

PROPONENTE:

AEI Wind Project VIII S.r.l.

Sede in:

Via Savoia n.78 - 00198 Roma (RM)

PEC: aeiwindprojectviii@legalmail.it



PROVINCIA DI
NUORO



COMUNE DI
NUORO



COMUNE DI
ORUNE



REGIONE SARDEGNA

OGGETTO:

PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 7 AEROGENERATORI CON POTENZA COMPLESSIVA DI 46,2 MW, DENOMINATO "CE NUORO NORD", NEL COMUNE DI ORUNE (NU) E OPERE CONNESSE NEI COMUNI DI ORUNE (NU) E NUORO (NU)

NOME ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

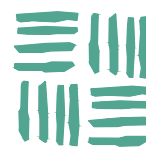
PROGETTO SVILUPPATO DA:

AGREENPOWER s.r.l.

Sede legale: Via Serra, 44

09038 Serramanna (SU) - ITALIA

Email: info@agreenpower.it



agreenpower s.r.l.

GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Simone Abis
Dott. Ing. Fabio Sirigu
Dott. Ing. Daniele Cabiddu
Arch. Roberta Sanna
Dott. Gianluca Fadda

COLLABORATORI:

BIA Srl
Geologika Srls
Dott. Nat. Maurizio Medda
Dott. Nat. Francesco Mascia
Dott. Agronomo Vincenzo Sechi
Dott.ssa Archeologa Manuela Simbula
Ing. Federico Miscali
Ing. Luigi Cuccu
Ing. Vincenzo Carboni
Ing. Nicola Sollai

TIMBRO E FIRMA:

SCALA:	CODICE ELABORATO	TIPOLOGIA	FASE PROGETTUALE			
-	RELO7	IMPIANTO EOLICO	DEFINITIVO			
FORMATO:						
-						
3						
2						
1						
0	Prima emissione	Dicembre 2023	Geologika	Agreenpower	Agreenpower	
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	

INDICE

1	GENERALITÀ	3
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
	SEZIONE I	5
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED UBICAZIONE DELL'AREA	6
2.1	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	8
3	INQUADRAMENTO NEI PIANI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO	9
	SEZIONE II	12
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	13
4.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....	13
4.2	PRINCIPALI CARATTERI DELLE UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE INTERESSATE DAGLI INTERVENTI IN PROGETTO	18
4.2.1	ASSETTO GEOLOGICO LOCALE	18
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROLOGICO	21
5.1	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	24
	SEZIONE III	26
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	27
6.1	SISMICITÀ STORICA	28
6.2	CARATTERIZZAZIONE SISMOGENICA.....	30
6.3	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	31
6.4	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	33
6.4.1	VALUTAZIONE PRELIMINARE DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA	34
	SEZIONE IV	35
7	MODELLAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE.....	36
7.1	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEI TERRENI DI FONDAZIONE	36
8	STIMA DELLA CAPACITÀ PORTANTE PRELIMINARE.....	38
8.1	PARAMETRI GEOMETRICI DELLA FONDAZIONE	38
8.2	CARICHI TRASMESSI AL TERRENO	38
8.3	VERIFICA DEL CARICO LIMITE (Q_{ULTIMA}).....	39
9	CONCLUSIONI	40

1 GENERALITÀ

La società AGREENPOWER S.R.L., con sede in Via Serra 44, 09038 Serramanna (SU), ha conferito alla società GEOLOGIKA S.R.L.S. con sede operativa in Via Michelangelo n. 17/C a Monastir, P.IVA 03612320923, l'incarico per la predisposizione della RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA e SISMICA a supporto del progetto denominato "PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 7 AEROGENERATORI CON POTENZA COMPLESSIVA DI 46,2 MW, DENOMINATO "CE NUORO NORD", NEL COMUNE DI ORUNE (NU) E OPERE CONNESSE NEI COMUNI DI ORUNE (NU) E NUORO (NU)".

Il presente elaborato, è redatto in conformità con quanto previsto dalle Norme di Attuazione del PAI e dal D.M. 17.01.2018 "NORME TECNICHE SULLE COSTRUZIONI".

Il presente elaborato RELAZIONE REOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA è articolato in:

- **SEZIONE I** - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E UBICAZIONE DELL'AREA: illustra l'ubicazione dell'area in studio, in riferimento alla cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM), alla Cartografia Tecnica Regionale (CTR); analizza gli aspetti vincolistici legati al PAI (Piano Stralcio Assetto Idrogeologico) e agli altri strumenti di settore, esplicita i caratteri generali delle opere in progetto (in riferimento agli elaborati progettuali) e gli aspetti normativi che regolamentano la redazione del presente elaborato tecnico;
- **SEZIONE II** – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO: analizza, in riferimento alle indicazioni fornite dalla CARTA GEOLOGICA DELLA SARDEGNA in scala 1:25.000 e alla CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, il contesto geologico dell'area vasta a contorno del sedime in studio. Definisce, sulla base delle osservazioni di superficie, il contesto geologico dell'area di sedime; analizza e descrive i fenomeni di dissesto in atto e/o potenziali che insistono nell'area interessata dalle opere e in un intorno a questa significativo;
- **SEZIONE III** – ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: inquadra e analizza la sismicità del territorio regionale, descrive i caratteri sismici del sito in riferimento alle indicazioni delle NTC 2018;
- **SEZIONE IV** – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE: definisce in attinenza con il MODELLO GEOTECNICO PRELIMINARE che descrive le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni interessati dalle opere in progetto, che in assenza di apposite indagini geognostiche, si basa sui dati presenti nella bibliografia tecnica di settore.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente lavoro è stato redatto con esplicito riferimento alla seguente normativa:

NORME TECNICHE

- **Cir. C.S.LL.PP n. 7 del 21 gennaio 2019** - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- **D.M. 17.01.2018** - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;
- **UNI 11531-1 aprile 2014** - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture;
- **O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006** – «Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone»;
- **D.G.R. n.15/31 del 30 marzo 2004** – Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 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";
- **O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003** – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, con la quale sono stati approvati i “Criteri per l’individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone”;
- **D.M.LL.PP. 16.01.1996** – Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche;
- **D.M. LL.PP. 11.03.1988** – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- **Legge. n. 64 del 02.02.1974** – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”, che prevede l’obbligatorietà dell’applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero LL.PP;

ASSETTO IDROGEOLOGICO

- **Delibera Comitato Istituzionale di Bacino. n. 15 del 22.11.2022** - Aggiornamento e integrazione delle Norme di Attuazione del PAI/PGRA;
- **Delibera di G.R. n. 2/8 del 20.01.2022** - Aggiornamento Norme di Attuazione del PAI;
- **Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 21.12.2021** - Direttiva 2007/60/CE e art. 12 D.Lgs. 49/2010 - Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) del distretto idrografico della Sardegna – Secondo ciclo di pianificazione – Adozione ai sensi dell’articolo 66 del D. Lgs 152/2006 e ai sensi della L.R. 19/2006 ai fini del successivo iter di approvazione;
- **D.P.C.M. 27 ottobre 2016** - Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA), approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 15/03/2016 ed integrato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 3 del 17/05/2017;
- **Delibera n. 2 del 17.12.2015** del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della RAS – approvazione in via definitiva, per l'intero territorio regionale, ai sensi dell'art. 9 delle L.R. 19/2006 come da ultimo modificato con L.R. 28/2015, il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF);
- **D.P.R. 10 luglio 2006, n. 67** – Approvazione del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale PAI, redatto ai sensi della L. n. 183/1989 e del D.L. n. 180/1998.

SEZIONE I

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E UBICAZIONE DELL'AREA

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED UBICAZIONE DELL'AREA

L'area geografica di indagine è ubicata nella Sardegna centro - orientale, nell'area storico-geografica della Barbagia di Nuoro, più precisamente nei territori comunali di Nuoro e Orune, facenti parte della Provincia di Nuoro. L'impianto, denominato "CE Nuoro Nord", verrà realizzato su terreni pubblici ubicati nella parte orientale e meridionale del Comune di Orune, nelle località denominate "Su Vacchile Novu", "Burbàrisi", "Funtana Sos Jàccanos", "Schina Sas Pauleddas", "Sa 'e Magneri", "Corjos". Il percorso dell'elettrodotto di connessione alla Stazione Elettrica della RTN interesserà terreni ubicati in parte nel Comune di Nuoro e in parte nel Comune di Orune.

TERRITORIO	
PROVINCIA	Nuoro
COMUNE	Nuoro, Orune
COMUNI CONFINANTI	Benetutti, Nule, Bitti, Lula, Dorgali, Oliena, Orgosolo, Mamoiada, Orani
CARTOGRAFIA	
I.G.M. SCALA 1:25.000	Foglio 481 Sezione II – Benetutti, 482 Sezione III – Bitti, 499 Sezione I – Nùoro Ovest, 500 Sezione IV – Nùoro Est
C.T.R.N. SCALA 1:10.000	Sezione 481 160 – Sa Pedra 'e Sa Rucche, 482 130 – Orune, 499 040 – Cantoniera Lardine, 500 010 – Lollove, 499 080 – Nuoro, 500 050 – Monte Ortobene

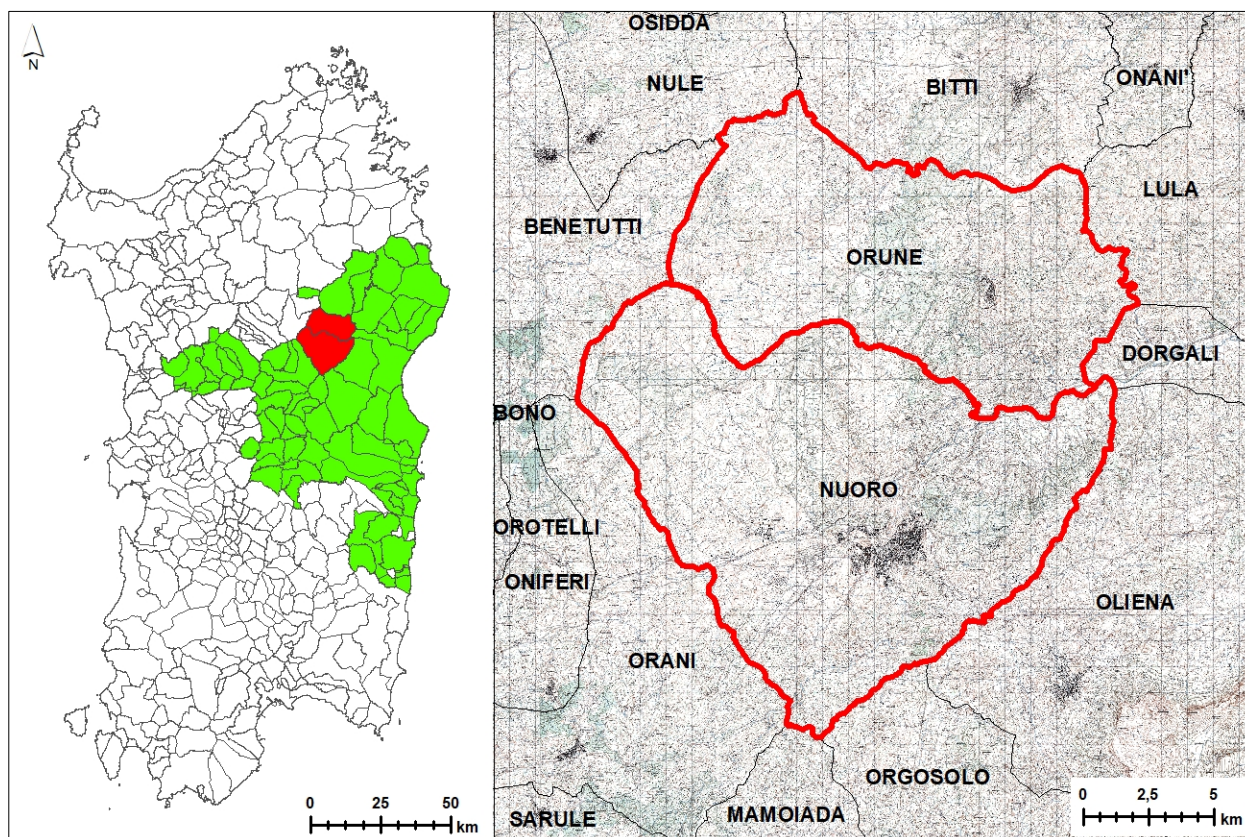


Figura 1 – Inquadramento territoriale dei comuni di Nuoro e Orune.

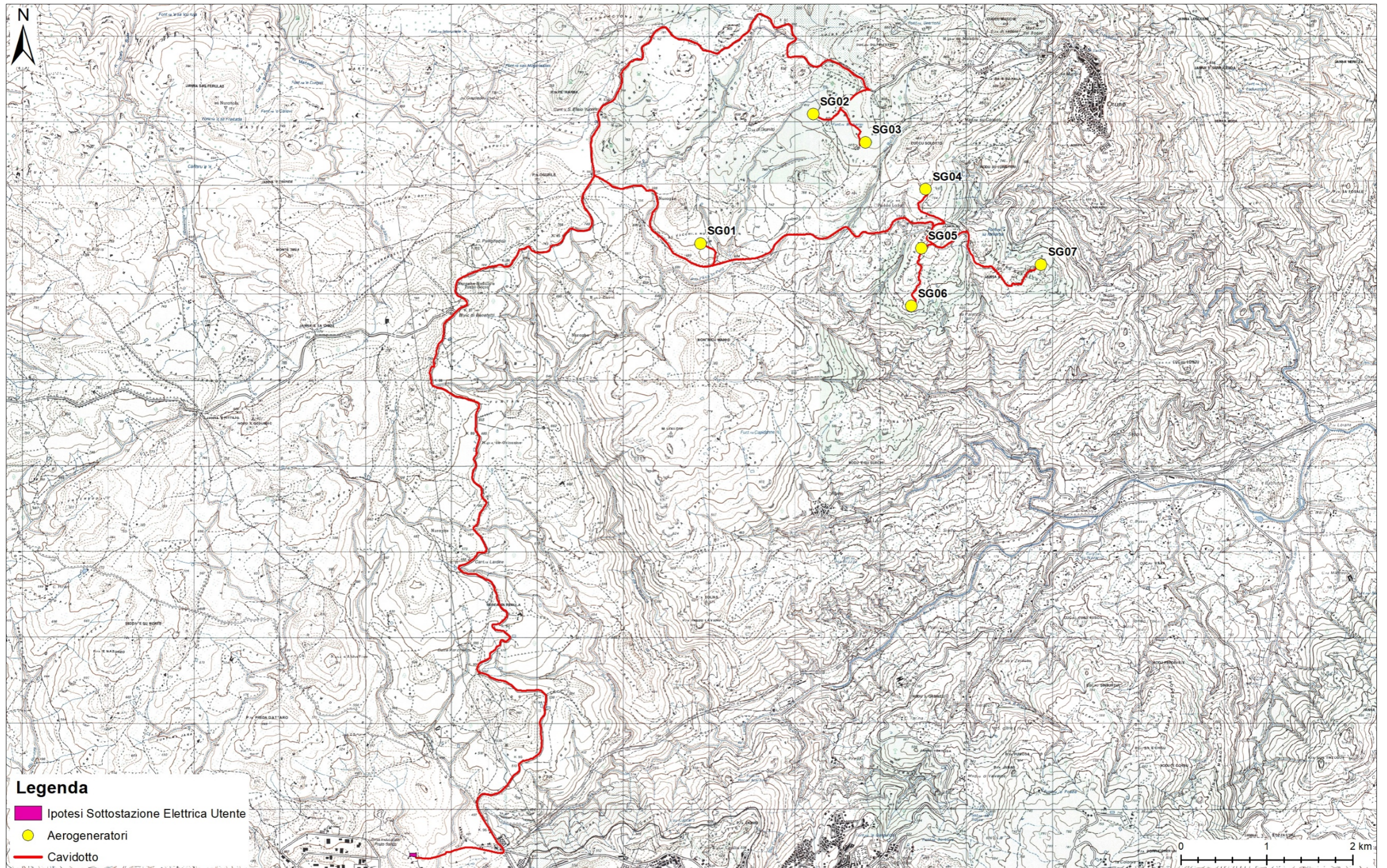


Figura 2 - Stralcio Foglio n.481 Sezione II Benetutti, n. 482 Sezione III Bitti, n.499 Sezione I Nùoro Ovest e n.500 Sezione IV Nùoro Est della Carta I.G.M. in scala 1:40.000

2.1 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Il progetto prevede l'installazione di nr.7 aerogeneratori modello Siemens Gamesa 6.6 – 170, con diametro di 170 m, altezza al mozzo 155 m e altezza massima 240 m, ciascuna di potenza pari a 6,6 MW, per complessivi 46,2 MW di potenza ai fini dell'immissione in rete, e relative opere connesse. L'impianto eolico sarà connesso alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) tramite elettrodotto interrato, necessario al convogliamento dell'energia elettrica prodotta dall'impianto alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN 150/36 kV. L'impianto eolico sarà connesso alla rete elettrica in Alta Tensione per mezzo di un collegamento in antenna a 36 kV sulla nuova SE di smistamento della RTN a 150 kV, in località Pratosardo, come da STMG allegata al preventivo di connessione ricevuto da Terna S.p.A.

Il progetto, che ricade nella zona agricola dei comuni di Orune e Nuoro, ad eccezione della Sottostazione Elettrica Utente, prevista nella zona industriale del Comune di Nuoro in località Pratosardo, è a favore dello sviluppo sostenibile del territorio in cui si inserisce, in modo coerente con l'impegno dell'Italia in ambito internazionale di riduzione delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera e anche, nella contingenza dell'emergenza energetica, nell'ambito della gestione razionale dell'energia e della riduzione della dipendenza dall'Estero per l'approvvigionamento di materie prime di tipo tradizionale (olio e gas) o direttamente di energia elettrica.

Le fondazioni degli aerogeneratori sono di tipo circolare tronco conica con base molto larga, avente diametro pari a 24,00 m. La superficie occupata è circa 450 m² e l'altezza della fondazione è 3,45 m dal bordo superiore della base al piano di fondazione della base, con la fossa sfalsata di 30 cm al di sotto della fondazione. La sommità della fondazione, di larghezza 6 m farà da collegamento alla prima sezione della torre.

Le nr. 7 piazzole di esercizio, che durante la vita dell'impianto rimarranno a disposizione per la gestione e l'eventuale manutenzione straordinaria dell'aerogeneratore, occupano una superficie media pari a 1.750 m².

Tutti i cavi elettrici di collegamento tra gli aerogeneratori e la Sottostazione Elettrica Utente (SSEU) sono posati sotto il manto stradale esistente o lungo i tratti delle strade di nuova realizzazione che collegano le strade esistenti alle aree di servizio degli aerogeneratori. Il cavidotto in Media Tensione di collegamento tra gli aerogeneratori e la Sottostazione Utente, come riportato negli elaborati di progetto, è totalmente interrato in trincee di profondità pari a 1,5 m rispetto al piano di campagna; pertanto, la posa dei cavi sarà a circa 1,3 m di profondità dal piano di campagna.

Per approfondimenti e dettagli tecnici si rimanda alla consultazione degli elaborati di progetto.

3 INQUADRAMENTO NEI PIANI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

Con la delibera n. 45/57 datata 30 ottobre 1990, la Giunta Regionale ha suddiviso il Bacino Unico Regionale in sette Sub-Bacini. Ogni Sub-Bacino è caratterizzato da omogeneità geomorfologiche, geografiche e idrologiche generali, ma presenta anche notevoli differenze in termini di estensione territoriale.

Sulla base di questa suddivisione, il territorio in studio è compreso nel Sub-Bacino 2 – Tirso e nel Sub-Bacino 5 – Posada-Cedrino (Figura 3).

Nel presente studio, l'analisi della pericolosità geomorfologica e idrogeologica è condotta sulla base della cartografia pubblicata sul sito Sardegna Geoportale. La cartografia è il risultato dalla mosaicatura delle aree a pericolosità definite dai principali strumenti di pianificazione idrogeologica in Sardegna.

La mosaicatura include i seguenti studi:

- Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI): approvato con il decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 del 10/07/2006;
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF): approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale di Bacino n. 2 del 17 dicembre 2015, questo piano costituisce un complemento e un'aggiunta al PAI, fornendo ulteriori informazioni sulla pianificazione idrogeologica;
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA): approvato con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 15/03/2016.

L'inviluppo tiene conto inoltre di tutti gli studi di dettaglio predisposti dai singoli comuni in conformità con l'Art. 8 e l'Art. 37 delle Norme di Attuazione del PAI e approvati dal Comitato Istituzionale di Bacino.

In base alla cartografia di riferimento, si può notare che il territorio del Comune di Orune è stato parzialmente oggetto di analisi attraverso i piani su menzionati, pertanto le opere in progetto interferiscono solo localmente con aree a pericolosità da frana moderata (**Hg₁**) e media (**Hg₂**). Nel territorio del Comune di Nuoro, completamente studiato dalla variante comunale, le opere in progetto interferiscono con continuità con aree a pericolosità moderata (**Hg₁**) e solo limitatamente con aree a pericolosità moderata (**Hg₂**) e elevata (**Hg₃**), come evidenziato dalla cartografia in Figura 5.

Il caviodotto intercetta in un solo punto una zona classificata come area a pericolosità idraulica molto elevata (**Hi₄**), come evidenziato dalla cartografia in Figura 4.



Figura 3 – Suddivisione del territorio Regionale in Sub-Bacini. Il punto rosso indica il territorio indagato.

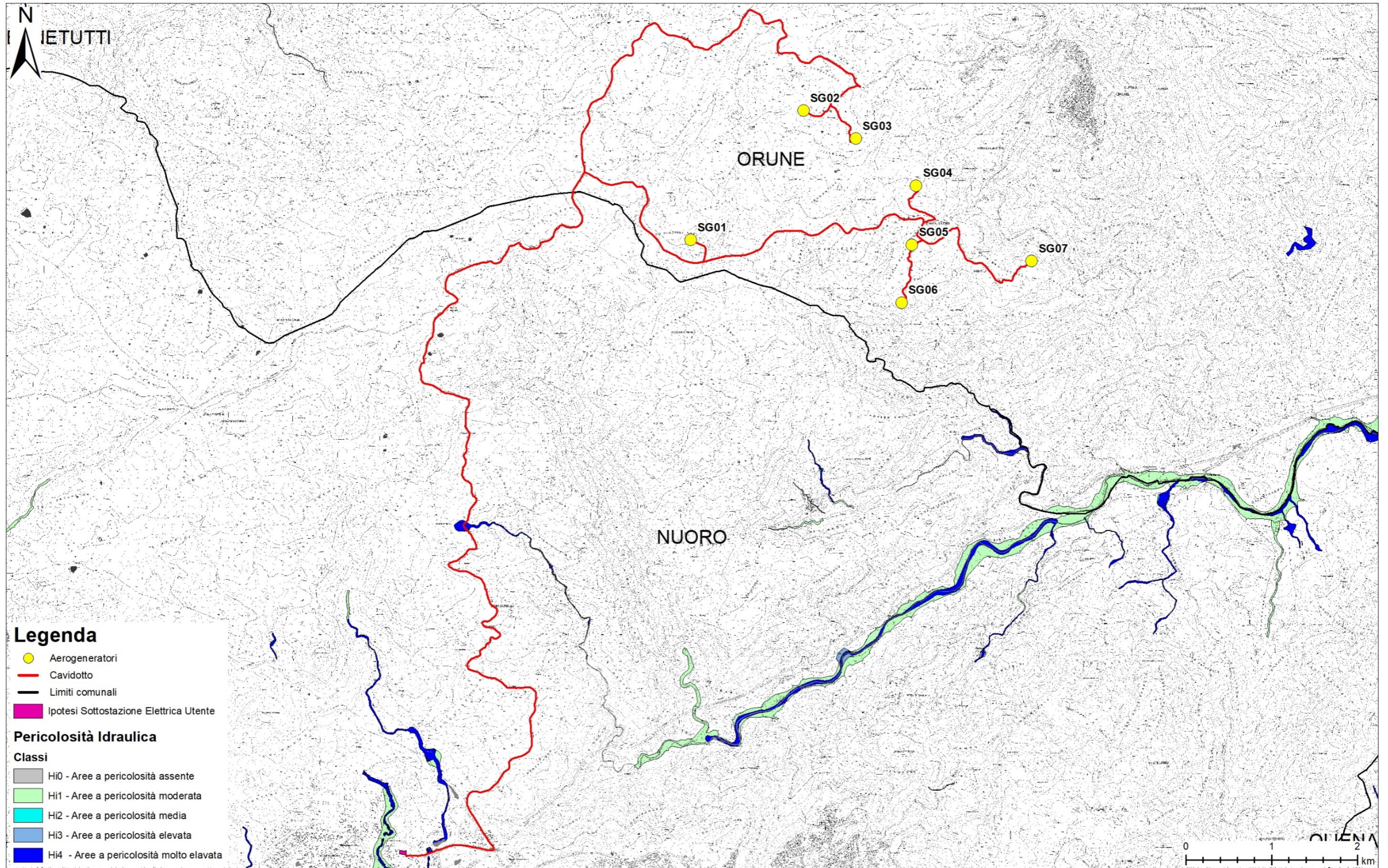


Figura 4 - Stralcio della cartografia PAI in scala 1:40.000 relativa alla pericolosità idraulica.

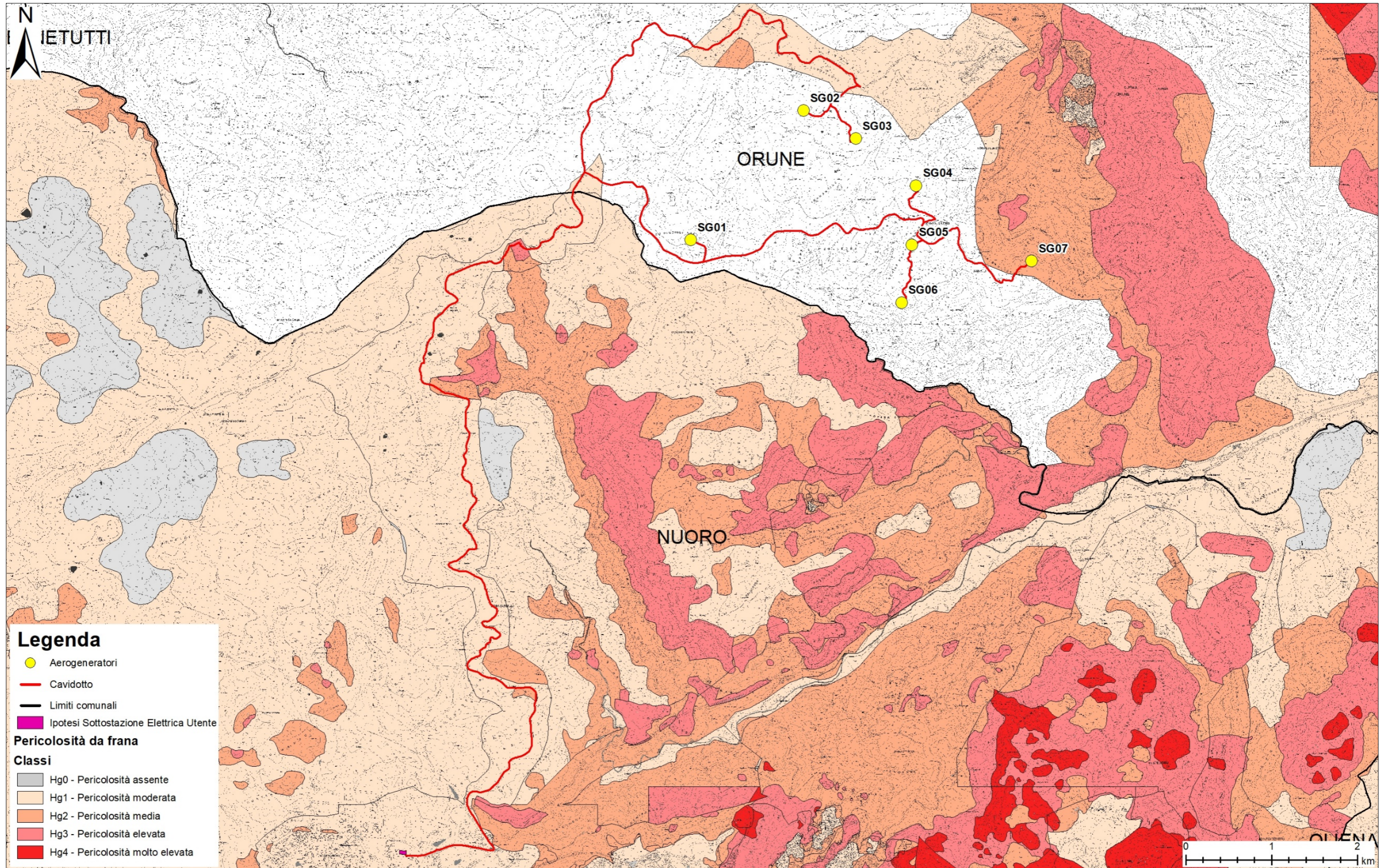


Figura 5 - Stralcio della cartografia PAI in scala 1:40.000 relativa alla pericolosità geomorfologica.

SEZIONE II

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il progetto delle opere e le soluzioni tecniche adottate vengono definite in riferimento al **MODELLO GEOLOGICO** del sito. La caratterizzazione e la modellazione geologica deve pertanto includere l'analisi dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati nel **MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO**.

Nelle pagine seguenti viene sinteticamente descritto il contesto geologico di inquadramento al fine di ottenere il necessario supporto informativo per prevenire alla corretta definizione del modello geologico di riferimento dell'area indagata. L'analisi dell'assetto geologico è stata condotta con riferimento alla CARTA GEOLOGICA DI BASE DELLA SARDEGNA in scala 1:25.000 (Figura 6), disponibile presso il Servizio osservatorio del paesaggio e del territorio, sistemi informativi territoriali della R.A.S. – 2008, e alla CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 e note illustrative correlate.

Le Unità litostratigrafiche e le Formazioni descritte nella cartografia vengono altresì distinte attraverso le sigle in conformità con le Linee Guida definite all'interno del progetto CARG e alle indicazioni del Servizio Geologico d'Italia.

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

La Barbagia di Nuoro presenta una complessa conformazione geologica, risultato di eventi sedimentari, tettonici, metamorfici e vulcanici che hanno interessato la Sardegna dal Paleozoico al Quaternario.

Nel territorio in esame affiorano sia rocce appartenenti al basamento metamorfico, costituito da un complesso insieme di rocce sedimentarie, intensamente strutturato durante l'orogenesi varisica, sia depositi quaternari, questi ultimi rappresentati dai sedimenti alluvionali olocenici.

Il basamento metamorfico possiede una particolare rilevanza dal punto di vista strutturale. Nella letteratura tecnico-scientifica, viene considerato come un segmento della Catena Varisica Sud-Europea ed è costituito da rocce sedimentarie e ignee di basso grado metamorfico, impostatesi quasi in soluzione di continuità temporale, dal ?Precambriano al Carbonifero Inferiore. La genesi del basamento metamorfico può essere schematizzata nel modo seguente:

Collisione continentale (Carbonifero) ha dato origine a un complesso sviluppo polifasico di processi deformativi e metamorfici con intensità decrescente da nord a sud. Questa differenziazione, ancora oggi riconoscibile, permette di suddividere il basamento in tre zone principali, come descritto da Carmignani et al. (1994, 2001): una "Zona Assiale" (situata nel nord-est dell'isola) caratterizzata dalla presenza di rocce metamorfiche di alto grado e migmatiti; una "Zona a Falde" costituita dall'impilamento di varie unità tettoniche suddivisa in "Falde Interne" (complesso metamorfico di medio grado affiorante nella parte centro-settentrionale dell'isola) e "Falde Esterne" (complesso di basso grado metamorfico localizzato nel

centro-sud dell'isola); una "Zona Esterna", affiorante nel sud-ovest dell'isola, costituita da rocce di bassissimo grado metamorfico.

Nel sito d'intervento la "Zona a Falde Interne" viene rappresentata dalla formazione delle "Filladi di Lula" (LUL), costituita da filladi e filladi carboniose, quarziti con subordinate metarenarie quarzoso-micacee, affiorante nella porzione orientale.

Stadio post-collisionale (Carbonifero sup.- Permiano) è caratterizzato da una tettonica distensiva che porta al collasso della catena e alla formazione del "Batolite Sardo-Corso", costituito da intrusioni magmatiche di composizione granitoidale ad affinità calcocalcina, e da una subordinata attività effusiva. Quasi contemporaneamente alla formazione del batolite, avviene l'intrusione di filoni e dicchi di ampio spettro compositivo. Questi si inseriscono secondo le direzioni prevalenti NNW-SSE N-S e E-W, corrispondenti alla riattivazione dei principali lineamenti strutturali derivanti dalla fase precedente di collisione. Tali eventi sono ben registrati nel cosiddetto Complesso Granitoidale del Goceano-Bittese e nel Complesso Granitoidale Nuorese, affioranti nei territori comunali di Nuoro e Orune, le cui principali unità sono rappresentate dalle tonaliti granodioritiche dell'Unità Intrusiva di Nuoro (**NUO**), dalle granodioriti monzogranitiche e biotitiche dell'Unità Intrusiva di Benetutti (**BTU**), dalle granodioriti e monzograniti dell'Unità Intrusiva di Monte San Basilio (**BLA**) e dalle monzograniti e leucomonzograniti dell'Unità Intrusiva di Monte Ortobene (**OBN**).

Nell'area d'intervento il basamento metamorfico è intruso da filoni e ammassi di micrograniti (**ap**, **mg**), dai porfidi granitici in giacitura filoniana (**fp**), dai filoni acidi (**fa**), dai filoni basalti (**fb**) e dai filoni idrotermali (**fq**).

La tettonica post-varisica ha avuto limitati effetti nel settore in studio, così come in tutta l'isola. Durante il Cretacico fino all'Eocene inferiore, si osserva un'ulteriore fase di spianamento e non si riscontrano importanti eventi deformativi. L'evoluzione tettonica si caratterizza principalmente da movimenti verticali, più o meno lenti.

Nell'Oligocene superiore-Miocene inferiore, la Sardegna centrale e centro-orientale viene coinvolta da una importante tettonica trascorrente. Questo fenomeno è dovuto alla collisione appenninica nel contesto dell'evoluzione geodinamica del Mediterraneo occidentale, che comporta l'apertura del Bacino Balearico, il distacco dal margine sud europeo e la rotazione antioraria del blocco sardo-corso. Questo processo riattiva i vecchi lineamenti ercinici, dando luogo al complesso sistema di bacini sedimentari transtensivi (bacini di *pull-apart*) interconnessi con la formazione del cosiddetto "Rift oligomiocenico sardo" (o "Fossa sarda").

I territori della Sardegna centrale e centro-orientale non subiscono importanti ripercussioni, ad eccezione degli effetti legati al vulcanismo calco-alcalino che si sono verificati prima dell'ingressione marina

miocenica lungo il "rift sardo". La deposizione di ingenti volumi di sedimenti sintettonici in facies detritico-alluvionale, è un risultato diretto del rimodellamento connesso con il riassetto della rete drenante naturale, causato dalla tettonica trascorrente nell'Oligocene superiore-Miocene inferiore.

Durante il Pliocene-Pleistocene, in concomitanza con una importante fase distensiva del Mediterraneo occidentale, che ha portato alla formazione della "fossa" del Campidano, il basamento metamorfico e le unità mesozoiche hanno subito gli effetti di una deformazione fragile, con direzioni prevalenti NW-SE e N-S. Questo processo ha dato luogo a una struttura tettonica a gradinata con asse principale nel Campidano, innescando un'importantissima fase di erosione capace di alterare quasi completamente l'originario schema dell'idrografia superficiale. Durante questo periodo, si sono verificati importanti fenomeni di cattura fluviale, con lo spostamento dei principali corsi d'acqua di impostazione miocenica e il trasferimento di ingenti quantitativi di depositi alluvionali. A tali eventi si associa un intenso vulcanismo effusivo di tipo fissurale, accompagnato dalla contestuale emissione di lave basaltiche.

La Sardegna centrale e centro-orientale continua a essere soggetta all'azione di modellamento morfodinamico anche durante il Pleistocene. In questo periodo, si formano depositi alluvionali e depositi di versante a causa delle oscillazioni tra fasi glaciali e interglaciali e delle relative variazioni del livello del mare. La periodica riattivazione dei processi morfogenetici di versante porta alla deposizione di conoidi alluvionali, principalmente derivati dallo smantellamento del substrato costituito dal basamento paleozoico. Nel corso dell'Olocene, si accumulano anche discontinue coltri detritiche di versante (**a**, **a₁**), depositi eluvio-colluviali (**b₂**), depositi alluvionali terrazzati (**b_n**) e alluvioni attualmente in evoluzione (**b**).

Data l'antropizzazione e le attività industriali che hanno caratterizzato e che caratterizzano le aree urbane e periurbane di Nuoro e Orune è inevitabile che il substrato geologico sia localmente ricoperto dai depositi prodotti dall'attività antropica (**h_{1r}**, **h_{1n}**, **h_a**) derivanti soprattutto dall'accumulo di materiali di riporto e di inerti ai fini edilizi.

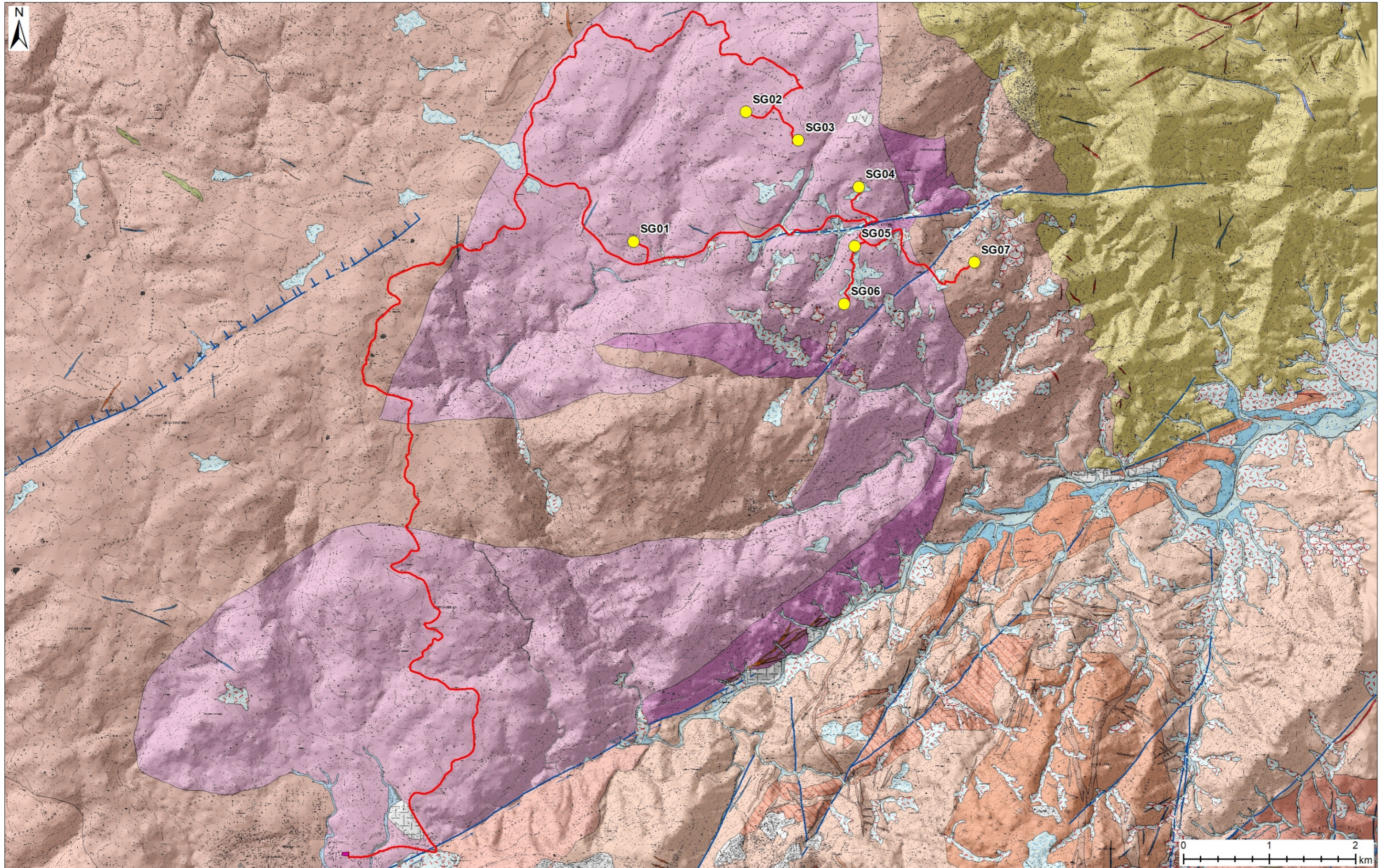


Figura 6 - Stralcio della Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:40.000.

Legenda

OPERE IN PROGETTO

- Aerogeneratori
- Cavidotto
- Ipotesi Sottostazione Elettrica Utente

LITOLOGIA DEL SUBSTRATO

DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

- ha Depositi antropici. Manufatti antropici. OLOCENE
- h1r Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE
- h1n Depositi antropici. Discariche per inerti. OLOCENE
- b Depositi alluvionali. OLOCENE
- ba Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
- a Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE
- a1 Depositi di frana. Corpi di frana. OLOCENE
- b2 Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE
- bn Depositi alluvionali terrazzati. OLOCENE
- bna Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

COMPLESSO INTRUSIVO TARDO PALEOZOICO

- ap Filoni e ammassi aplitici. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- fq Filoni idrotermali a prevalente quarzo, spesso mineralizzati a barite e fluorite, talora anche con solfuri metallici (Pb, Zn, Cu, Fe, etc). CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- fb Filoni basaltici a serialità transizionale, di composizione basaltica olivinica e trachibasaltica, a struttura porfirica per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, tessitura intersertale-ofitica. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- fa Filoni acidi: aplopegmatiti indistinte. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- fp Porfidi granitici, di colore prevalentemente rosato e rossastro, a struttura da afirica a porfirica per fenocristalli di Qtz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; in giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- mg Filoni e ammassi di micrograniti. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- OBN1f Facies Cuccuru Nigheddu (Subunità intrusiva di Su Redentore - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE ORTOBENE). Micrograniti biotitici, bianco-giallastri, a grana da fine a microgranulare; tessitura da isotropa a porfirica per Kfs bianco-rosati centimetrici e Qtz globulare. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- OBN1e Facies Ordollai (Subunità intrusiva di Su Redentore - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE ORTOBENE). Leucomonzograniti biotitici, a grana medio-fine, inequigranulari per feldspati bianco-rosati centimetrici; tessitura localmente orientata. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- OBN1d Facies Jacu Piu (Subunità intrusiva di Su Redentore - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE ORTOBENE). Leucomonzograniti biotitici, a grana grossa, inequigranulari per Kfs bianco-rosati di taglia 3-5 cm; tessitura orientata. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- OBN1c Facies Fàrcana (Subunità intrusiva di Su Redentore - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE ORTOBENE). Monzograniti biotitici, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs bianco-rosati di taglia 4-6 cm; struttura porfirica con Qtz globulare e due generazioni di biotite; tessitura orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

- OBN1b Facies Caparedda (Subunità intrusiva di Su Redentore - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE ORTOBENE). Monzograniti biotitici, raramente anfibolici, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs bianco-rosati di taglia 4-8 cm; tessitura orientata. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- OBN1a Facies Marreri (Subunità intrusiva di Su Redentore - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE ORTOBENE). Granodioriti monzogranitiche biotitico-anfiboliche, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs bianco-rosati di taglia 5-6 cm e anfibolo di taglia 1-2 cm; tessitura orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- BLA2c Facies S'Argustariu (Subunità intrusiva di Monte Isalle - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE SAN BASILIO). Granodioriti monzogranitiche a biotite e muscovite, a grana grossa, inequigranulari per Kfs biancastri tabulari di taglia fino a 5-6 cm; tessitura moderatamente orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- BLA2b Facies Ponte S'Archimissa (Subunità intrusiva di Punta Biriai - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE SAN BASILIO). Monzograniti a due miche e cordierite, a grana medio-fine, inequigranulari, porfirici per Kfs biancastri di taglia centimetrica e subordinato Qtz globulare; tessitura localmente orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- BLA1b Facies Sa Mendula (Subunità intrusiva di Monte Isalle - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE SAN BASILIO). Granodioriti a biotite, muscovite, cordierite e andalusite, a grana medio-grossa moderatamente equigranulari, localmente inequigranulari per aggregati pinitici pseudomorfi su cordierite in cristalli tabulari fino a 3-4 cm e rari K-feldspati biancastri di taglia 3-5 cm. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- BTUb Facies Orune (UNITÀ INTRUSIVA DI BENETUTTI). Granodioriti monzogranitiche, biotitiche, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs biancastri di taglia 8-10 cm; tessitura orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- BTUa Facies Nule (UNITÀ INTRUSIVA DI BENETUTTI). Granodioriti tonalitiche, biotitiche, a grana medio-grossa, inequigranulari per fenocristalli di Kfs biancastri di taglia fino a 12 cm; tessitura orientata. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- NUO2 Subunità intrusiva di Monte Cucullio (UNITÀ INTRUSIVA DI NUORO). Granodioriti tonalitiche biotitico-anfiboliche, grigio-scure, a grana medio-fine, equigranulari, localmente eterogranulari per individui centimetrici di Kfs; tessitura marcatamente orientata per flusso magmatico. Locali facies tonalitiche ricche in inclusi femici microgranulari. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- NUO1 Subunità intrusiva di Ottana (UNITÀ INTRUSIVA DI NUORO). Tonaliti e granodioriti tonalitiche, anfibolico-biotitiche, grigio-scure, a grana media, moderatamente equigranulari; tessitura moderatamente orientata, talora foliata. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

BASAMENTO METAMORFICO PALEOZOICO

- ca Filladi carboniose. ?CAMBRIANO-?CARBONIFERO
- LULb Litofacies nelle FILLADI DI LULA. Rari marmi in sottili livelli e lenti. ?CAMBRIANO - ?CARBONIFERO
- LULa Litofacies nelle FILLADI DI LULA. Rare metavulcaniti intermedio-acide e metavulcanoclastiti. ?CAMBRIANO - ?CARBONIFERO
- LUL FILLADI DI LULA. Filladi, filladi carboniose, quarziti con subordinate metarenarie quarzoso-micacee. ?CAMBRIANO-?CARBONIFERO

TETTONICA

- Faglia Certa
- Faglia Diretta Certa
- Faglia Diretta Presunta
- Faglia Presunta
- Faglia Trascorrente Sinistra Certa
- Faglia Trascorrente Sinistra Presunta

Figura 7 – Legenda della Carta Geologica di base della Sardegna in Figura 6

4.2 PRINCIPALI CARATTERI DELLE UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE INTERESSATE DAGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Nelle pagine successive verranno descritte le caratteristiche litologiche e litotecniche per le unità litostratigrafiche coinvolte nella realizzazione dell'impianto "CE Nuoro Nord".

4.2.1 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

Le opere in progetto interferiscono con continuità con le litologie appartenenti al **complesso intrusivo tardo-paleozoico** e ai **depositi quaternari dell'area continentale**.

AEROGENERATORI E CAVIDOTTO

Gli aerogeneratori e il cavidotto (che si sviluppa per un'estensione di circa 30 km), interferiscono principalmente con l'**Unità intrusiva di Monte San Basilio** (appartenente al Complesso Granitoide Nuorese), con l'**Unità intrusiva di Benetutti** (appartenente al Complesso Granitoide Goceano-Bittese) e con i **depositi quaternari dell'area continentale**.

Gli aerogeneratori (da "SG01÷06") e il cavidotto interno (per circa 24,1 km) interferiscono principalmente con la Facies Ponte S'Archimissa (**BLA_{2b}**), Subunità intrusiva di Punta Biriai (del Carbonifero sup.-Permiano), costituita da monzograniti talora leucocrati, a cordierite, biotite, muscovite e rara andalusite, bianco-giallastri, a grana fine, equigranulari a tendenza porfirica per K-feldspato euedrale biancastro di taglia centimetrica e quarzo globulare. Localmente si osservano anche litotipi più francamente granodioritici, marcati dall'aumento della percentuale di biotite e da una maggiore frequenza degli enclaves scuri. In queste rocce risulta ben espressa alla scala mesoscopica una tessitura orientata per flusso magmatico, marcata dall'isorientazione del K-feldspato e degli inclusi femici; sono frequenti anche vistose anisotropie tessiturali cromatiche e mineralogiche, generate da intensi fenomeni di turbolenza in fase magmatica.

In località Sos Pappades il cavidotto interno, per circa 350 m, interferisce con le granodioriti della Facies Sa Mèndula (**BLA_{1b}**), Subunità intrusiva di Monte Isalle (del Carbonifero sup.-Permiano). La Facies Sa Mèndula è costituita da granodioriti a cordierite, biotite e muscovite, grigie, a grana da media a grossa, da equigranulari a inequigranulari per aggregati pinitici pseudomorfi su cordierite; lo spiccato carattere peralluminoso è evidenziato anche dalla presenza di andalusite, rara sillimanite fibrolitica e muscovite. Localmente il carattere eterogranulare acquista maggiore rilievo sia per la maggiore abbondanza di cordierite di taglia fino a 3-4 cm, sia per la comparsa di K-feldspato euedrale biancastro tabulare di taglia 3-5 cm. Dal punto di vista chimico si tratta di rocce peralluminose.

In località Janna Su Eucru, nella porzione di territorio compresa tra l'aerogeneratore "SG04", "SG05" e "SG07", affiora la Facies S'Argustariu (**BLA_{2c}**), Subunità intrusiva di Monte Isalle (del Carbonifero Sup.-Permiano), costituita da granodioriti monzogranitiche a biotite e muscovite, grana grossa inequigranulare per feldspati biancastri tabulari di taglia fini a 5-6 cm, tessitura moderatamente orientata per flusso magmatico (del Carbonifero Sup.-Permiano).

L'aerogeneratore "SG07" e il cavidotto (per circa 4,8 km) interferiscono con la Facies di Orune (BTU_b, del Carbonifero Sup.-Permiano), costituita da granodioriti monzogranitiche, localmente tonalitiche, biotitiche, grigie, a grana da media a grossa, fortemente inequigranulari per megacrystalli di K-feldspato euedrale biancastro di taglia fino a 10 cm, con inclusioni pecilitiche di biotite. La tessitura è orientata per flusso magmatico. Dal punto di vista composizionale si tratta di rocce metalluminose.

Nei pressi delle località Maria Naspà e Su Vacchile Novu il cavidotto attraversa filoni idrotermali a quarzo prevalente (**fq**) del Carbonifero Sup.-Permiano, che rappresentano un effetto della tettonica connessa alla fase distensiva dell'Orogenesi Ercinica.

- **Nota:** Nel contesto geologico in studio, il substrato rappresentato dal complesso intrusivo tardo-paleozoico spesso presenta una coltre di alterazione più o meno sviluppata. Questa è il risultato della decomposizione della roccia granitoidale dovuta ai processi di idrolisi dei silicati, che porta alla trasformazione parziale di minerali come la biotite e i plagioclasti, e alla formazione di minerali argillosi secondari come la caolinite e gli idrossidi di ferro.

L'alterazione della roccia madre porta alla formazione di un ammasso di roccioso sostanzialmente semi-coerente che, se indisturbato, ha le caratteristiche litotecniche di una sabbia grossolana ben addensata, tenuta insieme dal mutuo incastro tra i grani di quarzo e minerali feldspatico-plagioclastici e feldici non ancora completamente alterati ed un buon grado di coesione risultante dai legami prodotti dalla componente argillosa derivante dalla alterazione delle specie mineralogiche più deboli nei confronti dell'idrolisi.

In assenza di indagini specifiche, in questa fase, non è stato possibile valutare lo spessore delle coltri eluviali derivanti dall'alterazione del basamento paleozoico.

Nelle aree interessate dalle opere in progetto, il complesso intrusivo tardo paleozoico viene localmente ricoperto da sedimenti olocenici. I depositi collocati alla base dei versanti (**a**) sono in genere caotici, con clasti di rocce granitoidi, eterometrici e scarsamente elaborati, prodotti per crollo ed accumulati per gravità alla base dei versanti più ripidi.

Di solito sono incoerenti (brecciamme) o parzialmente cementati, a volte in parte colonizzati da una vegetazione bassa. Le coltri eluviali colluviali (**b₂**), presenti localmente ai piedi dei versanti e nelle vallecole a fondo piatto in aree di altopiano, sono costituite essenzialmente da sedimenti spesso monogenici, fini

(sabbie e silt), incoerenti, talora anche grossolani con lenti di ghiaie angolose, più o meno pedogenizzati ed arricchiti della frazione organica.

L'attribuzione all'Olocene di questi depositi è dovuta alla presenza di un'elevata frazione organica ed alla diretta correlazione con la situazione morfologica del versante attuale. Questa suggerisce che si tratta di sedimenti derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, mescolati a sedimenti provenienti dalla degradazione meccanica delle rocce del substrato.

I depositi alluvionali presenti nelle aree vallive in corrispondenza dei corsi d'acqua sono costituiti da sedimenti ghiaiosi quarzoso-sabbiosi (**b_a**), in prevalenza sciolti, a clasti poligenici, eterometrici, immersi in una matrice sabbioso-siltosa giallastra. I clasti, costituiti da rocce granitoidi e filoniane, sono mediamente elaborati, e la granulometria varia da pochi centimetri al metro.

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROLOGICO

La morfologia e l'evoluzione delle forme del territorio in studio sono fortemente influenzate dall'assetto geologico-strutturale del basamento paleozoico, e in particolare, durante il Terziario e il Quaternario, dagli eventi geodinamici e climatici. Nell'Oligocene superiore, quando il blocco Sardo-Corso faceva parte della Placca Sud-Europea, la collisione nord-appenninica ha prodotto una tettonica a carattere essenzialmente trascorrente di tipo transtensivo e transpressivo, che ha favorito la formazione di bassi e alti strutturali che hanno contribuito a modellare l'ambito di paesaggio della Barbagia di Nuoro.

L'orografia dell'area è dominata dalla presenza di rilievi a carattere montuoso e collinare costituiti principalmente da rocce granitoidi. I litotipi meno soggetti all'erosione hanno dato origine a forme residuali circondate da versanti ripidi, con inclinazione che variano tra il 30% e il 50%, in alcuni casi superando il 50%.

Nel settore sud-occidentale del comune di Orune, si osservano i resti di un ampio altopiano modellato sulle rocce del basamento e successivamente inciso con la formazione delle attuali valli. Questo processo di approfondimento delle valli è stato guidato da linee di faglia e frattura presenti nel basamento. Tra i rilievi principali dell'area, tra cui Cuccuru Su Pirastu (913 metri sul livello del mare), Monte Lollove (798 metri sul livello del mare) e Punta Ogurile (773 metri sul livello del mare), situati rispettivamente a nord, est e ovest rispetto alla posizione degli aerogeneratori, l'opera stessa presenta una notevole differenza di altitudine. Questa escursione altimetrica va da un punto più alto di 830 metri sul livello del mare (quota dell'aerogeneratore "SG03") a un punto più basso di 470 metri sul livello del mare, dove il cavidotto si collega alla zona industriale di Prato Sardo.

Il parco eolico è costituito da due elementi principali: gli aerogeneratori, identificati mediante le sigle "SG01÷07", e il cavidotto per il trasporto dell'energia verso la stazione elettrica.

L'aerogeneratore "SG01" è installato nella località denominata "Su Vacchile Novu" a un'altitudine di 707 metri sul livello del mare. L'area, delimitata dal Fiume 95072 (Codifica RAS) a est e dal Riu Carere a ovest, è caratterizzata da versanti moderatamente acclivi (10%).

Gli aerogeneratori "SG02" e "SG03" sono posizionati nella località di Burbaris a un'altitudine media di 821 metri sopra il livello del mare, su un versante che presenta un'acclività da lieve a moderata (tra il 5% e il 19%).

L'aerogeneratore "SG04" è collocato sul versante meridionale di Cuccu Solotto, a un'altitudine di 798 m s.l.m., e a circa 800 metri dal Santuario Su Cossolu. Questa zona è caratterizzata da un'acclività compresa tra il 16% e il 19%.

Gli aerogeneratori “SG05” e “SG06”, situati nella località Schina Sas Pauleddas, sono posizionati rispettivamente a un'altitudine di 756 metri sopra il livello del mare e 713 metri sopra il livello del mare, su versanti caratterizzati da una moderata acclività che varia tra il 13% e il 14%.

L'aerogeneratore “SG07”, situato nella località Corjo a un'altitudine di 680 metri sopra il livello del mare, è collocato su un versante moderatamente acclive, che presenta un'inclinazione del 12%.

In riferimento all'analisi della carta delle acclività ottenuta attraverso l'elaborazione del modello digitale del terreno (DTM) si osserva che tutte le aree interessate dall'istallazione degli aerogeneratori sono classificate come terreni che vanno da lievemente acclivi a moderatamente acclivi, con pendenze comprese tra il 5% e il 19%.

L'andamento del reticolo idrografico principale è influenzato dai lineamenti strutturali attivi durante il Terziario. Il corso del Riu Isalle scorre lungo la Faglia di Nùoro, per poi seguire l'andamento da E verso W della Faglia del Cedrino. Nel basamento cristallino, dove le discontinuità tettoniche sono numerose, si sviluppa un reticolo idrografico minore caratterizzato da un modello da pinnato ad angolato. Questo reticolo è composto da un corso d'acqua principale che si biforca in brevi collettori secondari. I rami principali mostrano un certo grado di parallelismo tra loro, il che suggerisce un'influenza tettonica dovuta a un sistema di fratture più o meno parallele. Le valli presentano una tipica forma a "V", con particolare rilievo per la valle del Riu De Sa Rubaria. Ad eccezione dei principali collettori, il reticolo idrografico dell'area assume un carattere torrentizio, il che significa che la sua portata è soggetta a variazioni stagionali in risposta alle precipitazioni.

Il cavidotto, che si estende prevalentemente in parallelismo di tracciato rispetto alla Strada Statale 389, intercetta in diversi punti il reticolo idrografico. In località Lardine, il cavidotto interferisce con il Fiume 106311, denominato a valle Riu Errede. Secondo le valutazioni degli studi effettuati nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), questa zona è classificata come ad alto rischio idraulico, in particolare come un'area con una pericolosità idraulica molto elevata (**Hi₄**). Gli aerogeneratori, situati in aree prevalentemente di cresta, risultano esterni agli assi di drenaggio, non interferendo con il reticolo idrografico.

Nel territorio del Comune di Orune, le opere in progetto, in particolare l'aerogeneratore “SG07” e circa 4,1 Km di cavidotto, interferiscono direttamente con aree a pericolosità da frana media (classe **Hg₂**) in località Corjo, e moderata (classe **Hg₁**), nelle località Luduleddu, Sicchegiuvale e Oruneretta.

Nel territorio comunale di Nuoro, il cavidotto interferisce principalmente con aree a moderata pericolosità (classe **Hg₁**), ma occasionalmente attraversa anche zone con una pericolosità geomorfologica media (classe **Hg₂**, per circa 0,15 km in località Maria Naspà) e elevata (classe **Hg₃**, per circa 0,9 km nelle località Maria Naspà, Iacu Marche e Padule Vili).

Sulla base delle valutazioni preliminari, allo stato attuale, non si riscontra la presenza di significativi processi morfogenetici attivi in grado di innescare fenomeni erosivi e/o di denudazione del suolo che possano interessare le opere in progetto, soprattutto nelle aree di installazione degli aerogeneratori.

In fase di progettazione esecutiva, particolare attenzione dovrà essere posta alla valutazione dei versanti a maggior acclività interessati dal passaggio dei cavidotti e della viabilità nel caso quest'ultima necessiti di interventi di manutenzione straordinaria.

Si sottolinea a tal proposito la necessità di garantire condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere assicurandosi che i lavori si svolgano senza creare neanche temporaneamente un significativo aumento di pericolosità.

5.1 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La strutturazione tettonica influenza notevolmente anche la geometria degli acquiferi profondi (intesi come distinti da quelli più superficiali ospitati nelle formazioni quaternarie). La circolazione idrica profonda è infatti fortemente condizionata dalla presenza di discontinuità, maggiormente intense in prossimità delle faglie principali.

L'assetto idrogeologico dell'area in studio è caratterizzato da due componenti principali: l'unità magmatica paleozoica, composta principalmente da rocce granitiche, e l'unità delle alluvioni quaternarie prodotta dall'alterazione del basamento paleozoico intrusivo.

Le rocce granitiche che costituiscono l'unità magmatica, a causa della loro struttura cristallina compatta e della giacitura massiva, tendono ad essere fundamentalmente impermeabili o a mostrare una bassa predisposizione all'infiltrazione delle acque, principalmente a causa della mancanza di porosità primaria all'interno della roccia. Tuttavia, nonostante questa limitazione, la circolazione delle acque sotterranee è resa possibile grazie alla presenza di una rete di fratturazioni che attraversano il basamento lapideo.

La circolazione idrica è più attiva nelle rocce granitiche fratturate, fino a circa 100 metri di profondità. Al di sotto di questa profondità, la pressione litostatica chiude le fratture, ostacolando e rallentando il movimento delle acque.

La circolazione delle acque sotterranee è particolarmente accentuata nelle zone caratterizzate dalla presenza di faglie e altre importanti discontinuità. Queste strutture offrono una connessione diretta tra la superficie e il sistema idrico sotterraneo, contribuendo in modo significativo alla formazione di riserve idriche sotterranee di notevole importanza.

Per quanto riguarda la permeabilità delle rocce granitiche, questa varia in funzione del grado di fratturazione e/o alterazione.

Per le rocce granitiche non fratturate o poco fratturate, il coefficiente di permeabilità K può essere nell'ordine di 10^{-12} a 10^{-10} m/s. Questi valori rappresentano una permeabilità molto bassa e indicano una capacità limitata di trasmissione dell'acqua attraverso la roccia.

In presenza di fratture o faglie significative, la permeabilità delle rocce granitiche può aumentare notevolmente. In tali casi, i valori di K possono variare nell'intervallo di 10^{-8} a 10^{-6} m/s o anche di più, a seconda della densità, della dimensione e della connettività delle fratture.

Le rocce granitiche alterate, ad esempio attraverso il processo di arenizzazione, possono avere una permeabilità più elevata rispetto alle rocce non alterate. In queste situazioni, i valori di K possono essere nell'ordine di 10^{-6} a 10^{-5} m/s o anche superiori. La permeabilità delle rocce granitiche alterate può variare in base al grado di alterazione e alla tessitura dei depositi risultanti.

In alcune aree, le rocce granitiche notevolmente alterate possono diventare acquiferi significativi, contribuendo in modo importante alla risorsa idrica sotterranea locale.

L'unità delle alluvioni quaternarie è rappresentata dall'insieme dei depositi olocenici costituiti in prevalenza da depositi alluvionali terrazzati (**bn**), da depositi di versante (**a**), da depositi eluvio colluviali (**b2**) e da depositi alluvionali (**b**) comprendendo anche il variegato insieme di depositi antropici (**h**).

Tali depositi, con uno spessore complessivo compreso tra **2÷4 m**, danno origine a conoidi che contribuiscono alla configurazione della rete di drenaggio superficiale.

La permeabilità, correlata alle variazioni di porosità, risulta complessivamente medio-bassa nei depositi con prevalenza di granulometrie fine, e medio-alta nei depositi a matrice più grossolana.

I depositi quaternari, a causa dei ridotti spessori che li caratterizzano, non favoriscono la formazione di falde freatiche significative. La circolazione idrica sotterranea si manifesta mediante un flusso superficiale generato da infiltrazioni in occasione di abbondanti precipitazioni e nelle aree in cui le condizioni sono favorevoli all'accumulo.

SEZIONE III

ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Al fine di ridurre gli effetti dell'azione sismica sulle costruzioni, il 20 marzo 2003 è stata promulgata l'ordinanza n. 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*, con la quale sono stati approvati i *"Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone"* che riclassifica l'intero territorio nazionale in quattro zone a diversa pericolosità, eliminando le zone non classificate.

Con il D.G.R. 30 marzo 2004, n. 15/31 la Regione Autonoma della Sardegna ha recepito l'O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003, confermando che tutto il territorio regionale ricade in **Zona Sismica IV**, (contraddistinta da un valore dell'accelerazione su suolo rigido di 0,05 g).

La più recente O.P.C.M. del 28.04.2006 n. 3519 *«Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone»*, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, per cui a ciascuna delle 4 zone sismiche viene attribuito un valore di pericolosità di base espressa in termini di accelerazione massima sul suolo rigido (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

Zona Sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$0,25 < a_g \leq 0,35$ g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g
4	$a_g \leq 0,05$ g

Tabella 1 – Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).

Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Infatti, se prima dell'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008, il valore di accelerazione (a_g) fornito dalla classificazione sismica era utilizzabile ai fini progettuali, dal 1 luglio 2009, per ogni costruzione si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III delle NTC 2018) e sulle condizioni topografiche così come esplicitato dalla vigente normativa sulle costruzioni.

6.1 SISMICITÀ STORICA

La sismicità storica dell'area in esame è stata analizzata consultando i seguenti cataloghi redatti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV):

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15): fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo (Mw) $\geq 4,0$, di interesse per il territorio nazionale;
- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15): fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti, relativo ai terremoti con intensità massima (imax) ≥ 5 , di interesse per il territorio nazionale e per alcuni stati confinanti.

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2020 d.C., 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.

Per la compilazione del **CPTI15** sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato. Il catalogo include i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente a Mw 4,0 o superiore (Figura 8 A).

Negli ultimi decenni non sono stati pochi i terremoti di energia non esattamente trascurabile localizzati in Sardegna oppure a poche decine di chilometri dalle sue coste con epicentro in mare:

- 18 giugno 1970: terremoto di magnitudo Mw 4,8 localizzato nel Mare di Sardegna, alcune decine di chilometri a nord-ovest di Porto Torres, viene avvertito distintamente anche lungo le coste Liguri e in Costa Azzurra;
- 28 agosto 1977: terremoto di magnitudo Mw 5,4 localizzato in mare, un centinaio di km a sud-ovest di Carloforte. Anche se la distanza è considerevole, la scossa viene avvertita in modo molto sensibile in tutta la Sardegna meridionale e provoca panico a Cagliari;
- 26 aprile 2000: due forti scosse, la maggiore di magnitudo Mw 4,8, localizzate nel Tirreno centrale, poche decine di km a est di Olbia sono avvertite in gran parte dell'isola suscitando spavento lungo la costa nord orientale, in particolare a Olbia e Posada.

Sono noti anche, tra i terremoti storicamente più antichi, quello del 4 giugno 1616 che determinò danneggiamenti vari a edifici della Cagliari di allora e ad alcune torri costiere attorno a Villasimius.

Altri terremoti degni di nota (oltre ai primi registrati dall'Istituto Nazionale di Geofisica negli anni 1838 e 1870 rispettivamente del VI e V grado della scala Mercalli) risalgono al 1948 (epicentro nel Canale di

Sardegna, verso la Tunisia, VI grado della scala Mercalli) e al 1960 (V grado della scala Mercalli, con epicentro i dintorni di Tempio Pausania).

Allora, i terremoti venivano registrati dall'Istituto Nazionale di Geofisica, e gli effetti venivano misurati soltanto con la scala Mercalli in quanto non esistevano strumentazioni per poter misurare la magnitudo.

Il database **DBMI15** archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica. L'insieme di questi dati consente di elaborare la sismicità storica delle località italiane, ossia consente di definire un elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di eventi sismici.

In Figura 8B, è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nell'intero DBMI15, in particolare si nota come nell'area di interesse (cfr. cerchio rosso) siano presenti un esiguo numero di eventi sismici nell'intervallo di definizione del catalogo.

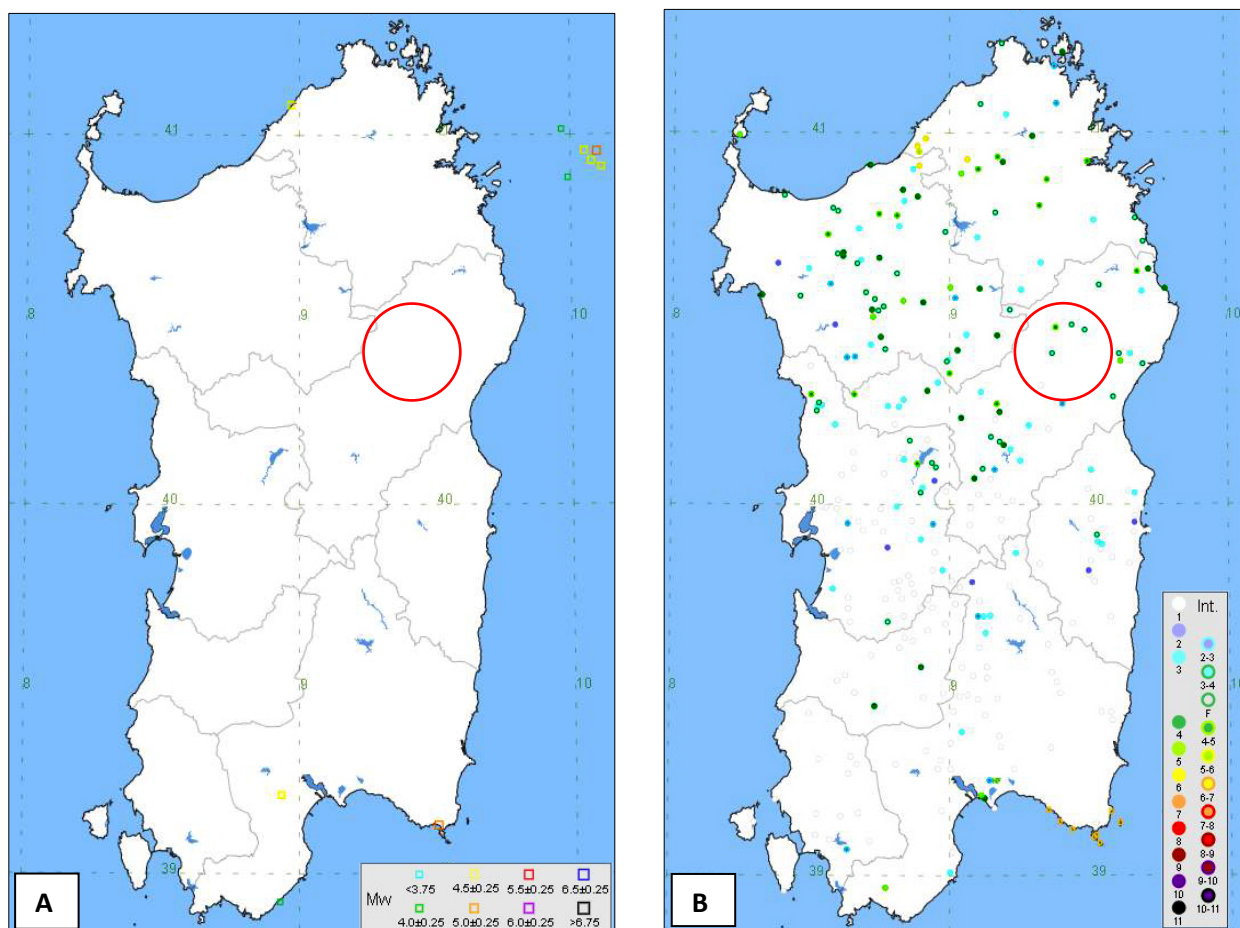


Figura 8 – Mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 e DBMI15 relativi alla Regione Sardegna.

6.2 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENICA

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata **ZS9**, prodotta dall'INGV. Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il nuovo catalogo CPT12, e fornisce, inoltre, una stima della "profondità efficace", ovvero dell'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce, per ogni zona, un meccanismo di fagliazione prevalente.

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, identificate da un numero che va da 901 a 936, che presentano limiti di colorazione nera e blu.

I limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche o geologico-strutturali, il colore blu definisce, invece, suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo, ma con differenti caratteristiche della sismicità, come la distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si evidenzia come la Sardegna non sia caratterizzata da

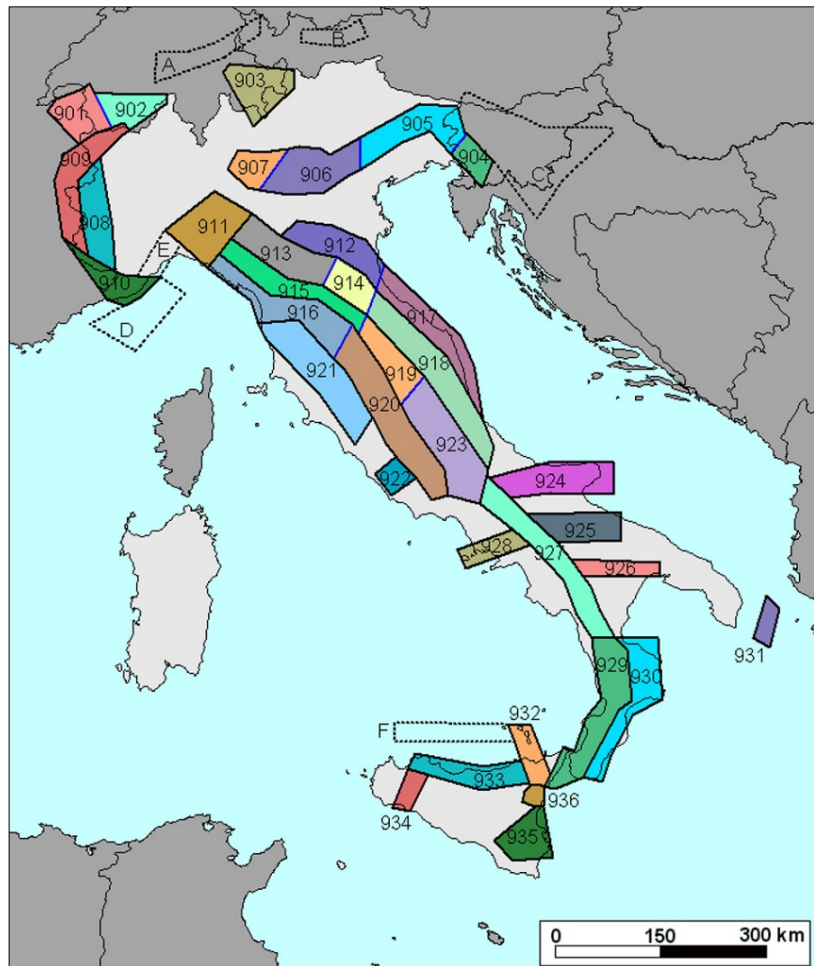


Figura 9 - Zonazione sismogenetica z9.

nessuna area sorgente di particolare rilievo. Studi più recenti per la valutazione della pericolosità sismica nazionale (Stucchi *et al.*, 2007) hanno prodotto risultati in accordo a quelli evidenziati dalla ZS9 in merito alla difficoltà di individuare per il territorio sardo una mappa delle sorgenti sismogenetiche a causa della bassa sismicità che caratterizza la regione.

6.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) già con il D.M. 14.01.2008, recentemente sostituito e integrato dal D.M. del 15.01.2018, introducevano il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno). Il reticolo di riferimento suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 km per 10 km, per un totale di 10.751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche (Tabella A1 delle NTC 2008).

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_R) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito attesa al *bedrock* con superficie topografica orizzontale (espressa in g/10);
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).

Per i valori di a_g , F_o e T_C^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento. Le accelerazioni orizzontali massime attese al *bedrock* (a_g) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_R) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (a_g , F_o , T_C^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi i reciproci delle distanze tra il punto in questione e i quattro vertici.

Il dato di partenza per la definizione dell'azione sismica rimane sempre lo studio di pericolosità sismica italiana di base, i cui risultati sono stati prodotti e messi in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), riassunto nella mappa di pericolosità sismica denominata MPS04 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>), approvata con Ordinanza n.3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 Aprile 2006, è diventata la mappa di riferimento prevista dall'Ordinanza n.3274 del 2003, All.1.

In tale cartografia i comuni di **Orune** e **Nuoro** ricadono in una zona con accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s,30} > 800$ m/s; cat. A) compresa tra 0,025 e 0,050 g.

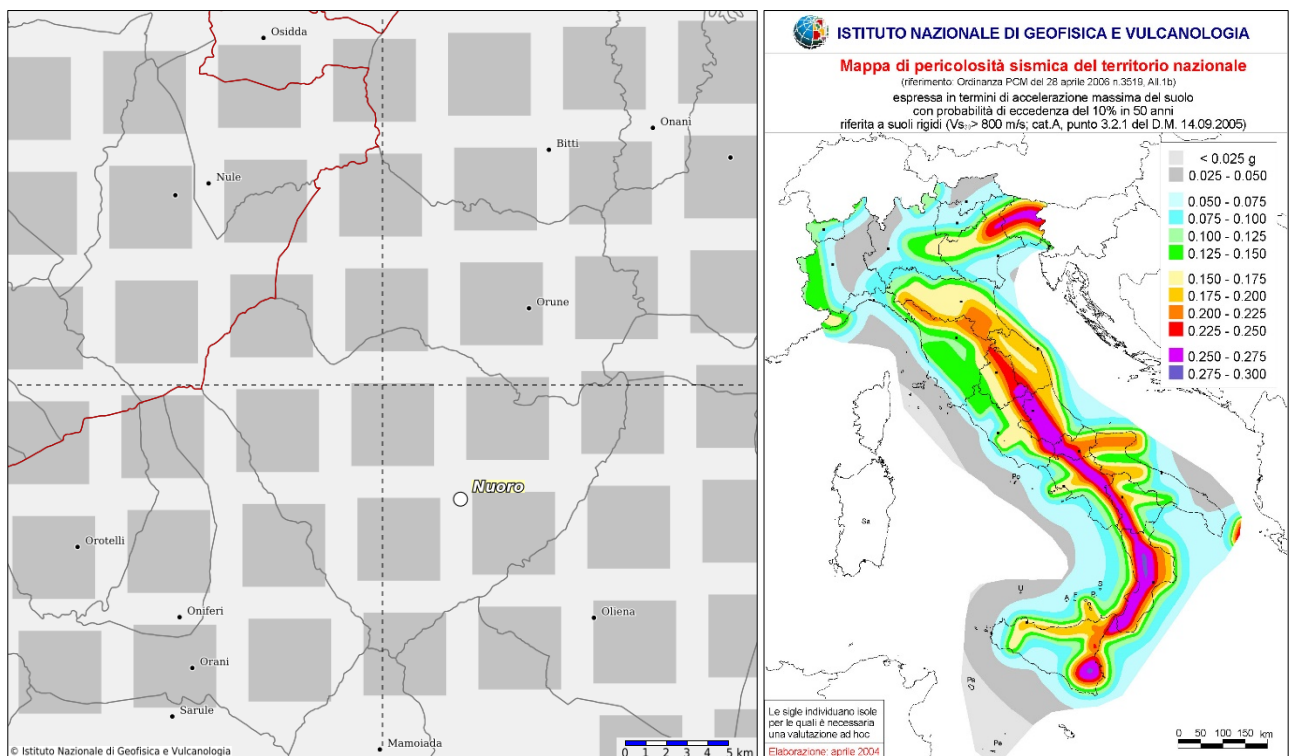


Figura 10 – A destra è riportata la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale denominata MPS04-S1, mentre a sinistra si riporta il dettaglio della stessa mappa con la definizione del reticolo di riferimento per i comuni di Orune e Nuoro.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, nel sito di riferimento il parametro che descrive il moto sismico superi un valore prefissato. Nelle NTC 2018, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento” V_R e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” P_{VR} .

Di seguito verranno descritti e analizzati tutti i coefficienti che consentono la definizione dell'azione sismica di progetto.

6.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

L'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi; in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tabella 2, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s ottenuti mediante specifiche indagini sismiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (espressa in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato (H) è riferita al piano di imposta delle stesse.

Per la definizione della categoria di sottosuolo del sito oggetto di intervento si è fatto riferimento alle risultanze dell'analisi geologica condotte per le opere in progetto, facendo altresì riferimento alla letteratura di settore e all'esperienza maturata in contesti geologici simili, che porta alla definizione di una categoria di sottosuolo locale di tipo:

CATEGORIA	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>

C	<i>Depositi 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.</i>
D	<i>Depositi 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.</i>
E	<i>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.</i>

Tabella 2 - Categorie di sottosuolo che permettono l'uso dell'approccio semplificato.

6.4.1 VALUTAZIONE PRELIMINARE DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il territorio coinvolto dal progetto è caratterizzato da una bassa attività sismica e dalla mancanza di strutture tettoniche attive, il che comporta una bassa probabilità di eventi sismici significativi. Questa situazione è ulteriormente favorita dalla uniformità litologica e morfologica dell'intera area di studio. Dall'analisi dei cataloghi sismici, è emerso che i pochi terremoti registrati si sono verificati a notevole distanza dalla Sardegna, soprattutto nelle acque a nord e sud dell'isola.

Le opere in progetto interessano principalmente terreni derivanti dall'alterazione del basamento paleozoico intrusivo, con una marginale influenza da coperture sedimentarie quaternarie.

Poiché non si dispone di riscontri sperimentali diretti, come ad esempio indagini in situ di tipo MASW, i terreni interessati dalle opere in progetto sono stati precauzionalmente categorizzati come sottosuolo di tipo B, ossia "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto compatti o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."

Le caratteristiche litologiche e idrogeologiche di queste zone escludono la possibilità di fenomeni di liquefazione, e la mancanza di strutture tettoniche attive contribuisce in modo significativo a ridurre il rischio sismico complessivo.

SEZIONE IV

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE

7 MODELLAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE

Sulla base del MODELLO GEOLOGICO presentato nella prima parte dell'elaborato, si propone di seguito il MODELLO GEOTECNICO PRELIMINARE. Non disponendo di indagini dirette la caratterizzazione litotecnica viene eseguita in via cautelativa, utilizzando dati provenienti dalla letteratura tecnica e informazioni derivanti da indagini pregresse condotte in contesti geologici analoghi.

7.1 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

In riferimento a quanto emerso dalle osservazioni di superficie, il sedime di intervento è caratterizzato, dall'affioramento in superficie delle litologie granitoidi del basamento intrusivo paleozoico localmente ricoperto dalle coltri detritiche del quaternario antico e recente.

In riferimento al quadro geologico delineato, l'assetto litologico può essere con semplicità rappresentato dalle seguenti unità litotecniche:

UNITÀ A - SUOLI DETRITICI ELUVIO-COLLUVIALI

Si tratta di terreni derivanti dalla totale decomposizione delle rocce granitoidi che si accumulano lungo il versante trasportati dal ruscellamento diffuso o per gravità. Hanno uno spessore variabile, una tessitura da sabbiosa franca a franco sabbiosa, con diffuso scheletro clastico, costituito da ciottoli e blocchi da sub-angolari ad angolosi, buona permeabilità e colore arancio scuro o giallastro per pregressa ossidazione con arricchimento in ossidi e idrossidi di ferro.

Per tale unità vengono proposti i seguenti parametri geotecnici cautelativi:

PARAMETRO	UNITÀ DI MISURA	COEFFICIENTE
PESO DI VOLUME NATURALE (γ)	KN/m ³	17÷19
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (ϕ)	Gradi	25÷28
COESIONE DRENATA (C)	KN/m ²	2÷8

Tabella 3 – Riepilogo dei parametri geotecnici riferibili all'Unità A.

UNITÀ B - COLTRE DI ALTERAZIONE ELUVIALE

Trattasi di roccia granitoide e suoi differenziati basici in giacitura filoniana, da fortemente alterata a mediamente alterata, la cui originaria tessitura è ancora in gran parte riconoscibile e spesso contiene al suo interno nuclei a consistenza lapidea sebbene variamente fratturati. Nonostante l'alterazione spinta, la roccia mostra un notevole grado di addensamento anche se può essere frammentata facilmente pochi colpi di martello.

Il diverso grado di alterazione della compagine rocciosa conferisce a questa unità una importante disomogeneità litotecnica capace di condizionare la stabilità dei fronti di affioramento e l'aggregabilità da parte dei processi morfogenetici.

Questa unità si ritiene possa essere caratterizzabile dal punto di vista geotecnico attraverso i seguenti parametri cautelativi:

PARAMETRO	UNITÀ DI MISURA	COEFFICIENTE
PESO DI VOLUME NATURALE (γ)	KN/m ³	19÷21
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (ϕ)	Gradi	25÷35
COESIONE DRENATA (C)	KN/m ²	50÷150

Tabella 4 – Riepilogo dei parametri geotecnici riferibili all'Unità B.

UNITÀ C - ROCCIA GRANITOIDE INDIFFERENZIATA DA INTEGRA A POCO ARENIZZATA

Trattasi di roccia granitoidale e suoi differenziati acidi in giacitura filoniana, da sana a poco alterata per idrolisi, di aspetto e comportamento litoide, con modesti segni di disfacimento presenti lungo le principali discontinuità e con buone caratteristiche litotecniche e meccaniche.

Questa unità può essere caratterizzabile dal punto di vista geotecnico attraverso i seguenti parametri cautelativi:

PARAMETRO	UNITÀ DI MISURA	COEFFICIENTE
PESO DI VOLUME NATURALE (γ)	KN/m ³	23÷25
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (ϕ)	Gradi	38÷45
ROCK QUALITY DESIGNATION INDEX (RQD)	%	30

Tabella 5 – Riepilogo dei parametri geotecnici riferibili all'Unità C.

8 STIMA DELLA CAPACITÀ PORTANTE PRELIMINARE

Il carico limite del complesso fondazione-terreno, deve essere calcolato sulla base delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo e delle caratteristiche geometriche della fondazione, nel calcolo devono essere considerate anche le eventuali modifiche che l'esecuzione dell'opera può apportare alle caratteristiche del terreno ed allo stato dei luoghi.

Per la verifica del carico limite ultimo dei terreni di fondazione sono stati applicati i metodi di calcolo proposti da **TERZAGHI** e da **ZIENKIEWICZ**, utilizzando il programma di calcolo automatico LOADCAP della Geostru Software.

8.1 PARAMETRI GEOMETRICI DELLA FONDAZIONE

Dall'analisi degli elaborati di progetto si evince che i carichi della struttura verranno trasmessi al terreno attraverso la seguente tipologia di fondazioni:

FATTORE	SIMBOLO	VALORE	U.M.
Tipo di fondazione		Plinto circolare isolato	
Profondità piano di posa	D	3,45	m
Diametro base fondazione	B	24,00	m
Diametro sommità fondazione	b	6,00	m
Altezza fondazione	Hi	3,45	m

Tabella 6 – Tabella riepilogativa dei parametri geometrici dell'opera.

8.2 CARICHI TRASMESSI AL TERRENO

I progettisti hanno fornito le seguenti indicazioni relativamente alle sollecitazioni trasmesse dalle strutture al terreno:

	SIMBOLO	VALORE	U.M.
Somma dei carichi verticali	N _{Totale}	57438,66	kN
Momento flettente agente	M _{yz}	151832,00	kNm
Eccentricità della risultante dei carichi verticali	e	2,64	m
D/6	D/6	4,00	m

Tabella 7 - Tabella riepilogativa dei carichi trasmessi dall'opera al terreno di fondazione.

8.3 VERIFICA DEL CARICO LIMITE (Q_{ULTIMA})

In Tabella 8 sono riportati i valori di Q_{ult} , ottenuti applicando le metodologie di calcolo proposte dai principali autori, considerando le seguenti opzioni di analisi:

Condizione drenata				
VERIFICA DEL CARICO LIMITE - IN CONDIZIONI STATICHE				
AUTORE	CARICO LIMITE	RESISTENZA DI PROGETTO	TENSIONE	FATTORE DI SICUREZZA
	$[Q_{ult}]$	$[R_d]$	$[E_d]$	$[FS=Q_{ult}/E_d]$
	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	
TERZAGHI	6640,44	2887,15	238,85	27,8
ZIENKIEWICZ	4316,11	1876,57	238,85	18,07

Tabella 8 – Tabella riepilogativa dei risultati di calcolo.

In Tabella 8 vengono riportati i valori di Q_{ultima} , ottenuti applicando le metodologie di calcolo proposte dai principali autori. La condizione di sicurezza da verificare per la resistenza a compressione del terreno è la seguente:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

- **Ed** = valore di progetto dell'azione o dell'effetto delle azioni;
- **Rd** = valore di progetto della resistenza del terreno o della struttura.

Riferendoci al solo metodo di **ZIENKIEWICZ**, in condizioni statiche, in quanto rispetto agli altri metodi è risultato quello con valori di Q_{ultima} più bassi, si può concludere che:

$$Q_{ultima} = 4316,11 \text{ KN/m}^2 \quad E_d = 238,85 \text{ KN/m}^2 \quad R_d = 1876,57 \text{ KN/m}^2$$

$$238,85 \text{ KN/m}^2 \leq 1876,57 \text{ KN/m}^2$$

Fs 18,07 ≥ R3 – CONDIZIONE VERIFICATA

Fermo restando le indicazioni preliminari riportate in questo elaborato, si ricorda la necessità di verificare le stesse sulla base di indicazioni provenienti da una campagna geognostica puntuale realizzata appositamente per le opere in progetto.

9 CONCLUSIONI

La società AGREENPOWER S.R.L., con sede in Via Serra 44, 09038 Serramanna (SU), ha conferito alla società GEOLOGIKA S.R.L.S. con sede operativa in Via Michelangelo n. 17/C a Monastir, P.IVA 03612320923, l'incarico per la predisposizione della RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA e SISMICA a supporto del progetto denominato "PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 7 AEROGENERATORI CON POTENZA COMPLESSIVA DI 46,2 MW, DENOMINATO "CE NUORO NORD", NEL COMUNE DI ORUNE (NU) E OPERE CONNESSE NEI COMUNI DI ORUNE (NU) E NUORO (NU)".

Il presente elaborato descrive in maniera esaustiva il contesto geologico e geomorfologico in cui si inseriscono gli interventi in progetto, analizza le potenziali cause di dissesto in relazione agli interventi proposti e verifica, in funzione delle opere in progetto, il carico limite (Q_{ULT}) oltre cui si verifica una destabilizzazione e la conseguente rottura dei terreni di fondazione. L'elaborato inoltre descrive in maniera completa ed esaustiva i passaggi compiuti per la definizione dell'azione sismica locale (RLS) da considerare durante la progettazione.

L'analisi dei luoghi ha consentito pertanto di giungere alle seguenti conclusioni:

ANALISI GEOLOGICA: è stata condotta con riferimento alla Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000, e alla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000. L'area in cui si colloca l'opera in progetto, ubicata nei territori comunali di Orune e Nuoro, è caratterizzata dalla presenza di un substrato di roccia granitoida da sana a fortemente alterata ricoperto da terreni derivanti dalla totale decomposizione delle rocce granitoidi.

Sulla base di quanto emerso dalle osservazioni di superficie, sono state individuate e descritte 3 principali Unità litostratigrafiche suddivise in:

UNITÀ A - SUOLI DETRITICI ELUVIO-COLLUVIALI
UNITÀ B - COLTRE DI ALTERAZIONE ELUVIALE
UNITÀ C - ROCCIA GRANITOIDE INDIFFERENZIATA DA INTEGRA A POCO ARENIZZATA

ANALISI MORFOLOGICA E DEI DISSESTI: l'area oggetto di intervento si inserisce in un contesto geomorfologico sostanzialmente dominato dalla presenza di rilievi a carattere montuoso e collinare caratterizzati da versanti da lievemente a moderatamente acclivi, con pendenze comprese tra il 5% e il 19%. Sulla base delle valutazioni preliminari, allo stato attuale, non si riscontra la presenza di significativi processi morfogenetici attivi in grado di innescare fenomeni erosivi e/o di denudazione del suolo che possano interessare le opere in progetto, soprattutto nelle aree di installazione degli aerogeneratori. In fase di progettazione esecutiva, particolare attenzione dovrà essere posta alla valutazione dei versanti a maggior acclività interessati dal passaggio dei cavidotti e della viabilità nel caso quest'ultima necessiti di interventi

di manutenzione straordinaria. Si sottolinea a tal proposito la necessità di garantire condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere assicurandosi che i lavori si svolgano senza creare neanche temporaneamente un significativo aumento di pericolosità.

ASSETTO IDROGRAFICO: dal punto di vista idrografico, in località Lardine, il cavidotto attraversa un'area a pericolosità idraulica molto elevata (H_{i4}), intercettando il Riu Errede. Gli aerogeneratori, situati in aree prevalentemente di cresta, risultano esterni agli assi di drenaggio, non interferendo con il reticolo idrografico.

VALUTAZIONE PRELIMINARE DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA: il territorio coinvolto dal progetto è caratterizzato da una bassa attività sismica e dalla mancanza di strutture tettoniche attive, il che comporta una bassa probabilità di eventi sismici significativi. Poiché non sono disponibili riscontri sperimentali diretti, come ad esempio indagini in situ di tipo MASW, i terreni interessati dalle opere in progetto sono stati precauzionalmente categorizzati come sottosuolo di tipo B, ossia "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto compatti o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.". Le caratteristiche litologiche e idrogeologiche di queste zone escludono la possibilità di fenomeni di liquefazione nella maggior parte del percorso, e la mancanza di strutture tettoniche attive contribuisce in modo significativo a ridurre il rischio sismico complessivo.

CALCOLO PRELIMINARE DELLA CAPACITÀ PORTANTE: la capacità portante è stata verificata ipotizzando le fondazioni a diretto contatto con i terreni dell'Unità C che in base al quadro geologico e litotecnico delineato, risultano quelli più idonei ad assorbire le sollecitazioni trasmesse dell'opera in progetto al terreno.

La condizione di sicurezza da verificare per la resistenza a compressione del terreno è la seguente:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

- **Ed** = valore di progetto dell'azione o dell'effetto delle azioni;
- **Rd** = valore di progetto della resistenza del terreno o della struttura.

Riferendoci al solo metodo di **ZIENKIEWICZ**, in condizioni statiche, in quanto rispetto agli altri metodi è risultato quello con valori di Q_{ultima} più bassi, si può concludere che:

$$Q_{ultima} = 4316,11 \text{ KN/m}^2$$

$$Ed = 238,85 \text{ KN/m}^2$$

$$Rd = 1876,57 \text{ KN/m}^2$$

$$238,85 \text{ KN/m}^2 \leq 1876,57 \text{ KN/m}^2$$

Fs 18,07 \geq R3 – CONDIZIONE VERIFICATA

Fermo restando le indicazioni preliminari riportate in questo elaborato, si ricorda la necessità di verificare le stesse sulla base di indicazioni provenienti da una campagna geognostica puntuale realizzata appositamente per le opere in progetto.

IN CONCLUSIONE:

Dall'esame delle caratteristiche tecniche dell'intervento, e sulla base delle considerazioni contenute nel presente studio **non si ravvisano impedimenti alla realizzazione delle opere in progetto.**