETTO GEOLOGICO DI INQUADRAMENTO.....	6
4.2 CARATTERI TETTONICI E STRUTTURALI GENERALI	7
4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	8
5. IDROGEOLOGIA DELL'AREA	10
5.1 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA	10
5.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE	10
5.3 CARTA IDROGEOLOGICA.....	11
6. CARTA GEOTECNICA.....	12
6.1 MANUAL INDEX TEST	12
6.2 PROVE SCLEROMETRICHE	13
6.3 ACCLIVITÀ.....	14
6.4 CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA DEI LITOTIPI AFFIORANTI.....	14
7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	16
8. CONCLUSIONI	17

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Perimetrazione su Cartografia PAI frane –

1. PREMESSA

La presente relazione geologica supporta il progetto per la realizzazione di un nuovo parco eolico denominato "CAMPOVAGLIO", sito nei territori amministrativi dei Comuni di Tempio Pausania e Aglientu, composto da 11 aerogeneratori del tipo NORDEX N163 6.X o similare. Gli aerogeneratori hanno potenza nominale fino a 7,0 MW, per una potenza complessiva massima del parco eolico di 77 MW, e da una sottostazione elettrica di collegamento alla rete elettrica nazionale, in località Littighedda, in comune di Aglientu.

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.

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.

Le aree oggetto degli interventi principali come le piazzole degli aerogeneratori e le fondazioni non ricadono all'interno di aree perimetrate dal PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) che invece interessano per alcuni brevi tratti il cavidotto interrato, che si estende per vari chilometri sfruttando in gran parte la viabilità esistente. Lungo questi brevi tratti dove il cavidotto intercetta zone a pericolosità Hg2 e Hg3, esso verrà collocato all'interno dell'attuale cassonetto stradale, o eventualmente in banchina, così come da progetto; pertanto, le interferenze evidenziate non generano alcuna modifica dell'assetto geomorfologico preesistente.

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. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in esame è individuata cartograficamente al Foglio 427 sezione I dell'IGM, in scala 1:25.000, nella sezione 427 070 "Camporotondo" e 427 080 "Bassacutena" della cartografia tecnica della Regione Sardegna, in scala 1:10.000, al Foglio 181 "Tempio Pausania" della Carta geologica d'Italia, in scala 1:100.000.

Tutti gli aerogeneratori proposti ricadono in Comune di Tempio Pausania, mentre la sottostazione andrà a posizionarsi in Comune di Aglientu, a circa 2,5 km ad est dall'area di sviluppo del parco eolico.

Le torri eoliche si sviluppano principalmente sulla sommità di altopiano allungati secondo direzione NE-SW, formati da rilievi di origine granitica molto arrotondati e livellati, intersecati da numerosi corsi d'acqua a regime prevalentemente torrentizio, di primo ordine, che ricalcano le lineazioni principali della zona, e che si sviluppano con direzione principale NE-SW e secondariamente ortogonale ad essa NW-SE e che confluiscono nel bacino del Fiume Liscia, che scorre nel settore orientale dell'area.

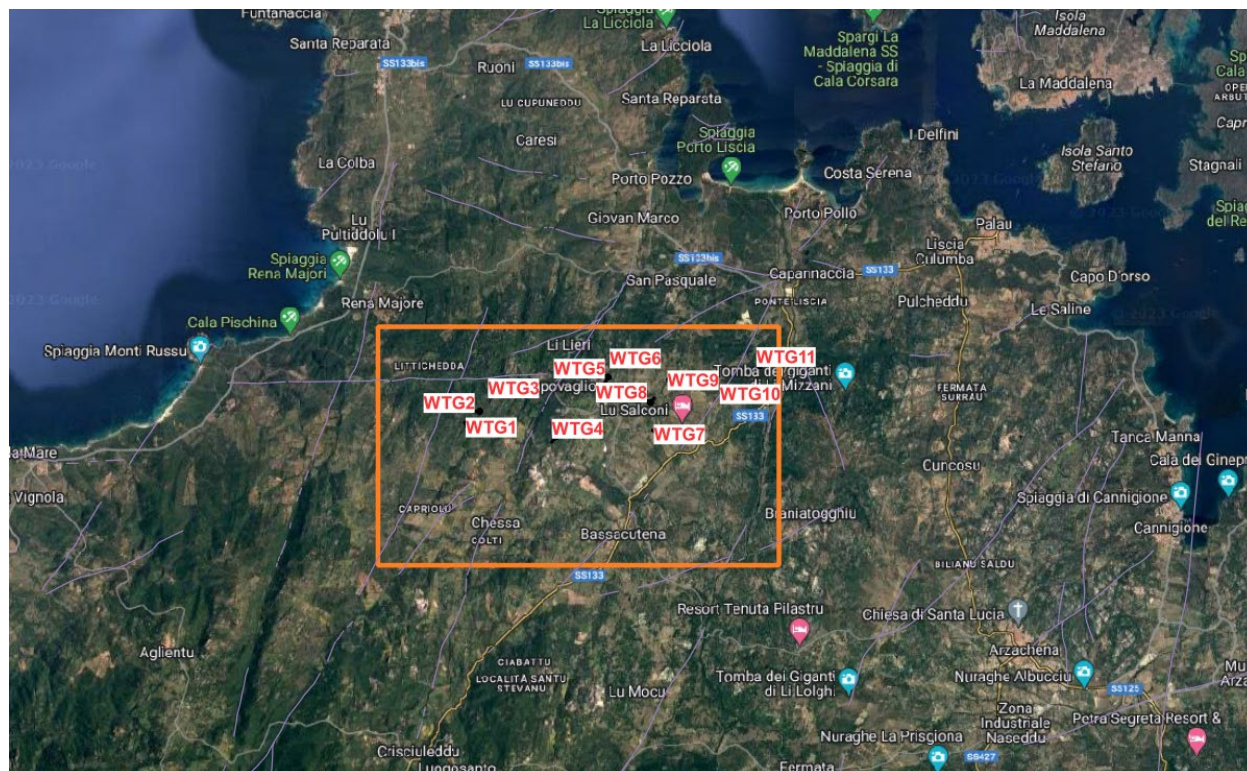


Figura 1 – Inquadramento del Parco eolico in progetto, ricadente tra i comuni di Tempio Pausania e Aglientu.

3. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Lo studio dell'area è stato eseguito a norma di quanto richiesto dal D.M. 17.01.18 Testo Unico “Norme Tecniche per le Costruzioni”, ai paragrafi 7.1.1 e 7.2. che individuano le fasi riguardanti la caratterizzazione e modellazione geologica del sito nonché le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consistono nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Il lavoro è stato sviluppato anche con riferimento al Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico “Interventi sulla rete idrografica e sui versanti” Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e ss. mm. ii.

3.1 PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE

Alcuni aerogeneratori in progetto ricadono in aree censite dal PAI (Piano Assetto Idrogeologico) della Regione Sardegna, in particolare le piazzole e relative fondazioni degli aerogeneratori WGT01 e WGT05 sono perimetrate 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 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 e alla presenza di compluvi dove comunque non sono presenti indizi di dinamiche geomorfologiche in corso. La posizione degli aerogeneratori in progetto è stata 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, che si estende per vari chilometri sfruttando in gran parte la viabilità esistente, interessa areali a pericolosità Hg1, Hg2 e Hg3: esso verrà collocato all'interno dell'attuale cassonetto stradale, o eventualmente in banchina, così come da progetto; pertanto, le interferenze evidenziate non generano alcuna modifica dell'assetto geomorfologico esistente.

In particolare, per quanto riguarda il tracciato del cavidotto ricadente in aree 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” i: “Le nuove reti urbane riferibili a servizi pubblici essenziali sono consentite a condizione che con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato venga dimostrato che per la loro realizzazione sono previsti scavi da effettuare esclusivamente lungo strade esistenti e per una profondità di scavo limitata; sono, altresì, consentite nuove linee aeree riferibili a servizi pubblici essenziali a condizione che con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato venga dimostrato che i sistemi sostegno-fondazione risultino adeguatamente dimensionati e verificati

rispetto a tutte le possibili azioni che possano comprometterne la loro stabilità e che gli scavi e le opere per il loro posizionamento non determinino peggioramento del dissesto ante intervento”.

Nell’Allegato 1 alla presente relazione è riportato l’inquadramento del progetto sulla cartografia PAI frana, mentre nella tavola “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.

Per le interferenze delle opere di progetto con le aree di pericolosità da frana descritte, viene predisposto l’elaborato “2.7 – Studio di compatibilità geologica e geotecnica” allegato al presente progetto.

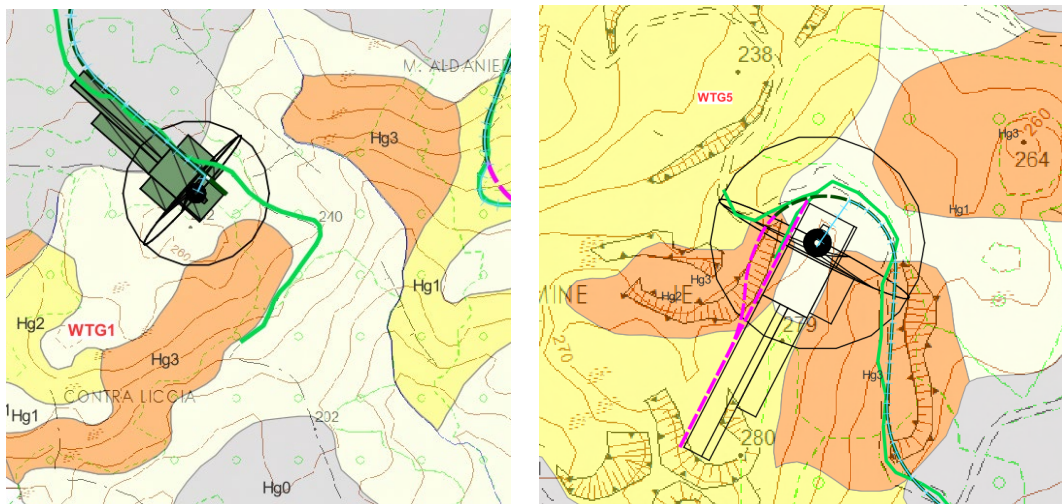


Figura 2 – Particolare dell’ubicazione degli aerogeneratori WRG 1 e WTG 5, ricadenti in area Hg 1. In particolare, la WTG 05 ricade in prossimità di aree censite Hg3, ma l’aerogeneratore e la fondazione interessa unicamente areali in Hg 1, per tanto i lavori di scavi e movimento terra, così come da progetto, non interesseranno le aree Hg3.

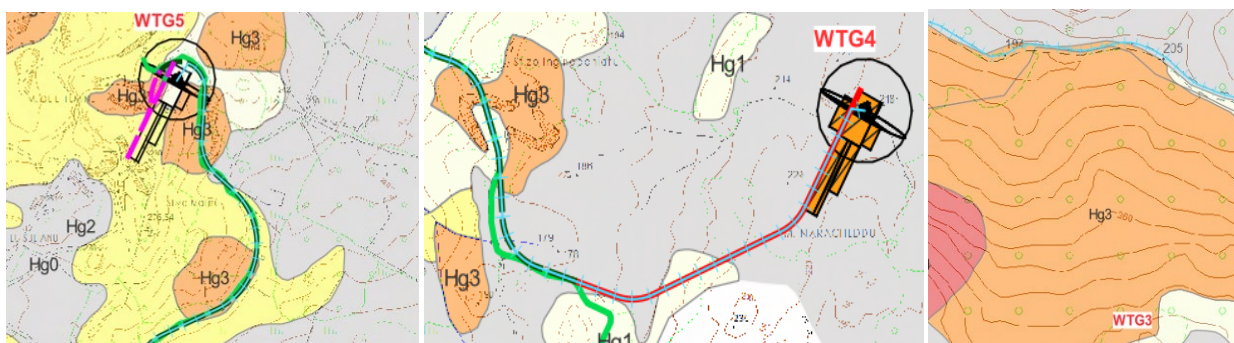


Figura 3 – Nelle immagini riportate si evidenzia il passaggio del cavidotto in progetto su aree PAI Hg2 e Hg3, su strade già esistenti, nei pressi degli aerogeneratori WTG 05, WTG 04 e WTG 03.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

4.1 ASSETTO GEOLOGICO DI INQUADRAMENTO

Nel territorio la litologia predominante è rappresentata dal “*Complesso granitico della Gallura*” 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 granitico intrusivo è rappresentato dai termini granodioritici, monzogranitici e leucogranitici a biotite, inequigranulari, 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 (quarziti, porfidi, filoni, litici e lamprofirici), impostatesi durante le fasi tardive dell’orogenesi ercinica lungo le fratture generate 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 settentrionale del settore di interesse, affiorano le litologie erciniche più antiche riferibili al complesso metamorfico, rappresentate dal *Complesso Migmatitico pre – Cambriano*, petrograficamente in cui vengono riconosciute petrograficamente metatessiti, diatessiti e ortogneiss.

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 NE - SW e NNE - SSW, e secondarie ortogonali tra loro NWE - SE e 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 il settore nordorientale dell’area, attraverso l’ampio bacino idrografico del Fiume Liscia.

L’intensa fratturazione della roccia granitica ha portato ad uno stato di debolezza della roccia che ne ha favorito l’alterazione chimica e la disgregazione meccanica, causando 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 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.

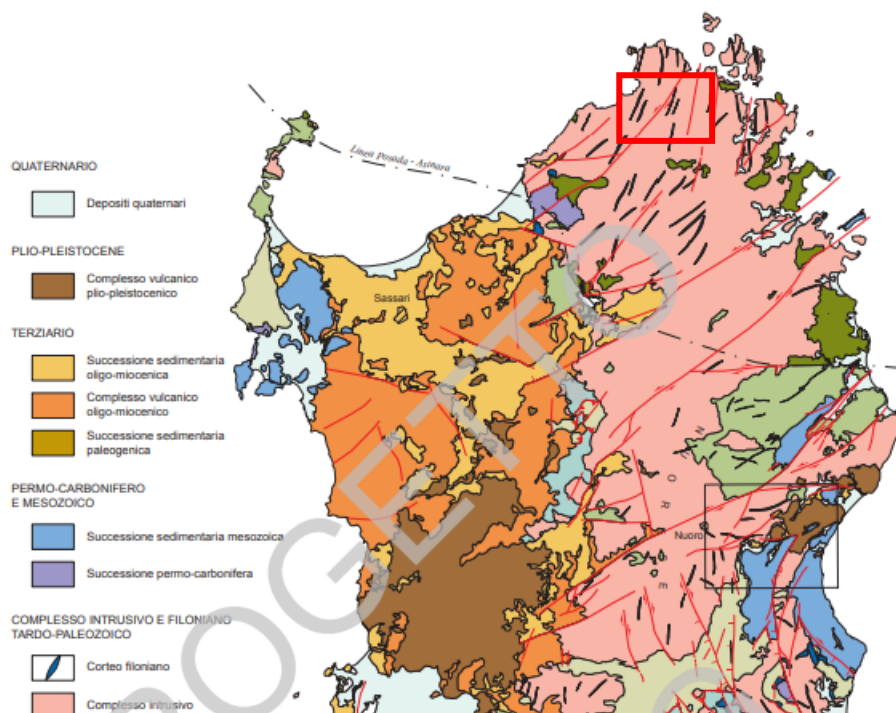


Figura 4 - Schema geologico strutturale della Sardegna. In rosso l'area in esame (Progetto CARG)

4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da un settore con dei rilievi granitici di forma allungata secondo asse NE-SW e NNE-SSW, 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 NE-SW, come la lunga e rettilinea valle di origine tettonica, dello sviluppo di circa 24 km, dove scorre il Fiume Liscia, che segue un sistema di faglie con asse Nord-Sud, e va a sfociare nello stretto delle Bocche di Bonifacio in corrispondenza della baia di Porto Liscia.

Il territorio in esame rientra nella fascia altimetrica collinare compresa tra 320 e 120 m s.l.m., percorso da una serie di valli con andamento SSW-NNE impostate su un sistema di linee tettoniche di interesse regionale e separate da rilievi rocciosi o collinari che raggiungono i 300-400 m di altitudine.

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 nell'ampio bacino idrografico del fiume Liscia (565 km²) che si presenta differente dalle zone di testata, con corsi d'acqua modesti ad andamento prettamente rettilineo impostati su valli a V ad elevata pendenza, a regime torrentizio e un deflusso idrico superficiale strettamente legato alle precipitazioni, fino all'area di pianura, con l'invaso artificiale e a valle con un corso d'acqua a deflusso continuo, su ampia valle prettamente pianeggiante, incassata sui rilievi granitici collinari.

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.

Il settore più montano, che rappresenta la zona di testata del Fiume Liscia, è caratterizzato da impluvi che costituiscono le aste tributarie di primo e secondo ordine dei torrenti che alimentano il corso d'acqua: essi presentano carattere essenzialmente torrentizio con deflussi stagionali legati strettamente alle precipitazioni.

Nel settore più meridionale dell'area di progetto il Liscia riceve le acque del suo principale affluente, il fiume Bassacutena, che drena un'ampia area facente capo ai comuni di Luogosanto e Bassacutena e posizionata ad Ovest del medio corso del Liscia. In questo settore la valle è più ampia e ospita i depositi detritici delle formazioni quaternarie, ove è presente una falda idrica superficiale.

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:

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 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 (fonte: *Note Illustrative Carta geologica d'Italia, Foglio 443 "Tempio Pausania"*).

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 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.

6. CARTA 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, riportato nell'elaborato "2.6 - Carta Geotecnica", di seguito descritta.

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 "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 ESTREM. RESISTENTE	Un campione può solo essere scheggiato col martello	>250

- U.C.S. = Resistenza a compressione uniaxiale (MPa).
- Le classi da S1 a S6 riguardano terre coesive, argille limose e combinazioni di limo e argilla con sabbia a drenaggio lento.
- Le classi R0 a R6 riguardano rocce.

Figura 5: 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 uniaxiale pari a 50-100 MPa e 100-250 MPa.

6.2 PROVE SCLEROMETRICHE

Sono state eseguite inoltre prove sclerometriche mediante il Martello di Schmidt, effettuate perpendicolarmente alle superfici pulite delle discontinuità rilevate negli affioramenti rocciosi superficiali. Le prove sono state condotte sulla base di almeno 10 letture di cui si sono scartate le 5 più basse, con calcolo della media delle 5 più alte. Il valore medio di ogni riferimento è utilizzato per la valutazione finale dell'indice JCS (resistenza alla compressione delle pareti delle discontinuità).

Punti indagati	Valori indici di rimbalzo										media	Resistenza (MPa)
	30	28	24	36	38	46	42	40	46	48		
WTG 1	30	28	24	36	38	46	42	40	46	48	44,4	55,71
WTG 2	30	35	38	40	40	42	46	46	48	48	46	56,95
WTG 3	28	26	38	38	38	40	42	42	44	46	42,8	54,47
WTG 9	34	35	38	40	42	42	46	46	48	50	46,4	57,26
WTG 10	30	34	32	32	36	36	40	40	42	46	40,8	52,92
WTG 11	36	34	36	36	40	42	44	44	48	48	45,2	56,33

Tabella 1: Indice di rimbalzo e correlazione con la Resistenza alla compressione uniaxiale ricavati mediante Martello di Schmidt mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978): $S_u = 0,775 R + 21,3$.

6.3 ACCLIVITÀ

Attraverso l'analisi morfometrica sulla acclività del territorio, elaborata in ambiente GIS attraverso il rilievo planomaltrimetrico eseguito nel corso delle indagini, è stato possibile definire tre classi di acclività:

- la prima include i terreni aventi morfologia pianeggiante, con pendenze che vanno dallo 0 al 30%,
- la seconda include i terreni con pendenze che vanno dal 30 al 50%: tali pendenze tuttavia non interessano i siti scelti di posa degli aerogeneratori,
- la terza include pendenze del rilievo maggiori del 50% (>50%), che non coinvolgono i settori di posa delle fondazioni e degli aerogeneratori in progetto.

Attraverso questa indagine di acclività del pendio, insieme alle caratteristiche litologico stratigrafiche, è stata effettuata una suddivisione del territorio per aree omogenee, in riferimento alle proprietà geologiche, idrogeologiche, morfologiche, fisiche e meccaniche. Tali areali definiscono le unità geotecniche osservate nell'area di rilevamento, riportate nella cartografia di sintesi allegata (Elaborato 2.6 - Carta geotecnica).

6.4 CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA DEI LITOTIPI AFFIORANTI

La classificazione geotecnica effettuata ha portato all'individuazione di due unità geotecniche sulle litologie granitiche, I₁ e I₂, e una unità geotecnica sulle litologie afferenti ai depositi quaternari dell'area continentale, quali depositi detritici alluvionali, antropici e eluvio colluviali: in generale questa ultima unità non presenta spessori elevati, ma presentano potenze massime di 2-3 m, poggianti direttamente sul substrato granitico in facies massiva e con buone caratteristiche meccaniche.

La classe I₁ si riferisce ad aree interessate dall'affioramento in superficie di litologie granitiche, con morfologia da pianeggiante a debolmente acclive (0 – 30%), con valore di Resistenza alla compressione monoassiale compreso tra 50-75 Mpa. In queste litologie, indagate per ogni aerogeneratore in progetto attraverso indagini speditive precedentemente descritte, sono verosimilmente rinvenibili localmente depositi superficiali di alterazione (arenizzazione granitica) poco profondi, da 0 a 0.50 m, al di sotto del quale la roccia assume buone caratteristiche meccaniche i cui parametri sono riassumibili nel Modello geologico indicato (capitolo § 7).

La classe I₂ è riferita a zone caratterizzate da graniti in affioramento, con pendenze che vanno dal 30 al 50% e superiori, in cui la fratturazione della roccia è stata considerata sfavorevolmente orientata rispetto al pendio, con valori di resistenza a compressione monoassiale di 40-50 MPa, pur essendo litotipi molto competenti. Non è prevista in questo settore la posa degli aerogeneratori in progetto, ma ricadono in questa litologia i lavori di scavo per le opere di connessione. Dovrà pertanto essere posta particolare cura ai lavori di posa del cavidotto in fase esecutiva sui fronti di scavo e sui lavori di movimento terra.

Alla classe II₁ corrispondono in affioramento i depositi detritici eluvio colluviali, depositi alluvionali e i depositi antropici, che seppure in aree in sommità a morfologia sub-pianeggiante, con pendenze da 0 a 20%, sono

caratterizzate da sedimenti incoerenti e semicoerenti, con caratteristiche geotecniche assimilabili a un deposito ghiaioso sabbioso non consolidato. Per quanto riguarda invece le aree di affioramento dei Depositi antropici, essi sono caratterizzati dai materiali di risulta delle lavorazioni delle attività minerarie, dunque terreni incoerenti ma più spesso da blocchi e grossi ciottoli di scarto delle lavorazioni del granito: il loro spessore è in genere ridotto, con profondità massima di 3 m, oltre il quale si è riscontrata la presenza della roccia granitica in facies massiva, con buone caratteristiche tecniche.

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. CONCLUSIONI

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, 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; particolare attenzione è bene mostrare per il sito di posa dell'aerogeneratore WTG 05, che ricade in prossimità di aree a ripida pendenza dovuta anche a tagli artificiali per attività di cava passata, perimetrata Hg3 dal PAI regionale: il punto oggetto di intervento ricade posizionato in un'area pianeggiante sul settore sommitale del rilievo, 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 l'aerogeneratore in questione interesseranno comunque i settori non perimetrati dal PAI.

Dal punto di vista idrogeologico, la tipologia di intervento in progetto non comporta alterazioni nell'attuale assetto idrologico del territorio, in quanto è presente una falda la cui superficie piezometrica è attestata a profondità superiore a 15 m, 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

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

La presente relazione geologica di massima dovrà essere necessariamente approfondita in fase esecutiva, in modo da valutare nel dettaglio le caratteristiche geologiche e geotecniche in corrispondenza di ogni aerogeneratore in progetto.



Comuni di
Tempio Pausania - Aglientu
Provincia di Sassari
REGIONE SARDEGNA



Studio Gioed

ALLEGATI



Comuni di
Tempio Pausania - Aglientu
Provincia di Sassari
REGIONE SARDEGNA



Studio Gioed

ALLEGATO 1

– Perimetrazione su Cartografia PAI frane –

Inquadramento su Carta della Pericolosità da Frana (PAI)

