

COMMITTENTE



GRV Wind Sardegna 5 s.r.l.
 Via Durini, 9 Tel. +39.02.5004315920122
 Milano PEC:
grwindsardegna5@legalmail.it

GRV WIND SARDEGNA 5 S.r.l.
 Via Durini, 9
 20122 Milano (MI)
 P. IVA 1875460963

PROGETTISTI

Progettisti:
 ing. Mariano Marseglia
 ing. Giuseppe Federico Zingarelli

M&M ENGINEERING S.r.l.
 Sede Operativa:
 Via I Maggio, n.4 Tel./fax +39.0885.791912
 Orta Nova (FG) Mail: ing.marianomarseglia@gmail.com

Consulente:
 Geol. ROBERTO TOLA



REGIONE AUTONOMA
 DELLA SARDEGNA



PROVINCIA
 SASSARI



COMUNE ERULA



COMUNE TULA

PROGETTO

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO
 DENOMINATO "SA FIURIDA" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 6,3 MW,
 PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 31,5 MW SITO NEL COMUNE DI ERULA (SS),
 CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ERULA E TULA (SS)**

ELABORATO

Titolo:

RELAZIONE GEOLOGICA - SISMICA

Tav./Doc.:

GEO-01

Codice elaborato:

GEO-01

Scala/Formato:

A4

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
0	Maggio/2022	Prima emissione	M&M	M&M	GRVALUE

COMUNE DI ERULA
Provincia Olbia Tempio

RELAZIONE GEOLOGICA

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO
DENOMINATO "SA FIURIDA" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 6,3 MW, PER
UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 31,5 MW SITO NEL COMUNE DI ERULA (SS), CON
OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ERULA E TULA (SS)".**

IL GEOLOGO
Roberto Tola

INDICE

1. Premessa.....	3
2. Inquadramento dell'area di intervento	3
3. Breve sintesi delle previsioni progettuali.....	6
4. Normativa vigente	8
5. Assetto geologico di inquadramento e rilevamento geologico	9
5.1. Caratteri geologici dei terreni affioranti	11
6. Aspetti strutturali	14
7. Aspetti geomorfologici.....	15
8. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea	18
9. Caratterizzazione sismica.....	20
10. Definizione del modello geologico preliminare.....	28
11. Modello geotecnico preliminare	30
12. Conclusioni.....	34

Allegati

STRALCIO CTR SCALA 1:15.000

STRALCIO IGM SCALA 1:15.000

STRALCIO IGM STORICO SCALA 1:15.000

ORTOFOTO SCALA 1:15.000

ORTOFOTO SCALA 1:15.000

ORTOFOTO SCALA 1:30.000

CARTA GEOLOGICA IN SCALA 1:10.000

CARTA GEOMORFOLOGICA IN SCALA 1:10.000

CARTA DELLE PERMEABILITA' IN SCALA 1:10.000

1. Premessa

Su incarico della **GRV Wind Sardegna 5 s.r.l.**, il sottoscritto dr. geol. Roberto Tola, iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi della Sardegna con il numero 468, ha redatto la presente Relazione Geologica che ha come oggetto "PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO "SA FIURIDA" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 6,3 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 31,5 MW SITO NEL COMUNE DI ERULA (SS), CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ERULA E TULA (SS)".

La presente Relazione è parte integrante del Progetto definitivo.

Il progetto prevede la realizzazione, nel Comune di Erula, di n°5 aerogeneratori con tutti i presupposti urbanistici ed infrastrutturali (viabilità, cavidotto e piazzole) per la futura realizzazione di una nuova linea eolica che si inserisce in un contesto di parco eolico e si collega tramite cavidotto a quello più vasto esistente nel settore a est dell'area in esame.

La relazione Geologica si propone di fornire la descrizione dei lineamenti geologici, idrologici, geomorfologici dell'area oggetto di intervento, di definire per essa il modello geologico ai sensi del Testo Unico "Norme tecniche per le costruzioni" NTC 2018, al paragrafo 6.2.1., nonché della Circolare esplicativa del Consiglio Sup. dei LL PP del 21 gennaio 2019 "Istruzioni per l'Applicazione delle NTC 2018".

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento, il quale costituirà un elemento di riferimento per la progettazione delle opere.

La redazione della presente relazione è stata preceduta da una campagna di rilievi sul campo, che ha permesso di individuare le principali caratteristiche di natura geologica, geomorfologica e idrologica.

Nella stesura del presente Studio si è fatto anche riferimento alle risultanze degli approfonditi rilievi geologici e geomorfologici condotti dallo scrivente in occasione di studi precedentemente effettuati nella zona in esame. Ha inoltre rivestito grande importanza la ricerca bibliografica (scritti e cartografia tematica), necessaria alla ricostruzione dei fenomeni tettonici succedutisi nell'area ed alla definizione geocronologica delle formazioni riscontrate direttamente in affioramento.

Per la consultazione dei dettagli degli interventi previsti si rimanda alla relazione tecnica e alle relative tavole progettuali.

2. Inquadramento dell'area di intervento

La zona di intervento è ubicata nel comune di Erula, nella parte sud del territorio comunale con n°3 aerogeneratori ubicati nei pressi del limite comunale con Ozieri e n°2 ubicati più a nord est prossimi al parco già esistente nel comune di Tula.

L'area costituisce il bordo sud orientale dell'esteso apparato vulcanico miocenico, afferente al Distretto vulcanico di Osilo-Castelsardo.

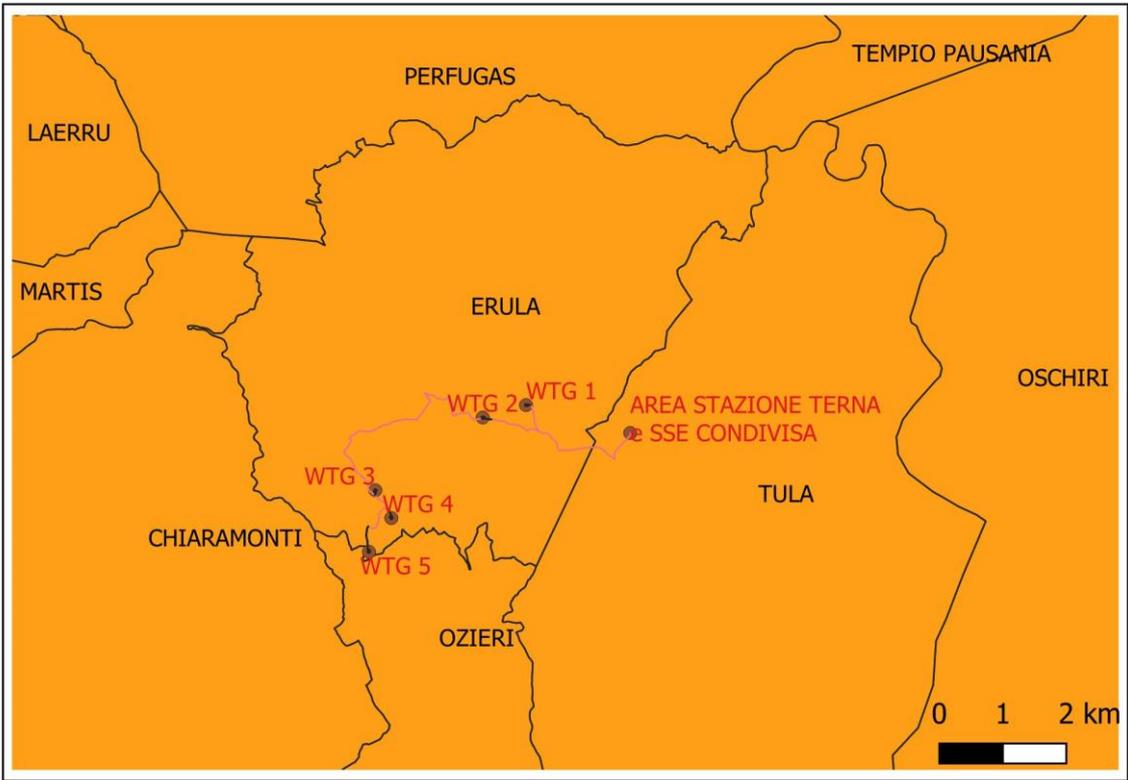


Figura1: Ubicazione degli interventi rispetto al territorio comunale

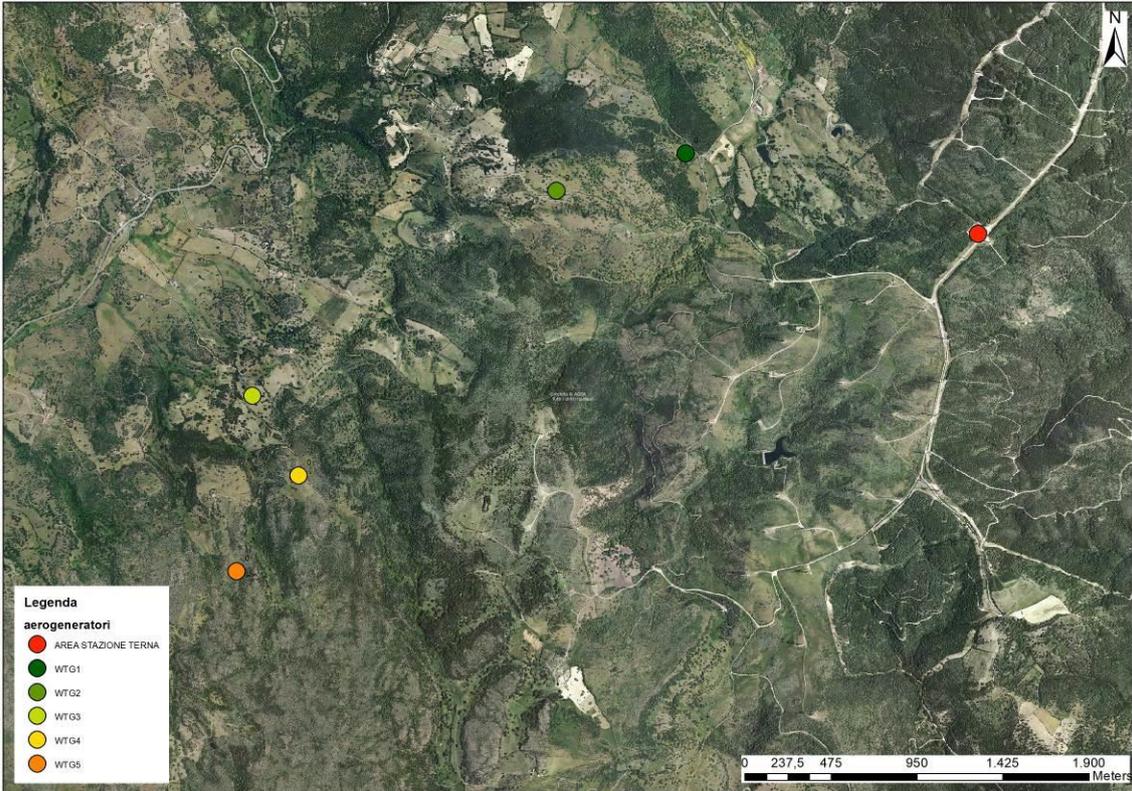


Figura 2: Ubicazione degli interventi su immagine da satellite.

Dal punto di vista cartografico, la zona d'intervento è così inquadrata:

- Carta d'Italia IGM in Scala 1:25.000 Foglio 460 Sez. I – Tula.
- Carta Tecnica Regionale in Scala 1:10.000 Sezione 460 040 utilizzata come base per gli elaborati cartografici geologici della presente relazione.
- Carta Geologica d'Italia in Scala 1:100.000: Foglio 181 – Tempio Pausania.

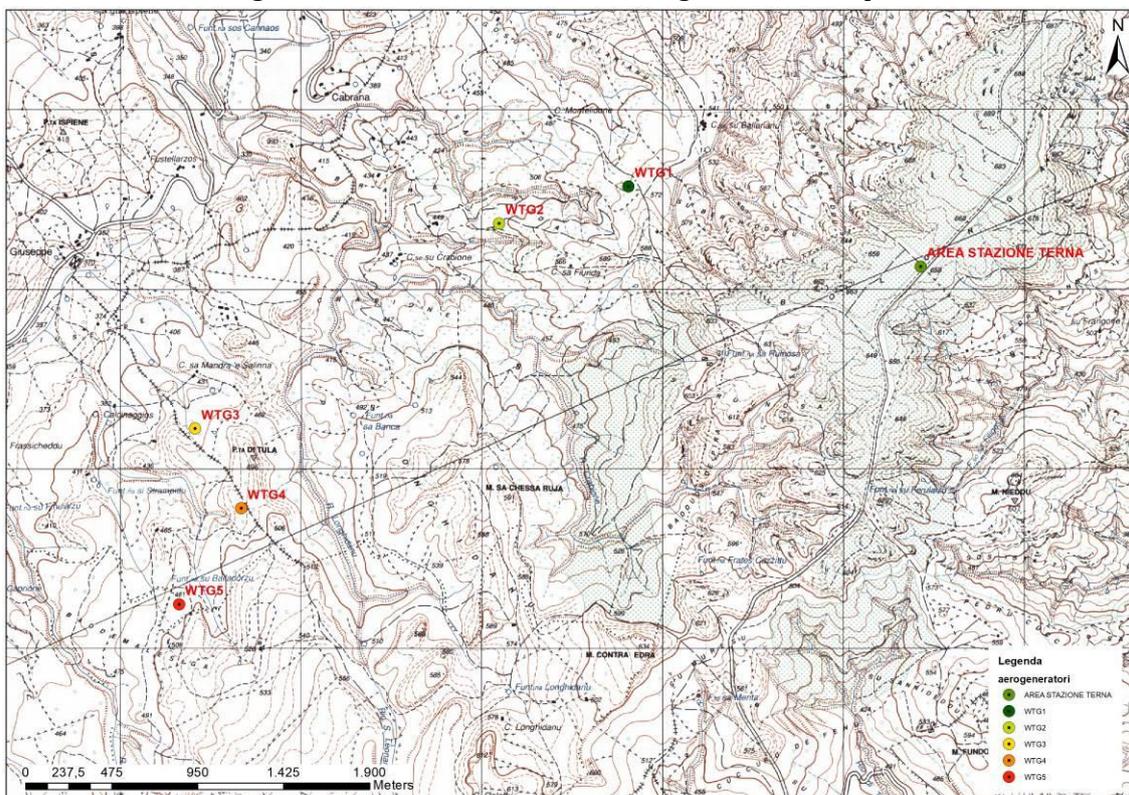


Figura 3: Carta d'Italia IGM in Scala 1:25.000 Foglio 460 Sez. I – Tula

Rispetto al PAI l'area in esame ricade nel Sub-Bacino n. 3 "Coghinas - Mannu - Temo" ed è inquadrata come segue:

Il P.A.I. **non perimetra** l'area di intervento in area a pericolosità idraulica.

Il P.A.I. **non perimetra** il sito di intervento in area a pericolosità da frana.

Il P.S.F.F. **non perimetra** il sito di intervento all'interno delle aree a pericolosità idraulica.

Il P.G.R.A. **non perimetra** l'area di intervento in area a pericolosità idraulica.

Il P.G.R.A. **non perimetra** l'area di intervento in area a pericolosità da frana.

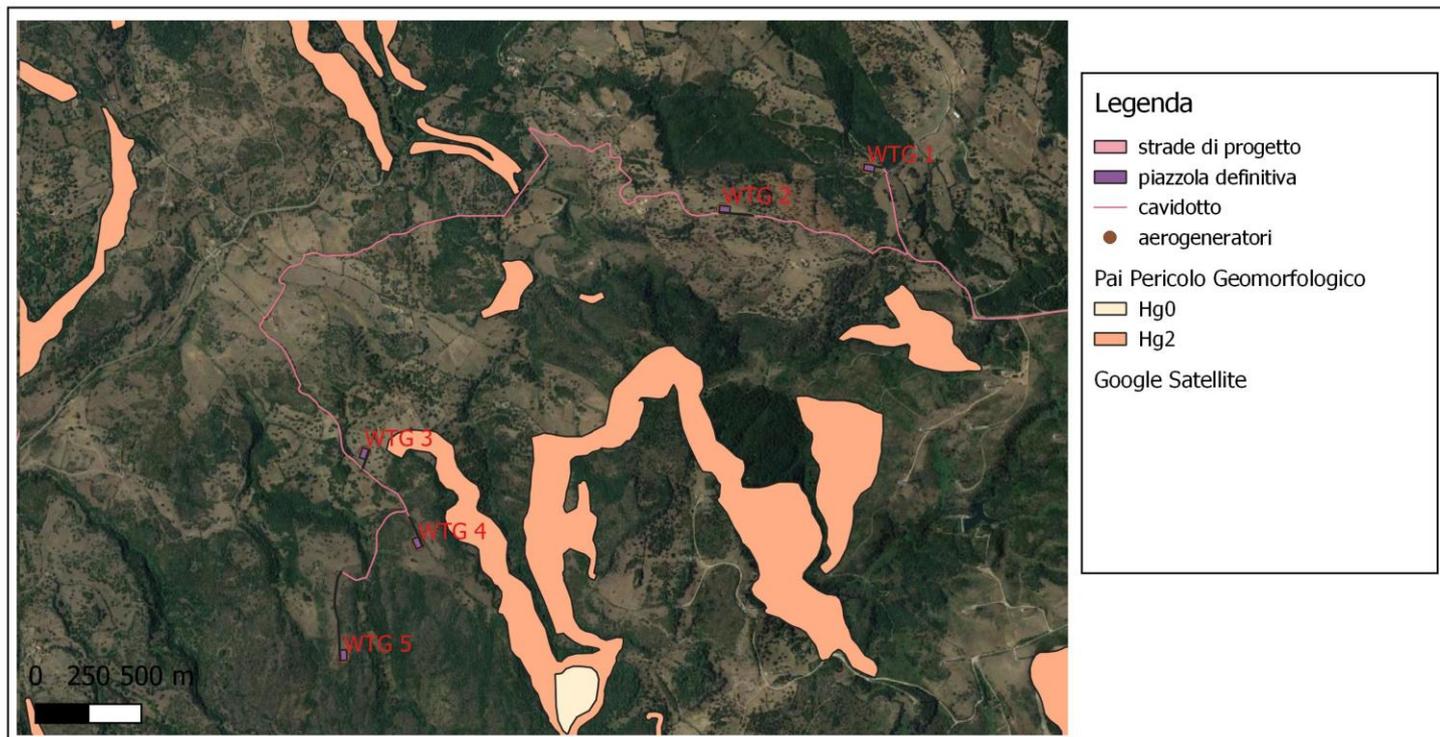


Figura 4. Stralcio fuori scala della perimetrazione della pericolosità geomorfologica del P.A.I.

In sede di analisi territoriale, inoltre, ci si è avvalsi per lo studio fotogrammetrico, fotogeologico, clivometrico e topografico, delle seguenti fonti, quando possibile sovrapposte in ambiente GIS, anche in modalità WMS (Web Map Service):

- [http://www.sardegnaegeoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/Repertorio immagini di diverse annate](http://www.sardegnaegeoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/Repertorio_immagini_di_diverse_annate), a partire dalle quali è stato possibile condurre, ove necessario, una analisi multitemporale delle informazioni ortofotografiche.
- Ortofoto a colori 2019 formato ecw, georiferite in Gauss Boaga.
- Sardegna 3D, Google Earth Pro.

Nella gestione dei dati raster e vettoriali si è ricorsi alle estensioni *.dxf e *.shp, assai diffuse e facilmente interfacciabili con i principali software Gis e Cad, sia commerciali che open-source.

3. Breve sintesi delle previsioni progettuali

La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da 5 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,3 MW per una potenza complessiva di 31,5 MW, da realizzarsi nella Provincia di Sassari, nel territorio comunale di Erula, in cui insistono gli aerogeneratori e parte dell'elettrodotto interrato, mentre nel territorio comunale di Tula ricade la restante parte dell'elettrodotto e le opere di connessione alla RTN.

Il progetto si pone come obiettivo la realizzazione di un parco eolico per la produzione di energia elettrica da immettere nella rete di trasmissione nazionale (RTN) in alta tensione. In questo scenario il parco eolico consentirà di raggiungere obiettivi più complessi fra i quali si annoverano:

- la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, priva di alcuna emissione diretta o derivata nell'ambiente;
- la valorizzazione di un'area marginale rispetto alle altre fonti di sviluppo regionale con destinazione prevalente a scopo agricolo e con bassa densità antropica;

- la diffusione di know-how in materia di produzione di energia elettrica da fonte eolica, a valenza fortemente sinergica per aree con problemi occupazionali e di sviluppo.
- Utilizzare in modo razionale la risorsa eolica disponibile nell'area, per la produzione di energia elettrica non inquinante che sia in grado di coprire, seppur in maniera parziale, il fabbisogno energetico della comunità locale.

DESCRIZIONE DELL' INTERVENTO

L'impianto oggetto di studio si basa sul principio secondo il quale l'energia del vento viene captata dalle macchine eoliche che la trasformano in energia meccanica e quindi in energia elettrica per mezzo di un generatore: nel caso specifico il sistema di conversione viene denominato aerogeneratore.

La bassa densità energetica prodotta dal singolo aerogeneratore per unità di superficie comporta la necessità di progettare l'installazione di più aerogeneratori nella stessa area.

L'impianto sarà costituito dai seguenti sistemi:

- di produzione, trasformazione e trasmissione dell'energia elettrica;
- di misura, controllo e monitoraggio della centrale;
- di sicurezza e controllo.

L'impianto di produzione sarà costituito da 5 aerogeneratori, ognuno della potenza di 6,3 MW ciascuno per una potenza complessiva nominale di 31,5 MW. Gli aerogeneratori saranno ubicati in località Sa Fiurida nell'area a sud-est dell'abitato di Erula e a nord-est di quello di Tula, ad una distanza dai centri abitati rispettivamente di circa 1,7 km e 5,1 km, secondo una distribuzione che ha tenuto conto dei seguenti fattori:

- condizioni geomorfologiche del sito
- direzione principale del vento
- vincoli ambientali e paesaggistici
- distanze di sicurezza da infrastrutture e fabbricati
- pianificazione territoriale ed urbanistica in vigore

il tutto come meglio illustrato nello studio di impatto ambientale e relativi allegati.

I terreni sui quali si installerà il parco eolico, interessano una superficie di circa 200 ettari, anche se la quantità di suolo effettivamente occupato è significativamente inferiore e limitato alle aree di piazzole dove verranno installati gli aerogeneratori, come è visibile sugli elaborati planimetrici allegati al progetto.

L'area di progetto, intesa sia come quella occupata dai 5 aerogeneratori di progetto, con annesse piazzole e relativi cavidotti di interconnessione, interessa il territorio comunale di Erula, ed è censita al NCT del Comune di Erula ai fogli di mappa n. 1B, 9 e 10 mentre la restante parte del cavidotto e la sottostazione di consegna ricadono nel territorio comunale di Tula, censiti al NCT al foglio di mappa n. 4.

I contenuti del presente paragrafo sono estratti dall'elaborato di progetto "Relazione Tecnica Illustrativa" col fine di sintetizzare gli intenti e le finalità del progetto in essere ed inquadrare contestualmente le problematiche di natura geologica e geotecnica connesse alla realizzazione dell'intervento, oggetto dei successivi paragrafi.

4. Normativa vigente

- I principali riferimenti normativi presi in considerazione nel redigere il presente studio sono di seguito riportati:
 - - Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico (di seguito PAI).
 - - Norme di Attuazione del P.A.I. (Aggiornate con Delibera G.R. n. 2/8 del 20/01/2022) Decreto del Presidente della Regione Sardegna n°14 del 07/12/2022.
 - - D.P.C.M. 29_09_1998 e relativi allegati.
 - - Statuto Speciale della Regione Sardegna.
 - - L.R. 7.1.1977 n° 1 "Norme sull'organizzazione amministrativa della Regione e sulle competenze della Giunta, della Presidenza e degli Assessori Regionali".
 - - Norme Tecniche per le Costruzioni, 2018
 - Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".
 - 2008. Decreto del Ministero delle infrastrutture 14 gennaio 2008 *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*. (G.U. n. 29 del 04/02/2008 - Suppl. Ordinario n. 30).
 - 2006. *Ordinanza n. 3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 Aprile 2006. Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*. (G.U. n. 108 del 11/05/2006).
 - 2006. Decreto legislativo 3 Aprile 2006, n. 152 *Norme in materia ambientale* (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006)
 - 2005. *Raccomandazioni per la redazione della "relazione geologica" ai sensi delle norme tecniche sulle costruzioni*. In: Collana di studi e ricerche a cura della fondazione "centro studi" del Consiglio Nazionale dei Geologi.
 - 2004. Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 recante "*Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*" (G.U. n. 45 del 24 febbraio 2004, n. 28 S.O.)
 - 2003. *Ordinanza n. 3316 del Presidente del Consiglio dei Ministri 02 Ottobre 2003. Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*. (GU n. 236 del 10-10-2003)
 - 2003. *Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 Marzo 2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. (G.U. n. 72 del 08/05/2003 – Suppl. Ordinario n. 105).
 - 2001. Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380 *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia* (G.U. n. 245 del 20/10/2001) e sue ss.mm.ii.
 - 1952. Legge n. 991 del 25 Luglio 1952 recante *Provvedimenti in favore dei territori montani*.
 - 2004. Deliberazione del 30/03/2004 (15/31) della Regione Autonoma della Sardegna *Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.03.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la*

classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

- Legge 18/05/1989 n. 183 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”.

5. Assetto geologico di inquadramento e rilevamento geologico

L'area oggetto di studio si presenta al confine tra le regioni storiche del Logudoro a sud e dell'Anglona a nord, nella Sardegna settentrionale. Il rilievo indagato costituisce l'alto strutturale della larga depressione che si identifica più ad ovest, con il semi-graben miocenico del Bacino di Porto Torres-Sassarese, e si raccorda ai rilievi granitici paleozoici della Gallura più ad est.

Il basamento Paleozoico, affiorante in quasi tutta l'area in esame a nord e nord/est e su cui ricadranno 3 dei 5 aerogeneratori in progetto, è rappresentato dal complesso scistoso metamorfico, di incerta datazione (pre-Cambriano ?) facente parte del complesso d'alto grado metamorfico, che affiora a nord della linea Posada-Asinara e costituisce la testimonianza dell'evoluzione tettono-metamorfica collisionale e post-collisionale ercinica della Sardegna Settentrionale. Questa formazione è costituita essenzialmente da paragneiss, micascisti e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia con sovraimpronta di alta temperatura. Sono di natura essenzialmente pelitico-arenacea e presentano le tre fasi deformative della Bassa Gallura.

Si presentano con una grana piuttosto fine, con una scistosità non molto pronunciata in prevalenza piana. Le rocce sono di colore grigio e sono soggette ad una notevole alterazione; esse si contraddistinguono per la presenza di feldspati che le punteggiano macroscopicamente.

La composizione mineralogica delle facies predominanti è data dall'associazione di quarzo, feldspati e miche che si trovano in rapporti quantitativi diversi; pertanto queste rocce fanno gradualmente transizione a tipi micascistosi, i quali si presentano di colore grigiastro, spesso lucenti e talora rossastri; hanno, inoltre, sempre grana piuttosto fine e tessitura predominante piano scistosa.

Il Mesozoico è rappresentato da una poco estesa formazione di Erula presente poco distante dal WTG3 in direzione ovest denominata Calchinarzos. Si tratta di Calcari nodulari con abbondante fauna a macroforaminiferi (*Praealveolina tenuis*, *Cisalveolina fraasi*) del Cenomaniano appartenenti all'associazione marina del Triassico della Sardegna occidentale.

Verso ovest il territorio è caratterizzato dalla presenza di rocce vulcaniche, afferenti al Ciclo vulcanico calcalino oligomiocenico (Aquitano- Burdigaliano), che interessa in modo esteso tutta la Sardegna centro occidentale, e si presenta con cospicui spessori che raggiungono parecchie centinaia di metri. Il settore indagato è rappresentato da serie di dacitiche a riolitiche, principalmente in espandimenti ignimbrici, cupole di ristagno e rare colate, a cui si associano prodotti freatomagmatici e talora livelli epiclastici intercalati. Si presentano alla scala dell'affioramento di colore rossastro.

Da un punto di vista geodinamico questo ciclo vulcanico è comunemente associato ad un modello di subduzione oceanica con formazione di un bacino di retroarco che sarebbe rappresentato dal Bacino balearico, sintettonico alla rotazione del blocco Sardo-corso associata alla fase post collisionale dell'orogenesi Appenninica (Miocene inf.). Durante tali movimenti si è avuta la formazione di locali zone di compressione e distensione, quali il bacino di Chilivani-Berchidda e il bacino di Porto Torres. Tra le varie colate sono intercalati livelli di tufo di colore grigio chiaro, talvolta argillificati.

Nel bordo sud orientale del tavolato vulcanico lungo i ripidi versanti al di sopra del basamento Paleozoico si rinvencono invece depositi di versante (Olocene), eterometrici e spigolosi, legati a fenomeni gravitativi, crollo e scivolamento, per l'erosione e conseguente arretramento dell'orlo del tavolato vulcanico stesso. Talvolta tali depositi presentano una debole coesione, con ciottoli immersi in matrice argillosa per la presenza di minerali ferrosi dovuti ai processi di alterazione chimica della roccia d'origine. e mesozoico, sono immersi in matrice argillosa con forte presenza di minerali ferrosi.

L'inquadratura geologica dell'area scaturisce dall'analisi della cartografia disponibile. L'area è inquadrabile nel Foglio 181 Tempio Pausania della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

Inoltre l'area è inquadrata dalla Carta Geologica della Sardegna alla scala 1:200.000

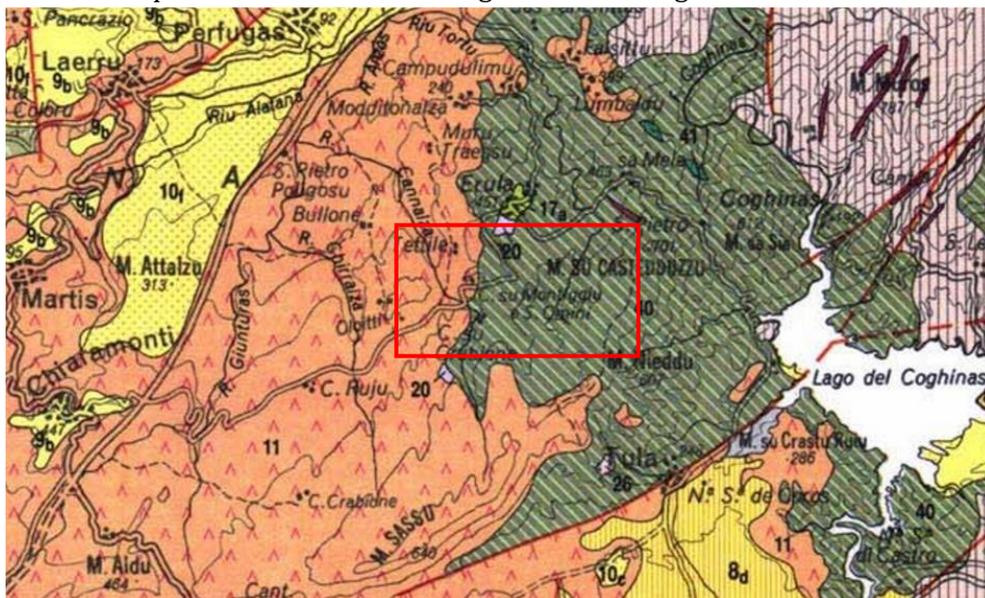


Figura 5. Stralcio ingrandito della Carta Geologica della Sardegna 1:200.000

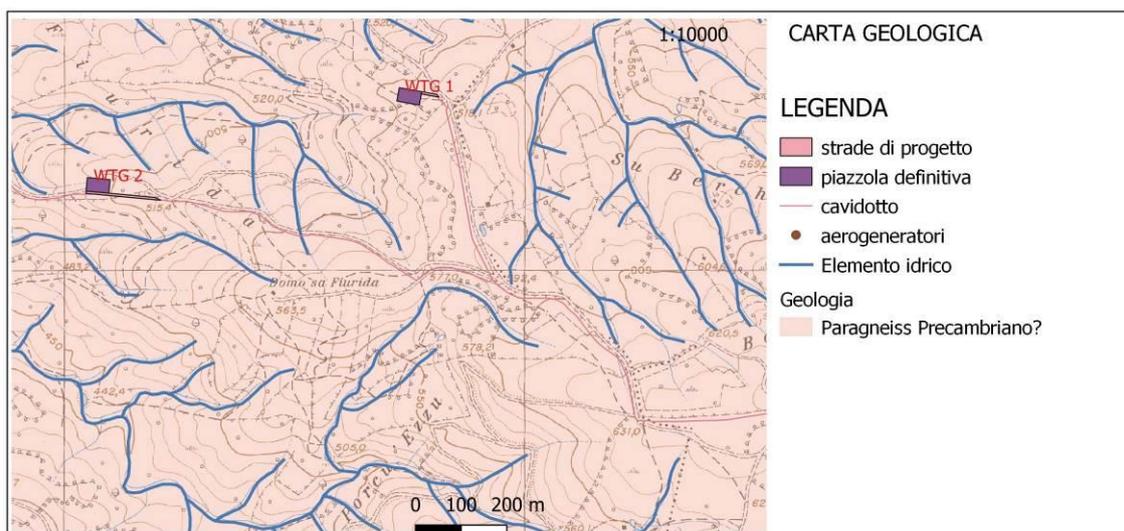


Figura 6. Carta geologica in scala 1:10.000

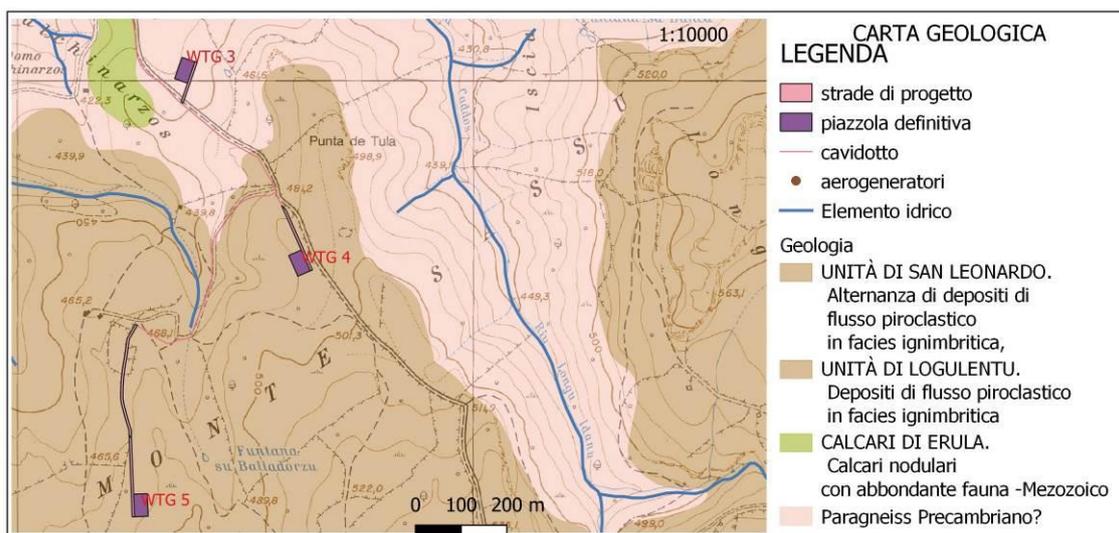


Figura 7. Carta geologica in scala 1:10.000

5.1. Caratteri geologici dei terreni affioranti

Basamento metamorfico (PALEOZOICO)

La roccia metamorfica di seguito descritta rappresenta la litologia più antica affiorante nell'area: essa come detto è presente nel settore nord-est, in territorio amministrativo di Tula, interessa l'area di posa di tre aerogeneratori in progetto (WTG1-WTG2- WTG3), e l'area di ingresso al parco eolico e dove verranno eseguiti i lavori per la sistemazione della strada di accesso all'area. Essa è rappresentata in prevalenza da paragneiss, micascisti e quarziti in facies anfibolitica, di natura pelitico - arenacea, che fanno parte del Complesso d'alto grado metamorfico, affiorante a nord della linea Posada -Asinara, linea di collisione della catena ercinica, che ha determinato un elevato metamorfismo e tre distinte fasi deformative, con pieghe mesoscopiche, asimmetriche ed elevata scistosità. Si presentano in facies a grana minuta, con presenza di feldspati e un elevato grado di cristallinità, di colore vario. La loro presenza è evidente morfologicamente per il carattere montuoso dei rilievi, rispetto all'andamento tabulare delle soprastanti vulcaniti oligo - mioceniche.

Il complesso migmatitico si presenta spesso fortemente alterato, tale alterazione è evidente sia in maniera areale sia localizzata, queste azioni di degradazione danno luogo alla formazione di prodotti di alterazione che in modo discontinuo ricoprono il basamento addolcendone le forme.

Questi prodotti di alterazione a volte trasportati assumono il massimo della loro potenza in corrispondenza di piccole depressioni dove formano una leggera coltre eluviale.

La più diffusa tipologia di deposito di versante riscontrata nel corso del rilevamento geologico di superficie è rappresentata da depositi eluvio-colluviali e detrito di versante, i quali costituiscono una coltre mediamente poco potente ma continua derivante dal lento disfacimento delle rocce del bedrock migmatitico e trasportate in prevalenza da acque di ruscellamento diffuso o disceso per gravità.

In condizioni naturali il prodotto della alterazione del bedrock, in relazione alla pendenza dei versanti ed alla copertura vegetale, in parte permane in situ ed in parte tende ad accumularsi nelle aree morfologicamente depresse (compluvi).

Lungo il versante oggetto di studio, le formazioni alloctone sono costituite da depositi clastici granulari poco elaborati di genesi colluviale ed eluviale, prevalentemente costituiti da frammenti litici spigolosi policristallini mediamente centimetrici di roccia metamorfica più o meno alterata associati a singoli cristalli di quarzo, immersi in una matrice a granulometria variabile da sabbiosa a limo-argillosa.

Tali sedimenti, ad esclusione della parte superiore pedogenizzata, a meno di rimaneggiamenti antropici, risultano in genere ben addensati, pseudocoerenti, con colorazione che può tendere al marrone chiaro fino all'ocra, a causa di fenomeni di ossidazione, caratteristici in particolare dei livelli più antichi.



Figura 8. Affioramento paragneiss nei pressi dell'aerogeneratore in progetto WTG1

Calcati di Erula (MESOZOICO)

Calcarei nodulari con abbondante fauna a macroforaminiferi (*Praealveolina tenuis*, *Cisalveolina fraasi*) affiorano alcuni metri di calcari ad Alveolinidi del Cenomaniano superiore, trasgressivi sui calcari fossiliferi del Muschelkalk (Cherchi & Schroeder 1976c). *Questo affioramento pone quesiti paleogeografici in quanto verosimilmente l'area dell'Anglona faceva parte del bacino mesozoico della Nurra, dove finora non è stata documentata la presenza di livelli marini cenomaniani, che invece sono presenti nella Sardegna orientale (Dieni & Massari, 1985a). Un possibile collegamento tra il bacino occidentale (Nurra) e quello orientale (Golfo di Orosei) durante il Cenomaniano superiore può essere ipotizzato, senza però escludere la possibilità di una lingua marina proveniente da ovest.

Questo affioramento, sebbene di ridotte dimensioni, documenta tre eventi trasgressivi: (a) l'ingressione marina del Triassico medio proveniente da ovest (bacino nurrense) che si estendeva verso est fino a lambire l'alto strutturale ercinico, che ne costituiva una barriera morfostrutturale; (b) l'ingressione marina del Cenomaniano superiore documentata dai calcari a macroforaminiferi e rudiste, discordanti sui depositi triassici; (c) l'ingressione del Coniaciano, rilevabile in tutta la Nurra. L'estesa copertura vulcanica e i potenti sedimenti cenozoici (bacino di Sassari) non consentono di chiarire maggiormente i rapporti tra il Mesozoico della Nurra e quello dell'Anglona. (*I Sistemi carbonatici della Sardegna

Orientale ed eventi deposizionali nel sistema carbonatico Giurassico- Cretacico della Nurra. ISPRA - 84° Congresso Nazionale della Società Geologica italiana - Sassari 2008).

Ciclo vulcanico Calco - alcalino (OLIGO -MIOCENE)

Le rocce vulcaniche, rappresentate in prevalenza da Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, interessano l'area di posa di n° 2 aerogeneratori in progetto (WTG4-WTG5), e sono presenti in modo esteso in tutta l'area occidentale. Nel complesso mostrano una facies in prevalenza rocciosa e massiva, con giacitura tipica delle formazioni di copertura suborizzontale, piana, talvolta frastagliata dalle intersezioni dei tagli erosivi, ma con pendici marginali a ripida scarpata. Alla scala del rilevamento si presentano fratturate in superficie, talvolta ricoperte da un debole strato pedogeneizzato.

Petrograficamente presentano una notevole omogeneità di tipi, a composizione prevalente riolitica e dacitica; la struttura è di tipo porfirico a fenocristalli spesso corrosi, con tessiture fluidali e vetrosità abbondante; saldati e di colore rossastro.



Figura 9. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica nei pressi dell'aerogeneratore in progetto WTG4

Sulle ampie superfici del tavolato vulcanico si innescano, per azione dell'acqua di origine meteorica, lenti processi di degradazione chimico-fisica che portano alla formazione del tipico suolo marrone-rossastro argilloso poco profondo e molto degradato. Le piroclastiti tendono infatti, in presenza di ristagno idrico, al fenomeno dell'argillificazione, processo di alterazione chimica ad opera delle acque meteoriche per cui in seguito alla ossidazione di ferro e alluminio e alla idrolisi dei minerali silicatici (feldspati) si originano i minerali argillosi.

Nei bordi delle superfici del tavolato vulcanico sono delimitate da scarpate da molto inclinate a sub-verticali, in cui è evidente il motivo di fratturazione verticale ed in cui l'orlo delle cornici, talora più d'una sovrapposta, risulta sconnesso e frammentato per la presenza di più famiglie di giunti variamente inclinate. I fenomeni disgiuntivi che tendono

a predisporre gli orli di scarpata al dissesto franoso, isolando singoli blocchi e riducendo i cosiddetti ponti di roccia, possono essere sintetizzati nei quattro punti che seguono:

a) Fenomeni erosivi. L'azione degli agenti esogeni si esplica con particolare incisività al bordo delle colate, particolarmente esposto all'azione delle acque selvagge, al crioclastismo ed al termoclastismo. Ciò comporta il progressivo allentamento e disarticolamento dell'ammasso roccioso per degradazione chimico-fisica.

b) Fessurazione verticale. Lungo le scarpate verticali particolarmente estese è molto evidente e persistente, con fratture solitamente aperte o beanti; facilita ed accelera i fenomeni di isolamento dei cunei rocciosi in quanto favorisce l'azione degli agenti esogeni, rappresentando un agevole punto di ingresso di acqua ed agenti esterni di degradazione chimico-fisica.

c) Presenza di sistemi di fratture. Le famiglie di giunti che intersecano gli ammassi piroclastici presentano apertura e persistenza crescenti con l'incremento di quota e l'approssimarsi della cornice, rappresentando anch'esse punti di agevole ingresso di agenti degradanti ed allentanti. In combinazione con la fessurazione colonnare, la coesistenza di almeno due famiglie di giunti può rappresentare la condizione sufficiente per lo svincolo di volumi rocciosi.

d) Presenza di vegetazione. La colonizzazione della cornice vulcanica da parte di vegetazione con importanti apparati radicali porta alla frammentazione accelerata del bordo-scarpata per l'azione divaricante delle radici associata a degradazione biochimica.

Il grado di fratturazione medio-elevato delle piroclastiti in facies ignimbratica, associato all'apertura centimetrica che i giunti presentano al bordo ad opera degli agenti esogeni, fa sì che lungo detti orli si possano verificare distacchi per crollo, scivolamento planare e ribaltamento, con conseguenti fenomeni di caduta massi e caduta sassi che vanno a propagarsi sui versanti a valle.

Ai piedi delle pareti si osservano dunque le tipiche forme di accumulo, in forma di singoli massi eterometrici, fasce detritiche e veri e propri corpi di frana.

Depositi di versante legati a gravità (OLOCENE)

Nel bordo nord-occidentale del tavolato vulcanico, si rinvengono numerosi cumuli detritici di versante, dovuti allo smantellamento delle formazioni basaltiche oligo - mioceniche, caratterizzati da ciottoli spigolosi e massi, in matrice parzialmente compatta o semi-incoerente, spesso inglobanti massi isolati o porzioni rocciose provenienti dal franamento di porzioni di roccia provenienti dalle pareti basaltiche in sommità.

6. Aspetti strutturali

Dal punto di vista strutturale l'area indagata riflette gli eventi deformativi legati alle vicende tettoniche occorse durante tutte le fasi deformative che hanno interessato la regione, fin dal Paleozoico e successivamente nel Terziario e Quaternario.

Dalla fase metamorfica nel Paleozoico manifestatasi con il metamorfismo d'alto grado nelle sequenze sedimentarie precambriane, attraverso una elevata scistosità, estremamente varia in termini di inclinazione e direzione, le manifestazioni tettoniche erciniche hanno manifestato nel territorio l'apertura delle fratture post orogeniche, con movimenti distensivi caratterizzati da faglie dirette orientate prevalentemente NW-SE

associate all'intrusione del Complesso intrusivo granitoide (non presente nell'area in esame e affiorante nel settore più orientale dell'area).

Successivamente ad una lunga fase di "stasi" tettonica del periodo Mesozoico, che ha caratterizzato il settore di interesse con movimenti di risollevarimento che non hanno lasciato significative evidenze nel territorio, nel periodo Terziario (Cenozoico) si sono succedute diverse fasi tettoniche compressive: la fase pirenaica (Cherchi & Tremolieres 19842), che ha prodotto pieghe con direzione assiale N50, e la fase appenninica, che in un contesto più generale ha determinato la fine dell'apertura del Mediterraneo occidentale a causa della collisione del blocco sardo-corso contro il blocco apulo. A questa fase sono attribuite faglie trascorrenti e fasce transtensive nella Sardegna centro-settentrionale.

Segue una fase tettonica transtensiva Oligo-Aquitaniiana, con faglie trascorrenti ENE-WSW e l'importante manifestazione effusiva del vulcanismo oligo-miocenico sardo, caratterizzante il territorio in esame, che rappresenta uno degli eventi geologici terziari più importanti del Mediterraneo occidentale. L'importanza di questo ciclo vulcanico è testimoniata dalla grande estensione degli affioramenti e dai cospicui spessori delle successioni vulcaniche che raggiungono parecchie centinaia di metri. Conseguente alla messa in posto delle vulcaniti si è avuta una fase distensiva legata all'apertura del Bacino di Porto Torres e del Bacino del Logudoro, e quello Balearico (apertura del Mar di Sardegna) nel Burdigaliano con faglie che interagiscono con le precedenti strutture a pieghe realizzando complesse geometrie che hanno un ruolo fondamentale nella circolazione idrica sotterranea.

Al Pliocene infine, viene attribuita una fase tettonica responsabile del sollevamento generale della regione, che si realizza con faglie dirette ad andamento NS e con la riattivazione di strutture preesistenti con direzione ENE, che hanno generato depressioni in cui si conservano le vulcaniti mioceniche e i depositi clastici del Miocene superiore (settore a sud dell'abitato di Tula, esterno all'area in esame).

7. Aspetti geomorfologici

Il rilievo in esame, denominato Monte Sassu, si erge a quota media 600-620 m s.l.m., il cui limite orientale segue il confine amministrativo tra i comuni di Tula e Erula; a sud degrada con ripide pendenze verso la valle del rio Rizzolu (quello che va a immettersi nel Coghinas scorrendo da ovest verso est), valle tettonica impostata parallelamente allo sviluppo del rilievo NE-SW; nel settore occidentale il versante prosegue invece secondo la medesima direzione, allungato dalla linea di cresta delle colline di Monte Carralzu e Elighia, attraversate dalla S.S n.132 "di Ozieri". Nel lato settentrionale il rilievo degrada dolcemente, con minime pendenze, verso la valle alluvionale del Rio 'Anzos, in comune di Perfugas, facente parte dei bacini montani del sistema fluviale del Fiume Coghinas.

L'area in esame ricade proprio al contatto tra il basamento metamorfico e la copertura vulcanica. Bucca Baltolu posta a quota di 579 m slm superata leggermente da Monte sa Chessa Ruia posto a 589,4 m slm sono i rilievi ignimbrici più alti del settore posto a sud dell'area in esame e che viene interrotto da un canale Riu Longu Idanu, frutto dell'erosione che ha asportato la copertura e lasciato affiorare il metamorfico ben rappresentato verso nord est dell'area in esame e la cui superficie si presenta variamente ondulata e in netto contrasto con l'altipiano vulcanico che invece si presenta allungato secondo una direzione NE-SW, rappresentante lo spartiacque idrografico delle acque superficiali che, nella parte settentrionale, confluiscono ai corsi d'acqua che poi si

immettono sul Fiume Coghinas, nella piana alluvionale di Erula, e nella parte meridionale, verso il Rio Su Rizzolu, affluente del Lago Coghinas sul lato sud est dell'area indagata.

Il sistema collinare è inciso da un drenaggio idrico superficiale, che riprende le lineazioni principali della zona, secondo una direttrice primaria NW-SE, e secondaria ortogonale ad essa.

La morfologia ad altopiano è estesamente presente in tutto il settore limitrofo, solcato da valli e incisioni torrentizie, che nella parte valliva raggiungono dislivelli rilevanti. Le valli riprendono le fratture tettoniche regionali e i sistemi di faglia principali, aventi direzione NNW-SSE e NE-SW, che hanno scomposto il tavolato vulcanico e il sottostante basamento paleozoico, definendo l'aspetto del paesaggio morbido e variamente ondulato.

Le parti morfologicamente più aspre si rinvencono in corrispondenza di rocce molto resistenti alla degradazione, quali ad esempio le rocce paleozoiche metamorfiche affioranti nel settore orientale, dove il paesaggio è caratterizzato da rilievi più pronunciati e valli più marcatamente incise.

Il paesaggio si presenta per lo più monotono, caratterizzato in prevalenza da forme sub pianeggianti e dominante rocciosità, dovuta all'affioramento della roccia vulcanica sin dalla superficie: localmente, dove i processi pedogenetici hanno avuto la possibilità di svilupparsi, è presente un suolo poco profondo, ricco in minerali argillosi e ossidi di ferro.

Da evidenziare sono gli orli del tavolato basaltico, nel settore SE, dove la rottura di pendio generata essenzialmente dall'erosione differenziale nel passaggio di litologia tra le vulcaniti e le sottostanti metamorfite, determina processi geomorfologici in atto, legati a dinamiche di crollo e ribaltamento dei blocchi vulcanici, fratturati e dislocati, in cui la gravità gioca un ruolo determinante per la loro movimentazione. Alle pendici del tavolato si rinvencono infatti depositi di versante, caratterizzati da ciottoli spigolosi e massi, in matrice parzialmente compatta o semi-incoerente, spesso inglobanti massi isolati o porzioni rocciose provenienti dal franamento di porzioni di roccia provenienti dalle pareti vulcaniche in sommità.

I lineamenti geomorfologici ed i principali processi morfoclimatici in atto nell'area di studio sono riportati nella carta geologica e geomorfologica, nella quale vengono distinte le forme generali del rilievo e i principali processi geomorfologici in atto, elaborata a seguito del rilievo di superficie e ad un'accurata indagine fotointerpretativa.



Figura 10. Paesaggio dell'altipiano su formazione metamorfiche in località "Su Comunale"



Figura 11. Paesaggio sub pianeggiante sulle formazioni vulcanitiche, sullo sfondo la chiesa di San Giuseppe



Figura 12. Incisione torrentizia del Riu Cannalza in località “Conca de Ispidu” impostata sulle vulcaniti



Figura 13. Panoramica dell’area di intervento con ubicazione degli aerogeneratori

8. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea

Come già accennato, il paesaggio presenta una morfologia ad altopiano, sub pianeggiante e blandamente degradante verso NW. Il reticolo idrografico superficiale, di tipo semplice, poco gerarchizzato e a carattere torrentizio, ricalca le lineazioni tettoniche principali, in prevalenza parallelo nelle litologie vulcaniche, con direzione NW-SE, mentre sulle litologie metamorfiche presenta un reticolo di tipo dendritico poco gerarchizzato e valli con profilo a V, fortemente incassate a testimonianza di una energia di rilievo tuttora importante e attiva.

Il ruscellamento idrico superficiale è strettamente condizionato da fattori morfologici e litologici: le litologie vulcaniche presentano infatti una permeabilità per porosità bassa e nulla, i deflussi avvengono quasi esclusivamente per ruscellamento superficiale e spesso sono presenti, soprattutto nella stagione autunno invernale, ristagni idrici, naturali e

artificiali. Tra i corsi d'acqua degni di nota si citano, da E verso W, il rio Longu Idanu, il rio Trainu de Ferulas, riu Dore.

Da un punto di vista idrogeologico è possibile suddividere i terreni in base alle caratteristiche geolitologiche, con riferimento alla capacità di assorbimento.

Le litologie vulcaniche pur essendo, come detto, impermeabili, presentano una medio alta permeabilità per fessurazione, strettamente legata ai sistemi di fratturazione e ai rapporti di giacitura delle discontinuità, che costituiscono un serbatoio acquifero importante, funzione del loro spessore, più elevato nel settore occidentale e settentrionale dell'area. La successione vulcanica, costituita da flussi piroclastici sovrapposti, immerge verso NW e, verosimilmente, da precedenti studi effettuati nella zona, la circolazione idrica sotterranea tende a far confluire i flussi idrici (isopieze) verso tale direzione, seguendo il gradiente topografico (Carmignani *et alii*, 2001).

L'acquifero, localizzato nel mezzo fratturato, presenta uno schema di circolazione idrica complessa, difficilmente ricostruibile in ragione della estrema variabilità, soprattutto in senso verticale. In esso si osserva infiltrazione efficace lungo frattura (porosità secondaria) verso il letto della formazione. La particolare conformazione a colate sovrapposte separate da livelli scoriacei o da paleosuoli ad elevata componente argillosa fa sì che si possano avere acquiferi multifalda (quando gli impermeabili intercalati hanno una buona continuità orizzontale e consentono la reale separazione tra falde poste a quote differenti) tra loro intercomunicanti attraverso le soluzioni di continuità dei livelli argillosi disposti fra le piroclastiti. La permeabilità dell'insieme varia tra 10^{-5} e 10^{-6} cm/sec, con porosità apparente compresa nell'intervallo 1%-3% e coefficiente di imbibizione prossimo allo 0,1%. Alla facies litoide è associabile una permeabilità compresa tra 10^{-1} e 10^{-3} cm/sec.

Localmente, in corrispondenza di faglie, possono essere presenti circuiti preferenziali con elevata portata, spesso sfruttate con alcuni pozzi presenti nelle aziende agricole. Sono presenti rare emergenze idriche al contatto tra le vulcaniti e il tetto delle litologie paleozoiche.

Il complesso metamorfico paleozoico anch'esso presenta una permeabilità assente per porosità, che localmente può risultare apprezzabile per fratturazione, consentendo l'infiltrazione delle acque meteoriche e alimentando la circolazione idrica sotterranea profonda, generalmente di modesta entità. su queste litologie, pur essendo legate all'andamento stagionale delle precipitazioni, e quindi con portate variabili, assicurano un certo deflusso anche nei periodi più secchi.

La permeabilità delle metamorfiti è legata al grado di fratturazione e tiene conto che frequentemente i sistemi di fratture hanno riempimenti limoso-argillosi che non favoriscono il ricircolo delle acque. Spesso le fratture si chiudono a bassa profondità, cosicché si hanno acquiferi molto superficiali, con una direzione di deflusso influenzata direttamente dalla topografia. Talvolta si individuano zone più ricche d'acqua in prossimità di fasce cataclastiche lungo le principali faglie.

Le coperture detritiche allo stato sciolto o semicoerente, presenti ai bordi del tavolato vulcanico, presentano permeabilità medio alta per porosità primaria (mediamente $> 10^{-1}$ cm/sec) sono comunque sede di modesti acquiferi.

La circolazione idrica è sub-superficiale in ragione degli scarsi spessori della formazione e la falda, se presente, ha carattere effimero e stagionale e segue l'andamento della topografia.

Idrogeologicamente, si possono dunque riassumere i seguenti complessi acquiferi principali, riportati graficamente nell'elaborato "Carta delle Permeabilità":

LITOTIPI PERMEABILI PER POROSITA' (PERMEABILITA' PRIMARIA)

- Depositi detritici di versante (OLOCENE): Permeabilità medio alta;
- Depositi ignimbrici in disfacimento (OLIGO-MIOCENE): Permeabilità medio bassa;

LITOTIPI PERMEABILI PER FRATTURAZIONE (PERMEABILITA' SECONDARIA)

- Ignimbriti (OLIGO - MIOCENE) Permeabilità medio alta per fessurazione;
- Depositi di flusso piroclastico, ignimbriti in alternanza con andesiti (OLIGO - MIOCENE) Permeabilità medio alta per fessurazione;
- Andesiti (OLIGO - MIOCENE) Permeabilità medio alta per fessurazione;
- Micascisti e Paragneiss (PRECAMBRIANO) Permeabilità bassa o assente per fessurazione.

9. Caratterizzazione sismica

Per ciò che riguarda i parametri e i coefficienti sismici, in base alle norme tecniche per le costruzioni, contenute nel D.M. 17/01/18, si devono definire i parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione. La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale.

Lo "stato limite" è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

I coefficienti sismici vengono determinati in base alla posizione geografica del sito (latitudine e longitudine) e sono funzione di parametri caratteristici definiti dalla normativa.

Le N.T.C. 2018 fissano i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e aggiornano le norme tecniche per le costruzioni nelle medesime zone.

L'art. 2 dell'Ordinanza OPCM 3274 del 2003 prevede che siano le Regioni, sulla base dei Criteri generali indicati dallo Stato ad individuare, formare ed aggiornare l'elenco delle zone sismiche.

Le Zone Sismiche sono fissate in numero di quattro, in funzione di quattro valori significativi delle accelerazioni sismiche di progetto.

In particolare la classificazione sismica del territorio nazionale è articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

Tutta la Sardegna appartiene alla Zona Sismica 4.

L'assegnazione a tutto il territorio regionale della Sardegna a questa zona è stata in seguito confermata nell'Ordinanza del 2006 (OPCM 3519).

Parametro	Riferimento D.M. 17/01/18	Osservazioni / Considerazioni
V_N Vita nominale	Tabella 2.4.I	La vita nominale (V_N) di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.
Classe d'uso	Punto 2.4.2	Suddivisione delle costruzioni in conseguenza all'interruzione di operatività o di un eventuale collasso.
C_U Coefficiente d'uso	Tabella 2.4.II per la Classe III	Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito al variare della classe d'uso.
V_R Periodo di riferimento per l'azione sismica	Punto 2.4.3	Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U . $V_R = V_N \times C_U$
Categoria del sottosuolo	Tabella 3.2.II	Da definire in relazione al valore di propagazione delle onde di taglio V_s .
Categoria topografica	Tabella 3.2.III	È funzione delle caratteristiche della superficie topografica

Sismicità storica

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali. La sismicità storica dell'area interessata è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.

- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti, relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia), ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area di Erula, così come l'intera Regione Sardegna, presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo tre eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ (2000-2004) localizzati in mare (Tirreno centrale), che hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità. In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15, dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello

di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

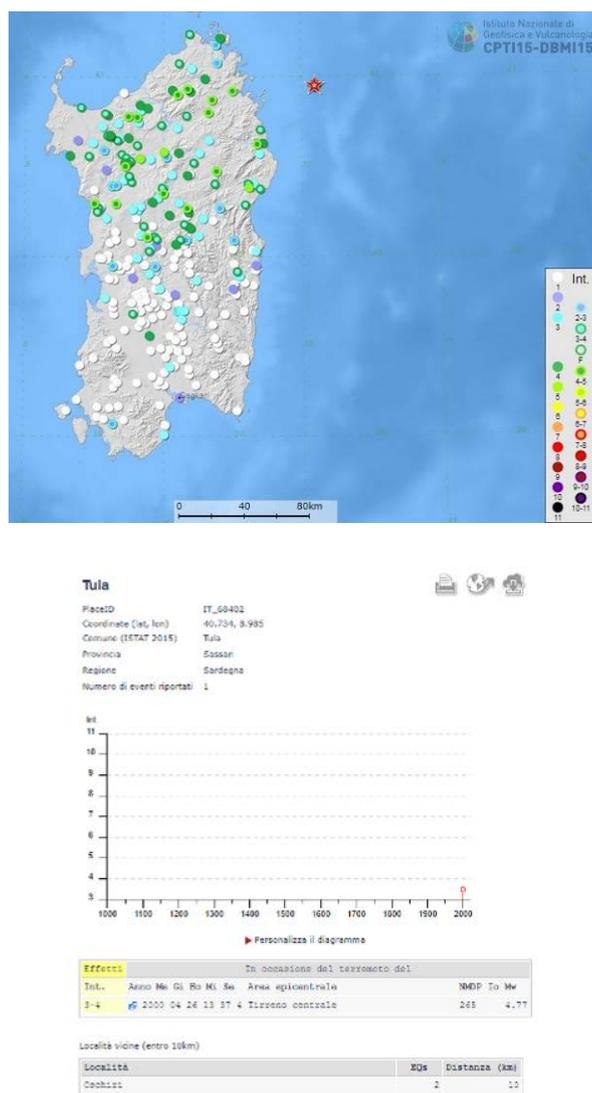


Figura 14. Mappa dei terremoti storici in Sardegna e riferiti in particolare all'area di Tula (Fonte: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

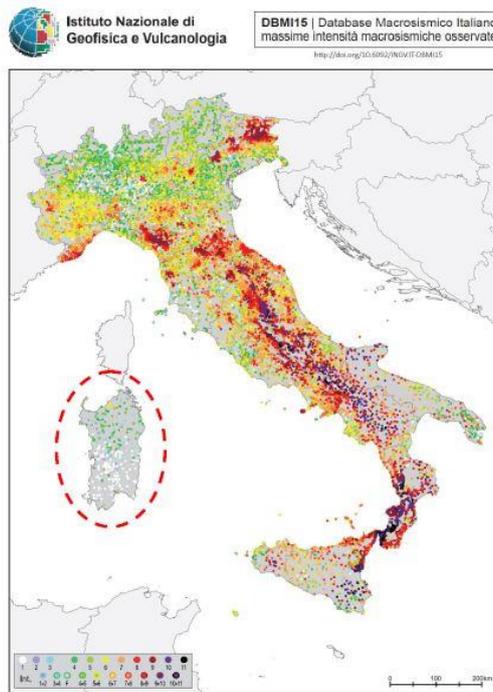


Figura 15. Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15 (fonte: INGV).

Pericolosità sismica di base

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_r) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P V_r) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r).

Il periodo di riferimento dell'opera (V_r) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_n), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (C_u), funzione della Classe d'uso della costruzione.

Per la definizione della categoria di sottosuolo in riferimento alle condizioni topografiche, nell'ambito dell'approccio semplificato alla definizione delle V_s , si può fare riferimento alla tabella 3.2.II delle N.T.C. 2018 che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S .

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Nel caso in esame sono state effettuate n° 2 indagini sismiche ubicate su due formazioni differenti, la prima è stata effettuata sulle vulcaniti, mentre la seconda è stata effettuata sulle metamorfiti.

Per la categoria di sottosuolo, in entrambi i casi viene selezionata la categoria **B**.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo vengono utilizzate le velocità di propagazione delle onde sismiche desunte dalle indagini svolte il giorno 13 aprile 2022 dal dott. Geol. Mario Nonne e le risultanze sono riportate nella relazione sulle indagini da questi redatta ("RELAZIONE PROVE GEOFISICHE" alla quale si rimanda per i dettagli), allegata al presente elaborato.

Nel caso di specie, i valori di VS e il valore di VS/eq (espressione [3.2.1], NTC 2018) sono stati ottenuti mediante l'esecuzione di n° 2 stendimenti sismici con tecnica **MASW** (Multichannels Analysis Surface Waves).

MASW 1

L'elaborato "RELAZIONE PROVE GEOFISICHE" con riferimento alla MASW n. 1, realizzata a bordo di uno stradello con direzione NNE - SSW, sulle vulcaniti, riporta che "L'analisi del profilo sismico per il calcolo delle Vs equivalenti è stata effettuata utilizzando un modello semplificato composto da 7 sismostrati con il raggiungimento del substrato sismico alla profondità di 6,7 metri dal p.c..

Strati	Profondità (m)	Spessore strato (m)	Vs (m/sec)
A	1,7	1,7	349
B	4,1	2,4	400
C	6,7	2,6	720
D	10,2	3,5	959
E	14,2	4,0	1070
F	19,2	5,0	1049
G	-	-	980

Nel calcolo della "Velocità equivalente" V_{seq} si è tenuto conto dei tre sismostrati rilevati con velocità inferiore agli 800 m/sec sino alla profondità di 6,7 metri dal p.c..

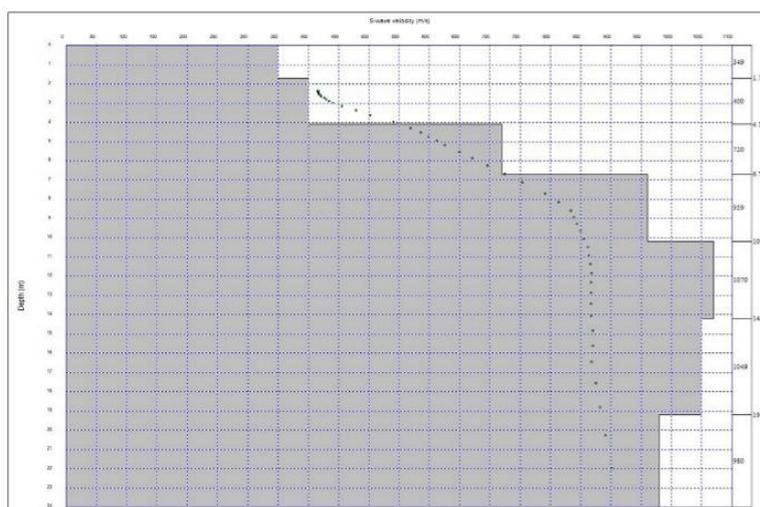


Figura 16. modello stratigrafico delle Vs

Considerando la stratigrafia ottenuta dall'elaborazione dello spettro di dispersione, la V_{seq} (NTC 2018), risultano pari a 462,64 m/s. Tali caratteristiche classificano il terreno di fondazione (NTC 2018) alla categoria B. Resta sempre in capo al progettista l'utilizzo della categoria di sottosuolo di riferimento da utilizzare in funzione delle scelte progettuali."

MASW 2

L'elaborato "RELAZIONE PROVE GEOFISICHE" con riferimento alla MASW n. 2, realizzata a bordo di uno stradello con direzione NNE - SSW, sulle metamorfite, riporta che "L'analisi del profilo sismico per il calcolo delle V_s equivalenti è stata effettuata utilizzando un modello semplificato composto da 7 sismostrati con il raggiungimento del substrato sismico alla profondità di 6,3 metri dal p.c..

Strati	Profondità (m)	Spessore strato (m)	V_s (m/sec)
A	1,6	1,6	397
B	3,7	2,1	482
C	6,3	2,6	771
D	9,4	3,1	868
E	13,1	3,7	862
F	17,3	4,2	1033
G	-	-	1225

Nel calcolo della "Velocità equivalente" V_{seq} si è tenuto conto dei tre sismostrati rilevati con velocità inferiore agli 800 m/sec sino alla profondità di 6,3 metri dal p.c..

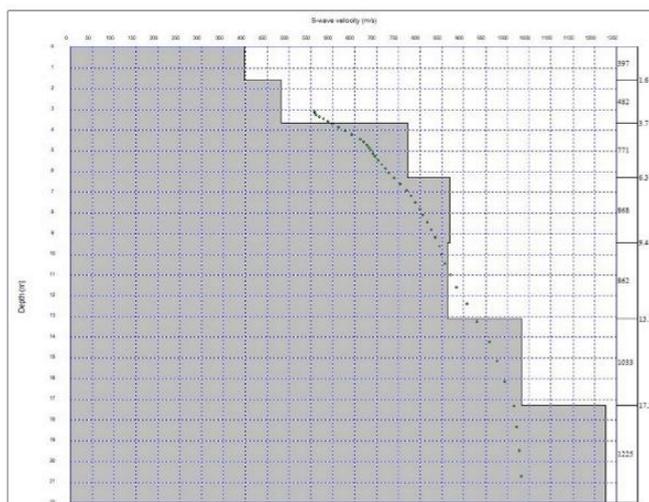


Figura 17. modello stratigrafico delle V_s

Considerando la stratigrafia ottenuta dall'elaborazione dello spettro di dispersione, la V_{seq} (NTC 2018), risultano pari a 535,75 m/s. Tali caratteristiche classificano il terreno di fondazione (NTC 2018) alla categoria B. Resta sempre in capo al progettista l'utilizzo della categoria di sottosuolo di riferimento da utilizzare in funzione delle scelte progettuali.

Per le categorie topografiche, vista la conformazione orografica del sito ed in riferimento alla tabella 3.2.III delle N.T.C. 2018 viene utilizzata la categoria **T2**.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

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

$$VR = VN \cdot CU$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso C_U*

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

Relativamente all'opera in Progetto si riassumono i relativi parametri:

Vn: 50 anni

Classe d'uso: II

Cu: 1,00

Vr: 50

Categoria del sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Le NTC 2018 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si individuano in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa **ag** su roccia (suolo tipo A) e del corrispondente spettro di risposta elastico.

L'azione sismica, per il sito di edificazione e per la tipologia di costruzione definita (vita nominale, coefficiente d'uso), deve essere valutata relativamente allo Stato Limite da considerare.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono i seguenti:

Stati limite	PVR Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
(SLE)	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
(SLU)	SLC	5%

Fissata la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR per ciascun Stato Limite considerato, va determinato il periodo di ritorno (Tr) dell'evento sismico da considerare.

A seconda dei diversi stati limite si ottengono i seguenti tempi di ritorno Tr

Stati limite	Tempi di ritorno TR (anni)	
SLE	SLO	30
	SLD	35
SLU	SLV	332
	SLC	682

In corrispondenza dei diversi stati limite si riportano di seguito i valori dei parametri A_g , F_0 e T^*C nel sito in esame

	$a_g(g)$	F_0 (adim)	T^*C (sec)
SLO	0.0019	2.610	0.273
SLD	0.020	2.628	0.028
SLV	0.045	2.885	0.332
SLC	0.055	2.930	0.356

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	a_{max} [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.263	0.2	0.005	0.003
S.L.D.	0.282	0.2	0.006	0.003
S.L.V.	0.639	0.2	0.013	0.007
S.L.C.	0.776	0.2	0.016	0.008

tipico suolo marrone-rossastro argilloso poco profondo e molto degradato. Le piroclastiti tendono infatti, in presenza di ristagno idrico, al fenomeno dell'argillificazione, processo di alterazione chimica ad opera delle acque meteoriche per cui in seguito alla ossidazione di ferro e alluminio e alla idrolisi dei minerali silicatici (feldspati) si originano i minerali argillosi.

Dal punto di vista idrogeologico la porzione più superficiale, costituita dai prodotti di alterazione della roccia metamorfica, può essere permeabile sia per porosità che per fessurazione.

Pertanto possiamo affermare che la permeabilità cresce proporzionalmente al grado di disfacimento e/o fratturazione della roccia metamorfica.

Le litologie vulcaniche pur essendo, impermeabili, presentano una medio alta permeabilità per fessurazione, strettamente legata ai sistemi di fratturazione e ai rapporti di giacitura delle discontinuità, che costituiscono un serbatoio acquifero importante, funzione del loro spessore, più elevato nel settore occidentale e settentrionale dell'area.

Non disponendo di indagini geognostiche dirette, quali pozzetti geognostici o sondaggi, utilizzando le correlazioni riportate nella Relazione Sismica allegata, si può ipotizzare la seguente successione stratigrafica:

METAMORFITI				
STRATO	PROFONDITA' MEDIA (m dal p.c.)		LITOLOGIA	SPESSORE (m)
1	4,10		MATERIALE DI COPERTURA	4,10
3	6,70		METAMORFITI IN FACIES DI ALTERZIONE E FRATTURAZIONE	2,6
3	24		METAMORFITI IN FACIES LITOIDE	17,3

PIROCLASTITI IN FACIES IGNIMBRITICA				
STRATO	PROFONDITA' MEDIA (m dal p.c.)		LITOLOGIA	SPESSORE (m)
1	1,6		MATERIALE DI COPERTURA	1,6
3	3,7		PIROCLASTITI IN FACIES DI ALTERZIONE E FRATTURAZIONE	2,1
3	13,1		PIROCLASTITI IN FACIES DI FRATTURAZIONE	9,4
	22		PIROCLASTITI IN FACIES LITOIDE	8,9

Tali ricostruzioni stratigrafiche dovranno essere verificate con l'esecuzione di apposite indagini geognostiche dirette, quali sondaggi e/o pozzetti geognostici.

Per la definizione del modello geologico definitivo si rimanda ad un approfondimento del quadro conoscitivo a livello locale di ogni singola torre, tale approfondimento dovrà investigare i livelli stratigrafici interessati dalle fondazioni delle opere in progetto e del suo intorno significativo.

11. Modello geotecnico preliminare

Per una prima caratterizzazione preliminare, sono stati determinati i parametri geotecnici relativi alle metamorfite e delle vulcaniti in facies sub litoide affioranti nei pressi dell'area in cui verranno realizzate le torri degli aerogeneratori.

Per la determinazione dei parametri geotecnici delle metamorfite e delle vulcaniti in facies sub lapidea è stata effettuata la caratterizzazione dell'ammasso roccioso utilizzando il criterio di rottura pubblicato da Hoek et al. (2002) per la caratterizzazione della resistenza al taglio degli ammassi rocciosi fratturati.

Questo criterio di rottura estende quello tradizionalmente utilizzato per i terreni sciolti (Mohr-Coulomb) e permette di utilizzare il metodo di verifica della stabilità mediante l'equilibrio limite anche in presenza di ammassi rocciosi fratturati, dove è necessaria una metodologia che permetta di definire la resistenza al taglio dell'ammasso in termini dei parametri φ' e c' . La metodologia di Hoek che si è evoluta in oltre 25 anni di studi di meccanica e ingegneria delle rocce (Hoek & Bray, 1997; Marinos & Hoek, 2001, Hoek et al.; 2002) permette attraverso una caratterizzazione delle qualità meccaniche e strutturali dell'ammasso un percorso non ambiguo che porta alla valutazione dei parametri necessari per effettuare una verifica di stabilità dei pendii.

Il campo di applicazione della metodologia è limitato ai pendii in roccia dove non sono presenti instabilità e distacchi di natura strutturale quali: cunei o poliedri di roccia, topplig /ribaltamenti, e caduta di massi. Tuttavia il metodo presenta una capacità di generalizzazione molto ampia, potendo spaziare dagli ammassi rocciosi in rocce consistenti, alle rocce deboli fino alle rocce tenere.

Una delle caratteristiche del criterio di rottura di Hoek è che esso definisce per l'ammasso nel suo insieme un involucro di rottura curvo all'interno del diagramma degli sforzi normali e tangenziali.

In tal modo la definizione dei parametri φ' e c' equivalenti per l'ammasso passa attraverso la valutazione locale dello stato tensionale e successivamente definisce i parametri φ' e c' equivalenti attraverso la retta tangente con l'involucro nel punto considerato.

Descrizione del criterio di rottura per la determinazione dei parametri φ' e c' equivalenti

Per l'applicazione del criterio di rottura di Hoek et al (2002), anche detto "sistema/metodo GSI", è necessario determinare o stimare l'ammasso con quattro parametri di base:

1) La resistenza a compressione uniassiale σ_{ci} (Mpa) degli elementi di roccia intatta, valutata solitamente mediante prove Point Load o assimilate.

Nel caso in esame è stata effettuata una prova sclerometrica, ottenendo la misura della "durezza di rimbalzo" della roccia (figure 20-23).

2) L'indice geologico di resistenza GSI (adimensionale) che sintetizza le caratteristiche strutturali essenziali dell'ammasso.

3) La costante litologica m_i (adimensionale) che dipende dalla litologia dell'ammasso e stimabile da apposite tabelle.

4) Il fattore di disturbo D (adimensionale) che variando da 0 a 1 rappresenta il grado di disturbo indotto da operazioni di scavo meccanico o esplosivi.

Tutti questi parametri possono essere stimati con l'ausilio di grafici o tabelle, oltre che misurati direttamente come la resistenza alla compressione uni assiale.

Il software ROCKLAB 1.0 è un importante strumento per la stima dei parametri del metodo partendo da informazioni di campagna e di laboratorio.

Di seguito sono rappresentati gli involuppi di rottura curva all'interno del diagramma degli sforzi normali e tangenziali relativo all'affioramento roccioso metamorfico e vulcanico caratterizzati, che ha consentito di determinare i parametri ϕ' e c' . L'affioramento presenta i seguenti parametri geotecnici.

Affioramento metamorfico in facies sub lapidea

ϕ' : 30,54°

c' : 18,76 kg/cm²

Peso di Volume: 2400 kg/m³

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 38 MPa

GSI = 45 $m_i = 15$ Disturbance factor = 0.2

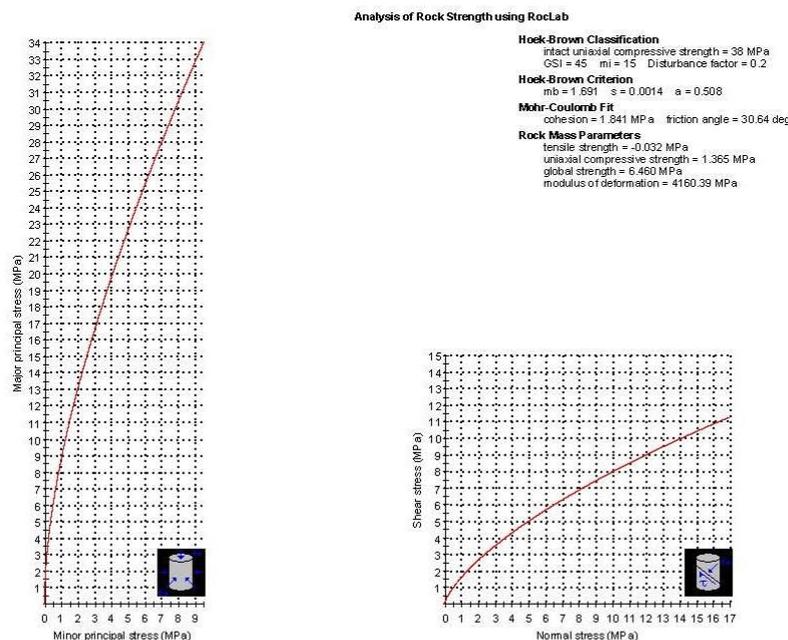


Figura 19. Involuppi di rottura sulle metamorfiti in facies sub litoide



Figura 20. Stazione Sclerometrica SS1

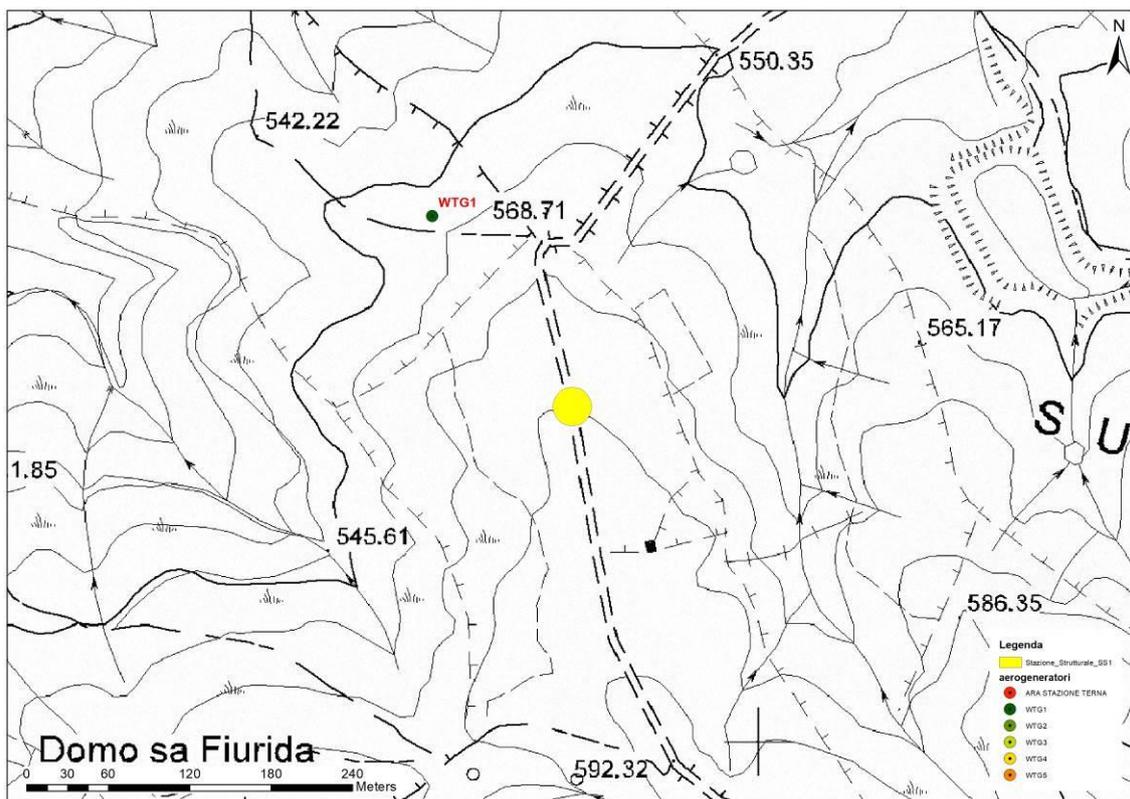


Figura 21. Ubicazione Stazione Sclerometrica SS1

Affioramento piroclastiti in facies ignimbrtica sub lapidea

φ' : 32,30°

c' : 24,06 kg/cm²

Peso di Volume: 2500 kg/m³

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 45 MPa

GSI = 50 mi = 15 Disturbance factor = 0.2

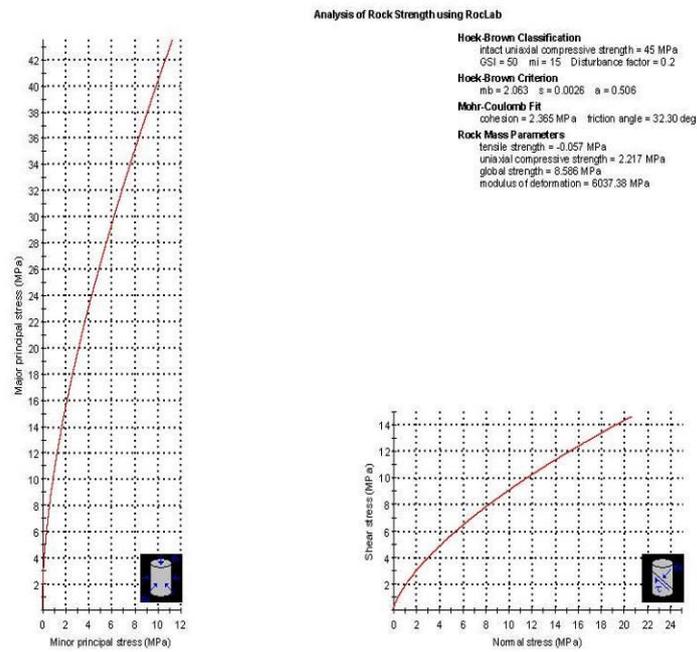


Figura 22. Involupi di rottura sulle piroclastiti in facies ignimbricitica sub litoide



Figura 23. Stazione Sclerometrica SS2

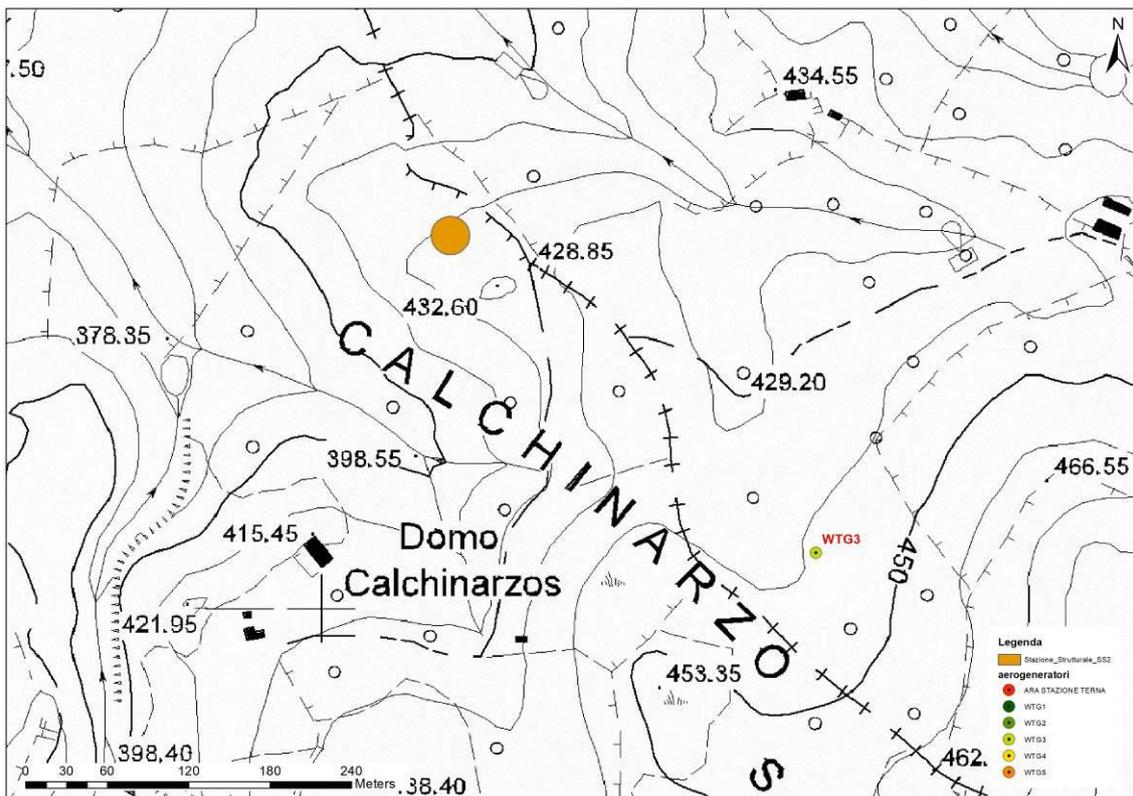


Figura 24. Ubicazione Stazione Sclerometrica SS2

Per la determinazione dei parametri geotecnici puntuali nell'area di sedime delle fondazioni di ogni singola torre degli aerogeneratori, si rimanda ad un maggiore approfondimento in fase di progettazione definitiva una volta acquisiti maggiori elementi conoscitivi basati su una idonea campagna di indagini geognostiche e geotecniche.

12. Conclusioni

La presente Relazione è parte integrante del progetto denominato "PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO "SA FIURIDA" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 6,3 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 31,5 MW SITO NEL COMUNE DI ERULA (SS), CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ERULA E TULA (SS)".

La proposta progettuale, proposta dalla società GRV Wind Sardegna 5 s.r.l, è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da 5 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,3 MW per una potenza complessiva di 31,5 MW, da realizzarsi nella Provincia di Sassari, nel territorio comunale di Erula, in cui insistono gli aerogeneratori e parte dell'elettrodotto interrato, mentre nel territorio comunale di Tula ricade la restante parte dell'elettrodotto e le opere di connessione alla RTN.

La presente Relazione Geologica fornisce la descrizione dei lineamenti geologici, geomorfologici, idrogeologici dell'area oggetto di intervento.

La redazione del presente elaborato è stata preceduta da accurati rilievi sul campo che ha consentito di definire il modello geologico del sito di intervento oggetto della presente progettazione grazie anche alla realizzazione di indagini sismiche con metodologia MASW e delle indagini geognostiche spedite in sito quali stazioni sclerometriche.

L'area in esame ed il suo intorno ben si prestano alla definizione della litostratigrafia locale, vista la presenza di affioramenti, di alcune sezioni stradali e fronti di scavo, più o meno estesi, che per la loro continuità spaziale e la loro vicinanza all'area indagata hanno consentito la caratterizzazione dei litotipi rilevati, rendendo possibile localmente l'osservazione diretta di sequenze litostratigrafiche ben esposte.

Le principali formazioni geologiche osservate in fase di rilevamento nell'area di intervento sono ascrivibili a paragneiss, micascisti e quarziti in facies anfibolitica appartenenti al Complesso metamorfico, con i suoi prodotti di alterazione, cronologicamente seguono le rocce vulcaniche, rappresentate in prevalenza da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica.

Il complesso migmatitico si presenta spesso fortemente alterato, tale alterazione è evidente sia in maniera areale sia localizzata, queste azioni di degradazione danno luogo alla formazione di prodotti di alterazione che in modo discontinuo ricoprono il basamento addolcendone le forme.

Le rocce vulcaniche nel complesso mostrano una facies in prevalenza rocciosa e massiva, con giacitura tipica delle formazioni di copertura suborizzontale, piana, talvolta frastagliata dalle intersezioni dei tagli erosivi, ma con pendici marginali a ripida scarpata.

Sulle ampie superfici del tavolato vulcanico si innescano, per azione dell'acqua di origine meteorica, lenti processi di degradazione chimico-fisica che portano alla formazione del tipico suolo marrone-rossastro argilloso poco profondo e molto degradato.

La modellazione geologica relativa all'area d'intervento mostra un'area costituita principalmente da due formazioni tra loro litologicamente omogenee e non mostra evidenze in merito alla presenza di acquiferi superficiali, pertanto la circolazione idrica principale è identificabile con il reticolo idrografico e l'eventuale presenza di acqua nel sottosuolo è da riferire all'infiltrazione delle acque meteoriche nei primi metri.

Le litologie vulcaniche pur essendo impermeabili, presentano una medio alta permeabilità per fessurazione.

L'acquifero, localizzato nel mezzo fratturato, presenta uno schema di circolazione idrica complessa, difficilmente ricostruibile in ragione della estrema variabilità, soprattutto in senso verticale.

Il complesso metamorfico paleozoico anch'esso presenta una permeabilità assente per porosità, che localmente può risultare apprezzabile per fratturazione, consentendo l'infiltrazione delle acque meteoriche e alimentando la circolazione idrica sotterranea profonda, generalmente di modesta entità. su queste litologie, pur essendo legate all'andamento stagionale delle precipitazioni, e quindi con portate variabili, assicurano un certo deflusso anche nei periodi più secchi.

Dal punto di vista strettamente geomorfologico non si rilevano per il caso in esame particolari criticità, in virtù dell'assenza di fattori predisponenti al dissesto gravitativo, anche di modesta entità, primo fra tutti la pendenza, non esistendo allo stato attuale alcun affioramento litoide o non litoide con conformazione tale da poter dare vita ad alcun fenomeno di dissesto franoso.

Tale affermazione può essere confermata anche dalla perimetrazione del PAI Frane che assegna a gran parte dell'area e in modo specifico alle zone dove verranno realizzati gli

aerogeneratori, una pericolosità da frana nulla. Infatti nell'area perimetrata dal PAI frane, non sono state riscontrate condizioni di instabilità del pendio.

Per una prima caratterizzazione geotecnica preliminare, sono stati determinati i parametri geotecnici relativi alle metamorfiti e delle vulcaniti in facies sub litoide affioranti nei pressi dell'area in cui verranno realizzate le torri degli aerogeneratori.

Per la determinazione dei parametri geotecnici delle metamorfiti e delle vulcaniti in facies sub lapidea sono state realizzate due stazioni strutturali sulle quali sono state effettuate due prove sclerometriche su cui è stata effettuata la caratterizzazione dell'ammasso roccioso utilizzando il criterio di rottura pubblicato da Hoek et al. (2002) per la caratterizzazione della resistenza al taglio degli ammassi rocciosi fratturati.

I parametri geotecnici rilevati sono i seguenti:

Affioramento metamorfico in facies sub lapidea

φ' : 30,54°

c' : 18,76 kg/cm²

Peso di Volume: 2400 kg/m³

Affioramento piroclastiti in facies ignimbratica sub lapidea

φ' : 32,30°

c' : 24,06 kg/cm²

Peso di Volume: 2500 kg/m³

In via del tutto preliminare si può affermare che tali litotipi possiedono buoni parametri geotecnici che, in ogni caso, dovranno essere individuati mediante delle apposite indagini geognostiche e/o geotecniche.

Sono state effettuate n° 2 indagini sismiche con tecnica MASW ubicate su due formazioni differenti, la prima è stata effettuata sulle vulcaniti, mentre la seconda è stata effettuata sulle metamorfiti. Per la categoria di sottosuolo, in entrambi i casi viene selezionata la categoria **B**.

In conclusione, sulla base dei rilievi e degli studi condotti nell'area di interesse progettuale e nel suo intorno significativo, considerate le caratteristiche delle opere in progetto e i necessari accorgimenti progettuali, è possibile concludere attestando la fattibilità geologica dell'intervento.

Siniscola, aprile 2022

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Roberto Tola



APPENDICE

STRALCIO CTR SCALA 1:15.000

STRALCIO IGM SCALA 1:15.000

STRALCIO IGM STORICO SCALA 1:15.000

ORTOFOTO SCALA 1:15.000

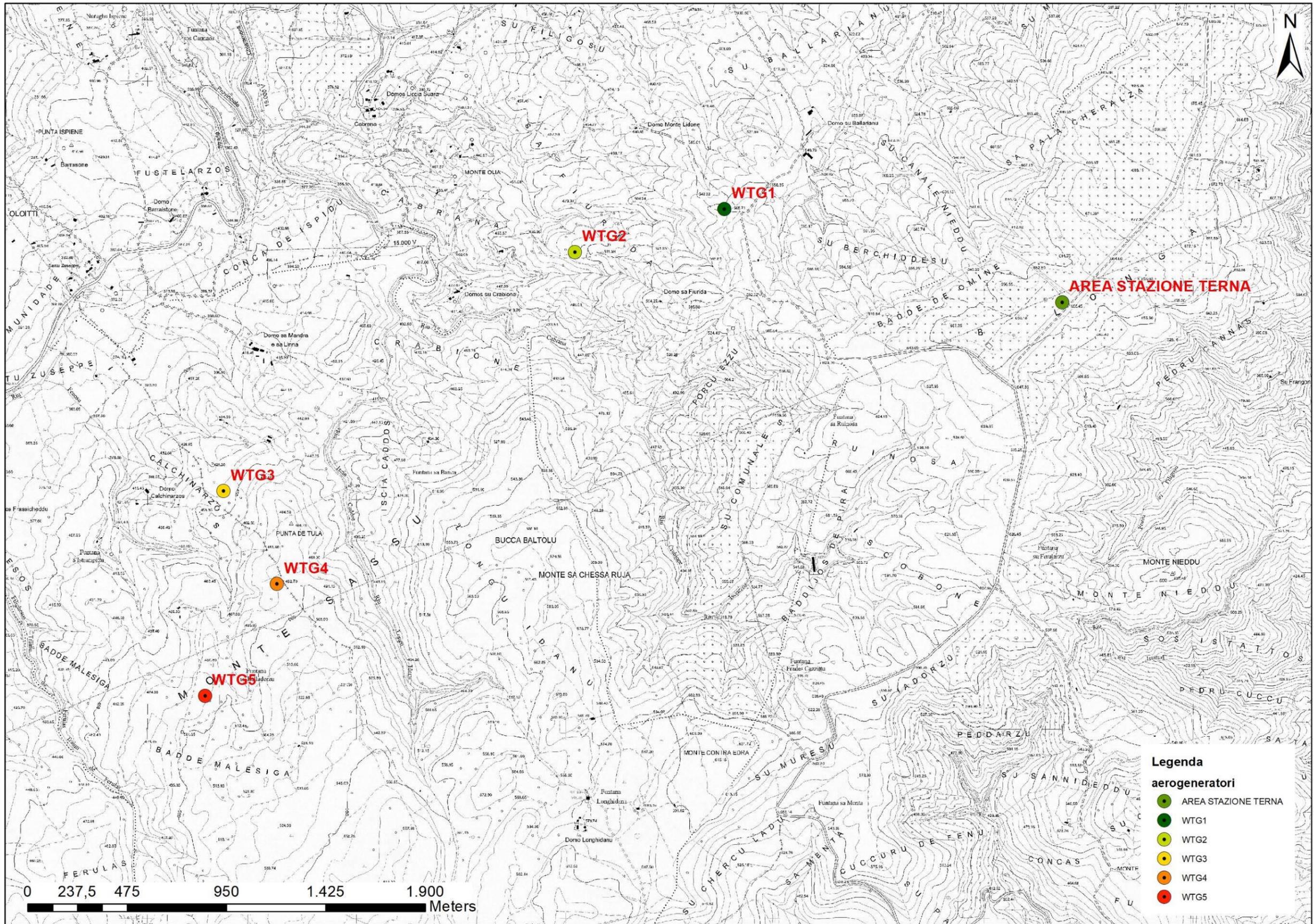
ORTOFOTO SCALA 1:15.000

ORTOFOTO SCALA 1:30.000

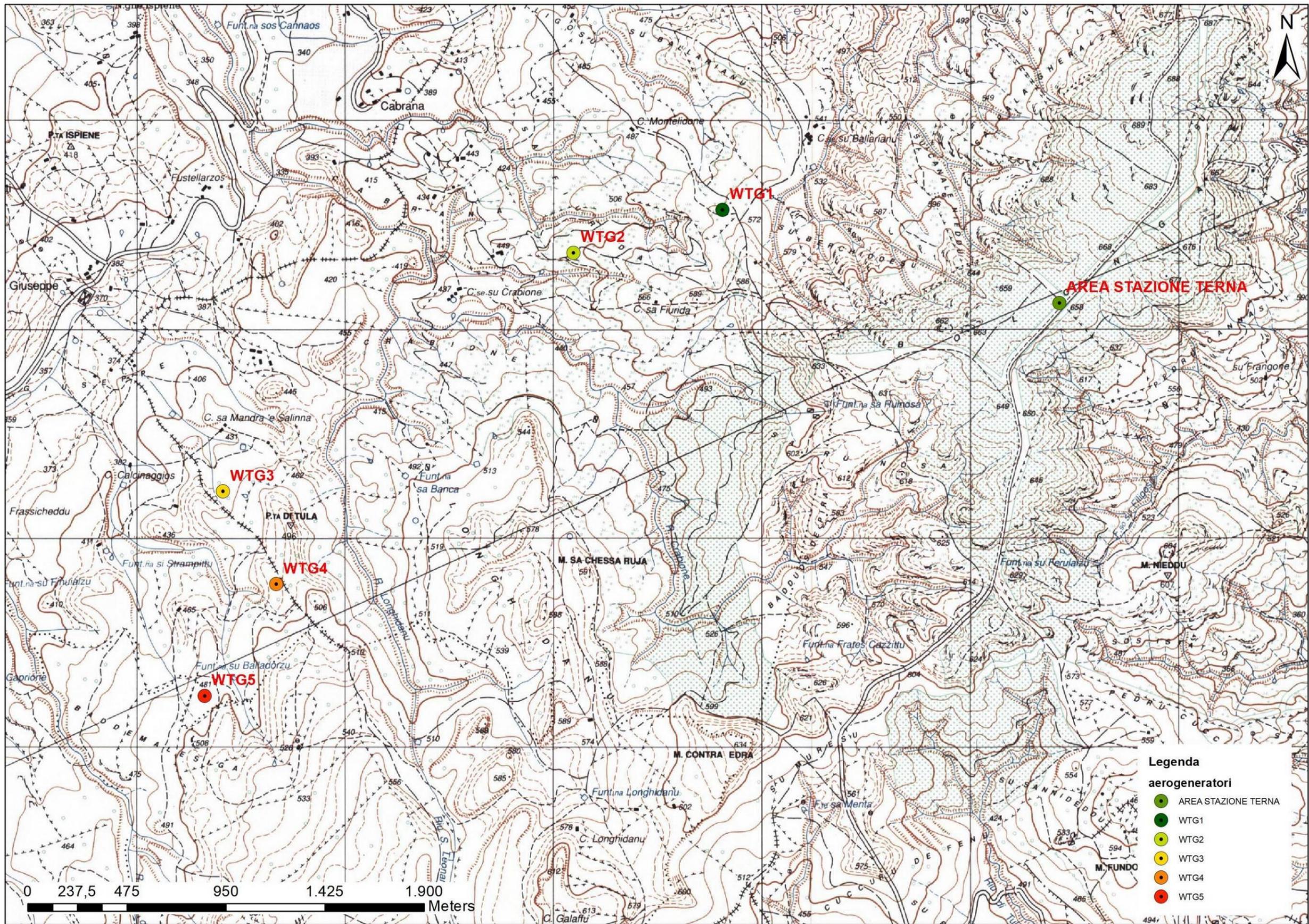
CARTA GEOLOGICA IN SCALA 1:10.000

CARTA GEOMORFOLOGICA IN SCALA 1:10.000

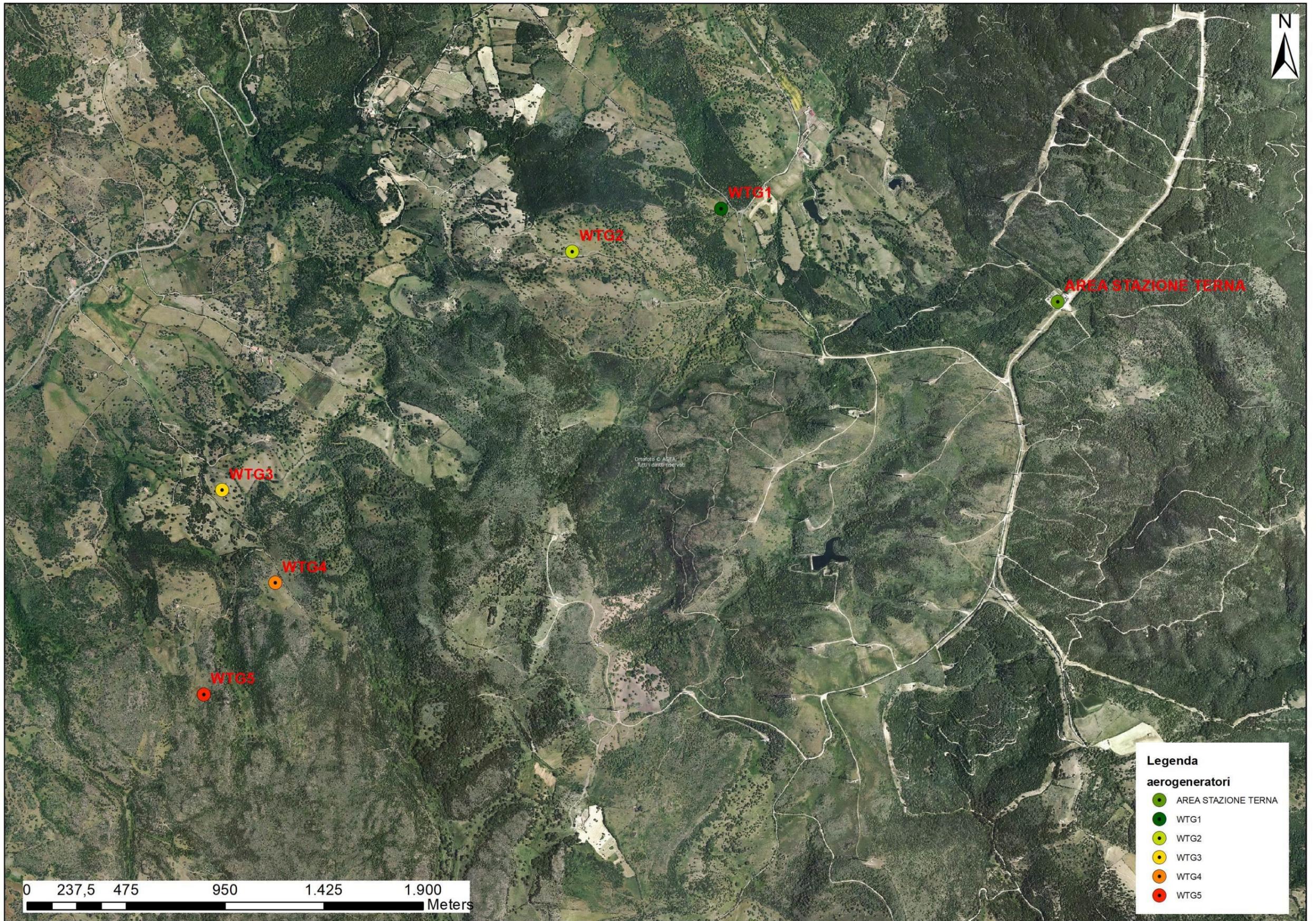
CARTA DELLE PERMEABILITA' IN SCALA 1:10.000



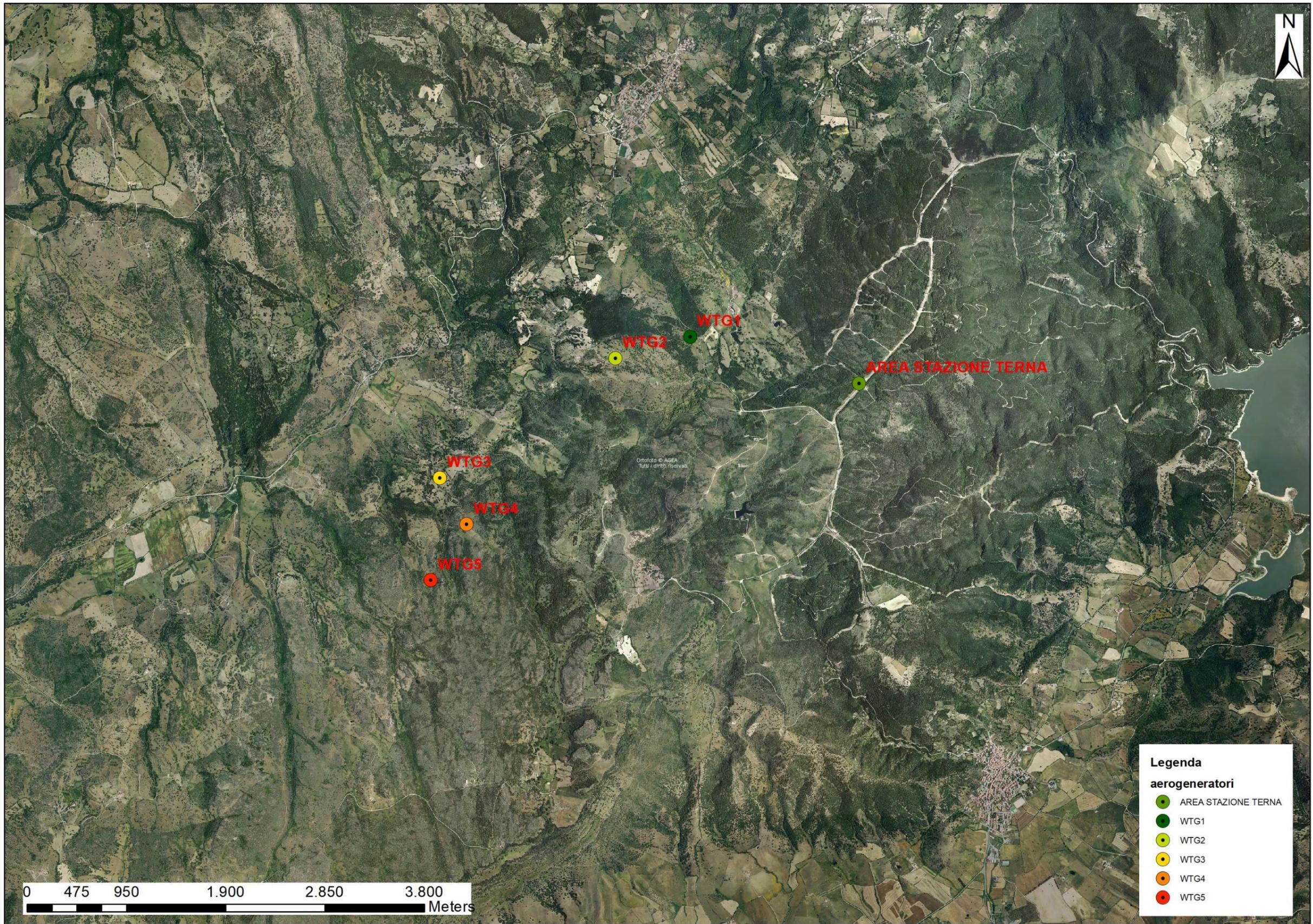
STRALCIO CTR SCALA 1:15.000



STRALCIO IGM SCALA 1:15.000



STRALCIO ORTOFOTO SCALA 1:15.000



STRALCIO ORTOFOTO -2019 SCALA 1:30.000

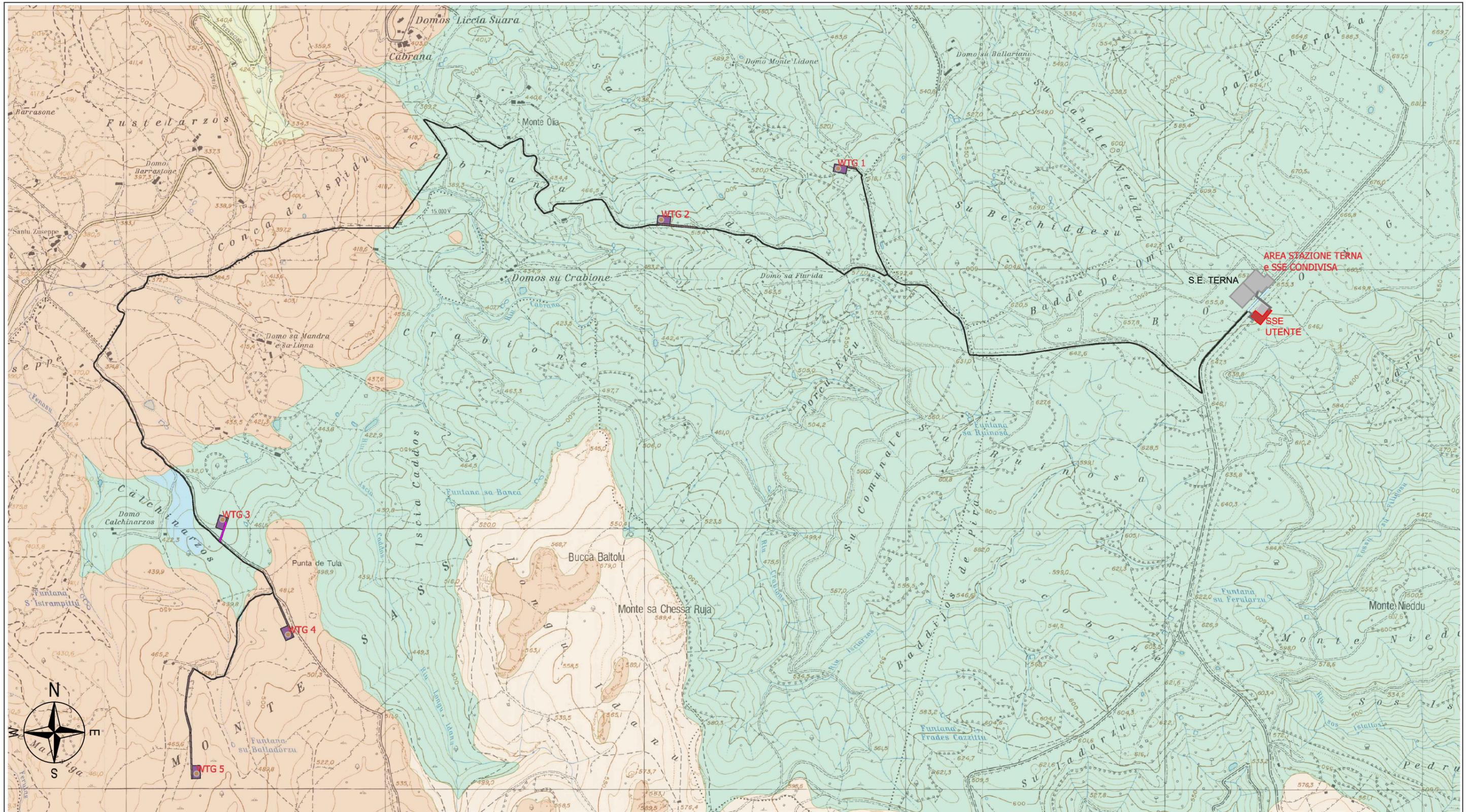
LITOLOGIE

- Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE
- CALCARI DI ERULA. Calcari nodulari con abbondante fauna a macroforaminiferi (Praelveolina tenuis, Cisalveolina fraasi). CENOMANIANO
- UNITÀ DI LOGULENTU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore rossastro, con tessitura macroeutattica. BURDIGALIANO
- UNITÀ DI SAN LEONARDO. Alternanza di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, da saldati a debolmente saldati, a chimismo da dacitico a riolitico, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Bt, Mag, con strutture da eutassitiche a vitroclastiche
- Micascisti e paragneiss ad And ± Sill ± Crd. ?PRECAMBRIANO-?PALEOZOICO

OPERE IN PROGETTO

- Strade di progetto
- Piazzola definitiva
- Cavidotto
- Aerogeneratori

0 500 1000 m



LITOLOGIE

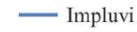
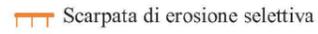
- Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE
- CALCARI DI ERULA. Calcari nodulari con abbondante fauna a macroforaminiferi (Praelveolina tenuis, Cisalveolina fraasi). CENOMANIANO
- UNITÀ DI LOGULENTU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore rossastro, con tessitura macroeutattica. BURDIGALIANO
- UNITÀ DI SAN LEONARDO. Alternanza di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, da saldati a debolmente saldati, a chimismo da dacitico a riolitico, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Bt, Mag, con strutture da eutassitiche a vitroclastiche
- Micascisti e paragneiss ad And ± Sill ± Crd. ?PRECAMBRIANO-?PALEOZOICO

FORME VULCANICHE



Neck

FORME DI EROSIONE CONCENTRATA



FORME ANTROPICHE



OPERE IN PROGETTO

- Strade di progetto
- Piazzola definitiva
- Cavidotto
- Aerogeneratori

