

# PARCO EOLICO "ALIENTU"

**COMUNE DI SEUI**  
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



## STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

<b>Elaborato:</b> <i>ELABORAZIONI SIA</i> <b>Relazione sulla pericolosità sismica di base</b>	Codice elaborato: <b>SE_SIA_A017</b>
	Data: Febbraio 2024

**Il committente:** Sardeolica s.r.l.

**Coordinamento:** FAD SYSTEM SRL - Società di ingegneria  
*Dott. Ing. Ivano Distinto* *Dott. Ing. Carlo Foddis*

**Elaborazione SIA:** *BIA s.r.l.*  
*Società di ingegneria*

**Elaborato a cura di:**  
*Dott.ssa Geol. Cosima Atzori*

rev.	data	descrizione revisione	rev.	data	descrizione revisione
00	07/02/2024	Emesso per procedura di VIA			

## SOMMARIO

SOMMARIO.....	2
1. PREMESSA .....	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO .....	4
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	5
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	12
6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento .....	12
6.2. Depositi Quaternari dell'area continentale.....	16
6.3. Successione vulcano-sedimentaria tardo-paleozoica .....	16
6.4. Unità tettonica di Meana Sardo.....	17
(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria .....	17
(ORR) Formazione di Orroledu .....	17
(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.).....	18
6.5. Unità Tettonica della Barbagia.....	18
7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	21
7.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio .....	21
7.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa .....	22
8. INQUADRAMENTO SISMICO .....	24
8.1. Azione sismica.....	25
8.2. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.....	25
8.3. Amplificazione stratigrafica e topografica.....	26
9. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	28
9.1. Indagini sismiche: MASW .....	29
9.1.1. Specifiche delle indagini svolte.....	30
9.1.2. Caratteristiche della strumentazione impiegata.....	31
9.1.1. Elaborazione dei dati.....	31
9.1.2. Categorie di sottosuolo - D,M, 19,01,2018 (NTC 2018) .....	31

9.2.	Risultati delle indagini del sito SM01-TURBINA SE_05 .....	33
9.2.1.	SE_SM01-SE_05: MASW M1 .....	33
9.3.	Risultati delle indagini del sito SM04-TURBINA SE_07 .....	35
9.3.1.	SM04-SE_02: MASW M2 .....	35
10.	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	38
11.	CONCLUSIONI .....	39

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Localizzazione del progetto .....	6
Figura 2	Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto .....	7
Figura 3	Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000 .....	8
Figura 4	Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore Est - impianto .....	9
Figura 5	Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore ovest – tracciato del cavidotto.....	10
Figura 6	Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore sud-ovest – tracciato del cavidotto e sottostazione .....	11
Figura 7	– Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1: 100,000 – Foglio 518 "Isili", Nel riquadro l'area di progetto.....	14
Figura 8	Schema Tettonico stratigrafico dell'area di studio (tratto da Fg,218 "Isili", 1976 .....	14
Figura 9	Depositi di versante, ciottoli di filladi e metarenarie in matrice sabbioso-limosa .....	16
Figura 10	Formazione del Monte Santa Vittoria (MSV) .....	18
Figura 11	Affioramento della Formazione delle Filladi del Gennargentu e particolare della struttura della roccia metamorfica .....	19
Figura 12	Stralcio carta geologica (Fonte RAS) .....	20
Figura 13	Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala) .....	21
Figura 14	Morfologia del paesaggio nell'area di progetto (in rosso tratteggiato il livello della superficie di erosione post ercinica (peneplano).....	22
Figura 15	Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale .....	24
Figura 16	Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni.....	26
Figura 17	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	34
Figura 18	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	36

## 1. PREMESSA

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "Alientu" dislocato nel territorio comunale di **Seui** – sub-regione della Barbagia di Seulo, Provincia del Sud Sardegna (SU), al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico è stata redatta la presente **Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC2018).

In data 10-11/10/2023 è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW (stendimenti denominati M1 – M4) al fine di determinare la categoria di sottosuolo.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente è redatta in osservanza a quanto stabilito dalla vigente normativa in materia, con particolare riferimento a:

- D,M LL,PP, 11,03,1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02,02,1974 n°64,
- Circ, Min, LL,PP, n° 30483 del 24,09,1988 – Istruzioni per l'applicazione del D,M, LL,PP,11,03,1988,
- Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana,
- D,M, Infrastrutture 17,01,2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni, (6,2,1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6,4,2 Fondazioni superficiali)
- Circ, Min, Infrastrutture e Trasporti 21,01,2019 n°7 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17,01,2018,
- D,L, 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - "Norme in materia ambientale",
- Norme di attuazione del PAI aggiornate al 2022 con la Deliberazione n. 12 del 21/12/2021, pubblicata sul BURAS n. 72 del 30/12/2021 e successivamente approvate con la Deliberazione di giunta regionale n. 2/8 del 20/1/2022 e con Decreto del Presidente della Regione n. 14 del 7/2/2022 dal Comitato Istituzionale.

## 3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO

Le informazioni topografiche e geologiche dell'area oggetto della presente sono state ricavate dalle pubblicazioni ufficiali e cartografia tematica esistente, Si elencano di seguito:

- Carta Topografica I,G,M, scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50,000 (CARG),
- Cartografia Geologica di base della R,A,S, in scala 1:25,000
- RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I,S,P,R,A, - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguita in data **10-11/10/2023** nella zona di interesse.

#### 4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

**Seui** è il più importante centro della Barbagia di Seulo e fino al 2005 faceva parte della provincia di Nuoro, in seguito all'istituzione della Provincia dell'Ogliastra, Seui venne annessa a quest'ultima, Nel 2016 a seguito della riforma delle province sarde il paese è stato aggregato alla nuova provincia del Sud Sardegna. Si trova ad una quota di circa 820m abbarbicato sul versante sud-ovest del monte Pizzu Longu e si affaccia sulla valle del Rio s' Arriossu.

Intorno alla metà del XVII secolo nel centro storico del paese fu costruito un carcere spagnolo per l'amministrazione della giustizia in tutta la Barbagia di Seulo che venne utilizzato fino al 1975.

Nei pressi del centro abitato è situato un importante complesso minerario in località "Fundu 'e Corongiu" sorto nel 1850 e successivamente chiuso nel 1960, dedito allo sfruttamento di un giacimento di antracite. La scoperta del giacimento carbonifero è da attribuirsi ad Alberto La Marmora nel 1827; il sito minerario è rimasto attivo dal 1870 sino al 1958.

A sud del centro abitato, nella zona denominata Pirastu 'e Pranu, lungo i crinali di Genna Argiola (812,31m), Bruncu 'e Murtas (795,49m) e Genna Argiola Jossu (772,67m) si sviluppa l'impianto in progetto.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I,G,M scala 1:25 000, Serie 25 -Fogli: **541 sez, IV** "Genna su Ludu";
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Foglio: **541010** "Nuraghe Salei",

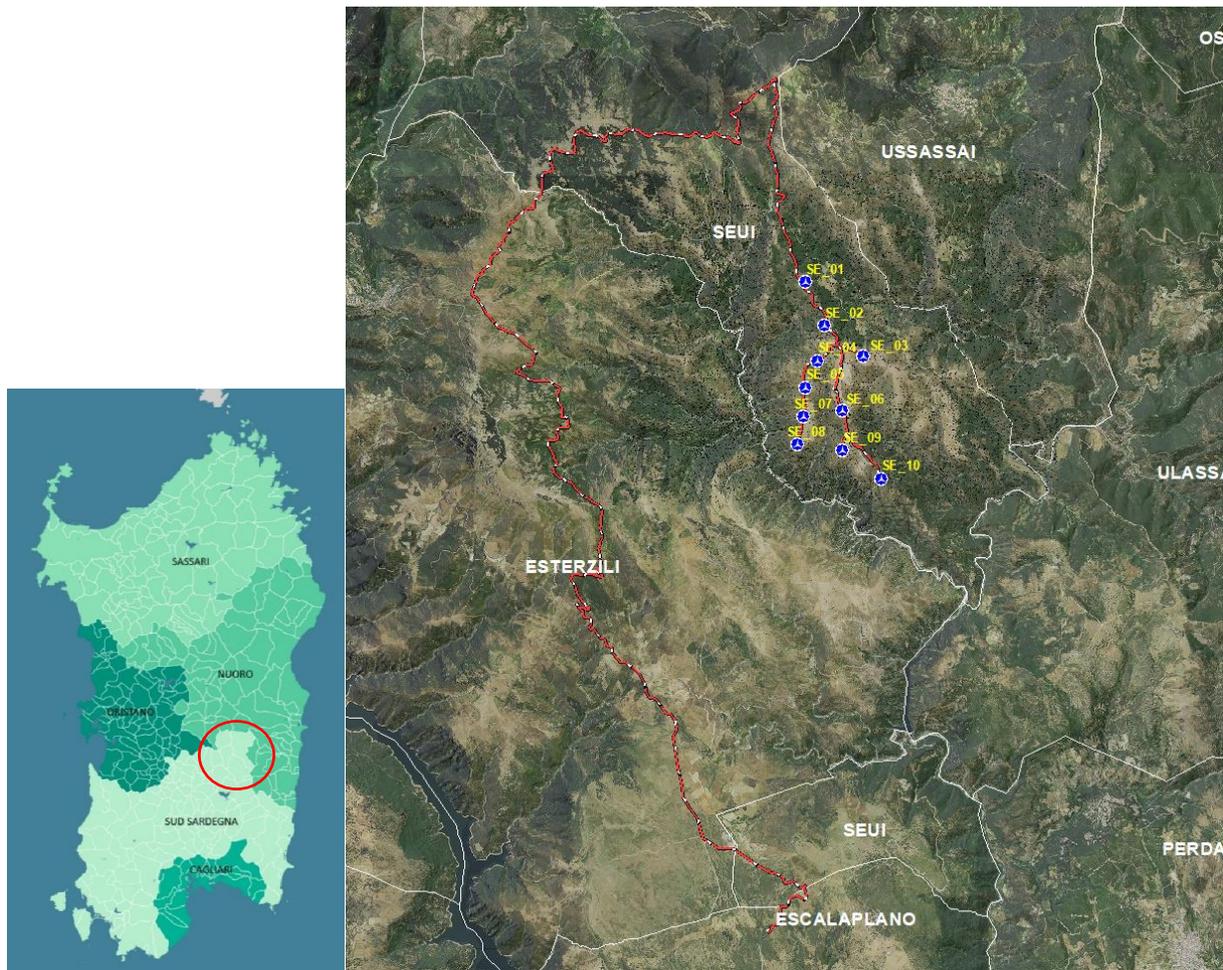


Figura 1 Localizzazione del progetto

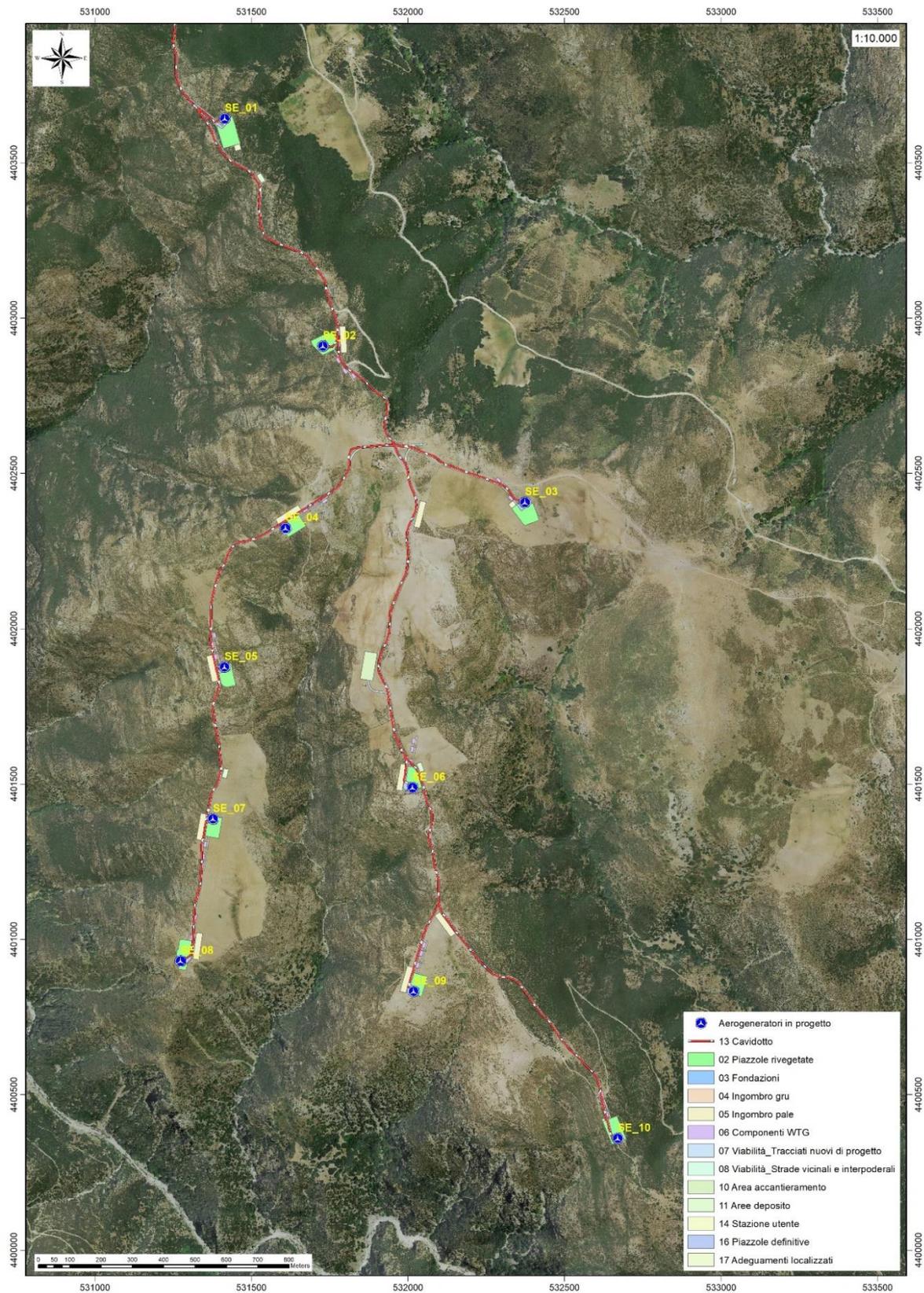


Figura 2 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

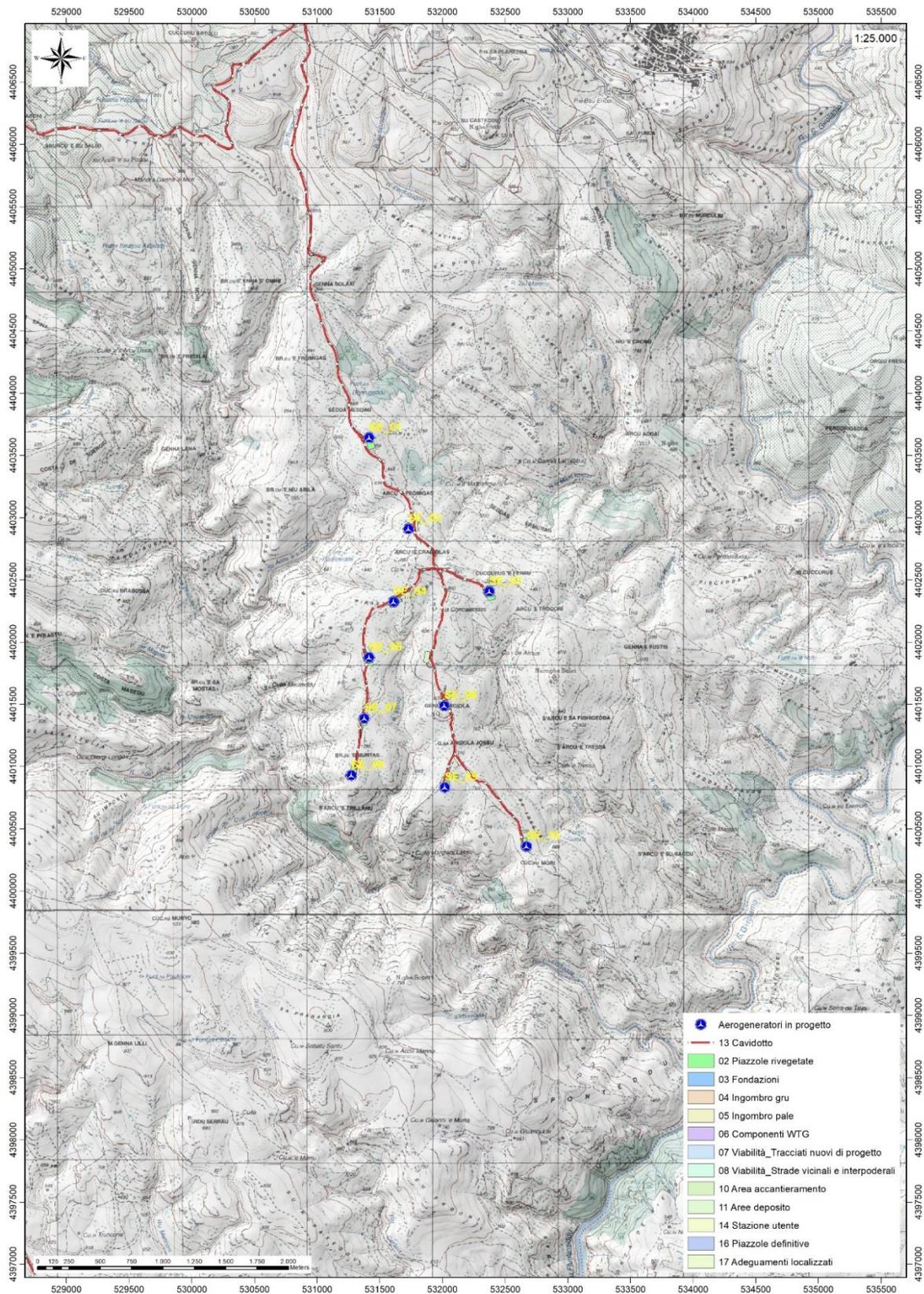


Figura 3 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

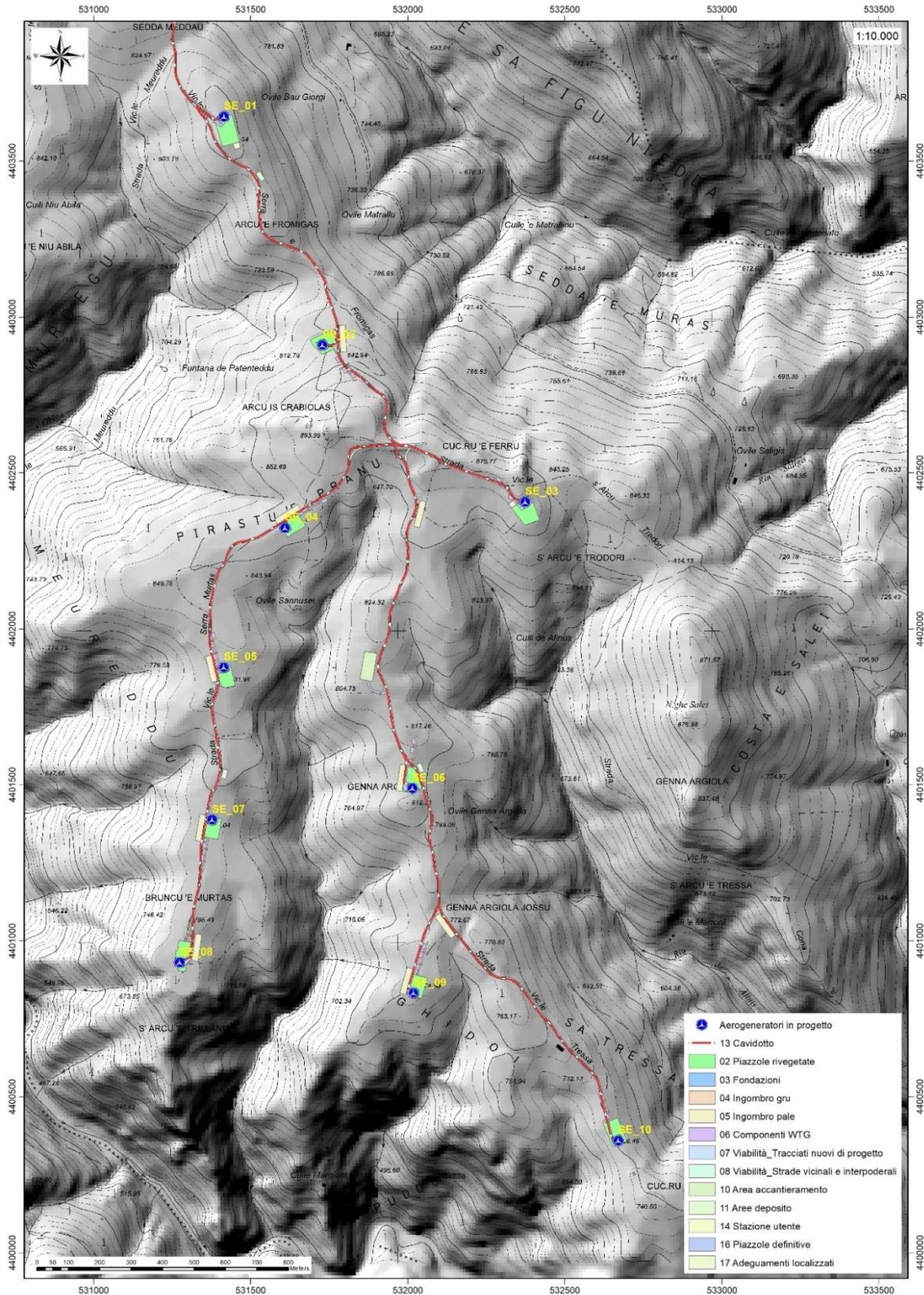


Figura 4 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore Est - impianto

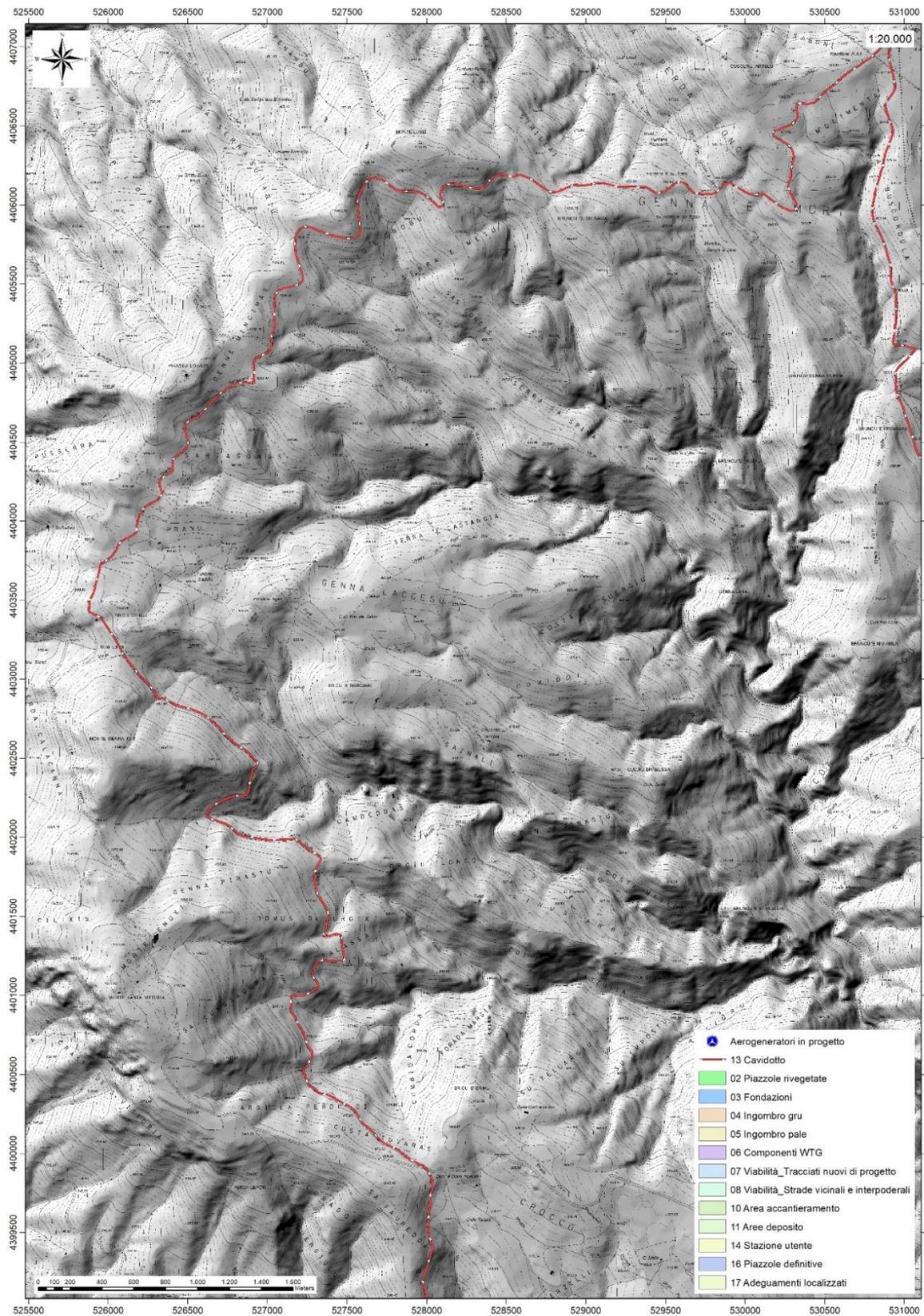


Figura 5 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore ovest – tracciato del cavidotto

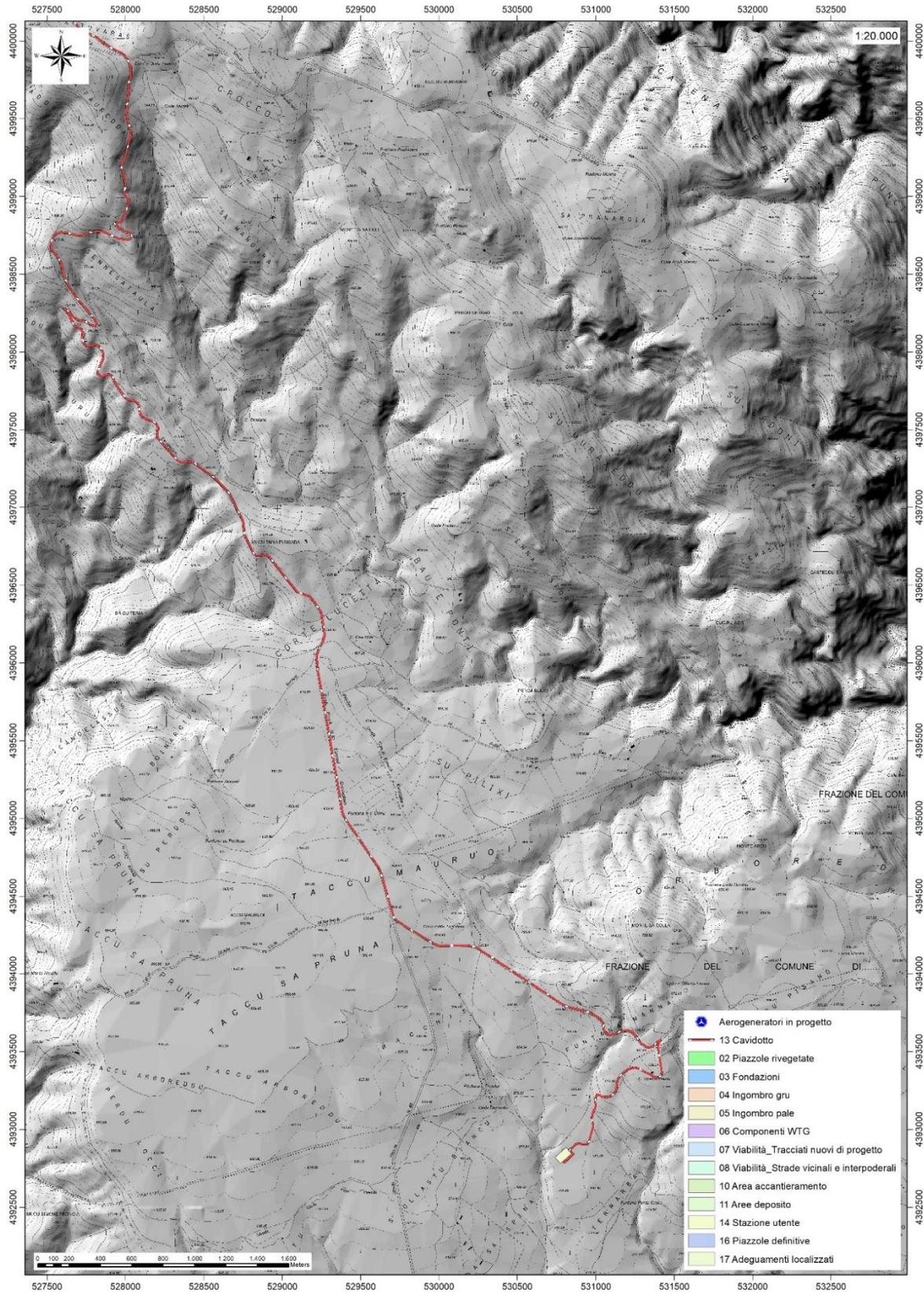


Figura 6 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore sud-ovest – tracciato del cavidotto e sottostazione

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installato il parco eolico e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del substrato roccioso, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione del sistema di fondazione e delle sue potenziali interazioni con le condizioni al contorno (dinamica geomorfologica, circolazione idrica superficiale e sotterranea, rapporti fra le componenti litologiche interessate) attraverso:

- Definizione dell'assetto geologico-strutturale e idrogeologico di area vasta e dell'area geomorfologicamente significativa;
- Definizione dell'assetto stratigrafico dell'area di sedime delle opere;
- Definizione del modello geologico di sito.

### 6.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

L'isola riflette pertanto una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni.

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvengono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia. La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali, procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW). Successivamente, tra il Carbonifero Sup, e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è soggetto a magmatismo, intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

Nel resto dell'Isola affiorano plutoni isolati, anch'essi compositi, di minori dimensioni, quali quelli dell'Iglesiente e del Sarrabus.

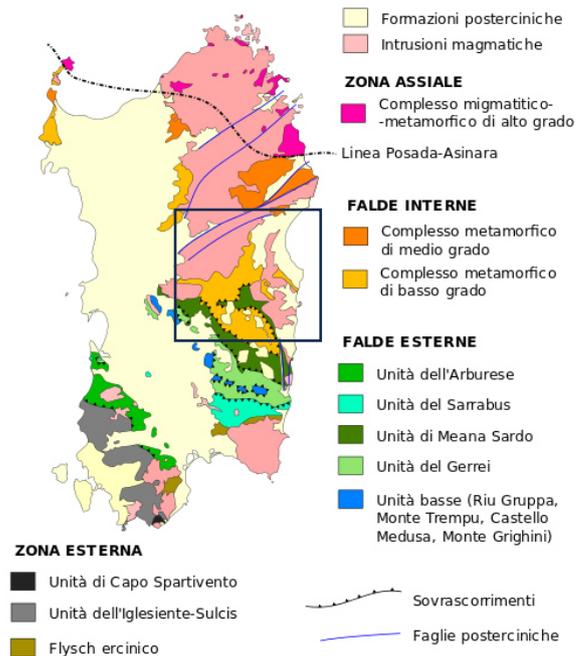
L'area di studio ricade nella zona a Falde interne del basamento varisco sardo; A N dell'Unità di Meana Sardo fino al Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica della Sardegna nord-orientale, affiorano metamorfiti di basso e medio grado che costituiscono il complesso delle Falde interne. Il metamorfismo più intenso, la rarità dei livelli guida, come il complesso vulcanico dell'Ordoviciano medio, e la estrema rarità di reperti fossiliferi, rendono spesso incerta l'attribuzione litostratigrafica dei protoliti delle rocce di questo complesso.

Nell'alto Sarcidano e Barbagia, tettonicamente sovrapposto al di sopra delle formazioni silurianodevonianee dell'Unità di Meana Sardo, affiora un potente complesso epimetamorfico costituito prevalentemente da una successione terrigena (VAI & COZZA, 1974), noto in letteratura come "Postgotlandiano",

Tale complesso costituisce il nucleo della Sinforme della Barbagia e, più a N, buona parte dei monti del Gennargentu, Recentemente è stata correlata con questo complesso l'Unità di Fiorentini, affiorante nel Goceano (OGGIANO, 1994)<sup>1</sup>.

Le unità tettoniche sono interessate da una serie di fasi plicative compressive, tardo compressive e distensive che generano sistemi di pieghe e una foliazione pervasiva di piano assiale, Tra le strutture plicative maggiori che interessano il settore di studio vi è l'Antiforme del Flumendosa al cui nucleo affiora l'unità tettonica di Riu Grappa.

Il basamento varisco è stato interessato da più fasi di emersione a partire dal Permiano; nel Cretaceo si ha nuovamente emersione, che sembra aver interessato tutta l'isola, che ha generato una lacuna che comprende quasi tutto il Paleocene, ricoperta dai depositi trasgressivi dell'Eocene inferiore e



<sup>1</sup> Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 2001

del Miocene, dai prodotti dell'attività vulcanica Pliocenica, e dalle coperture dei depositi quaternari costituiti da depositi di versante coltri eluvio colluviali e depositi alluvionali.

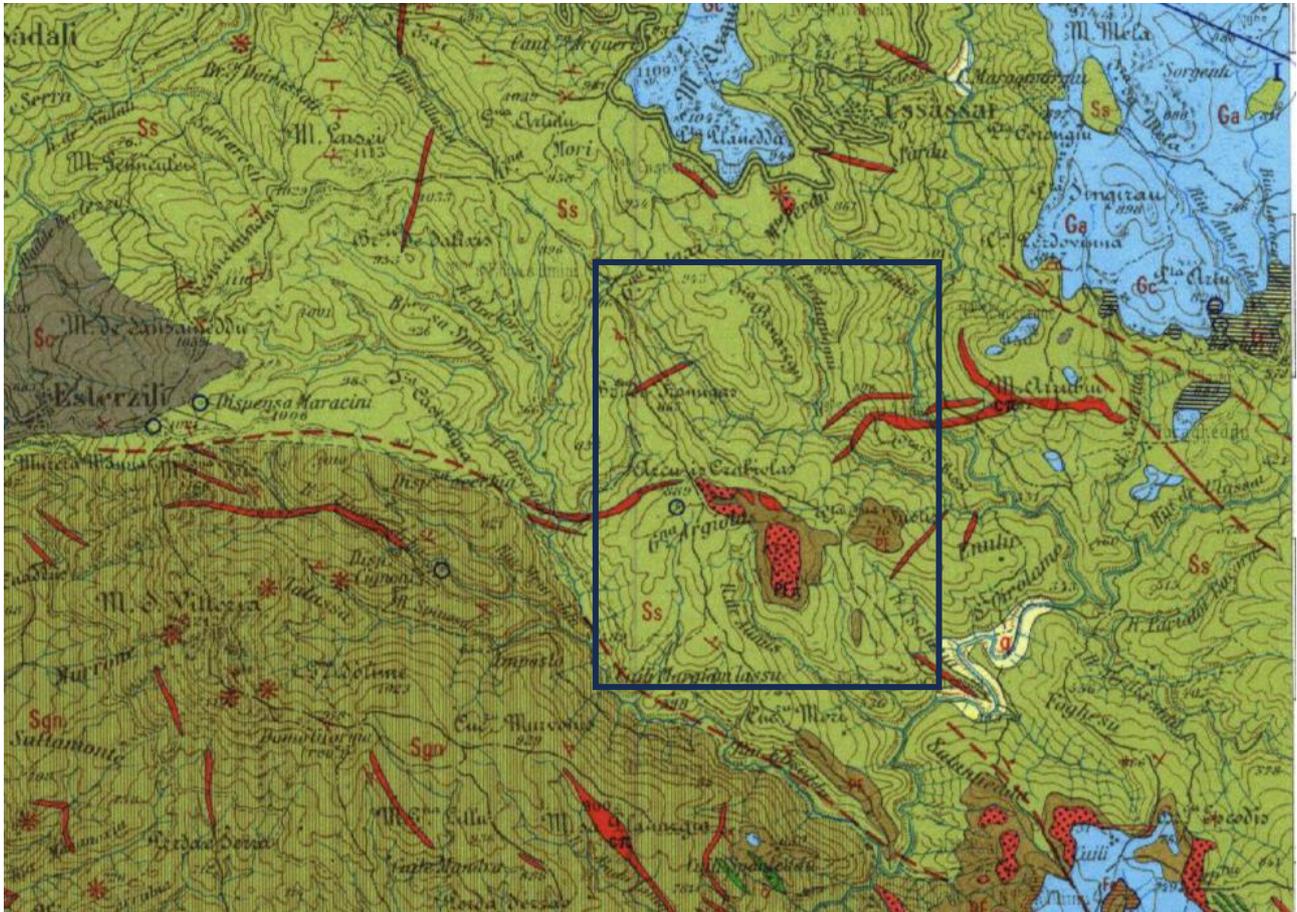


Figura 7 – Stralci della Carta Geologica d'Italia, 1: 100,000 – Foglio 518 "Isili", Nel riquadro l'area di progetto

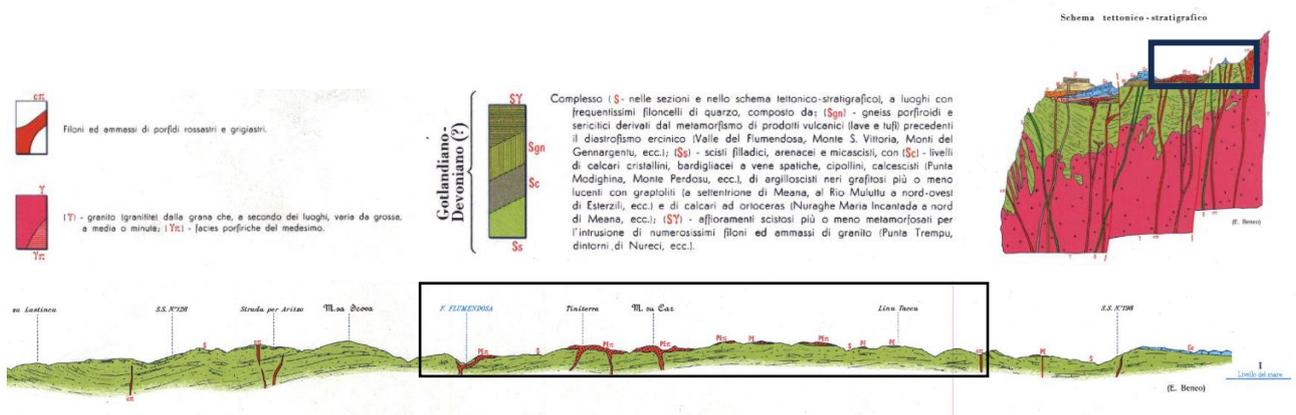


Figura 8 Schema Tettonico stratigrafico dell'area di studio (tratto da Fg,218 "Isili", 1976)

L'ossatura geologica del territorio di Seui è quindi rappresentata dalle litologie metamorfiche paleozoiche che affiorano sia nel settore Nord che sud del territorio.

Nello specifico, la successione litologica riscontrata nel territorio e uniformata con la nomenclatura ufficiale, può essere così riassunta come segue, dal più recente al più antico:

### **Depositi quaternari dell'area continentale**

- **b2**, Coltri pluvio colluviali, Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti arricchiti in frazione organica, Olocene

### **Successione vulcano-sedimentaria tardo-paleozoica della sardegna centro-orientale**

- **pa**, "Porfidi quarziferi" Auct, Lave in colata ed ammassi subvulcanici di composizione da riolitica a dacitica, a grana da minuta a media, a struttura porfirica frequente, talvolta con evidenti strutture di flusso, rari livelli di brecce vulcaniche e tufi riolitici ("Porfidi quarziferi" Auct.), PERMIANO
- **LUDa** Litofacies nella FORMAZIONE DI RIO SU LUDA, Alla base, conglomerati e microconglomerati in matrice arenacea fortemente arrossata, PERMIANO INF, (AUTUNIANO)
- **LUDc** Litofacies nella FORMAZIONE DI RIO SU LUDA, Siltiti e argilliti laminari nere, con abbondanti resti di piante, sporomorfi e pollini; rari livelli di arenarie e conglomerati, PERMIANO INF, (AUTUNIANO)

### Basamento metamorfico paleozoico

#### **Complesso metamorfico della sardegna centro-meridionale**

- **GEN**, FORMAZIONE DELLE FILLADI GRIGIE DEL GENNARGENTU, Irregolare alternanza di livelli da decimetrici a metrici di metarenarie quarzose e micacee, quarziti, filladi quarzose e filladi ("Postgotlandiano" Auct.), ?CAMBRIANO MEDIO - ?ORDOVICIANO INF.
- **SGA**, SCISTI A GRAPTOLITI AUCT, Metapeliti carboniose e metasiltiti con graptoliti; intercalati livelli di diaspri neri (liditi), SILURIANO - DEVONIANO MEDIO
- **SGAa**, Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT, Metacalcari, Metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi, SILURIANO - DEVONIANO MEDIO
- **ORR**, FORMAZIONE DI ORROELEDU, Alternanze irregolari di metarenarie, metarenarie quarzose talora grossolane, filladi e metasiltiti talora fossilifere, con intercalazioni di metaconglomerati minuti in strati decimetrici, ORDOVICIANO SUP.
- **MSV**, FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA, Metavulcaniti a chimismo da acido a basico, metaepiclastiti, metarenarie feldspatiche e metaconglomerati a componente vulcanica, ORDOVICIANO ?MEDIO
- **MSVb**, Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA, Metagrovacche vulcaniche e metavulcaniti; probabili originarie piroclastiti a chimismo intermedio-basico ("formazione di Serra Tonnai" Auct.), ORDOVICIANO ?MEDIO

## 6.2. DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

**(a) Depositi di frana:** depositi detritici di origine franosa alla base dei versanti .

**(b2) Coltri eluvio-colluviali:** Si tratta di materiali derivati dal disfacimento in situ delle rocce in seguito mobilizzate da processi di versante, costituiti da depositi con percentuali variabili di sedimenti fini (sabbia e silt) più o meno pedogenizzati e arricchiti in frazione organica, con clasti eterometrici di varia litologia, Sono mescolati con sedimenti più grossolani, sempre subordinati, Lo spessore di questi depositi solitamente è abbastanza esiguo (nell'ordine massimo di qualche metro in prossimità dei compluvi), Olocene.



Figura 9 Depositi di versante, ciottoli di filladi e metarenarie in matrice sabbioso-limoso

## 6.3. SUCCESSIONE VULCANO-SEDIMENTARIA TARDO-PALEOZOICA

**(pa), "Porfidi quarziferi" Auct,** Lave in colata ed ammassi subvulcanici di composizione da riolitica a dacitica, a grana da minuta a media, a struttura porfirica frequente, talvolta con evidenti strutture di flusso, rari livelli di breccie vulcaniche e tufi riolitici ("Porfidi quarziferi" Auct,), PERMIANO

**Questa formazione rappresenta il substrato della turbina SE\_03.**

**(LUD), Formazione di Rio Su Luda,** Il conglomerato basale (**LUDa**) si presenta come un conglomerato poligenico eterometrico con clasti scarsamente elaborati di metamorfiti, quarzo in subordinate, massivo e spesso con piccole strutture canalizzate che giace in discordanza angolare sul basamento ercinico. Al di sopra del conglomerato basale affiorano epivulcanoclastiti varicolori (**LUDb**): sono irregolari alternanze da decimetriche a metriche di cineriti ed epiclastiti prevalentemente argillitico-siltitiche e più raramente arenacee di colore variabile dal grigio scuro al rossastro.

#### 6.4. UNITÀ TETTONICA DI MEANA SARDO

Affiora nella parte sud-occidentale dell'area di studio e si trova in contatto tettonico con la formazione delle filladi del Gennargentu. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostratigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

**(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria:** è costituita da un complesso vulcanico-epiclastico suddiviso in tre litofacies: metaepiclastiti grossolane con ciottoli di metarioliti, metagrovacche vulcaniche e metandesiti, e metarioliti afiriche.

Le metaepiclastiti (**MSVa**) sono rappresentate da metagrovacche litiche, metarenarie vulcaniche e metaconglomerati, a scarsa selezione e con grani spigolosi immersi in matrice quarzoso-sericitica.

Le metagrovacche e metandesiti (**MSVb**) sono rappresentate da metaepiclastiti verdastre, prevalentemente metagrovacche, massive o in banchi di alcuni metri di spessore, con abbondanti frammenti litici che le conferiscono un aspetto macchiettato. Sono intercalate a metavulcaniti grigio scure a composizione da andesitica a basaltica, Le metarioliti afiriche (**MSVc**) presentano colore bianco-giallastro con rari cristalli di feldspato potassico immersi in una massa di fondo microcristallina più o meno sericitica o silicizzata, con tessitura finemente scistosa e intensamente piegate. Le tre litofacies sopra descritte sono correlabili con le formazioni di Manixeddu, Serra Tonnai e Monte Corte Cerbos affioranti nella Barbagia, L'età attribuita è Ordoviciano medio.

**(ORR) Formazione di Orroledu** costituito da alternanze di metarenarie e metasiltiti grigie, distinte in due litofacies: alla base, metagrovacche e metarenarie arcose e metaconglomerati (**ORRa**) matrice-sostenuti, con clasti di quarzo bianco e nero e frammenti litici mediamente arrotondati, di dimensioni massime di 1-2 cm, in matrice quarzosa biancastra; metarenarie e metasiltiti varicolori grigio-nocciola, scarsamente selezionate, e interessate da clivaggio ardesiaco penetrativo, e aspetto vacuolare nelle frazioni più fini a causa della dissoluzione di fossili, Talora sono presenti livelli di originari metacalcari tipo *mudstone*. Lo spessore è estremamente variabile in quanto il contatto

di base è trasgressivo, La successione viene riferita all'Ordoviciano superiore per la presenza di brachiopodi, articoli di crinoidi, briozoi, ostracodi, gasteropodi, trilobiti e conodonti.



Figura 10 Formazione del Monte Santa Vittoria (MSV)

**(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.):** costituiti da metapeliti scure (giallastre o grigie per alterazione), intercalate a livelli di quarziti nere ("liditi") **(SGA)**, Sono presenti lenti discontinue di metacalcari nodulari **(SGAa)** di massimo 5 m di lunghezza e 2 di spessore, interstratificate nella successione, Lo spessore è assai variabile per via dell'intensa deformazione, infatti i contatti sono spesso laminati tettonicamente, L'età della successione è riferibile al Siluriano - Devoniano medio grazie alla ricca associazione fossilifera a graptoliti, conodonti, scifocrinoidi, crinoidi, tentaculiti e trilobiti,

#### 6.5. UNITÀ TETTONICA DELLA BARBAGIA

**(GEN) Formazione delle filladi grigie del Gennargentu:** Si tratta di una successione litostratigrafica costituita da una irregolare alternanza di livelli da metrici a decimetrici di metarenarie quarzose micacee, quarziti, filladi quarzifere, filladi e metasiltiti,



Figura 11 Affioramento della Formazione delle Filladi del Gennargentu e particolare della struttura della roccia metamorfica

In taluni casi la somiglianza con le successioni cambro-ordoviciane è molto netta, in altri casi prevalgono invece termini più quarzitici o metarenarie a grana fine e metasiltiti.

In campagna è spesso evidente un layering bimodale, che corrisponde ad una foliazione tettonica, In prossimità del contatto tettonica che sovrappone l'Unità della Barbagia a quella di Meana sardo si osservano fasce milonitiche ampie alcune decine di metri, con presenza di nastri di quarzocche. in sezione sottile, mostrano una orientazione prefereniale dei singoli cristalli, Cambriano-?Ordoviciano

**Questa formazione rappresenta il substrato di tutte le turbine tranne la SE\_03.**

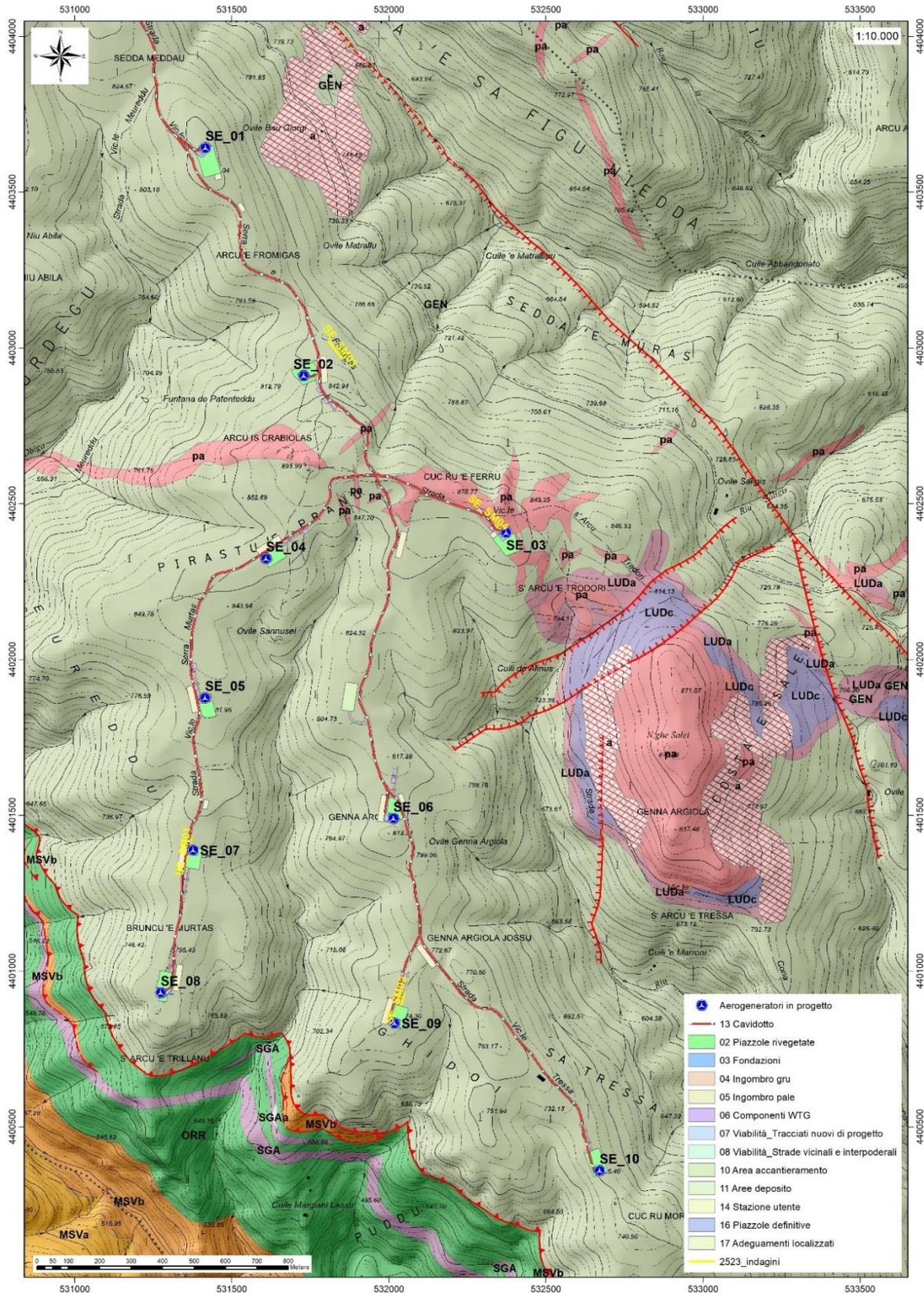


Figura 12 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

## 7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La forma prevalentemente pianeggiante di alcuni rilievi presenti nei pressi dell'area di studio sulle litologie paleozoiche è il risultato della graduale demolizione del rilievo ad opera degli agenti erosivi, avvenuta in diverse fasi temporali, che ha portato alla formazione di una estesa superficie strutturale nota con il nome di "penepiano ercinico" sulle litologie paleozoiche,

I successivi fenomeni di sollevamento tettonico, imputabili all'orogenesi alpina, hanno ridefinito la morfologia del paesaggio operando un ringiovanimento del rilievo. La superficie strutturale paleozoica si è quindi trovata ad una quota maggiore,

Questo ha innescato una nuova azione geomorfogenetica ad opera degli agenti atmosferici (acqua, vento in primis) che hanno rimodellato l'altopiano così come lo conosciamo, ovvero solcato da profonde incisioni vallive che riprendono le linee di fratturazione tettoniche, che isolano il settore montano distinguendolo nettamente dalle aree pianeggianti circostanti,

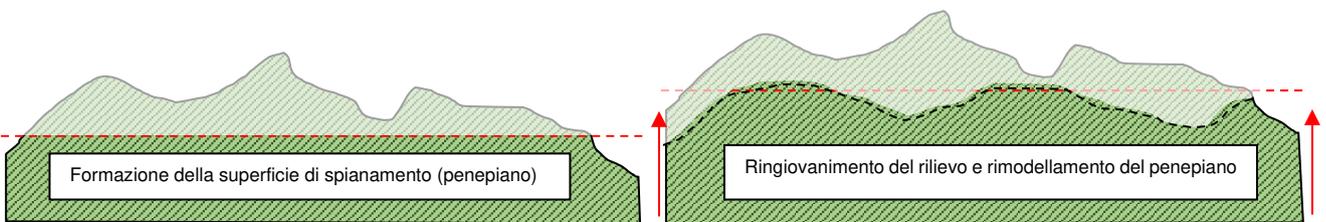


Figura 13 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

I prodotti di erosione sia della prima fase che della seconda e attuale vengono trasportati dall'acqua e dal vento e si depositano in relazione alla loro dimensione e all'energia di trasporto delle acque lungo le pendici dei versanti e nelle valli andando a costituire le coperture sedimentarie. Le morfologie osservabili in quest'area sono strettamente connesse alle caratteristiche di messa in posto delle litologie e dalle caratteristiche fisico-chimiche delle litologie presenti e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti,

### 7.1. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

La geomorfologia dell'area vasta è caratterizzata dalla presenza di una estesa superficie di spianamento (penepiano paleozoico) ampiamente incisa da valli profonde e incassate. La competenza degli orizzonti filladici e metarenacei consente di avere parte anche molto acclivi in valli profondamente incassate come, ad esempio, quella del Flumendosa. Questa morfologia, che interessava larga parte della Sardegna meridionale, costituisce la base di partenza alla successiva evoluzione dell'area. Rappresenta la testimonianza di un'importante fase erosiva, verificatesi al livello del mare e successivamente sollevata da movimenti tettonici.

I tratti geomorfologici del settore sud est di studio sono dati da estesi rilievi collinari del basamento paleozoico, incisi dai corsi d'acqua principali e dai loro affluenti. Il basamento paleozoico che affiora nell'area di studio appare inciso da un reticolo idrografico impostato sui principali lineamenti strutturali, tale aspetto è fortemente connesso con l'evoluzione tettonica dell'intero settore .

Le superfici morfologiche principali sono rappresentate da modesti rilievi sub arrotondati e dai resti di un altipiano profondamente dissecato dai processi erosivi lineari, L'originale superficie di spianamento è conservata solo per alcuni tratti mentre nella maggior parte dell'area è riconoscibile solo da rilievi di uguale altezza, I rilievi principali hanno altezze intorno agli 800-900 metri (B.cu 'e Murtas 795,49m, Genna Argiola Jossu, 772,67m; Genna Argiola pressi N.ghe Salei, 837,48; N.ghe Salei 876,98m; Cuc.ru 'e Ferru, 875,77m).

Il reticolo idrografico dell'area di studio mostra valli quasi sempre incassate, con prevalente andamento NW-SE. Alcuni corsi d'acqua presentano un caratteristico andamento a meandri ereditati nel basamento paleozoico per la sovrapposizione a seguito dell'asportazione delle coperture sedimentarie terziarie o, in qualche caso, influenzati dalla litologia, I versanti vallivi modellati negli scisti paleozoici sono localmente asimmetrici.



Figura 14 Morfologia del paesaggio nell'area di progetto (in rosso tratteggiato il livello della superficie di erosione post ercinica (penepiano)

## 7.2. DEFINIZIONE DELL'AREA GEOMORFOLOGICAMENTE SIGNIFICATIVA

L'area geomorfologicamente significativa per le azioni di progetto è quell'area in cui si esplicano tutti i processi geomorfici, il cui effetto può generare interazioni con le dinamiche ambientali,

Pertanto, la stessa, nello specifico, si individua nei versanti e nei sub-bacini idrografici presenti che interferiscono con l'opera, La predisposizione naturale di un territorio a fenomeni di instabilità legata alle dinamiche geomorfologiche deriva in generale dall'interazione di diversi fattori come natura geologica dei terreni, loro assetto sia deposizionale che geostrutturale, circolazione delle acque superficiali e sotterranee con la morfologia, cioè la geometria del territorio, L'area oggetto di intervento, in base delle caratteristiche suddette **non presenta allo stato attuale evidenze di dissesto di natura geologico-geomorfologica in atto**, mentre, potenziali fenomeni di dissesto potrebbero presentarsi con la naturale evoluzione del pendio,

## 8. INQUADRAMENTO SISMICO

La sismicità indica la frequenza e la forza con cui si manifestano i terremoti, ed è una caratteristica fisica del territorio. Sulla base delle conoscenze relative alla frequenza e all'energia associate ai terremoti che caratterizzano un territorio, si attribuisce un valore di probabilità al verificarsi di un evento sismico di una data magnitudo in un certo intervallo di tempo, possiamo definirne la pericolosità sismica. La pericolosità sismica sarà tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità di intervallo di tempo considerato.

Le conseguenze di un terremoto dipendono anche dalle caratteristiche di resistenza delle costruzioni alle azioni di una scossa sismica. La predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata si definisce vulnerabilità. Quanto più un edificio è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e modalità di costruzione, scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze.

Infine, la maggiore o minore presenza di beni esposti al rischio, la possibilità, cioè di subire un danno economico, ai beni culturali, la perdita di vite umane, è definita esposizione.

Il rischio sismico, determinato dalla combinazione della pericolosità, dalla vulnerabilità e dall'esposizione, è la misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti).

Per quanto concerne la sismicità, ai sensi della normativa di settore citata in precedenza, il territorio comunale di **Seui** ricade in Zona 4 a bassa pericolosità, vengono indicati i parametri sismici da utilizzare nelle verifiche secondo quanto previsto dalle NTC 2018.

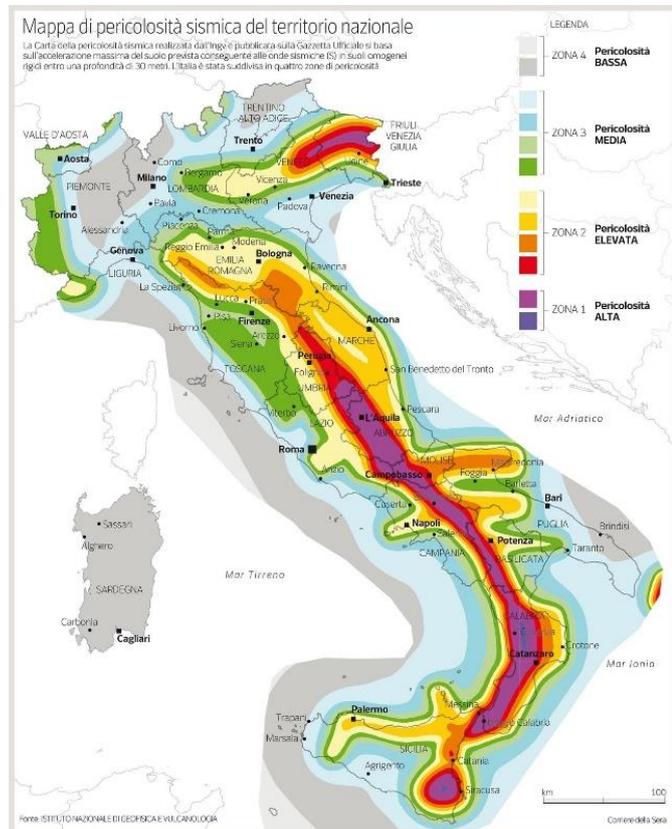


Figura 15 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale

### 8.1. AZIONE SISMICA

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.

Dalla normativa vigente NTC2018 si evince che la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4. inoltre, in alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^*$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.<sup>2</sup>

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  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.

### 8.2. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La tipologia di costruzioni previste in progetto (NTC2018 - par.2.4) ha vita nominale  $\geq 50$  anni e appartiene alla classe d'uso IV.

---

<sup>2</sup> Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  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.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Figura 16 Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II (Figura 5.3). Nel Caso specifico  $C_U = 2$ .

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

Tabella 1 Valori di coefficiente d'uso  $C_U$

Il valore del periodo di riferimento è  $V_r = 100$

### 8.3. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA

Nel caso di pendii con inclinazione maggiore di  $15^\circ$  e altezza maggiore di 30 m, l'azione sismica di progetto deve essere opportunamente incrementata o attraverso un coefficiente di amplificazione topografica o in base ai risultati di una specifica analisi bidimensionale della risposta sismica locale, con la quale si valutano anche gli effetti di amplificazione stratigrafica

Per le aree di installazione delle turbine la categoria topografica è la T1 a cui corrisponde un valore del fattore di amplificazione pari a 1.0.

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 $i > 30^\circ$

Tabella 2 Categorie topografiche (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.II)

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Tabella 3 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.V)

Al fine di definire l'azione sismica di progetto, basata sull'identificazione della categoria del sottosuolo di riferimento, si è voluto definire il parametro fondamentale per la "classificazione sismica dei terreni", e quindi per la determinazione della categoria, corrispondente alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VS30, valutata entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna ma nel caso specifico relativa alla quota di imposta delle fondazioni.

Per tale scopo, in accordo agli approcci semplificati proposti dal D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.II (Figura 5.4) la determinazione del parametro delle onde di taglio VS30 è stato stimato mediante misura delle velocità sismiche attraverso l'esecuzione di quattro prospezioni geofisiche MASW di seguito descritte in dettaglio.

## 9. INDAGINI GEOGNOSTICHE

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del modello geologico di riferimento di sito funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap, 6,2,1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

- Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
- Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni, piazzole, trincee e rilevati stradali, stabilità dei pendii).

La metodica utilizzata è quella indiretta in sito, ovvero l'indagine geofisica, questa costituisce parte integrante delle indagini geognostiche dirette e indirette legate alla caratterizzazione dei terreni di fondazione. In particolare, si pone come obiettivo la ricostruzione dell'assetto sismo-stratigrafico dei terreni sede di posa delle opere di fondazione nonché la classificazione del suolo di fondazione per le categorie semplificate indicate nel Decreto 17 gennaio 2018 - NTC 2018 aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

Sono stati eseguiti di n°2 **stendimenti di sismica** con tecnica **MASW** e n°4 **stendimenti di sismica a rifrazione in onde P**. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni. È stato inoltre eseguito il Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot, elettrodi /picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di tomografia elettrica e sismica. Sono stati infine elaborati i dati ottenuti tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

Stendimento	Metodologie	Orientamento	Geofoni	Interdistanza (m)	Lunghezza (m)
R1 (SE_SM01)	Rifrazione	NNO-SSE	24	3,0	72,0
R2 (SE_SM02)	Rifrazione	SO-NE	24	3,0	72,0
R3 (SE_SM03)	Rifrazione	NO-SE	24	3,0	72,0
R4 (SE_SM04)	Rifrazione	ONO-ESE	24	3,0	72,0
M1 (SE_SM01)	MASW	NNO-SSE	24	3,0	69,0
M4 (SE_SM04)	MASW	ONO-ESE	24	3,0	69,0

Tabella 4 Ubicazione degli stendimenti

### 9.1. INDAGINI SISMICHE: MASW

#### **Metodologia**

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

#### **Moto del segnale sismico**

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado,

#### **Onde di Rayleigh – "R"**

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

#### **Analisi del segnale con tecnica MASW**

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro,

#### **Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno, I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

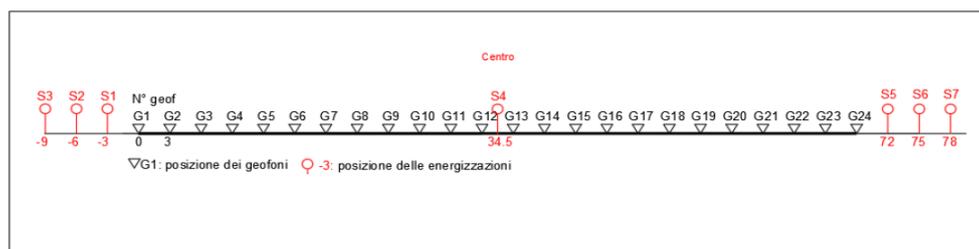
### Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda, Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

#### 9.1.1. SPECIFICHE DELLE INDAGINI SVOLTE

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 2,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v, schema), oltre che una battuta al centro della base sismica.

Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M,A,S,W, è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1,00 e 2,00 secondi.



### 9.1.2. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, ci siamo avvalsi di una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4,5 Hz. Per l'energizzazione è stata usata una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

#### 9.1.1. ELABORAZIONE DEI DATI

Il metodo interpretativo della M,A,S,W, si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

L'elaborazione dei dati che ha prodotto il profilo di velocità è stata realizzata grazie all'impiego del software ZondST2D.

#### 9.1.2. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D,M, 19/01,2018 (NTC 2018)

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (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 le fondazioni superficiali, la profondità del substrato H è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali, Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera, Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3,2,II, Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3,2,3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

**Tabella 3.2.II. Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)**

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<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>B</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>
<b>C</b>	<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>
<b>D</b>	<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>
<b>E</b>	<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>

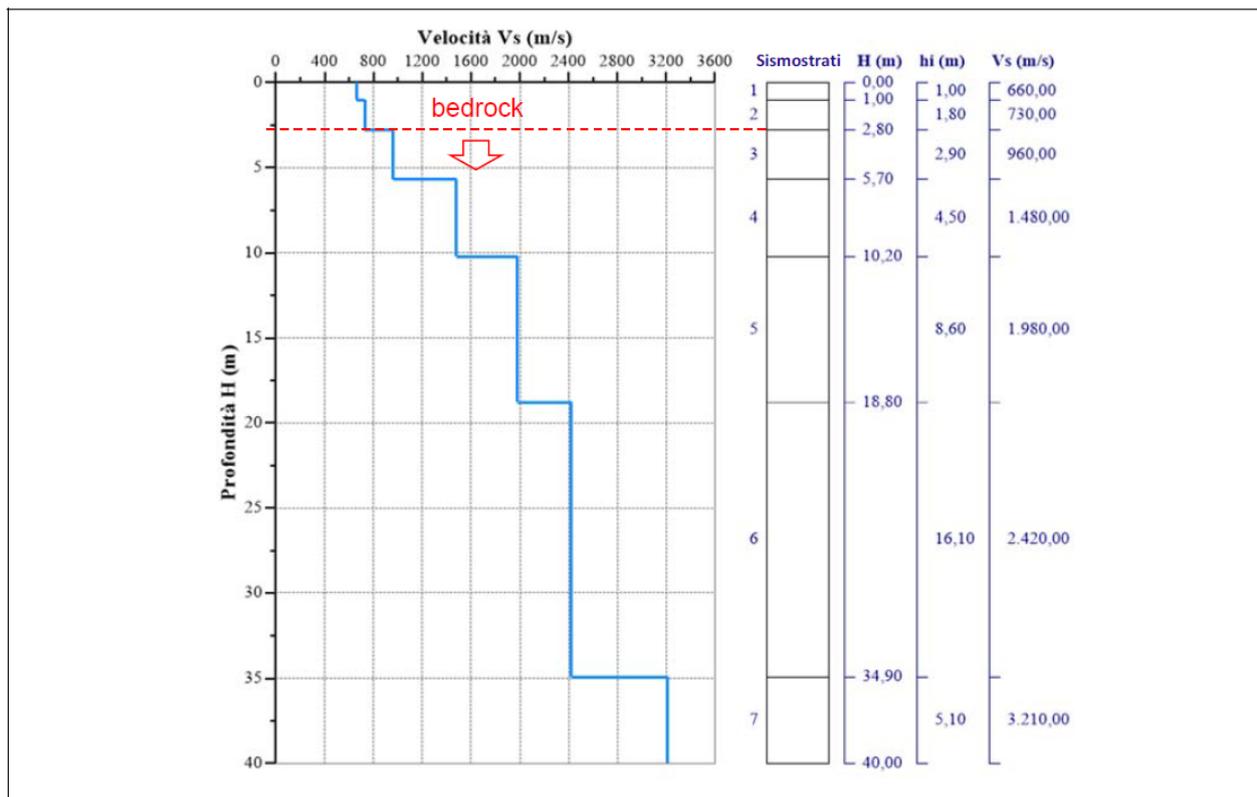
## 9.2. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SM01-TURBINA SE\_05

### 9.2.1. SE\_SM01-SE\_05: MASW M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati, Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs,

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 - 1,0	1° sismostrato con Vs di <b>660 m/s</b> Terre estremamente addensate
1,0 - 2,8	2° sismostrato con Vs di <b>730 m/s</b> Terre estremamente addensate
2,8 - 5,7	3° sismostrato con Vs di <b>960 m/s</b> Substrato roccioso fratturato
5,7 - 10,2	4° sismostrato con Vs di <b>1480 m/s</b> Substrato roccioso fratturato
10,2 - 18,8	5° sismostrato con Vs di <b>1980 m/s</b> Substrato roccioso da fratturato a sano
18,8 - 34,9	6° sismostrato con Vs di <b>2420 m/s</b> Substrato roccioso sano
34,9 - 40,0	7° sismostrato con Vs di <b>3210 m/s</b> Substrato roccioso sano

**MASW M1-PROFILO Vs**



Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G <sub>0</sub>	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	1.320	660	0,33	2.089	252	785	2.089
2	1,0 - 2,8	terre	2.000	1.460	730	0,33	2.844	342	1.069	2.844
3	2,8 - 5,7	12%	2.100	1.920	960	0,33	5.158	619	1.932	5.158
4	5,7 - 10,2	12%	2.200	2.960	1480	0,33	12.847	1.542	4.815	12.847
5	10,2 - 18,8	15%	2.350	3.960	1980	0,33	24.566	3.685	9.209	24.566
6	18,8 - 34,9	22%	2.400	4.840	2420	0,33	37.482	8.246	14.053	37.482
7	34,9 - 40,0	25%	2.450	6.420	3210	0,33	67.324	16.831	25.243	67.324

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

Figura 17 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N<sub>SPT</sub>, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left( \frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

#### Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	660,00	1,00	1,00	0,00152
2	2,80	1,80	730,00	2,80	1,80	0,00247
3	5,70	2,90	960,00	5,70	2,90	
4	10,20	4,50	1480,00	10,20	4,50	
5	18,80	8,60	1980,00	18,80	8,60	
6	34,90	16,10	2420,00	30,00	11,20	
7	40,00	5,10	3210,00	0,00	0,00	

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

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

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

Vs,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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si evince come profondità del substrato **2,80 m** (Vs>800 m/s); la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 2,80 m di profondità dal p.c. è pari a Vs<sub>eq</sub>>800 m/s che dà luogo ad una categoria A, ossia:

**Categoria 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.

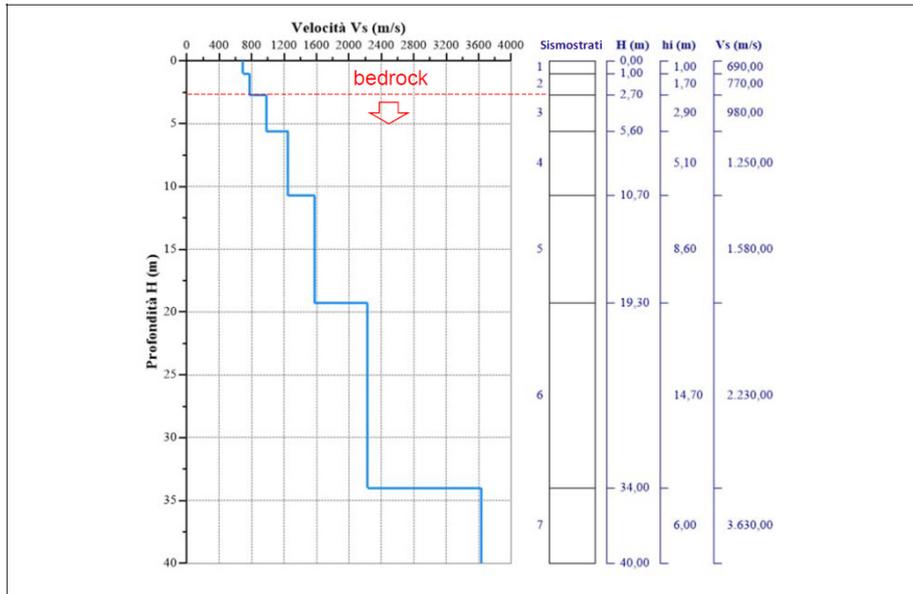
### 9.3. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SM04-TURBINA SE\_07

#### 9.3.1. SM04-SE\_02: MASW M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati, Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 - 1,0	1° sismostrato con Vs di 690 m/s Terre estremamente addensate
1,0 - 2,7	2° sismostrato con Vs di 770 m/s Terre estremamente addensate
2,7 - 5,6	3° sismostrato con Vs di 980 m/s Substrato roccioso fratturato
5,6 - 10,7	4° sismostrato con Vs di 1250 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
10,7 - 19,3	5° sismostrato con Vs di 1580 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
19,3 - 34,0	6° sismostrato con Vs di 2230 m/s Substrato roccioso sano
34,0 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 3630 m/s Substrato roccioso sano

MASW M2-PROFILO Vs



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

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

con:

*hi* spessore dell'*i*-esimo strato;

*Vs,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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **10,8 m** (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,8 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs,eq = 10,8/0,01501=719,63 m/s** che dà luogo ad una categoria B, ovvero:

**Categoria 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.

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	1.380	690	0,33	2.285	276	853	2.285
2	1,0 - 2,7	terre	2.000	1.540	770	0,33	3.158	381	1.187	3.158
3	2,7 - 5,6	12%	2.100	1.960	980	0,33	5.374	645	2.020	5.374
4	5,6 - 10,7	12%	2.200	2.500	1250	0,33	9.169	1.100	3.442	9.169
5	10,7 - 19,3	15%	2.350	3.160	1580	0,33	15.642	2.346	5.864	15.642
6	19,3 - 34,0	22%	2.400	4.460	2230	0,33	31.823	7.001	11.935	31.823
7	34,0 - 40,0	25%	2.450	7.260	3630	0,33	86.094	21.523	32.284	86.094

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

Figura 18 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N<sub>SPT</sub>, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6}\right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

#### Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	690,00	1,00	1,00	0,00145
2	2,70	1,70	770,00	2,70	1,70	0,00221
3	5,60	2,90	980,00	5,60	2,90	
4	10,70	5,10	1250,00	10,70	5,10	
5	19,30	8,60	1580,00	19,30	8,60	
6	34,00	14,70	2230,00	30,00	10,70	
7	40,00	6,00	3630,00	0,00	0,00	

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

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

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

V<sub>S,i</sub> 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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si evince come profondità del substrato **2,70 m** (Vs>800 m/s); la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 2,70 m di profondità dal p.c. è pari a V<sub>seq</sub>>800 m/s che dà luogo ad una categoria A, ossia:

**Categoria 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.

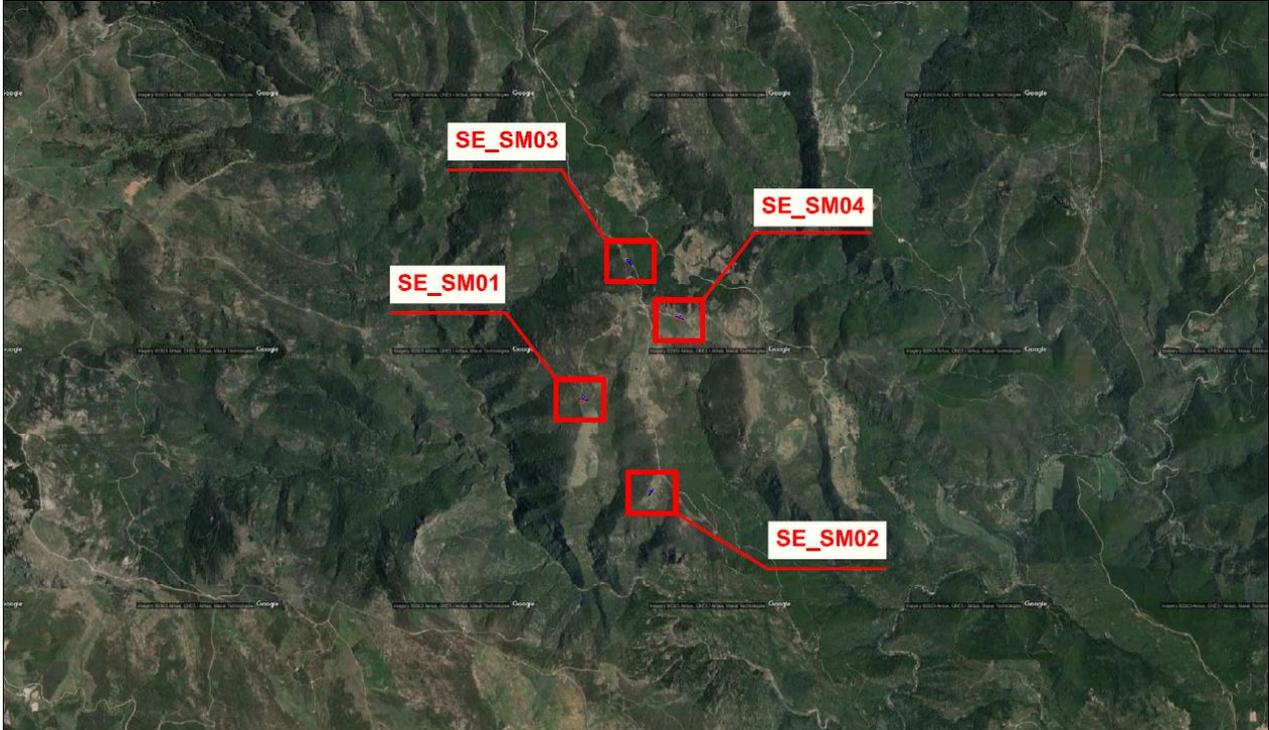
**Tavola 1. INQUADRAMENTO GENERALE AREE DI INDAGINE**

Progetto: Realizzazione di un Parco Eolico In agro di Seul (SU)

Scala: 1:40.000

**Legenda**

 AREE DI INDAGINE



## 10. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Attraverso le indagini con la tecnica MASW si evince la presenza di sismostrati con velocità  $V_s$  crescente con la profondità sino ad incontrare il bed rock con andamenti e spessori indicati nei precedenti paragrafi. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per i differenti siti di indagine, che si ricorda sarà anche funzione del piano di posa delle fondazioni è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	$V_{Seq}$ [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1 (SE_SM01)	2,80	>800	A
M4 (SE_SM02)	2,70	<800	B

Il substrato roccioso ( $V_s > 800$  m/s) si rileva profondità variabile tra 10,40m e 10,80m che dà luogo alla categoria A come specificato nello schema sottostante.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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>

In base ai dati di localizzazione, tipologia dell'opera e classe d'uso si quindi sono calcolati i parametri sismici relativi alle verifiche SLO, SLD, SLV e SLC:

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>+</sup> [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.610	0.273
Danno (SLD)	35	0.020	2.628	0.280
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.045	2.855	0.332
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.055	2.930	0.356
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

dove:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (SLO)

Stato Limite di Danno (SLD)

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

a<sub>g</sub> accelerazione orizzontale massima al sito

F<sub>o</sub> valore massimo del fattore di ampl. dello spettro in accelerazione orizzontale

T<sub>c</sub><sup>+</sup> periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc. orizzontale

## 11. CONCLUSIONI

Il territorio comunale di **Seui** ricade in **Zona 4 a bassa pericolosità sismica**.

Le indagini condotte hanno permesso di definire le condizioni dei terreni secondo quanto richiesto dalle NTC 2018 in relazione alla pericolosità sismica di base.

I terreni investigati che appartengono Formazione delle filladi del Gennargentu, ricadono nella categoria di sottosuolo **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.**

**I terreni appartenenti alla Formazione dei Porfidi Auct.** ricadono invece nella categoria di sottosuolo **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.**