

PARCO EOLICO "ALIENTU"

COMUNE DI SEUI
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Elaborato: <i>ELABORAZIONI SIA</i> Relazione geologica	Codice elaborato: SE_SIA_A014
	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	6
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO	7
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	7
5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA.....	15
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	19
6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	19
6.2. Depositi Quaternari dell'area continentale	23
6.3. Successione vulcano-sedimentaria tardo-paleozoica	23
6.4. Unità tettonica di Meana Sardo.....	24
(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria.....	24
(ORR) Formazione di Orroledu.....	25
(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.).....	25
6.5. Unità Tettonica della Barbagia.....	25
7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI.....	28
8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO	28
9. CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	30
10. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	36
10.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio.....	36
10.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	37
11. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	39
11.1. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.....	39
11.2. Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee	40
11.3. Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi.....	45
12. INQUADRAMENTO CLIMATICO	46
12.1. Precipitazioni	47

12.2.	Temperature	48
12.3.	Stima dell'Evapotraspirazione	49
13.	INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	56
14.	USO DEL SUOLO	58
15.	ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI.....	60
15.1.	Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P,A,I,)	60
15.2.	Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I,F,F,I,.....	62
15.3.	Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P,S,F,F,)	62
15.4.	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGR).....	65
15.5.	Art.30ter NTA PAI	67
16.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	69
16.1.	Generalità sul metodo sismico a rifrazione.....	70
16.1.1.	Caratteristiche delle stese sismiche	71
16.1.2.	Caratteristiche della Strumentazione impiegata	71
16.1.3.	Elaborazione dei dati	71
16.2.	Indagini sismiche: MASW	72
16.2.1.	Specifiche delle indagini svolte.....	73
16.2.2.	Caratteristiche della strumentazione impiegata	74
16.2.1.	Elaborazione dei dati	74
16.2.2.	Categorie di sottosuolo - D,M, 19,01,2018 (NTC 2018)	74
16.3.	Risultati delle indagini del sito SM01-TURBINA SE_05	76
16.3.1.	SE_SM01-SE_05: MASW M1	76
16.3.2.	R1-SM01-SE_02: Sismica a rifrazione in onde P	78
16.4.	RISULTATI DELLE INDAGINI SITO SM02-TURBINA SE_09	79
16.4.1.	R2-SM02-SE_09: Sismica a rifrazione in onde P	79
16.5.	RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SM03-TURBINA SE_02	80
16.5.1.	M3-SMT03-IS04: Sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica	80
16.6.	Risultati delle indagini del sito SM04-TURBINA SE_07	82

16.6.1.	SM04-SE_02: MASW M2	82
16.6.2.	R4-SM04-SE_03: Sismica a rifrazione in onde P	84
16.7.	Indicazioni per la determinazioni dei parametri geomeccanici	85
17.	MODELLAZIONE GEOLOGICA	89
17.1.	Modello Geologico di sito	89
17.1.1.	Modello Geologico 01	89
17.1.2.	Modello Geologico 02	90
17.2.	Viabilità di impianto e Sottostazione	91
18.	CONCLUSIONI: CRITICITÀ GEOLOGICHE E SUGGERIMENTI OPERATIVI,	93

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Localizzazione del progetto	8
Figura 2	Panoramica dell'area di studio: pressi a) SE_02; b) SE_05; c) SE_08	9
Figura 3	Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto	10
Figura 4	Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000	11
Figura 5	Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore Est - impianto	12
Figura 6	Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore ovest – tracciato del cavidotto	13
Figura 7	Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore sud-ovest – tracciato del cavidotto e sottostazione	14
Figura 8	Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 6,8MW	16
Figura 9	– Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1: 100,000 – Foglio 518 "Isili", Nel riquadro l'area di progetto	21
Figura 10	– Schema Tettonico stratigrafico dell'area di studio (tratto da Fg,218 "Isili", 1976	21
Figura 11	Depositi di versante, ciottoli di filladi e metarenarie in matrice sabbioso-limoso	23
Figura 12	Formazione del Monte Santa Vittoria (MSV)	24
Figura 13	Affioramento della Formazione delle Filladi del Gennargentu e particolare della struttura della roccia metamorfica	26
Figura 14	Stralcio carta geologica (Fonte RAS)	27
Figura 15	evoluzione tettonica del basamento ercinico della zona a falde, (da CONTI et alii, 1999 modificato)	28
Figura 16	Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione	29
Figura 17	Tipologia di frana: 1, Crollo; 2, Ribaltamento; 3, Scivolamento	29
Figura 18	Esempio di disposizione a franapoggio nelle filladi, sono evidenti i piani che identificano le famiglie di giunti	30
Figura 19	- Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia	31
Figura 20	Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso	32
Figura 21	Valori della costante mi per diversi tipi di roccia	32
Figura 22	Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia,	34
Figura 23	Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti per la formazione delle filladi del Gennargentu	35

Figura 24 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)	36
Figura 25 Morfologia del paesaggio nell'area di progetto (in rosso tratteggiato il livello della superficie di erosione post ercinica (penepiano)	37
Figura 26 Morfologia del paesaggio sulle filladi nei pressi della SE_04.....	38
Figura 27 Morfologia del paesaggio sui porfidi nei pressi della SE_03.....	38
Figura 28 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)	41
Figura 30 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo	42
Figura 31 Carta della permeabilità del substrato (fonte RAS).....	44
Figura 32 Andamento della pluviometria mensile (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Seui e Ussassai nel periodo 2008-2018.....	48
Figura 33 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Seui e Arqueri ((anni 1981-2010).....	49
Figura 34 Bilancio idro-meteorologico per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 (espresso in mm),.....	50
Figura 35 Bilancio idro-meteorologico per il periodo aprile 2021 – settembre 2021 (espresso in mm),	51
Figura 36 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata relativa nell'anno 2017 (mese giugno),	52
Figura 37 Ventosità media annuale per la stazione meteorologica di Cagliari relativa all'anno 2021,	53
Figura 38 Umidità relativa per la stazione di Cagliari, per l'anno 2021,	54
Figura 39 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Seui.....	54
Figura 40 Climogramma relativo alla regione di Seui,.....	55
Figura 41 Carta dei Suoli (Fonte RAS)	57
Figura 42 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS),	59
Figura 43 Pericolosità idraulica e geomorfologica PAI (RAS, agg,2022)	61
Figura 44 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento.....	62
Figura 45 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF.....	64
Figura 46 Stralcio perimetrazione PGRA aggiornata al 2021,.....	66
Figura 47 Interferenze dei corsi d'acqua con le opere di progetto (i numeri definiscono l'ordine di Strahler)	68
Figura 48 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 m	71
Figura 49 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	77
Figura 50 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	83

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 Geologica**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC), con l'obiettivo di evidenziare, le caratteristiche geologico-morfologiche e il comportamento fisico-meccanico dei terreni interessati dalle opere in progetto attraverso:

- Analisi dell'assetto geologico e geomorfologico e definizione del modello geologico di sito;
- La caratterizzazione geotecnica preliminare del modello geologico di sito;
- L'analisi dell'interazione opera-terreno nel volume significativo in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta, in relazione alla generica tipologia di fondazioni previste e le potenziali interazioni con le dinamiche di circolazione sotterranea eventualmente esistenti.
- La valutazione preliminare della portanza dei terreni e l'indicazione delle indagini da realizzarsi in fase esecutiva necessarie alla determinazione dei parametri geotecnici specifici per ogni sito.

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, dedicato 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'inquadratura cartografica 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",

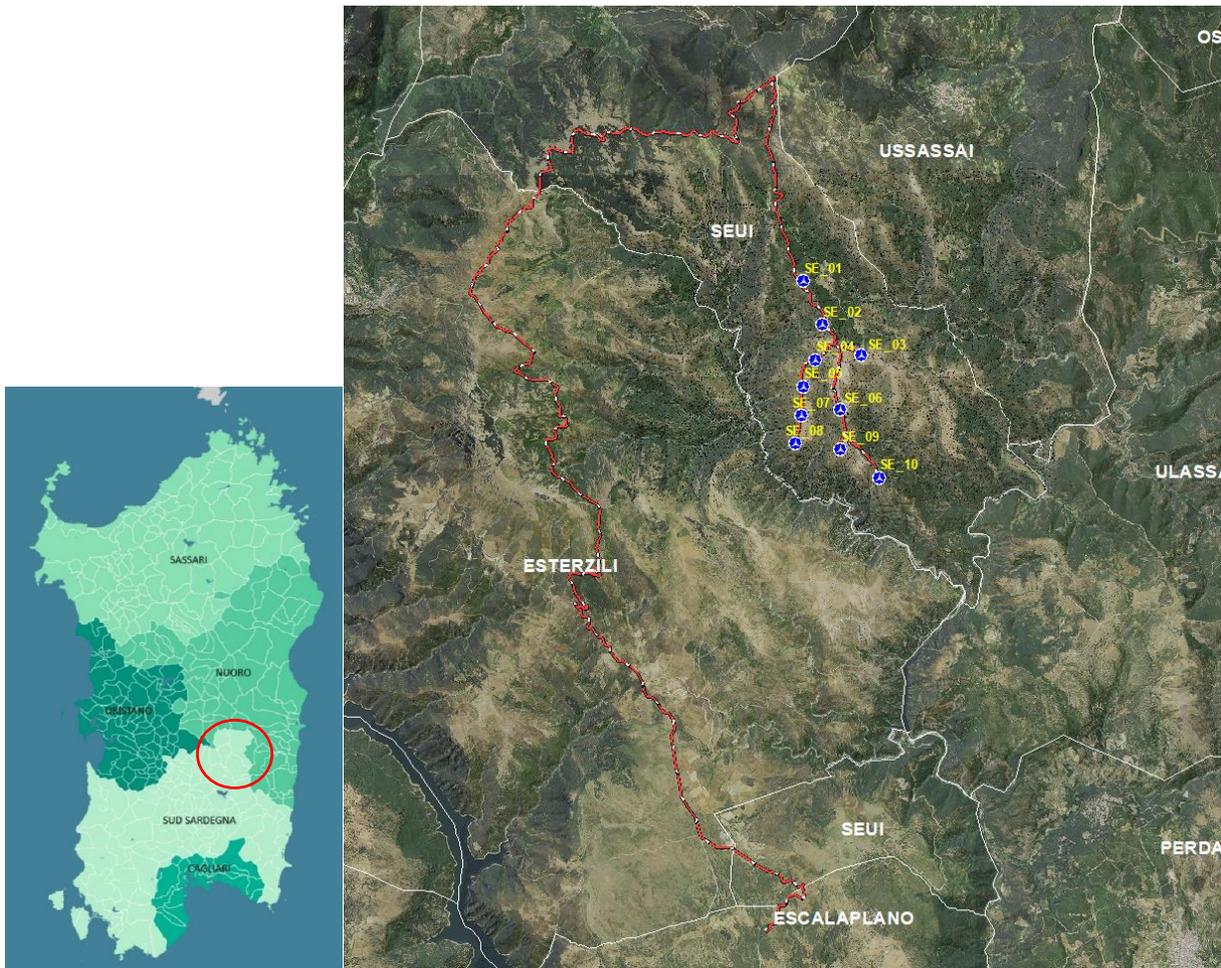


Figura 1 Localizzazione del progetto



Figura 2 Panoramica dell'area di studio: pressi a) SE_02; b) SE_05; c) SE_08

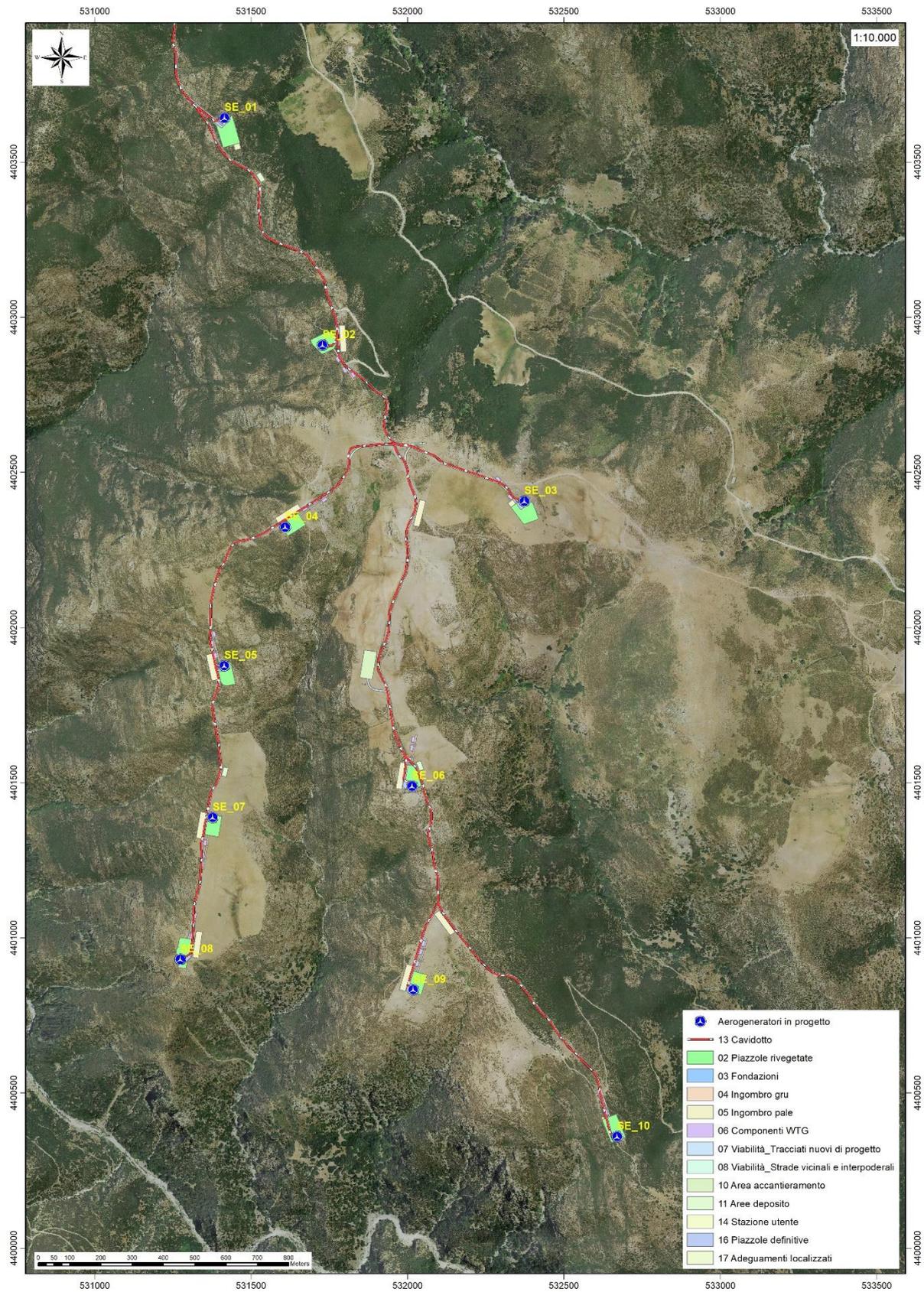


Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

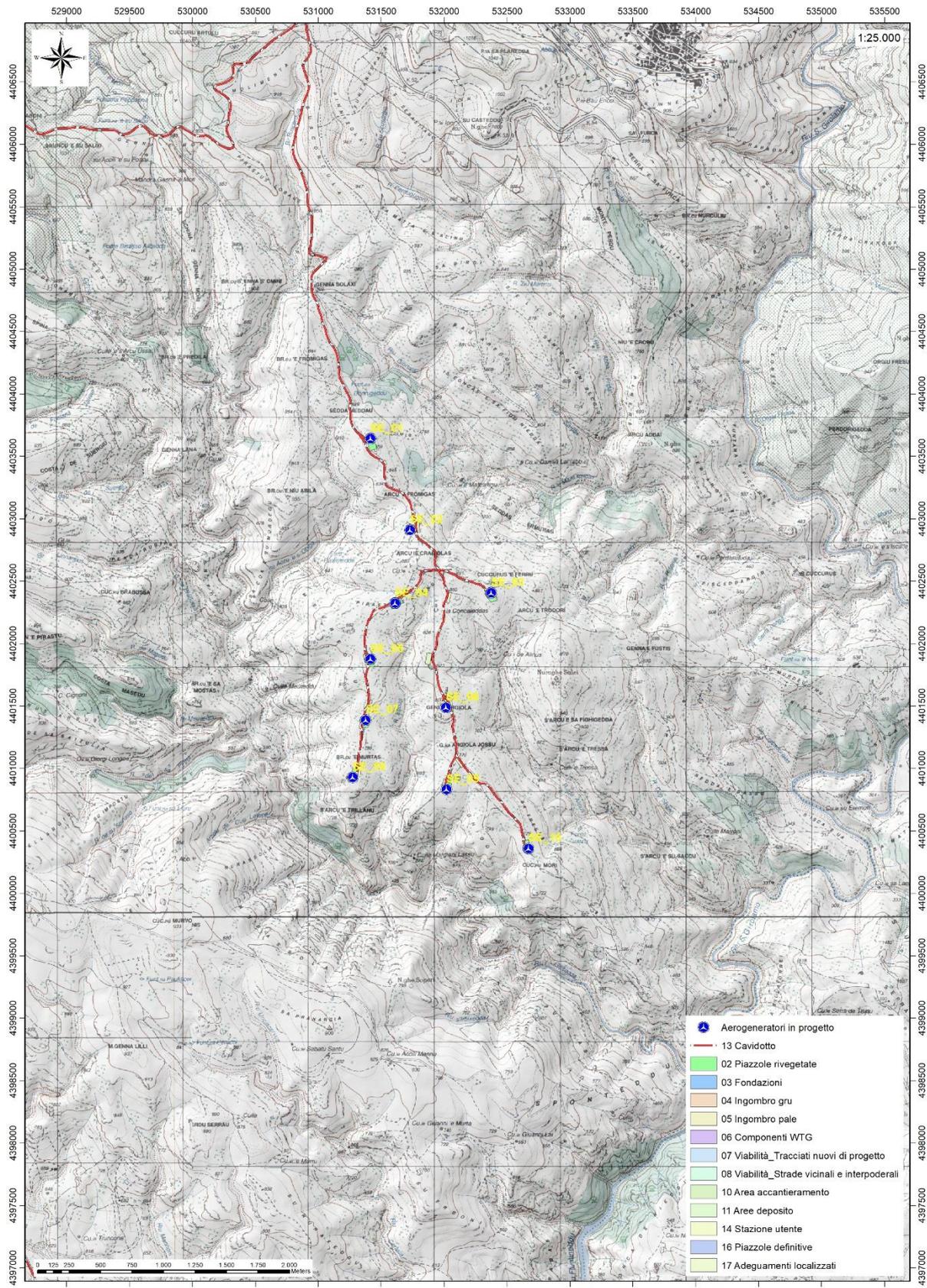


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

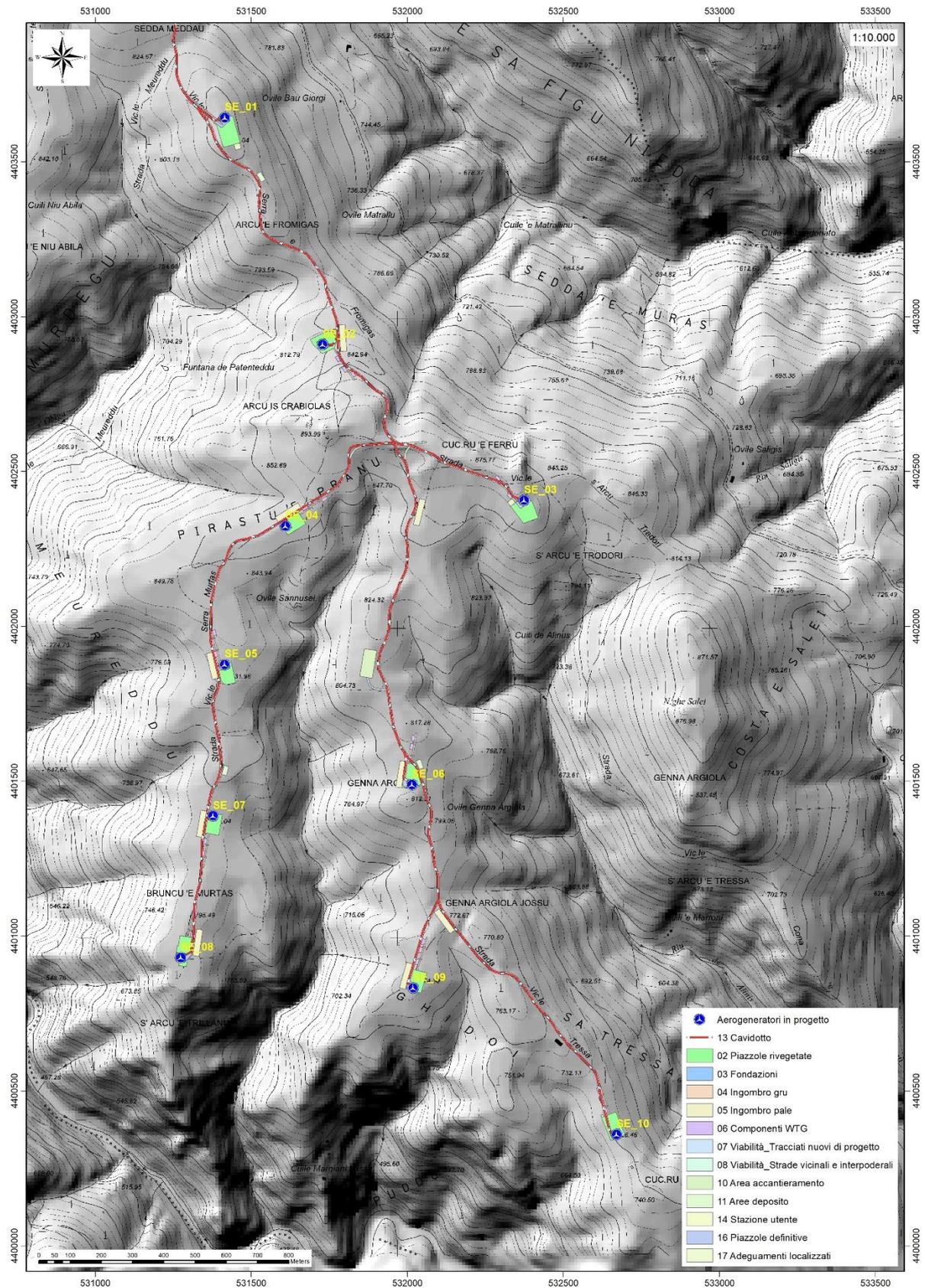


Figura 5 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore Est - impianto

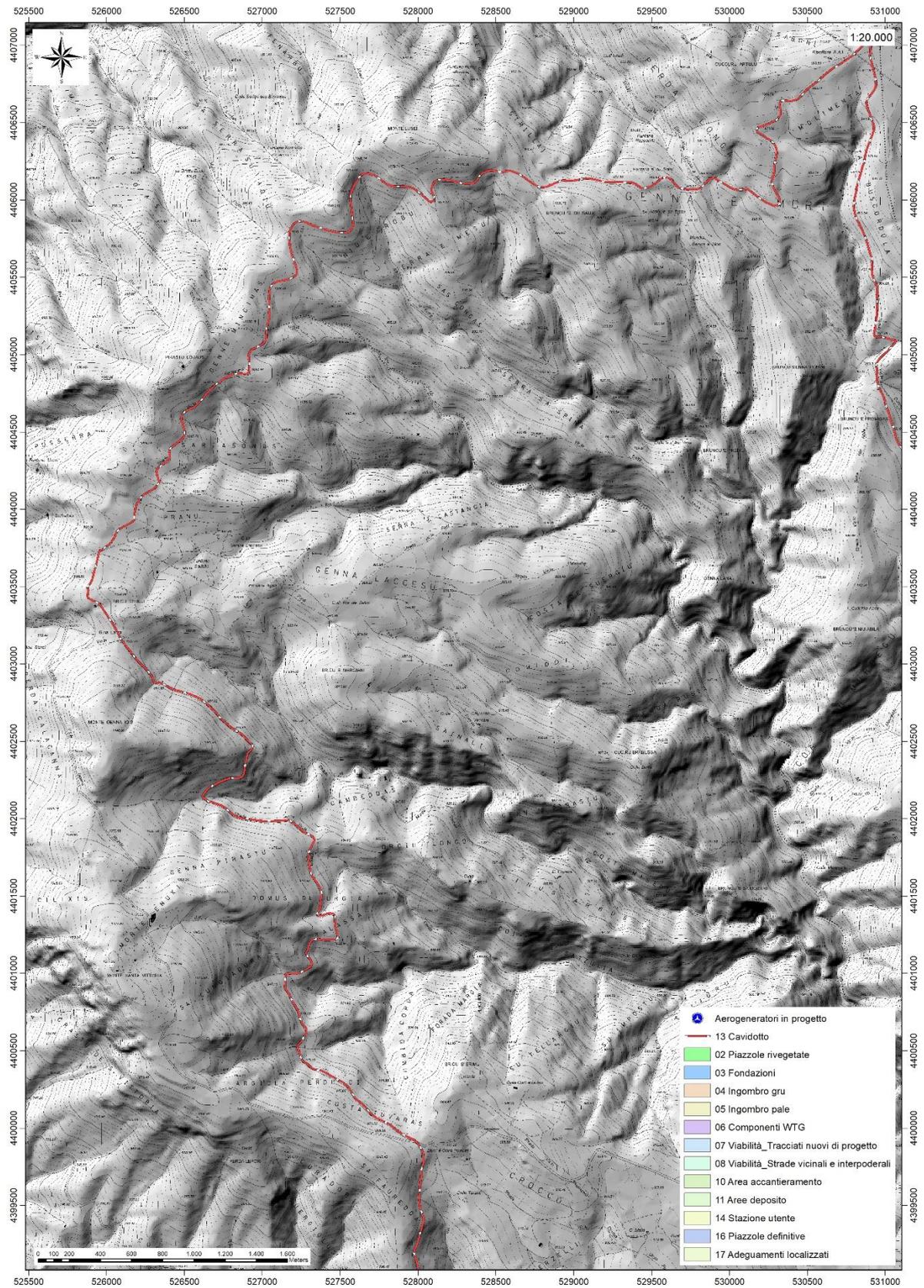


Figura 6 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore ovest – tracciato del cavidotto

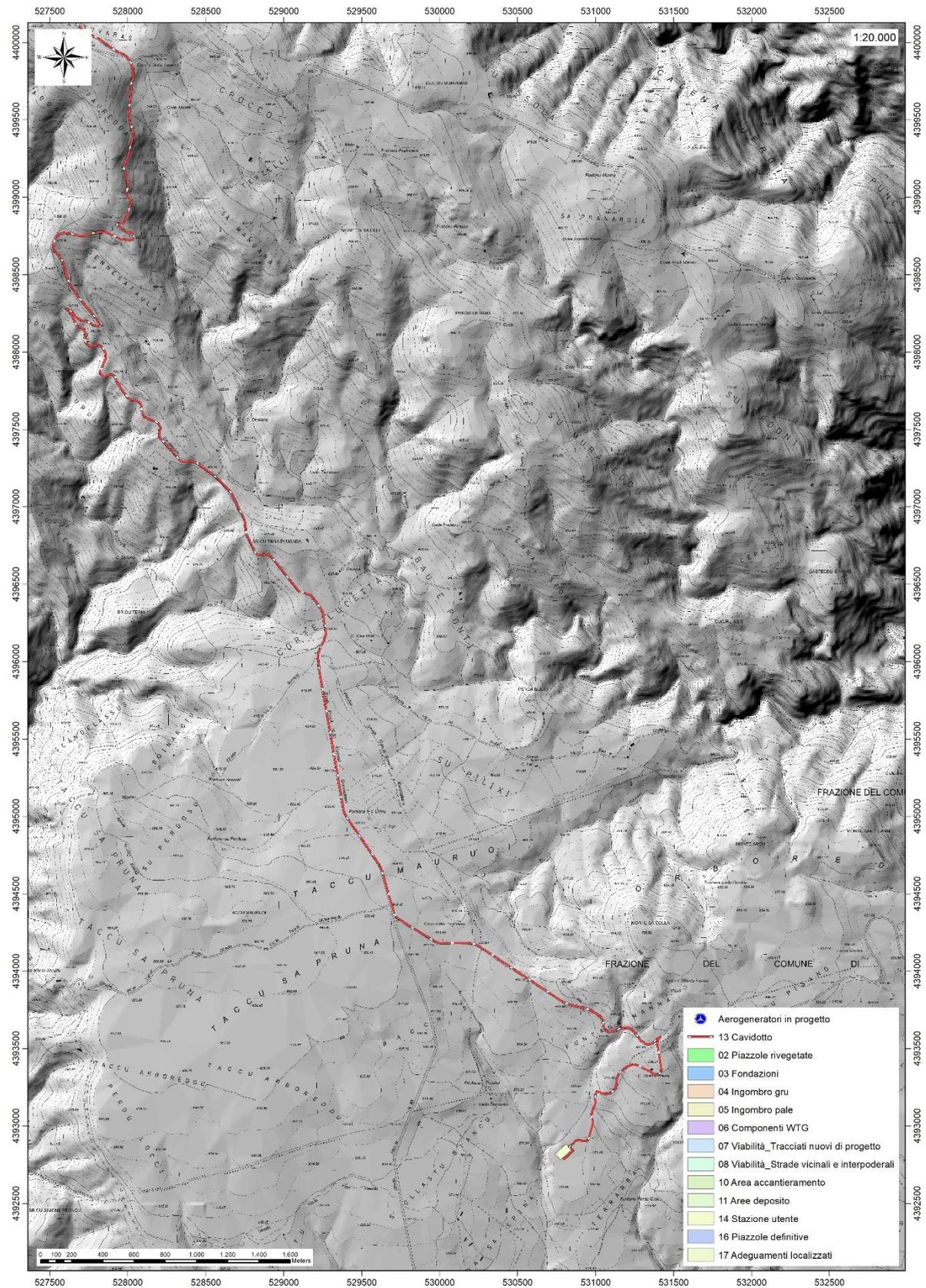


Figura 7 Inquadramento topografico su C,T,R, RAS scala 1:10000, settore sud-ovest – tracciato del cavidotto e sottostazione

5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

L'impianto sarà costituito dai 10 aerogeneratori da 6,8 MW ciascuno, L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà convogliata, attraverso una rete a 30 kV realizzata con cavo interrato sino alla sottostazione 30/150 kW sita nel territorio comunale di Escalaplano e poi immessa sulla rete a 150 kV del Gestore della Rete mediante la stazione elettrica di nuova installazione illustrata nel progetto delle opere di rete del progetto eolico "Amistade".

Il Parco eolico "Alientu" si sviluppa su un paesaggio di tipo collinare e i settori di ubicazione degli aerogeneratori presentano valori di pendenza ricadenti in classe 0-15%, il contesto è caratterizzato dalla presenza di appezzamenti di terreno di grandi dimensioni adibiti prevalentemente a pascolo. L'energia prodotta dalla centrale eolica verrà fornita alla rete elettrica nazionale mediante immessa sulla rete a 150 kV del Gestore della Rete mediante la stazione elettrica di nuova installazione illustrata nel progetto delle opere di rete del progetto eolico "Amistade".

La sottostazione utente è collocata nel comune di Escalaplano raggiungibile dalla SP53 attraverso la viabilità principale locale, Il collegamento avverrà attraverso la costruzione di un raccordo di lunghezza pari a circa 36000 m in cavo MT interrato. Il collegamento elettrico tra gli aerogeneratori e la Sottostazione utente avverrà mediante un elettrodotto interrato che seguirà in gran parte il tracciato delle strade esistenti e in piccola parte di quello delle strade di nuova realizzazione necessarie per l'accesso ad alcune piazzole. Il trasporto degli aerogeneratori dal porto di sbarco al sito di installazione seguirà le viabilità statale, provinciale e comunale asfaltata, all'interno del sito produttivo per il raggiungimento delle piazzole verranno utilizzate strade comunali e vicinali sterrate esistenti che saranno preventivamente adeguate, in alcuni tratti verranno realizzati nuovi brevi tratti di pista per l'accesso alle piazzole di montaggio.

Le coordinate relative ai punti di installazione degli aerogeneratori sono riportate nella tabella di seguito:

WTG	Italy GAUSS-BOAGA		Geografiche WGS84		QUOTA base torre m s.l.m.	ALTEZZA HUB torre m
	EST	NORD	EST	NORD		
SE_01	1531446,8843	4403649,6585	9°22'0,98"	39°46'55,70"	855,80	119
SE_02	1531760,1164	4402917,2809	9°22'14,02"	39°46'31,91"	835,00	119
SE_03	1532404,957	4402414,0743	9°22'41,04"	39°46'15,50"	864,00	119
SE_04	1531640,4897	4402330,9761	9°22'8,89"	39°46'12,91"	856,00	119
SE_05	1531445,8862	4401883,7954	9°22'0,64"	39°45'58,43"	832,00	119
SE_06	1532045,764	4401496,2774	9°22'25,78"	39°45'45,78"	807,00	119
SE_07	1531408,1381	4401395,0591	9°21'58,97"	39°45'42,58"	794,50	119
SE_08	1531305,0632	4400937,569	9°21'54,55"	39°45'27,76"	795,00	119
SE_09	1532049,0444	4400839,4208	9°22'25,80"	39°45'24,47"	773,50	119
SE_10	1532701,7622	4400366,3425	9°22'53,15"	39°45'9,04"	725,20	119

Gli aerogeneratori individuati per la realizzazione del parco eolico hanno potenza nominale di 6800 kW (Potenza massima di esercizio in progetto 6,600 kW) e sono posti in cima a torri tronco coniche in acciaio con un'altezza massima fuori terra, misurata al mozzo, di 119 m; il generatore è azionato da elica tripala con diametro di 162 m (vedi tav. SE_PC_T009).

L'aerogeneratore è essenzialmente costituito da:

- rotore a tre pale che capta l'energia del vento, avente il mozzo collegato ad una navicella in cui avviene il processo di trasformazione dell'energia cinetica del vento in energia elettrica;
- torre o sostegno che ha il compito di sostenere l'apparato di produzione (navicella+rotore) alla quota individuata come ideale attraverso le simulazioni di produttività.

L'aerogeneratore ipotizzato per le valutazioni progettuali è stato scelto tra quelli maggiormente efficienti e sofisticati presenti attualmente sul mercato, tuttavia in fase di installazione si potranno avere vere variazioni tipologiche con macchine simili per caratteristiche dimensionali e tecnico-produttive, ferme restando le caratteristiche dimensionali massime dell'aerogeneratore.

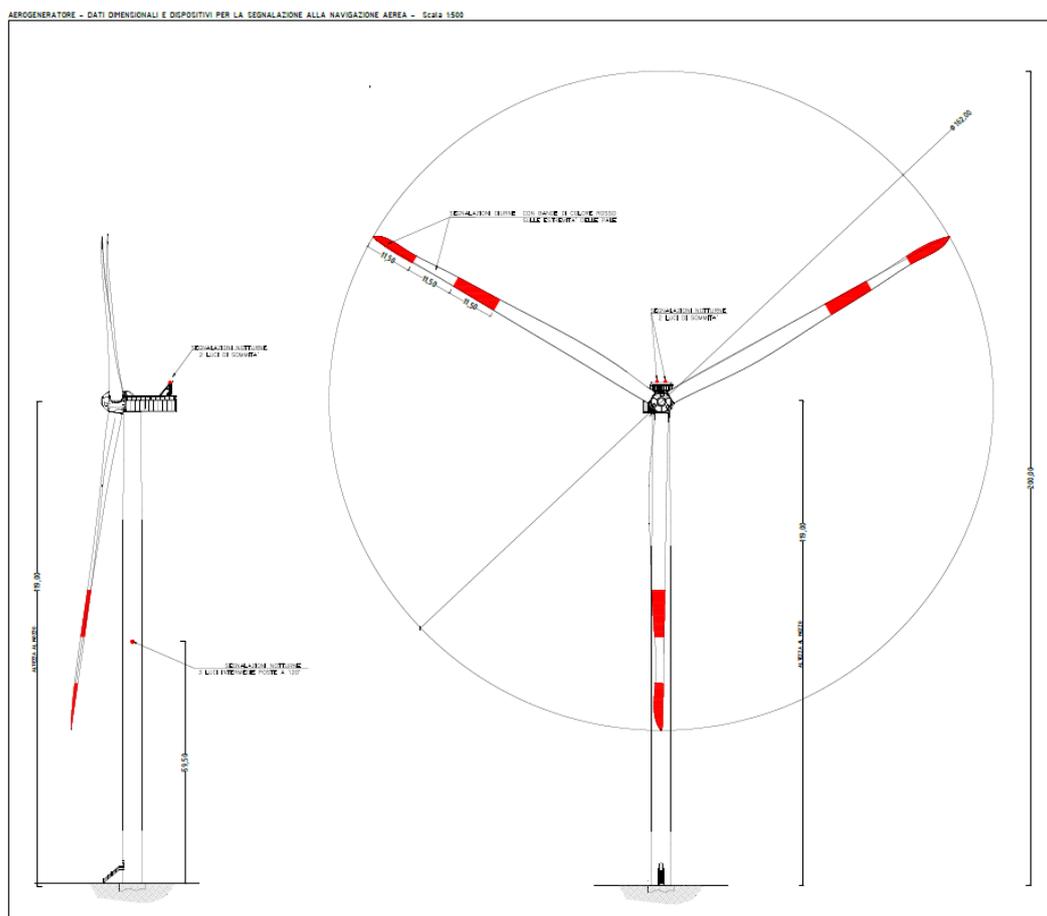


Figura 8 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 6,8MW

DATI TIPOLOGICI E DIMENSIONALI AEROGENERATORI	
NUMERO TOTALE AEROGENERATORI IN PROGETTO	10
POTENZA NOMINALE AEROGENERATORE	6800 KW
POTENZA MASSIMA DI ESERCIZIO IN PROGETTO DELL' AEROGENERATORE	6600 KW
ALTEZZA MASSIMA HUB	119 m
DIAMETRO ROTORE	162 m
ALTEZZA MASSIMA RAGGIUNGIBILE	200 m
AREA SPAZZATA DAL ROTORE	20612 mq
NUMERO PALE	3
LUNGHEZZA PALE	79,35 m

Dati tecnici:

- Potenza nominale: 6800 kW e tensione nominale di 800 volt;
- Potenza massima di esercizio in progetto 6,600 kW
- Potenza unitaria generatore: fino a 7600 kW;
- Frequenza: 0 – 126 Hz;
- Numero pale: 3;
- Lunghezza pale: 79,35 m;
- Raggio del rotore: 81 m;
- Area spazzata: 20612 m²;
- Tipo di sostegno: tubolare metallico;
- Altezza da terra del rotore: max 119 m;
- Fondazioni: piastra in C,A, dimensioni di circa 26 m di diametro; completamente interrata ad una profondità massima di 4,11 m;
- Piazzola di servizio: circa 3300 m² (variabile da 3185 a 5727 m²);
- Superficie impronta fondazione 530,93 m²;
- Ingombro scavo fondazione: circa 849,09 m²,

L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà convogliata, attraverso una rete a 30 kV, realizzata con cavo interrato, in uno stallo disponibile nella Sottostazione Utente del parco eolico Amistade attualmente in fase di procedura di Valutazione di Impatto Ambientale Ministeriale Codice

identificazione ID 9693, e da qui alla futura Stazione Elettrica (SE) a 150 kV RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN 150 kV "Goni – Ulassai", mediante un collegamento in antenna. La soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) P2023 0027905-10,03,2023 Codice Pratica: 202000436 elaborata da Terna per la connessione alla Rete Nazionale prevede oltre alla realizzazione della nuova stazione Terna su menzionata, anche la realizzazione di due nuovi elettrodotti RTN a 150 kV, con una nuova SE di trasformazione RTN a 380/150 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV "Ittiri – Selargius", All'interno della sottostazione "Amistade" già progettata verrà allestito un nuovo stallo di trasformazione a servizio del presente progetto eolico denominato "Alientu" costituito dalle seguenti apparecchiature di trasformazione:

- a) n, 1 Sezionatori orizzontali tripolari con lame di terra;
- b) n, 3 Trasformatori di tensione capacitivi unipolari;
- c) n, 1 Interruttore uni-tripolare in SF6;
- d) n, 3 Trasformatori di corrente unipolari;
- f) n, 3 Scaricatori di tensione unipolari;
- h) n, 1 Trasformatore AT/MT ;
- i) n, 2 Portali sbarra

Per il collegamento di tutti i 10 aerogeneratori e per la connessione alla sottostazione sarà necessario realizzare circa 36 km di elettrodotti interrati, I cavi per tutto il tracciato seguiranno la viabilità esistente e di progetto.

Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.

6. 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 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.

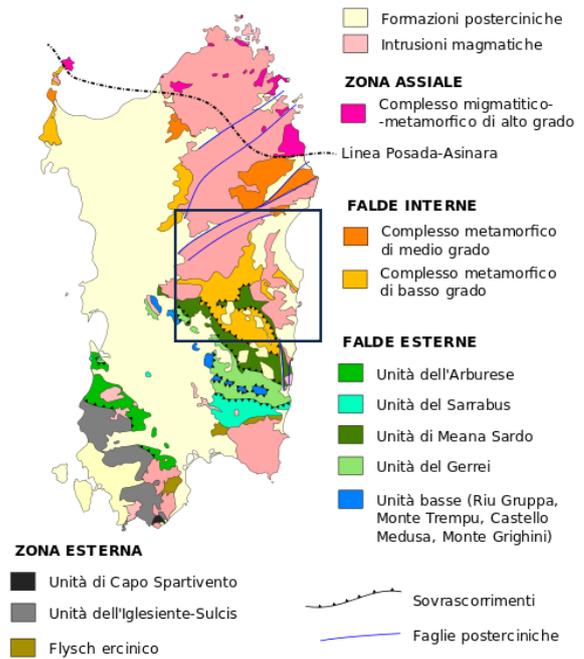
L'area di studio ricade nella zona a Falde interne del basamento varisico sardo; A N dell'Unità di Meana Sardo fino al Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica della Sardegna nord-orientale, affiorano metamorfiti di basso e medio grado che costituiscono il complesso delle 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 silurianodevoniane 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)¹.

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 Gruppa.

Il basamento varisico 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 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.



¹ Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 2001

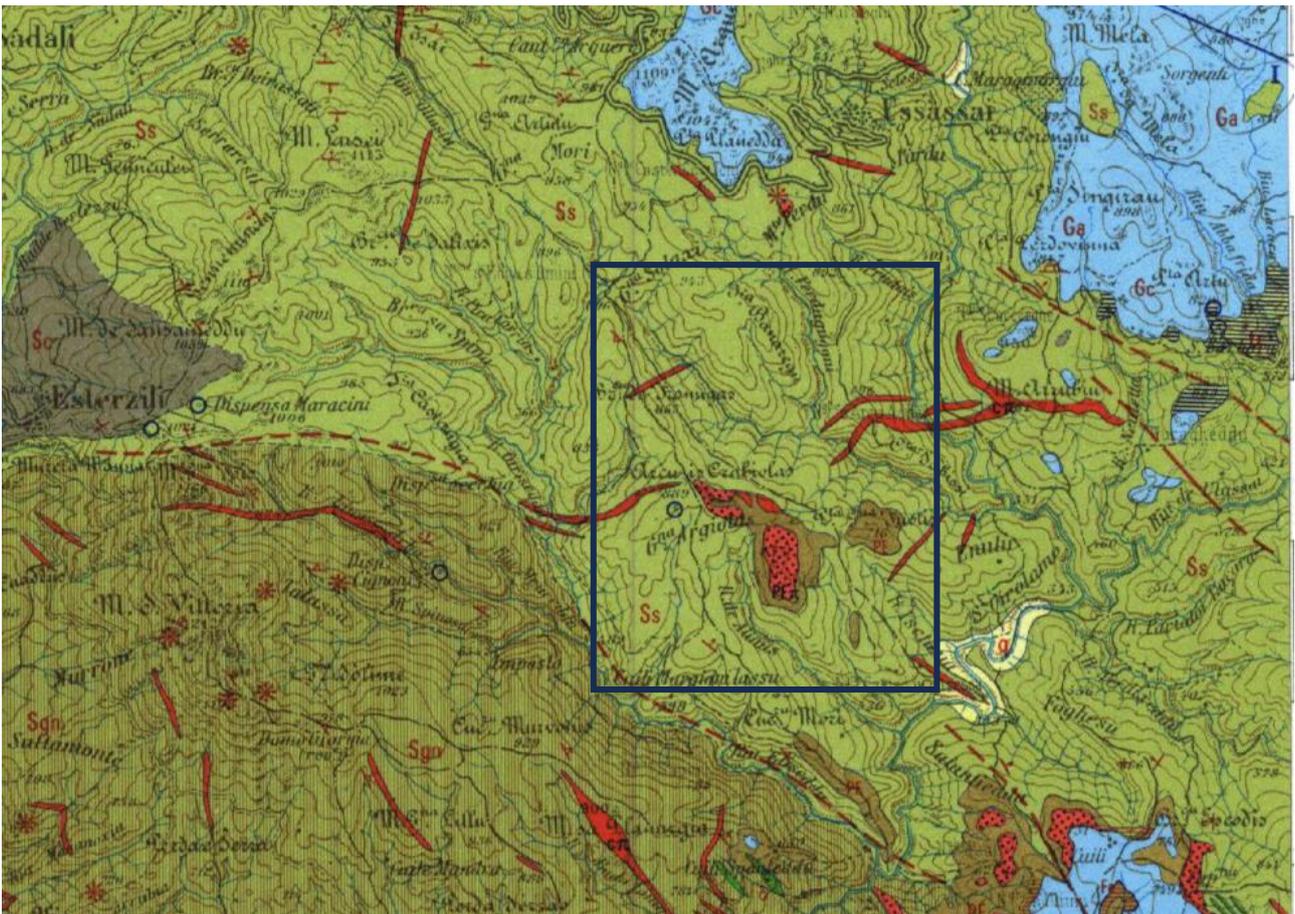


Figura 9 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1: 100,000 – Foglio 518 "Isili", Nel riquadro l'area di progetto

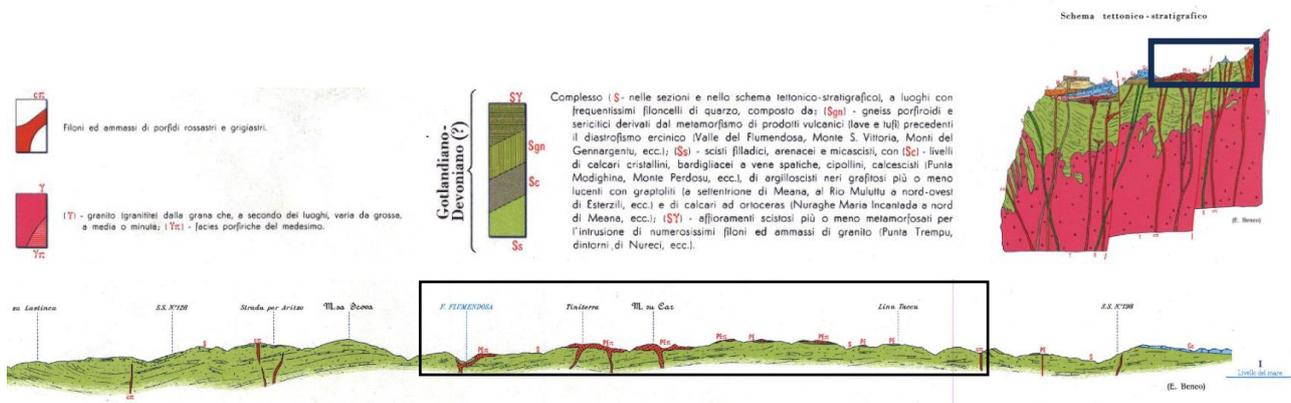


Figura 10 – Schema Tettonico stratigrafico dell'area di studio (tratto da Fg.218 "Isili", 1976)

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 è 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 11 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 epivolcanoclastiti 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.



Figura 12 Formazione del Monte Santa Vittoria (MSV)

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.

(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 13 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 quarzoche. in sezione sottile, mostrano una orientazione preferenialedei singoli cristalli, Cambriano-?Ordoviciano

Questa formazione rappresenta il substrato di tutte le turbine tranne la SE_03.

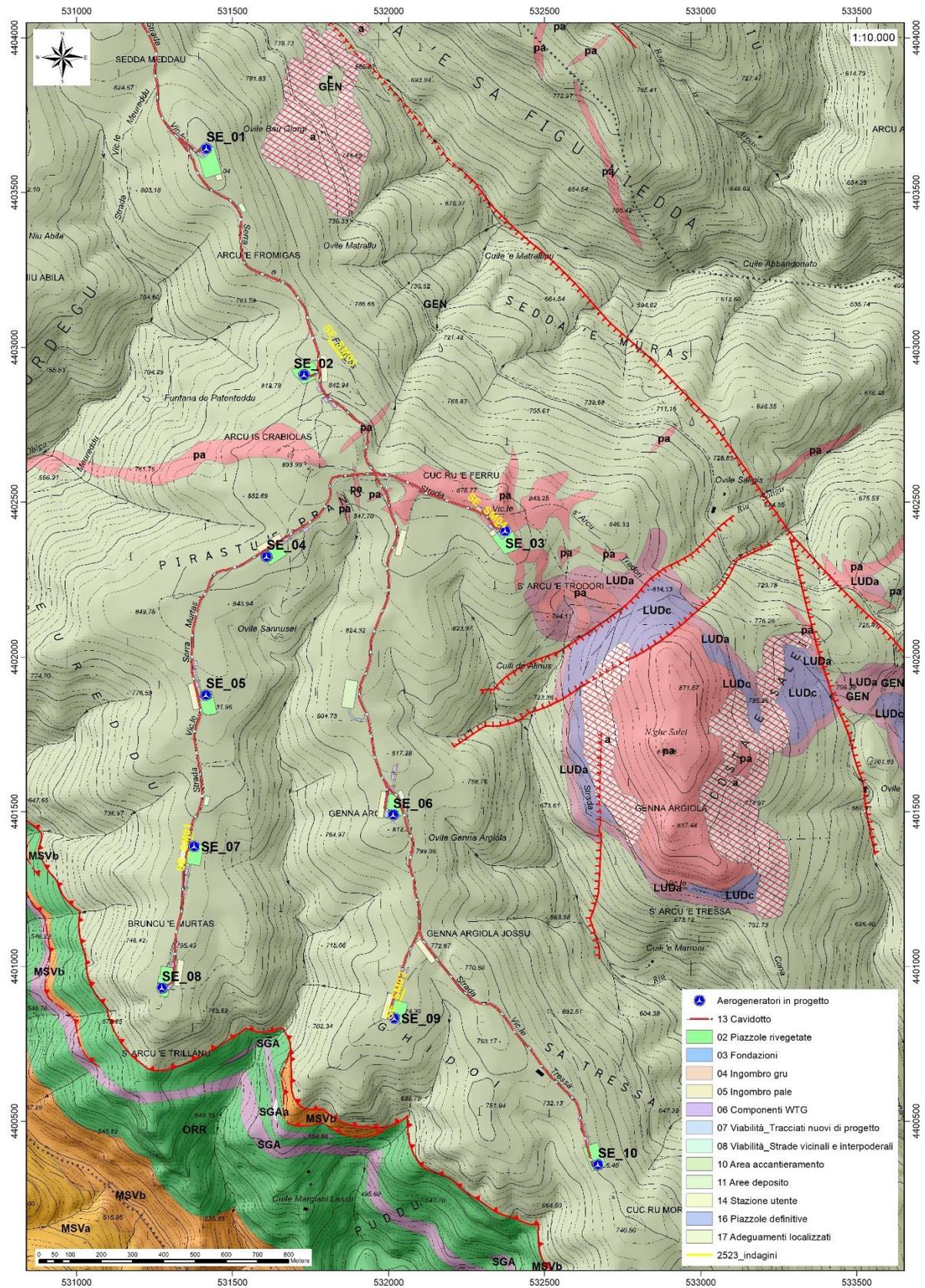


Figura 14 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento di due Unità tettoniche sovrascorse l'una sull'altra facenti parte del sistema di "Falde Interne" del segmento sardo della catena ercinica sud-europea. L'evoluzione tettonica si articola in una prima fase di raccorciamento D1 connessa con la collisione continentale, ed una fase post-collisionale D2. La fase di raccorciamento è quella che ha indotto nella successione cambro-carbonifera la deformazione più importante, pervasiva a tutte le scale, con metamorfismo sin-cinematico e formazione di sovrascorrimenti che hanno sovrapposto le diverse unità tettoniche, e al loro interno pieghe isoclinali coricate con ampiezze a volte chilometriche ed una marcata scistosità di piano assiale,

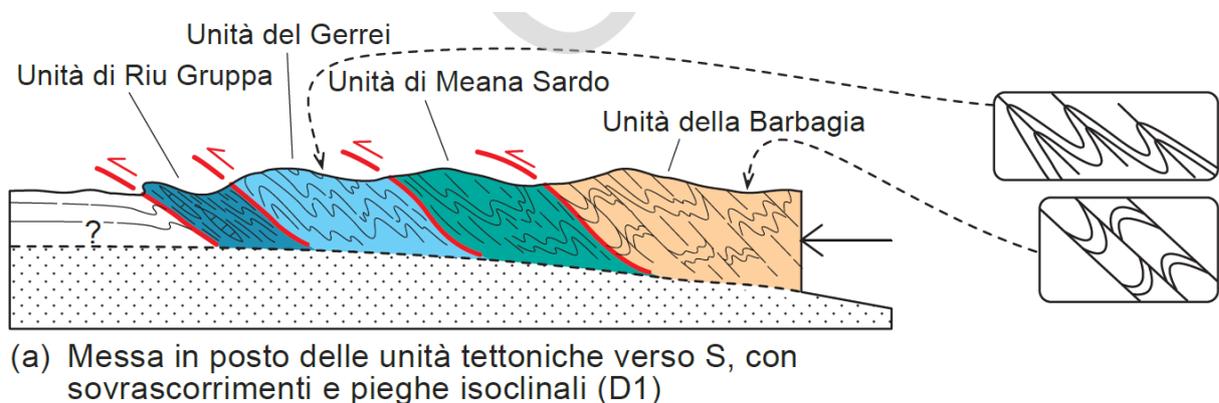


Figura 15 evoluzione tettonica del basamento ercinico della zona a falde, (da CONTI et alii, 1999 modificato)

La Formazione delle filladi del Gennargentu è la litologia predominante sulla quale si sviluppa il parco eolico. L'area vasta è caratterizzata da faglie con direzione principale WNW – ESE, talora normali, e da sovrascorrimenti, e piegamenti sovrapposti (a direzione NNW-SSE e E-W) nella zona di interesse. Di queste strutture tettoniche presenti, le faglie determinano il controllo tettonico delle principali valli incise. La giacitura dei piani è variabile. Nei diversi siti di installazione la dinamica metamorfica e geostrutturale ha creato piani di scistosità e fratturazione a diversa scala, I movimenti tettonici hanno ripiegato i materiali più coesivi (metapeliti e metargilliti) e fratturato quelli più coerenti (metasiltiti, metarenarie, metaconglomerati, metaconglomerati).

8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO

La fratturazione e il grado di alterazione producono sulla roccia una geometria estremamente variabile in termini di direzione e immersione, nelle tre direzioni principali dello spazio. Ciò che varia in relazione alla composizione granulometrica dei singoli strati originari è la spaziatura tra i giunti e il

grado di fissilità, Pertanto, è estremamente difficile se non impossibile definire l'assetto a piccola scala per quanto appena descritto,

Si può definire un range di spaziatura alla mesoscala, tale da individuare una potenziale compagine di blocchi in grado di staccarsi dall'ammasso se le condizioni geostrukturali lo permettono (piani a franapoggio o intersezione di piani con direttrice a franapoggio):

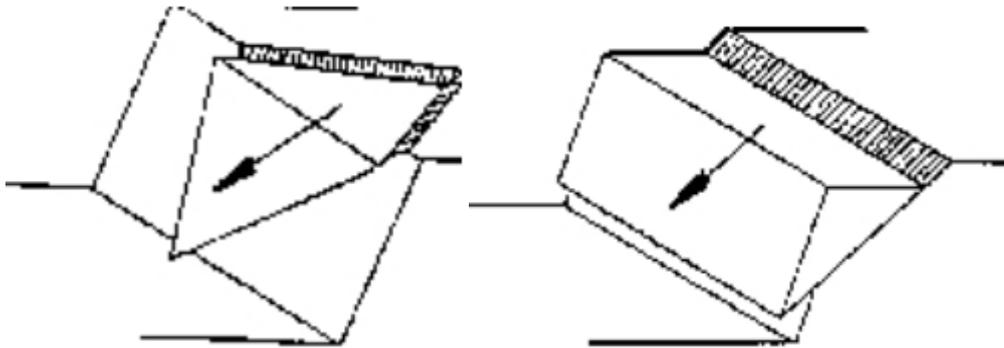


Figura 16 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

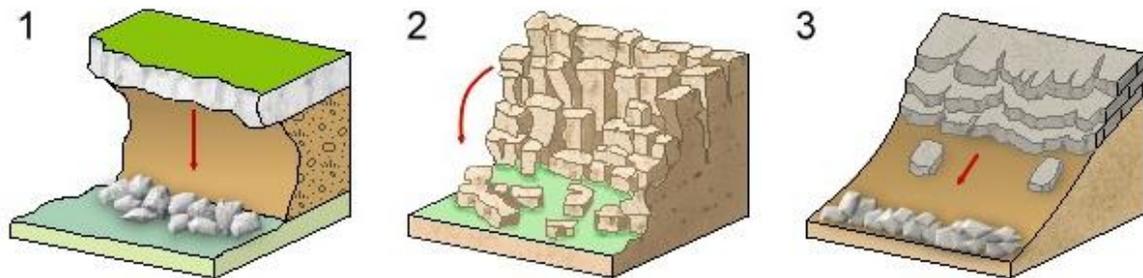


Figura 17 Tipologia di frana: 1, Crollo; 2, Ribaltamento; 3, Scivolamento

Tali dimensioni possono essere individuate tra il decimo di metro cubo a qualche metro cubo, La variabilità direzionale delle famiglie di giunti che individuano i blocchi è piuttosto marcata e diversificata in funzione, come detto, della competenza degli strati soggetti agli sforzi.

Ne deriva di fatto, una difficile previsione delle potenziali propensioni a fenomeni di crollo e/o ribaltamento, ma si tratta di caratteri locali la cui eteropia laterale risulta sempre molto marcata.

In generale si può affermare che versanti come questi sono oggetto di due fenomeni di crollo distinti in relazione al dominio di famiglie di giunti.

Di fatto quindi, non potendo generalizzare alla piccola scala è sempre d'obbligo un rilievo puntuale sugli affioramenti ove possibile, Il materiale distaccato si raccoglie ai piedi del pendio, in accumuli più o meno estesi in funzione della pendenza.



Figura 18 Esempio di disposizione a franapoggio nelle filladi, sono evidenti i piani che identificano le famiglie di giunti

9. CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso al quale la fondazione delle turbine si appoggia, è stato adoperato il criterio di caratterizzazione dell'ammasso roccioso di Hoek-Brown generalizzato (1995), supportato dai dati geostrukturali rilevati in sito in pareti esposte, laddove disponibili.

Sulla base di tale classificazione, il cui criterio di rottura è definito dalla relazione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} (mb (\sigma'_3 / \sigma_{ci}) + s)^a$$

dove:

σ'_1 e σ'_3 = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

mb = costante d'ammasso

s ed a = costanti d'ammasso

σ_{ci} = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

è stato possibile risalire ai parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb. Tale metodologia si basa su caratteristiche proprie dell'ammasso, valutabili tramite osservazioni in sito o con l'ausilio di tabelle sviluppate sulla base di una vasta raccolta di dati pubblicati in letteratura, attraverso cui è possibile stimare con una certa precisione i parametri di coesione e angolo di attrito interno necessari alle verifiche di stabilità, valutando i seguenti parametri:

1. Resistenza a compressione monoassiale (Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS) stimata su base empirica (Fig,60) e su valori di Point Load,

2. Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) in base alle caratteristiche geologiche dell'ammasso: tale indice, introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995), può essere definito sulla base delle caratteristiche dell'ammasso (Fig. 61) o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski,
3. Determinazione della costante m_i (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_c e m_i) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig.62, che riassume i valori della costante m_i per diversi tipi di roccia,

Sulla base di queste caratteristiche si ottengono i seguenti valori di m_b , s , a :

$$m_b = m_i [(GSI-100)/28]$$

$$s = e [(GSI-100)/(9-3D)]$$

$$a = 0,5 \text{ (per } GSI > 25)$$

tramite i quali si stimano coesione e angolo di attrito interno secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb:

$$\sigma'_1 = (2c' \cos \varphi' / (1 - \sin \varphi')) + (1 + \sin \varphi' / (1 - \sin \varphi')) \sigma'_3$$

I valori coesione e di angolo di attrito interno ottenuti attraverso l'applicazione di tale classificazione sono in generale rispondenti alla tipologia litologica interessata.

È utile sottolineare che esistono delle correlazioni dirette fra i valori di GSI e il valore RMR del sistema di classificazione di Bieniawski

CLASSE [*]	DESCRIZIONE	RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE (MPa)	INDICE DI RESISTENZA (POINT LOAD) (MPa)	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA IN SITO	ESEMPI
R6	Resistenza estremamente elevata	> 250	> 10	Un campione può essere scheggiato solamente con un martello geologico	Basalto intatto, silice, selce, diabase, gneiss granito, quarzite
R5	Resistenza molto elevata	100-250	4-10	Un campione richiede molti colpi di un martello geologico per essere fratturato	Anfibolite, arenaria basalto, gabbro, gneiss, granodiorite calcare, marna riolite, tufi
R4	Resistenza elevata	50-100	2-4	Un campione richiede più di un martello geologico per essere fratturato	Calcare, marna, fillite, arenaria, scisto, argillite
R3	Resistenza media	25-50	1-2	Non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può essere fratturato con un solo colpo mediante un martello geologico	Argillite, carbone, calcestruzzo, scisto, siltite
R2	Resistenza bassa	5-25	[**]	Con difficoltà può essere spellato con un coltellino, una intaccatura superficiale può essere procurata con un colpo inferto mediante la punta di un martello geologico	Calcare bianco, salgemma
R1	Resistenza molto bassa	1-5	[**]	Si frantuma per effetto di alcuni colpi con la punta di un martello geologico, può essere spellato mediante un coltellino	Rocce estremamente alterate o alterate
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasi

[*] In accordo a Brown E.T. Rock characterization, testing and monitoring - ISRM suggested methods, pp. 171-183. Oxford, Pergamon (1981).
 [] La prova meccanica point load su rocce con resistenza a compressione monoassiale inferiore a 25 MPa fornisce risultati poco attendibili.

Figura 19 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

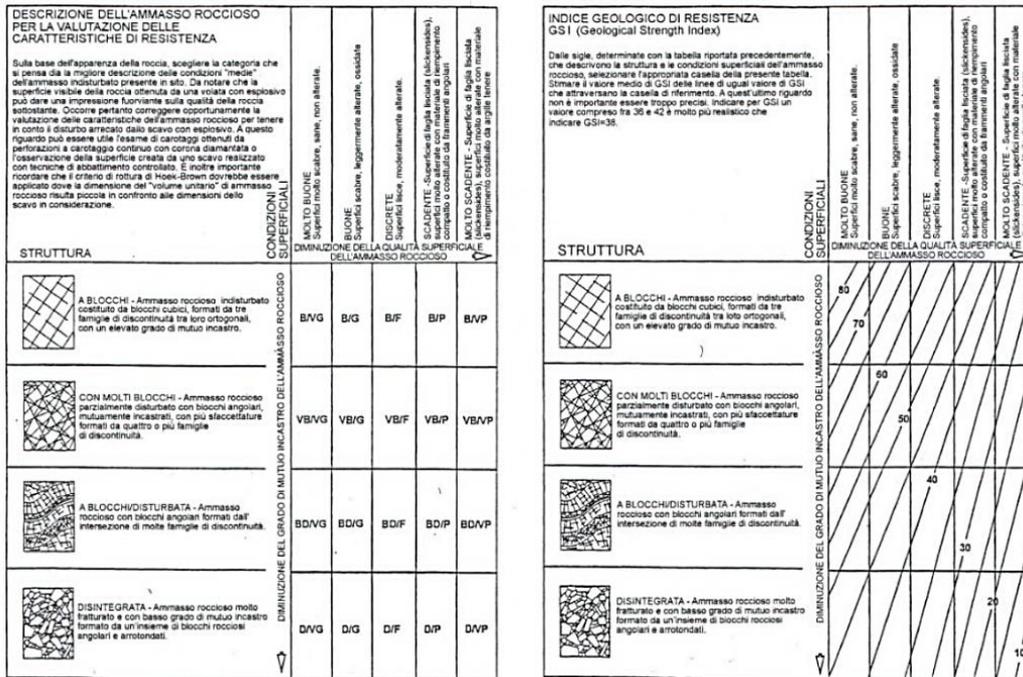


Figura 20 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell' ammasso

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19	Siltite 9	Argillite 4
		Organogene		Grovacche (18)		
	Non clastiche	Carbonatiche	Breccia(20)	Calcare Sparitico (10)	Calcare Micritico 8	
		Chimiche		Gesso 16	Anidride 13	
METAMORFICHE	Non foliate		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Leggermente foliate		Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)	
	Foliate*		Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9
IGNEE	Chiare		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
	Scure		Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
			Norite 22			
	Effusive piroclastiche		Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)	

Questi valori sono validi per campioni di roccia intatta portati a rottura applicando il carico normale alla stratificazione o scistosità. Il valore di m, sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

Figura 21 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato

roccioso ha portato alla classificazione delle principali litologie che caratterizzano le formazioni presenti.

Per il calcolo degli indici e della relativa trasformazione in parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb è stato utilizzato il software RocData vers,3,0 della Rocscience Inc.

Di seguito si riportano gli schemi di analisi degli ammassi rocciosi e i relativi diagrammi di Mohr – Coulomb, in base alle osservazioni su campo e unitamente ai dati ottenuti dalle prospezioni geofisiche, si è ipotizzata una variazione del grado di fratturazione del substrato al variare della profondità per unità omogenee in relazione anche ai dati geofisici, che vanno dalle "terre debolmente addensate" al "substrato roccioso sano".

Si tratta di valori stimati in base a indagini indirette e a osservazioni su campo, pertanto da confermare puntualmente in fase di progettazione esecutiva.

<p>Criterio di rottura empirico</p> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{mK \sigma_{v(r)} \sigma_3 + 8\sigma_{v(r)}^2}$ <p>σ_1 = tensione efficace principale massima σ_3 = tensione efficace principale minima $\sigma_{v(r)}$ = resistenza a compressione monoassiale m ed s: costanti empiriche</p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	<p>ROCCIE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO</p> <p>Dolomite, calcare e marmo.</p>	<p>ROCCIE ARGILLOSE LITIFICATE</p> <p>Argillite, siltite, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</p>	<p>ROCCIE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE</p> <p>Arenarie e quarzite</p>	<p>ROCCIE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE</p> <p>Andesite, diabasi, diorite</p>	<p>ROCCIE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCIE CRISTALLINE METAMORFICHE</p> <p>Amfiboite, gabbro, gneiss, norite, quarzo-diorite</p>
<p>CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA</p> <p>Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa)</p> <p>Indice CSIR: RMR = 100</p> <p>Indice NGI: Q = 500</p>	m s	7.00 1.00	10.00 1.00	15.00 1.00	17.00 1.00	25.00 1.00
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI OTTIMA QUALITÀ</p> <p>Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m</p> <p>Indice CSIR: RMR = 85</p> <p>Indice NGI: Q = 100</p>	m s	2.40 0.082	3.43 0.082	5.14 0.082	5.82 0.082	8.56 0.082
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI BUONA QUALITÀ</p> <p>Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 65</p> <p>Indice NGI: Q = 10</p>	m s	0.575 0.00293	0.821 0.00293	1.231 0.00293	1.395 0.00293	2.052 0.00293
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI DISCRETA QUALITÀ</p> <p>Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 44</p> <p>Indice NGI: Q = 1</p>	m s	0.128 0.00009	0.183 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 23</p> <p>Indice NGI: Q = 0.1</p>	m s	0.029 0.000003	0.041 0.000003	0.061 0.000003	0.069 0.000003	0.102 0.000003
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ MOLTO SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 3</p> <p>Indice NGI: Q = 0.01</p>	m s	0.007 0.0000001	0.010 0.0000001	0.015 0.0000001	0.017 0.0000001	0.025 0.0000001

CSIR (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) Organizzazione Scientifica ed Industriale di Ricerca (Bieniawski 1974)
 NGI Norway Geotechnical Institute (Barton 1974)

Figura 22 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia,

(GEN) Formazione delle filladi del Gennargentu

Standard ISRM = R5 Un campione richiede molti colpi di martello geologico per essere fratturato

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo, per crollo

Ammasso roccioso= da fratturato a molto fratturato

Struttura= massiva

Alterazione= da poco a debolmente alterata

Pareti – poco alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – da asciutta a umida

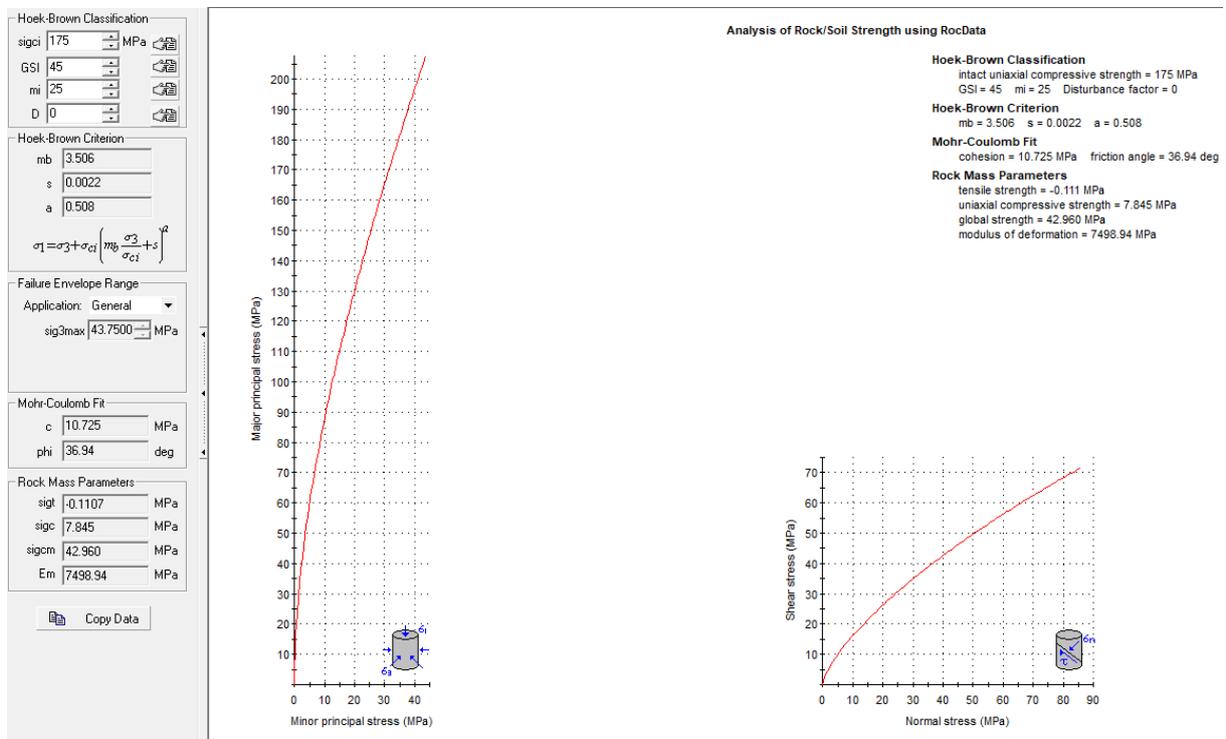


Figura 23 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti per la formazione delle filladi del Gennargentu

10. 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,

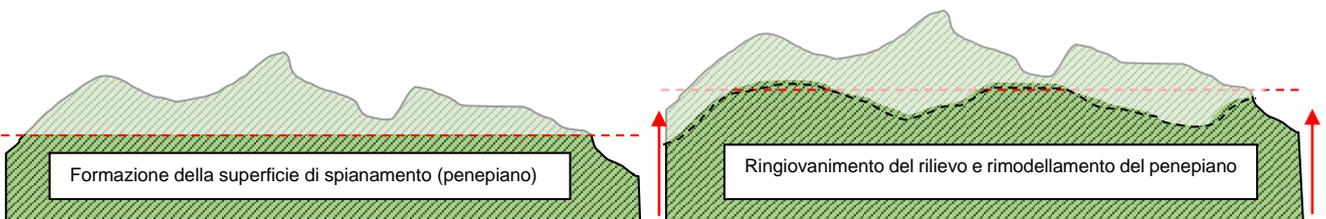


Figura 24 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

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,

10.1. 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 25 Morfologia del paesaggio nell'area di progetto (in rosso tratteggiato il livello della superficie di erosione post ercinica (penepiano))

10.2. 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,



Figura 26 Morfologia del paesaggio sulle filladi nei pressi della SE_04



Figura 27 Morfologia del paesaggio sui porfidi nei pressi della SE_03

11. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO



Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, il comune di **Seui** è incluso nel Sub – Bacino n° 7 Flumendosa-Campidano-Cixerri.

11.1. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

Il reticolo idrografico sulle litologie affioranti è impostato su un sistema di valli e compluvi spesso delimitati da scarpate rocciose originatesi a seguito di processi di dilavamento e scalzamento al piede non più attivi nelle condizioni attuali ed è caratterizzato da una ramificazione ben sviluppata in tutta l'area vasta in relazione al basso grado di permeabilità.

I principali corsi d'acqua in prossimità dell'impianto partendo da Ovest sono il **Riu de Brabussa** che riceve le acque dal versante ovest di B.cu 'e Murtas sede delle turbine SE_04, SE_05,

SE_07 e SE_08 mentre il versante est riversa dele sue acque nel **Riu Ebbas**, che diviene più a valle **Riu Gilisedda**, scorre in direzione N-S e separa i due rami principali dell'impianto. Il versante est del crinale di Genna Argiola e Genna Argiola Josso riversa le sue acque di deflusso nel **Rio de Alinus**. Le acque fin qui raccolte di tutte queste aste fluviali si immettono nel **Riu San Girolamo** in località Sponteddu. Nel ramo settentrionale dell'impianto, a ovest il crinale che ospita le turbine SE_01 e SE_02 le acque di deflusso si organizzano in rii che vanno a definire il percorso di **Su Accu 'e s'Obiga** che confluirà nel rio sa Brabussa in località Sa Coa e Su Murdegu. Ad est del crinale, infine, le acque confluiscono nel Rio 'e Mara Spigas a sua volta affluente del Rio San Girolamo.

Lo sviluppo del reticolo idrografico è strettamente connesso alle caratteristiche chimico-fisiche delle rocce costituenti il substrato, e al controllo tettonico che si manifesta molto evidente su alcune linee di deflusso. Gli impluvi costituiscono essenzialmente le aste tributarie di primo e secondo ordine dei torrenti che scorrono più a valle: essi presentano carattere essenzialmente torrentizio con deflussi stagionali legati strettamente alle precipitazioni. Lungo i versanti a maggiore pendenza i corsi d'acqua assumono un elevato potere erosivo, mentre solamente a valle, in corrispondenza di aste di ordine intermedio sono evidenti fenomeni di deposizione di coltri alluvionali di spessore molto

modesto, Il progetto prevede l'installazione delle torri eoliche sugli alti topografici, e i corsi d'acqua presenti scorrono allontanandosi da queste aree, Ne consegue che, le aree in studio si collocano in concomitanza con gli spartiacque dei bacini idrografici dei fiumi che interessano la zona,

11.2. CARATTERISTICHE E DINAMICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Uno studio idrogeologico ha lo scopo di identificare lo schema di circolazione idrica sotterranea relativo ad una determinata area per poter ricavare informazioni circa i rapporti tra litotipi presenti, la presenza di acqua e le possibili conseguenze derivanti dalla realizzazione di un'opera,

Le rocce si presentano raramente compatte, La proprietà di contenere spazi vuoti tra gli elementi solidi che le compongono, detta porosità, esprime l'attitudine che ha la roccia ad immagazzinare ed a liberare acqua sotterranea,

Il basamento paleozoico è costituito principalmente da litologie impermeabili e di conseguenza nel complesso sfavorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche, A causa dell'acclività dei versanti, i suoli mancano quasi del tutto su molti rilievi, questo è particolarmente evidente in corrispondenza del basamento paleozoico, L'impermeabilità del bacino, l'acclività dei versanti con la concentrazione stagionale delle precipitazioni, possono determinare deflussi unitari fra i maggiori di tutti i corsi d'acqua della Sardegna soprattutto in corrispondenza degli eventi alluvionali, che interessano con una certa cadenza, gran parte della Sardegna orientale,

Le litologie che interessano l'area di progetto presentano una permeabilità secondaria o anche detta per fessurazione, acquisita dalla roccia a seguito della sua formazione o per successivi episodi geodinamici.

Tale proprietà può esser limitata dalla presenza di riempimento delle fratture costituito da materiali derivanti dall'alterazione della roccia madre ad alta componente argillosa, Ne consegue che seppur presente una buona rete di fratture anche con importanti spaziature, la presenza di tali riempimenti limita fortemente il passaggio delle acque,

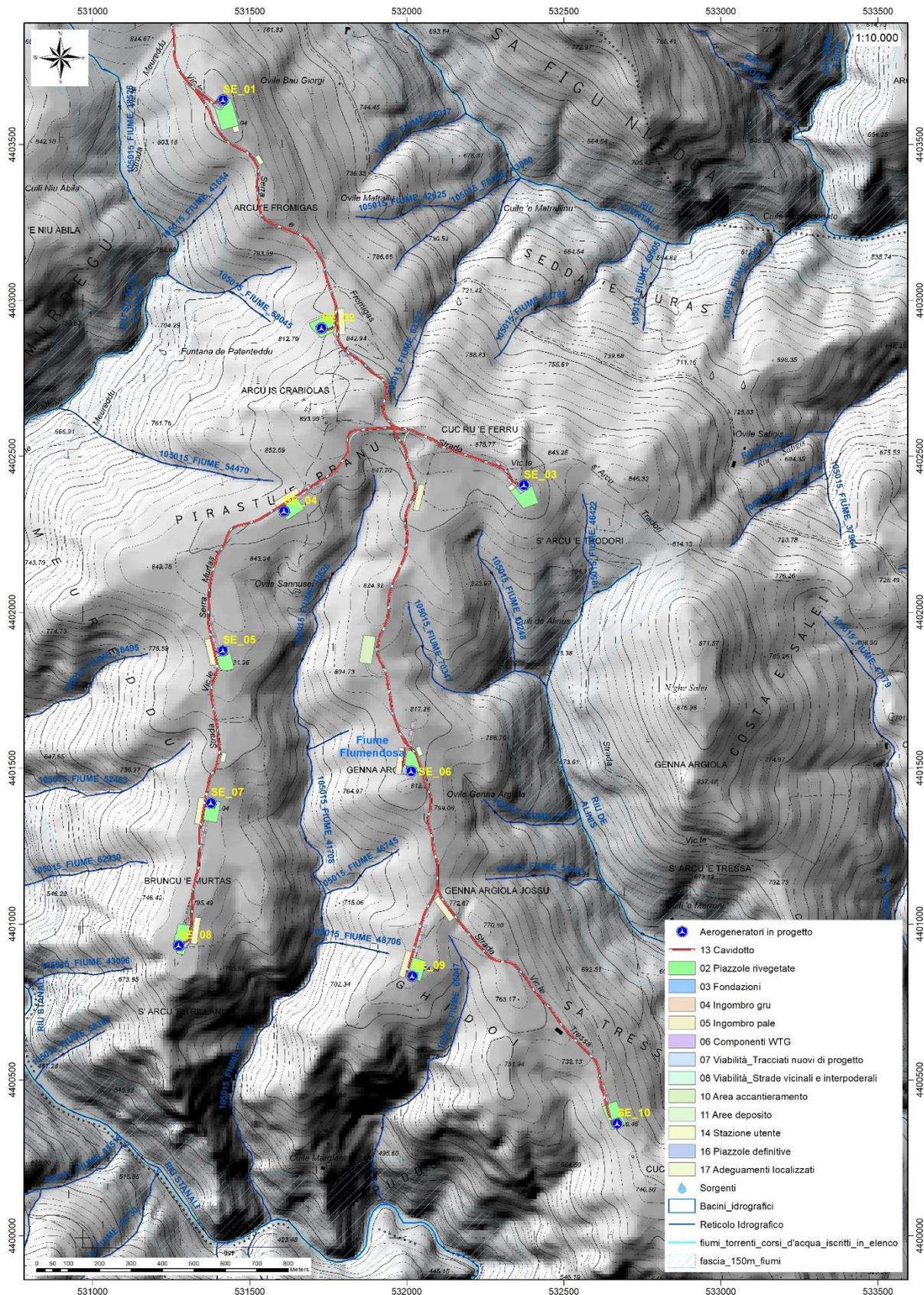


Figura 28 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

La parte superficiale dell'ammasso roccioso è generalmente più fratturata e pertanto con permeabilità più elevata rispetto alla parte più profonda meno interessata dalla fratturazione, al contatto tra le due si possono sviluppare delle risorgive che hanno carattere prettamente stagionale legato all'andamento pluviometrico generale,

Di seguito viene illustrato in uno schema il processo di infiltrazione accumulo e circolazione legato al regime delle piogge e caratterizzante in analoga misura sia le litologie metamorfiche che quelle intrusive nella porzione sommitale e di interesse alle opere del parco eolico,

Gli afflussi che arrivano sul terreno sotto forma per lo più di piogge, più raramente e poco tempo di neve, in parte scorrono lungo la superficie in genere a lamina d'acqua per poi organizzarsi in deboli rivoli che si concentrano lungo gli impluvi fino a raggiungere il bordo dell'altopiano oltre il quale si riversano lungo valli strette a V ancora in evoluzione geomorfologica,

La frazione di acqua che non scorre in superficie in parte evapora e in parte si infiltra nel terreno e nella roccia sottostante scorrendo lungo le fratturazioni in maniera più o meno efficace in funzione del grado di apertura delle stesse,

Maggiore è la presenza di fratture, maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità, Le falde acquifere e le conseguenti sorgenti che si hanno lungo i versanti e nei tagli erosivi sono per l'appunto legate principalmente alla presenza dei sistemi di frattura a diversa scala e dal materiale derivante dall'alterazione superficiale degli ammassi rocciosi,

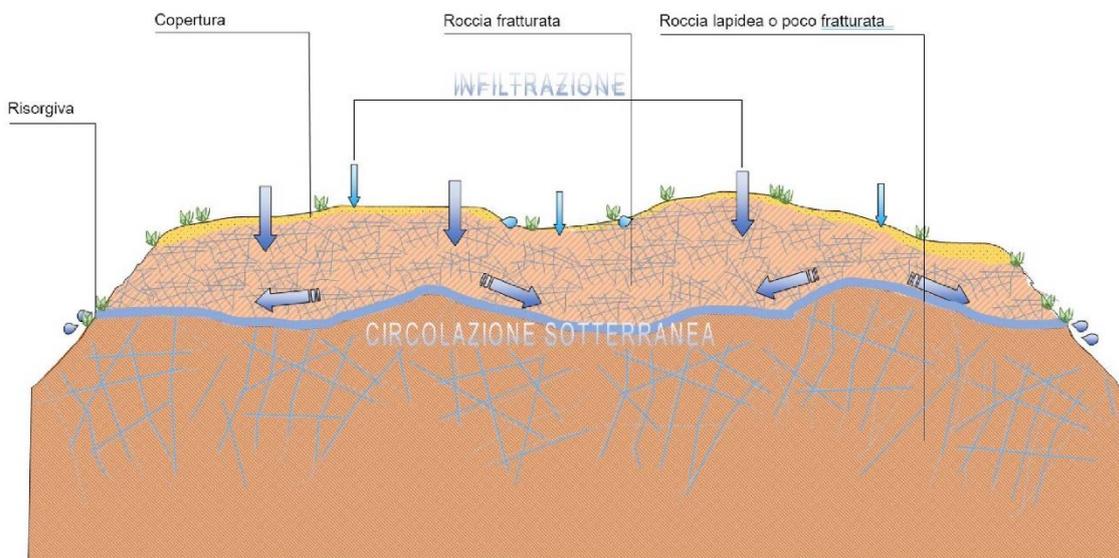


Figura 29 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Dalla carta della permeabilità dei suoli, resa disponibile Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna, si evince che l'area di studio presenta, nel complesso, una **permeabilità bassa per fratturazione (BF)** e **medio bassa per fratturazione per i terreni paleozoici**, eccetto che per le aree in

cui si accumulano depositi di frana alle pendici di gennaargiola (pa) che localmente presentano **permeabilità medio-alta per porosità.**

Nelle aree che interessano direttamente le fondazioni delle turbine il substrato presenta una permeabilità bassa per fratturazione.

Nell'area di interesse sono state individuate alcune risorgive la cui genesi è stata descritta poc' anzi per lo più con portate sotto il litro al secondo (Funtana de Patenteddu sulle filladi a ovest della SE_02) e alcune risorgive al contatto dei porfidi con le filladi.

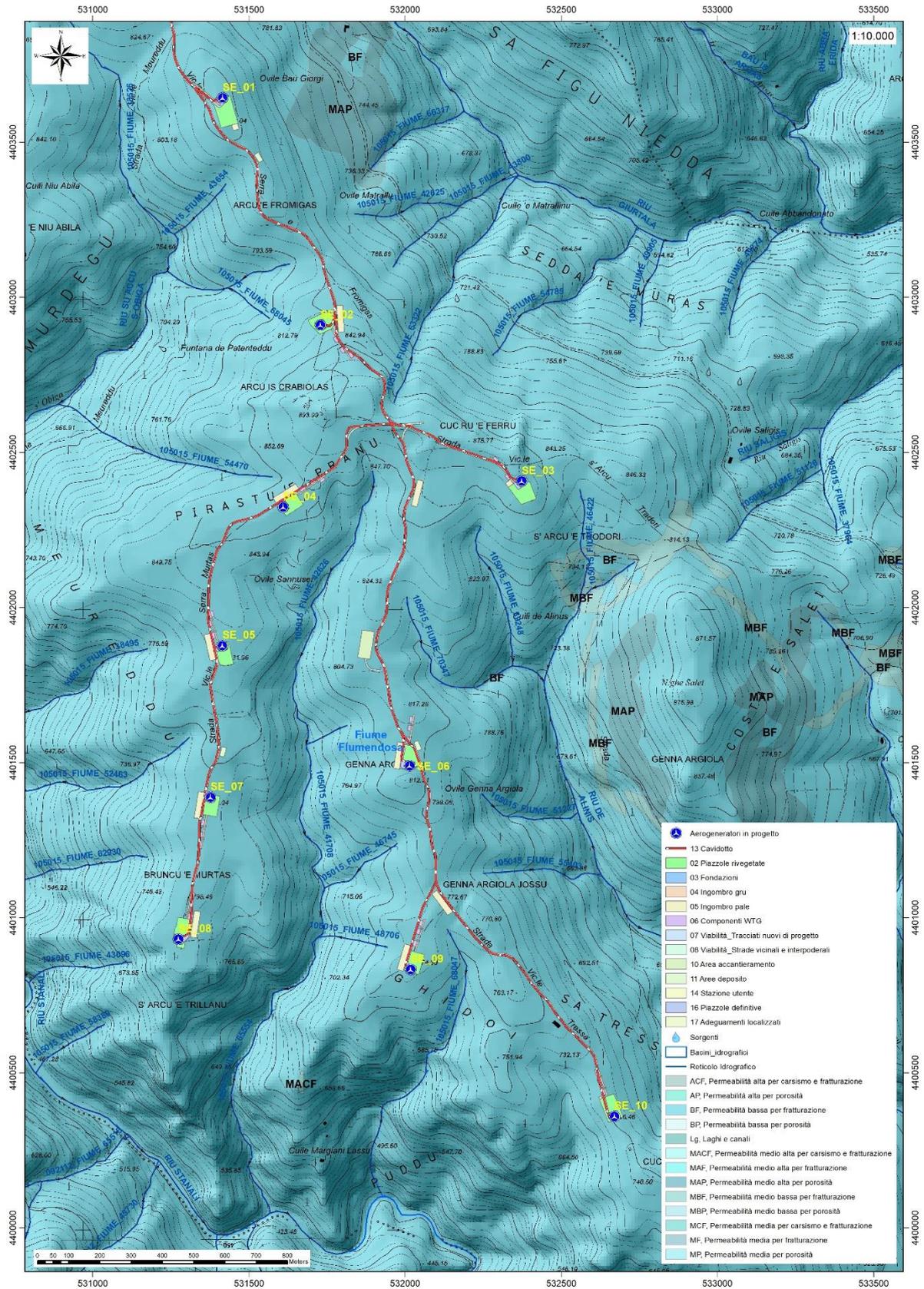


Figura 30 Carta della permeabilità del substrato (fonte RAS)

11.3. ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

Ai fini della tutela della risorsa idrica si è operata una valutazione qualitativa della vulnerabilità degli acquiferi presenti in relazione alle opere da realizzare e in relazione alle varie attività di cantiere.

Non sono presenti sorgenti nei pressi delle turbine e alle quote di realizzazione delle opere che prevedono gli scavi più profondi (fondazioni degli aerogeneratori, piazzole e aree di deposito temporaneo). Dalle informazioni geologiche la profondità dell'acquifero è tale che quest'ultimo non venga influenzato dalle opere in progetto e con il normale deflusso delle acque sotterranee. Sarà comunque opportuno in fase di progettazione esecutiva approfondire con un monitoraggio accurato le portate di tali sorgenti al fine di minimizzare eventuali interferenze attualmente non individuabili.

Altresì le opere in progetto non determinano per loro natura produzione di agenti inquinanti che possono riversarsi nella circolazione idrica sotterranea se non per accidentale guasto meccanico che andrà trattato con le opportune misure di salvaguardia dettate dal T.U. sull'Ambiente.

12. INQUADRAMENTO CLIMATICO

La definizione del clima è basata sull'analisi dei parametri meteorologici più comunemente studiati, quali la temperatura e le precipitazioni, il cui andamento è legato alle variazioni stagionali della circolazione atmosferica, considerando inoltre la ventosità, la nuvolosità e l'umidità relativa.

Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come "Mediterraneo Interno", caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde, con valori minimi invernali di alcuni gradi al di sotto dello zero e massimi estivi anche superiori ai +40 C.

Lungo le zone costiere, grazie alla presenza del mare, si hanno inverni miti con temperature che scendono raramente sotto lo zero, Anche nelle zone interne pianeggianti e collinari il clima è tipicamente mediterraneo, anche se a causa della maggior lontananza dal mare si registrano temperature invernali più basse ed estive più alte rispetto alle aree costiere.

Nelle zone più interne, come gli altopiani e le vallate spesso incastonate tra i rilievi, il clima acquista caratteri continentali con forti escursioni termiche, risultando particolarmente basse le minime invernali in caso di inversione termica, con temperature che possono scendere anche al di sotto dei -10/-12 C, Sui massicci montuosi nei mesi invernali nevicata frequentemente e le temperature scendono sotto lo zero, mentre nella stagione estiva il clima si mantiene fresco, soprattutto durante le ore notturne, e raramente fa caldo per molti giorni consecutivi.

La Sardegna inoltre è una regione molto ventosa; i venti dominanti sono quelli provenienti dal settore occidentale (Maestrale e Ponente) e, in minor misura quelli provenienti da quello meridionale (Scirocco).

Le precipitazioni sono distribuite in maniera variabile ed irregolare, con medie comprese tra i 400 e i 600 mm annui lungo le coste e valori pluviometrici che raggiungono e superano i 1000 mm annui (con locali picchi superiori ai 1300-1400 mm) in prossimità dei rilievi montuosi.

A causa del dominio sulla regione dei venti provenienti dai quadranti occidentali, mediamente la maggior frequenza di giorni di pioggia si riscontra nelle zone occidentali dell'isola, mentre in quelle orientali, trovandosi sottovento a questo tipo di circolazione a causa dell'orografia, si ha una minore frequenza di giornate piovose.

Tuttavia, le zone orientali sono spesso soggette a fortissime piogge, per cui gli accumuli medi annuali sono simili tra i due versanti.

L'andamento climatico del territorio di Seui e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Seui e di Arcueri, localizzate nel raggio di 10-25 km dal settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio (Tab. 1) è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 1981-2010 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della

R,A,S, delle stazioni di Seui e Ussassai, così come i dati termometrici, relativi però alla stazione di Arqueri (C,ra).

Per quanto riguarda i dati sull'evapotraspirazione, sono stati utilizzati i valori pubblicati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I,M,C,) dell'ARPAS.

Alla stazione di Cagliari - Elmas sono riferiti i dati sulla nuvolosità, e umidità relativa, estrapolati dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, mentre i dati relativi alla ventosità sono stati estrapolati dai report climatologici mensili e annuali dell'ARPAS.

Per quanto riguarda i dati sull'evapotraspirazione, sono stati utilizzati i valori pubblicati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I,M,C,) dell'ARPAS.

12.1. PRECIPITAZIONI

Nella Tab,1 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 1981-2010 registrati nella stazione di Seui e di Ussassai). Viene riportato il valore medio mensile e il totale annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2018 si osserva che i valori di precipitazioni presentano valori superiori nei mesi autunnali e invernali, e inferiori per il periodo compreso tra maggio e agosto (Tab,1). Nell'area studiata, la piovosità media annuale è pari a circa 706,60 mm per il periodo compreso tra il 1981 e il 2010.

Tabella 1 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalla stazione pluviometrica di Seui e di Ussassai (tra il 1981 e il 2010)

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
1981-2010	100,7	78,0	64,7	86,1	59,0	32,1	25,5	28,1	60,3	69,3	108,4	122,4	834,70

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
1981-2010	112,9	86,9	77,4	91,4	49,1	24,2	19,6	22,7	65,3	72,3	115,6	135,6	873,1



Figura 31 Andamento della pluviometria mensile (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Seui e Ussassai nel periodo 2008-2018,

L'andamento pluviometrico dell'area di Seui nell'arco dell'anno è caratterizzato dal minimo assoluto di piovosità nel periodo estivo e da un massimo in autunno e inverno, per cui i mesi più secchi sono quelli estivi mentre quelli più piovosi sono quelli invernali (Tab, 1).

12.2. TEMPERATURE

I valori termometrici della stazione meteo di Arqueri, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I,M,C,) dell'ARPAS, sono illustrati nel grafico di Tab, 2 e sono relativi alla stazione di Arqueri per gli anni dal 1981 e 2010.

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1981-2010	1,0	1,0	2,7	4,2	8,6	12,2	15,4	15,8	11,9	9,2	5,0	2,3

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1981-2010	8,1	9,0	12,3	14,0	20,0	25,2	29,3	29,3	23,0	18,7	12,3	8,9

Tabella 2 - Temperature minime e massime mensili (in °C) registrate nella stazione di Arqueri per gli anni dal 1981 e 2010.

La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1981-2010, è di circa 12,48 °C. Il mese più freddo è Febbraio con una media di circa 5°C, mentre le temperature più elevate si riscontrano in Agosto con circa 22,55 °C.

Nel grafico sottostante è illustrato l'andamento delle temperature medie mensili per il periodo 1981-2010 registrate nella stazione di Arqueri.

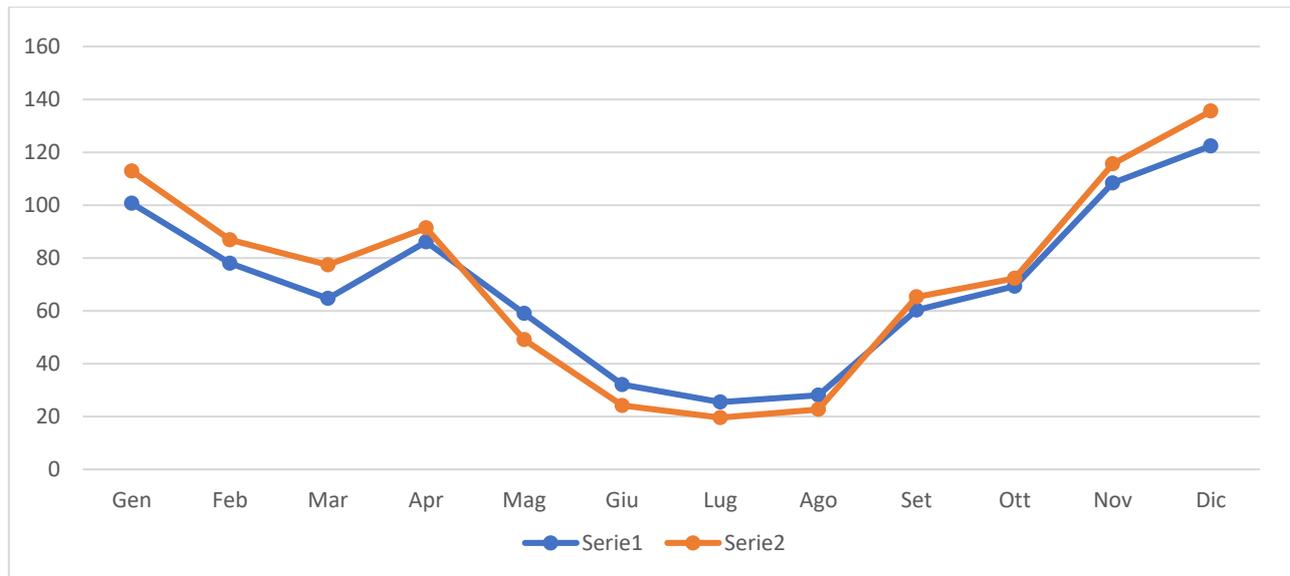


Figura 32 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Seui e Arqueri ((anni 1981-2010)

12.3. STIMA DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE

L' evapotraspirazione è uno dei parametri più significativi nell'ambito di un bilancio idrologico e rappresenta la perdita di una parte delle acque di precipitazione, per evaporazione dal suolo e per traspirazione della vegetazione. Viene calcolata tenendo conto della temperatura e delle precipitazioni, e viene influenzata dalla nuvolosità, dall'umidità relativa e dalla ventosità.

Di seguito sono illustrati i bilanci idro-meteorologici mensili rispettivamente per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 e aprile 2021 – settembre 2021 per la Sardegna, ricavati dal Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS.

Il bilancio idro-meteorologico si esprime come differenza tra il cumulo di precipitazione ed il cumulo dell'evapotraspirazione di riferimento (ET0) stimata con il metodo Hargreaves-Samani.

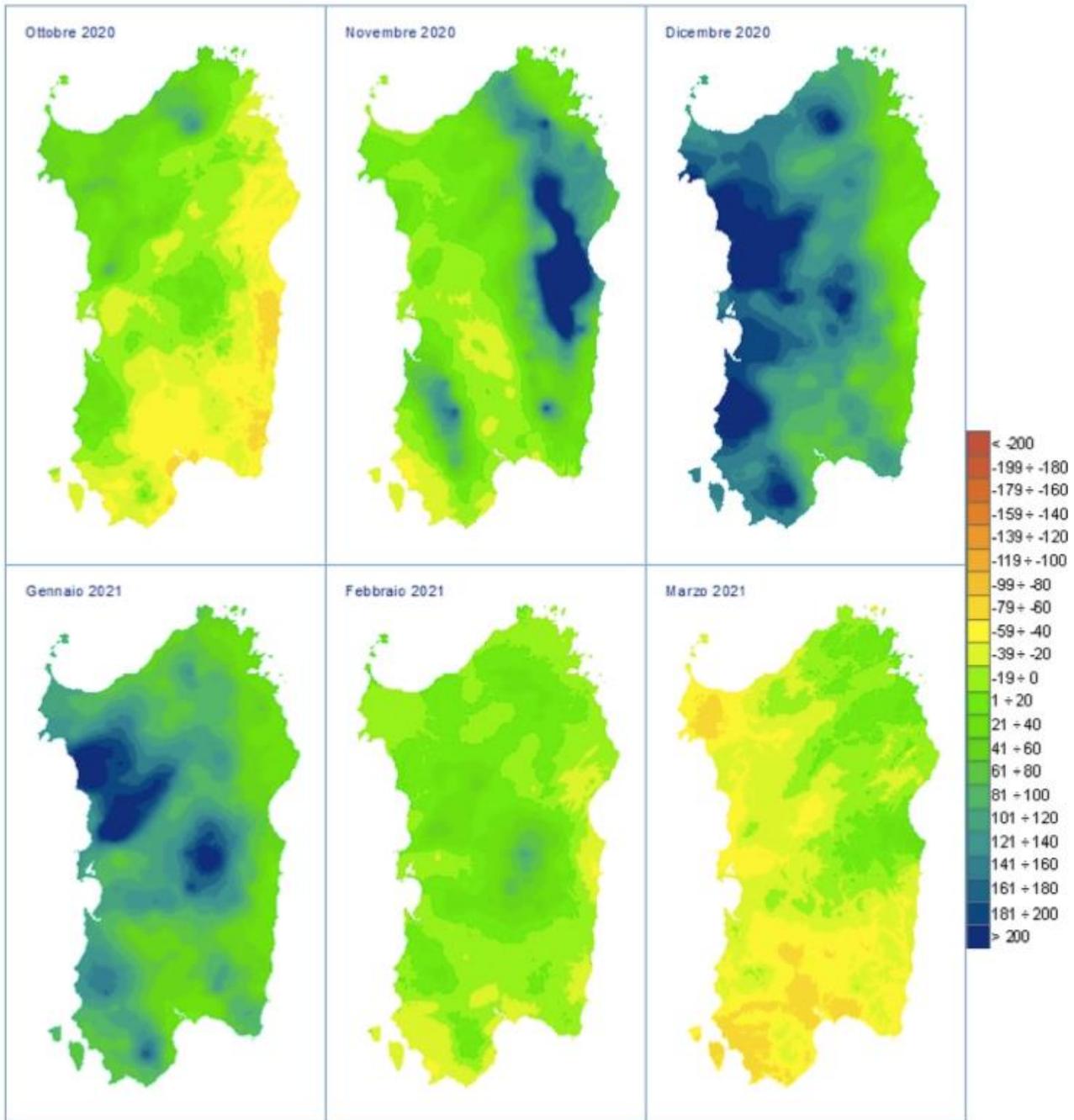


Figura 33 Bilancio idro-meteorologico per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 (espresso in mm),

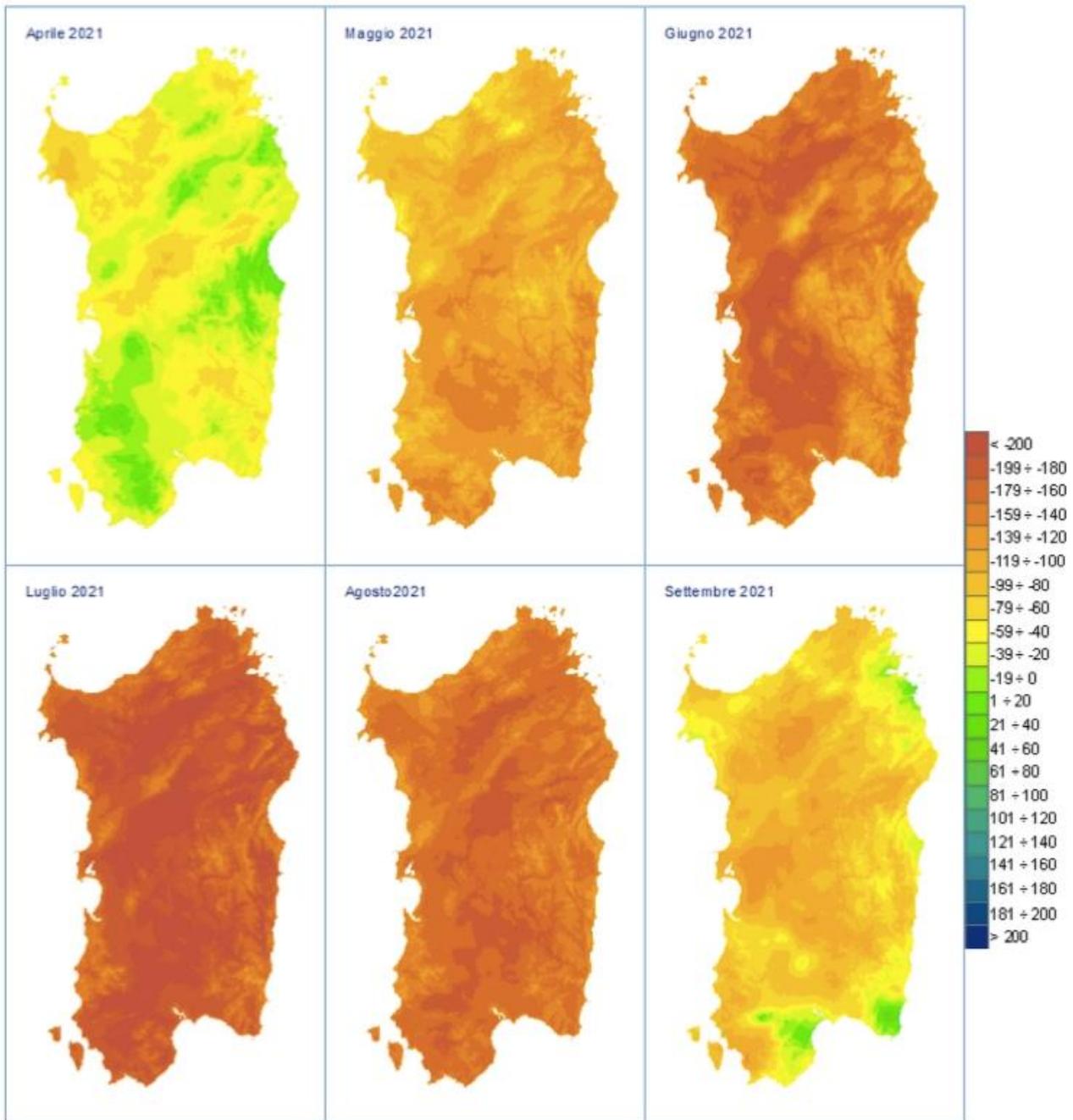


Figura 34 Bilancio idro-meteorologico per il periodo aprile 2021 – settembre 2021 (espresso in mm),

La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l'irraggiamento solare, Nella Tabella 7, sono rappresentati i valori mensili di condizioni di sereno (nuvolosità < 2/8), nuvoloso (2/8 < nuvolosità < 6/8) e coperto (nuvolosità > 6/8), espressi in okta (stima di quanti ottavi di cielo sono oscurati dalle nuvole) e riferiti al periodo 1961 – 1990 per la stazione di Cagliari.

Dall'esame dei valori della tabella si evince che il massimo di giorni sereni si ha tra Luglio e Settembre mentre durante gli altri mesi è sempre presenta una certa copertura. Il valore minimo di giornate

nuvolose si ha nel mese di Luglio e il massimo si osserva nei mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio. Le giornate in condizioni di coperto raggiungono il massimo a Gennaio e minimo a Luglio,

Nuvolosità	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuo
sereno	6	5	6	7	8	12	22	18	10	6	6	7	113
nuvoloso	14	13	15	14	14	14	7	10	14	17	17	15	164
coperto	11	10	10	9	9	4	2	3	6	7	7	9	88

Tabella 3 Media mensile dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1961-1990, relativa alla stazione di Cagliari, espressa in okta,

Il clima è influenzato anche dall'andamento del vento al suolo (ventosità), che viene definito analizzandone l'intensità, la direzione e la frequenza. Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, risulta che i venti provenienti dai quadranti settentrionali sono generalmente in netta dominanza, in particolare quello più frequente proviene da NW.

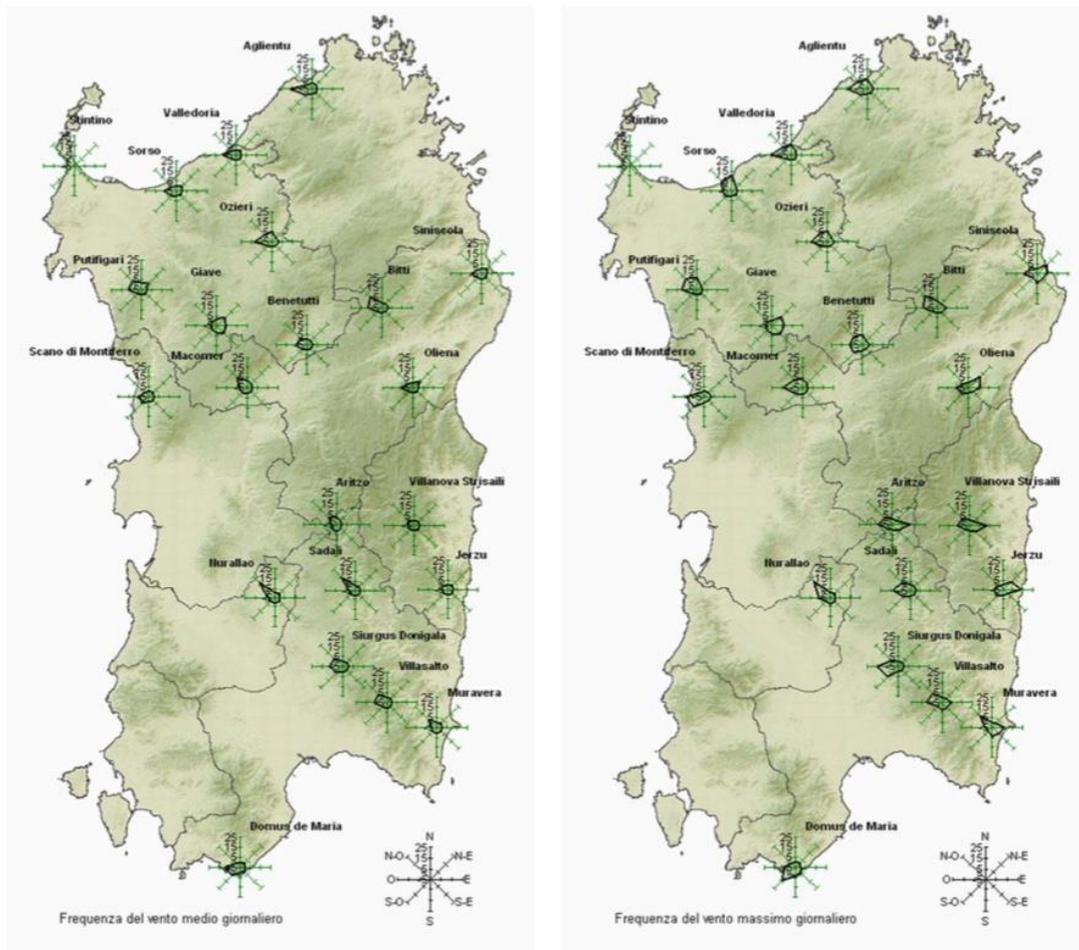


Figura 35 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata relativa nell'anno 2017 (mese giugno),

Dai report annuali emessi dall'ARPAS per l'anno 2017, nelle stazioni vicine all'area di studio, il vento prevalente non ha avuto una unica direzione realmente dominante. Le direzioni prevalenti si sono osservate dai quadranti nord-occidentali e sud-orientali. L'intensità prevalente è quella compresa tra 2-6 m/s (debole), con alcuni picchi fino a 27 m/s (moderato-forte), o di burrasca.

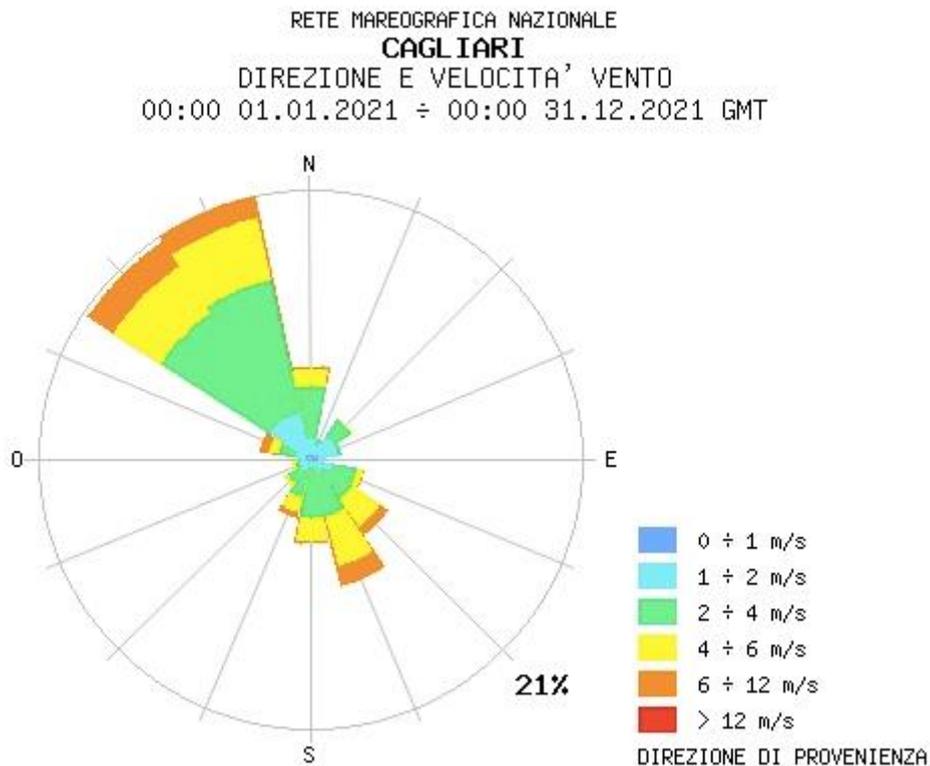


Figura 36 Ventosità media annuale per la stazione meteorologica di Cagliari relativa all'anno 2021,

L'ultima variabile significativa che condiziona l'evapotraspirazione è l'umidità relativa, ossia il rapporto tra la quantità di vapore d'acqua contenuta in una massa d'aria rispetto e quella massima potenziale in relazione alla sua temperatura. Dal grafico che riporta i valori dell'umidità relativa media mensile ed annuale della stazione di Cagliari-Elmas per l'anno 2021, si nota che tale valore raggiunge valori più elevati nei mesi invernali (Dicembre-Gennaio) e valori minimi nel mese di Luglio.

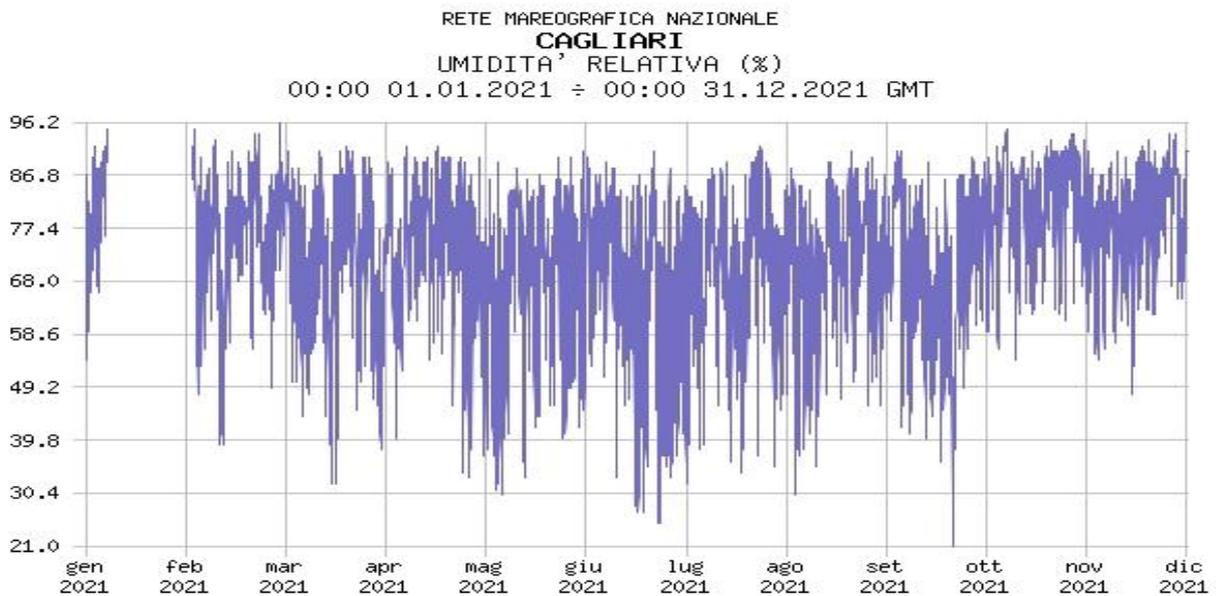


Figura 37 Umidità relativa per la stazione di Cagliari, per l'anno 2021,

Il diagramma ombrotermico elaborato per il settore di Seui a partire dai dati sulla temperatura media e precipitazioni medie permette di comparare contemporaneamente i regimi medi mensili termici e pluviometrici nell'arco del periodo considerato. L'andamento delle curve consente di visualizzare che nei mesi estivi, dove la temperatura media mensile raggiunge valori superiori ai 24 °C, si hanno i valori di piovosità inferiori, mentre nei mesi invernali, dove le temperature medie mensili si attestano ai 8°C, si raggiungono le piovosità più elevate.

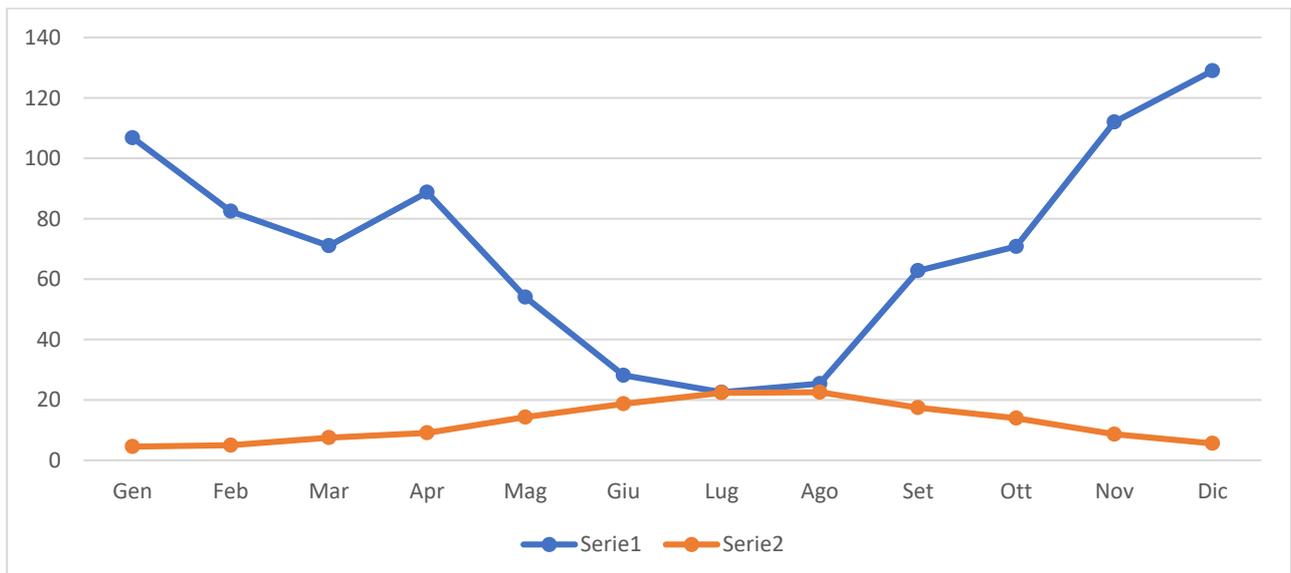


Figura 38 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Seui

Il clima è caratterizzato da un periodo caldo con scarsa piovosità e uno più freddo e piovoso. Nel diagramma ombrotermico si nota che la curva delle precipitazioni giace al di sotto di quella delle temperature nei mesi estivi, che rappresentano il periodo secco in quanto prevale l'evapotraspirazione rispetto agli apporti idrici.

L'analisi delle medie mensili di temperatura e piovosità relative al periodo 1981-2010 permette di classificare il clima dell'area di Seui come "mediterraneo con estate calda", nel quale la temperatura media annua (12,47 °C), per quattro mesi (Giugno-Settembre) supera i 15 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 650 mm annui.

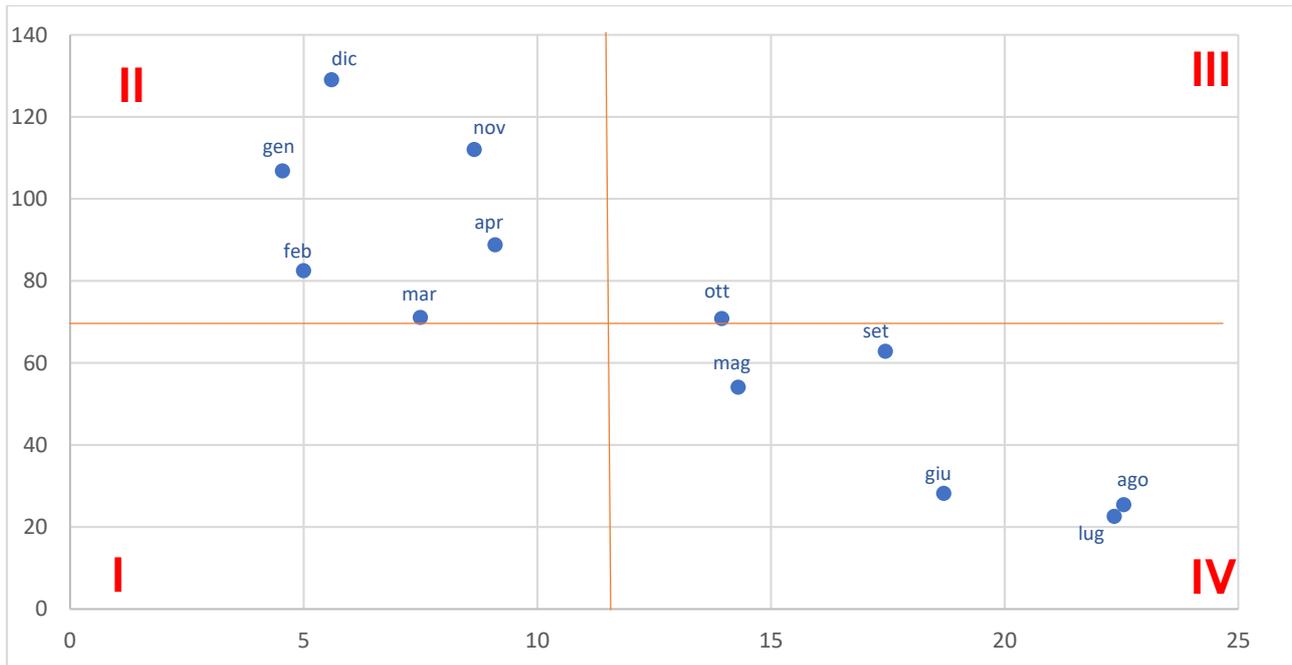


Figura 39 Climogramma relativo alla regione di Seui,

Dal climogramma realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 1981-2010 per l'area di Seui, nel quale i quadranti definiscono le diverse tipologie di climi, ossia freddo arido (I), freddo umido (II), caldo umido (III) e caldo arido (IV), è evidente che il settore in studio è caratterizzato da due periodi, uno lungo di caldo arido ed uno limitato freddo umido.

La classificazione fatta sul clima della regione è confermata anche dall'indice di aridità medio di Demartonne stimato per l'area in oggetto che ricade nel settore da "secco - sub-umido" a "subumido" per il periodo considerato, con precipitazioni prevalenti nei mesi autunnali ed invernali e valori minimi nei mesi estivi, in concomitanza con i massimi termici annui.

L'analisi dei parametri meteorologici permette di confermare l'andamento climatico rilevato in quasi tutta la Sardegna, nettamente bistagionale con le stagioni caldo arida e fresca umida che si alternano nel corso dell'anno, intervallate da due brevi stagioni a carattere intermedio.

13. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

Le tipologie di suolo sono legate per genesi alle caratteristiche delle formazioni geo-litologiche presenti e all'assetto idraulico di superficie nonché ai diversi aspetti morfologici, climatici e vegetazionali.

Poiché la litologia del substrato o della roccia madre ha una importanza fondamentale quale fattore nella pedogenesi dei suoli, le unità principali sono state delimitate in funzione delle formazioni geologiche prevalenti, e successivamente all'interno di esse sono state individuate unità, distinte dalla morfologia del rilievo, dall'acclività e dall'uso del suolo prevalente.

L'area di progetto su cui verranno installate le turbine ricade nei paesaggi su "**Metamorfiti (scisti, scisti arenacei, argilloscisti, ecc.) del Paleozoico e relativi depositi di versante,**" in **Aree con forme da aspre a subpianeggianti al di sotto degli 800-1000 m (classe B2) e al di sopra degli 800-1000 m (classe B4).**

Le turbine **SE_01, SE_02, SE_03, SE_04, SE_05 e SE_06** ricadono nella classe **B4**, ovvero "**Suoli a profilo A-C, A-Bw-C e subordinatamente roccia affiorante, da poco a mediamente profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, permeabili, subacidi, parzialmente desaturati, Suoli DYSTRIC, TYPIC, LITHIC XERORTHENT, TYPIC XERUMBREPTS, , DYSTRIC, TYPIC, LITHIC XEROCHREPTS, subordinatamente ROCK OUTCROP**".

Le turbine **SE_07, SE_08, SE_09 e SE_10** ricadono nella classe **B2**, ovvero "**Suoli a profilo A-C, A-Bw-C e subordinatamente roccia affiorante, da poco a mediamente profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, subacidi, parzialmente desaturati, Suoli TYPIC, DYSTRIC, LITHIC XERORTHENTS E TYPIC, DYSTRIC, LITHIC XEROCHREPTS, subordinatamente PALEXERALFS E HAPLOXERALFS, ROCK OUTCROP, XEROFLUVENTS**".

Il cavidotto invece in taluni tratti incontra suoli classificati nelle classi:

A1 - Rocca affiorante e suoli a profondità variabile nelle anfrattuosità della roccia, con profili A-R e subordinatamente A-Bt-R, argillosi, poco permeabili, neutri, saturi.

B1 - Rocca affiorante, suoli a profilo A-C e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, mediamente permeabili, subacidi, parzialmente desaturati.

H1 - Rocca affiorante e suoli a profondità variabile nelle anfrattuosità della roccia, con profili A-R e subordinatamente A-Bt-R, argillosi, poco permeabili, neutri, saturi.

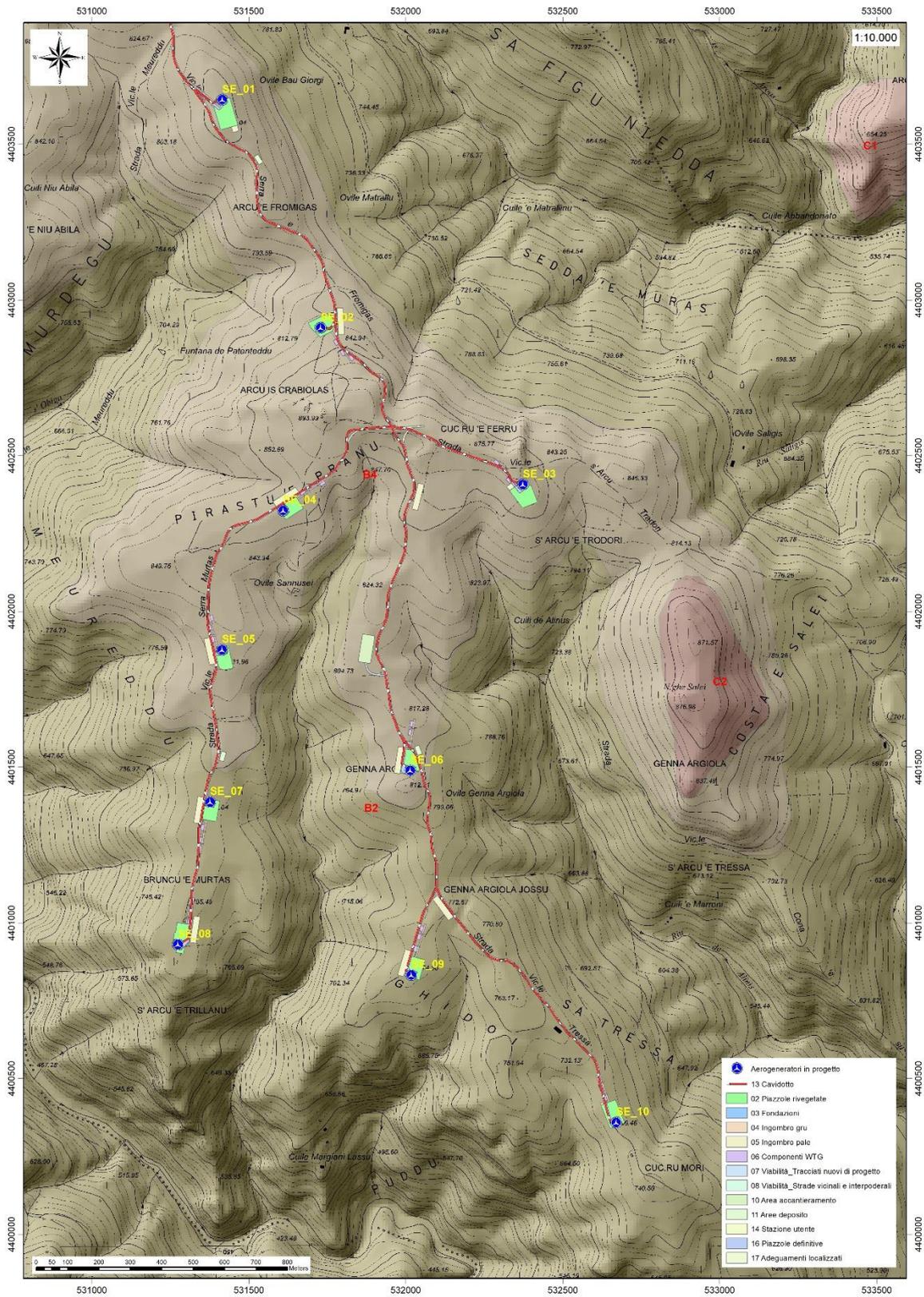


Figura 40 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

14. USO DEL SUOLO

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico si inserisce in un contesto in cui il suolo ricade in vari livelli.

Intorno al lotto di interesse, nello specifico dell'area di installazione delle turbine, le destinazioni d'uso ricadono in ambiti quali Gariga (3232), Aree a pascolo naturale (321), Colture temporanee associate ad altre colture permanenti (2413), Aree agroforestali (244), Aree a ricolonizzazione artificiale (3242), e Bosco di latifoglie (3111).

In particolare, dall'analisi della cartografia esistente, si evince che:

nel livello **3231**, classificato come "**Macchia Mediterranea**", ricadono le turbine SE_02 e SE_10;

nel livello **3232**, classificato come "**Macchia Mediterranea**", ricadono le turbine SE_01 e SE_08;

nel livello **2112**, classificato come "**Prati artificiali**", ricadono le turbine SE_03, SE_07 e SE_09;

nel livello **321**, classificato come "**aree a pascolo naturale**" ricade la turbina IS_04;

nel livello **333**, classificato come "**aree con vegetazione rada >5% e <40%**", ricadono le turbine SE_05 e SE_06,

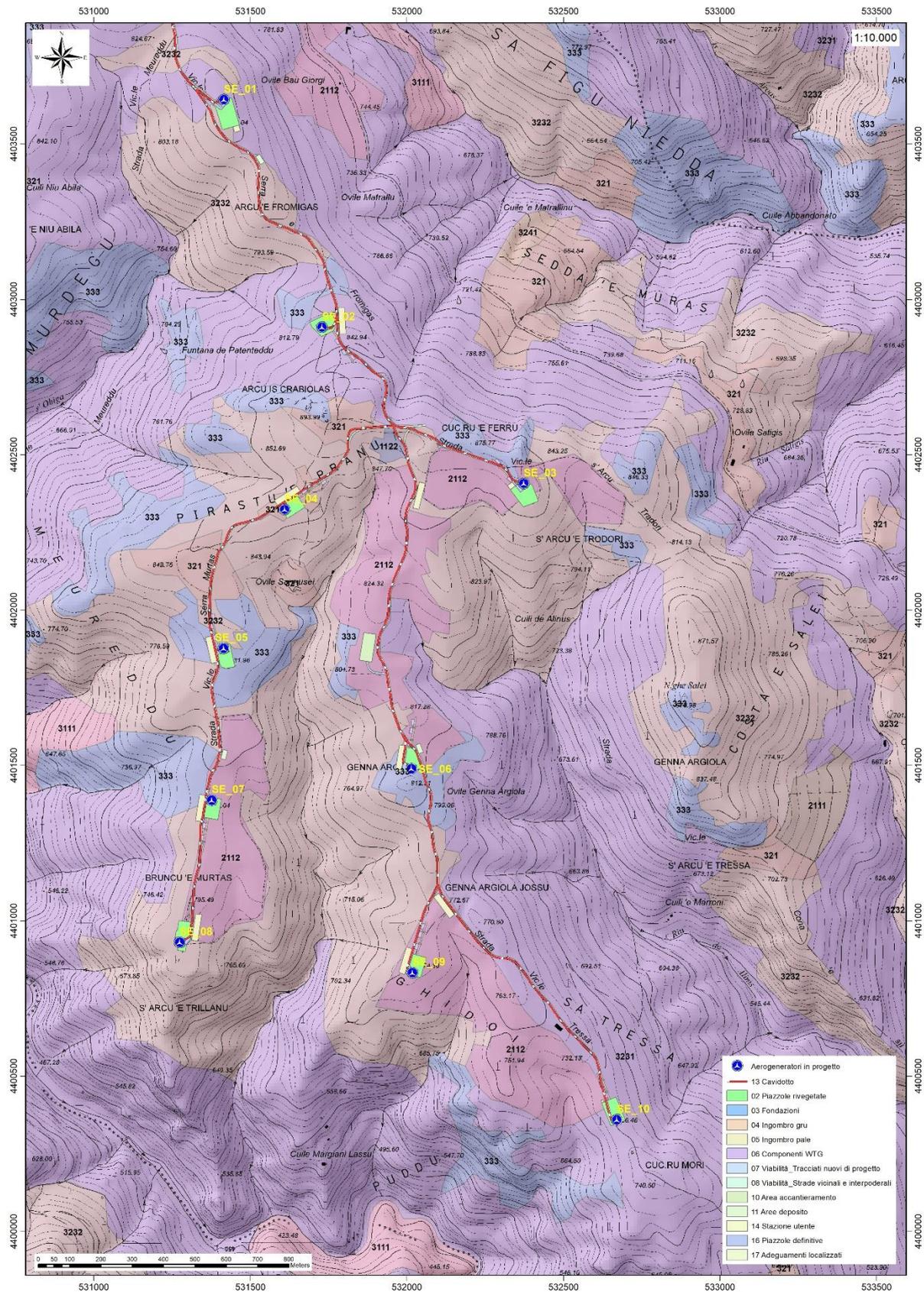


Figura 41 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS),

15. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI

15.1. PIANO STRALCIO D'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA SARDEGNA (P,A,I,)

Per quanto riguarda gli aspetti legati alla pericolosità idrogeologica, si sintetizzano gli esiti del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), che è stato redatto dalla Regione Sardegna ai sensi del comma 6 ter dell'art. 17 della Legge 18 maggio 1989 n. 183 e ss.mm.ii., adottato con Delibera della Giunta Regionale n. 2246 del 21 luglio 2003, approvato con Delibera n. 54/33 del 30 dicembre 2004 e reso esecutivo dal Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici n. 3 del 21 febbraio 2005.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e, in quanto dispone con finalità di salvaguardia di persone, beni, ed attività dai pericoli e dai rischi idrogeologici, prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale (Art. 4 comma 4 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI). Inoltre (art. 6 comma 2 lettera c delle NTA), "le previsioni del PAI [...] prevalgono: [...] su quelle degli altri strumenti regionali di settore con effetti sugli usi del territorio e delle risorse naturali, tra cui i [...] piani per le infrastrutture, il piano regionale di utilizzo delle aree del demanio marittimo per finalità turistico-ricreative".

Il comune di **Seui** non ha ancora redatto lo studio di dettaglio di compatibilità idraulico e geologico-tecnico ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione (NA) del PAI, per quanto invece riguarda il percorso del cavidotto questo attraversa aree a pericolosità idraulica e da frana in diversi punti con livelli di pericolosità geomorfologica Hg1, Hg2 e livelli di pericolosità idraulica Hi4.

L'area di progetto è pertanto parzialmente compresa nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica ed idraulica del PAI.

Per quanto concerne la pericolosità da frana si esplicita quanto segue:

- Tutte le turbine ricadono in aree sub-orizzontali con inclinazione minore o uguale al 15%
- Il cavidotto si sviluppa generalmente sempre su strade esistenti e corre interrato a circa 1,30 -1,50m da p.c, per quanto concerne la pericolosità idraulica gli attraversamenti verranno effettuati o in sub alveo o attraverso T,O,C, a quota maggiore di 1m da p.c.
- Per quanto riguarda la pericolosità geomorfologica esso incontra alcune aree a pericolosità geomorfologica Hg2 e Hg3.

Per la trattazione di dettaglio sulla disciplina di queste aree e le relative misure di mitigazione si rimanda allo studio di Compatibilità Geologico-geotecnica | Relazione asseverata idraulica.

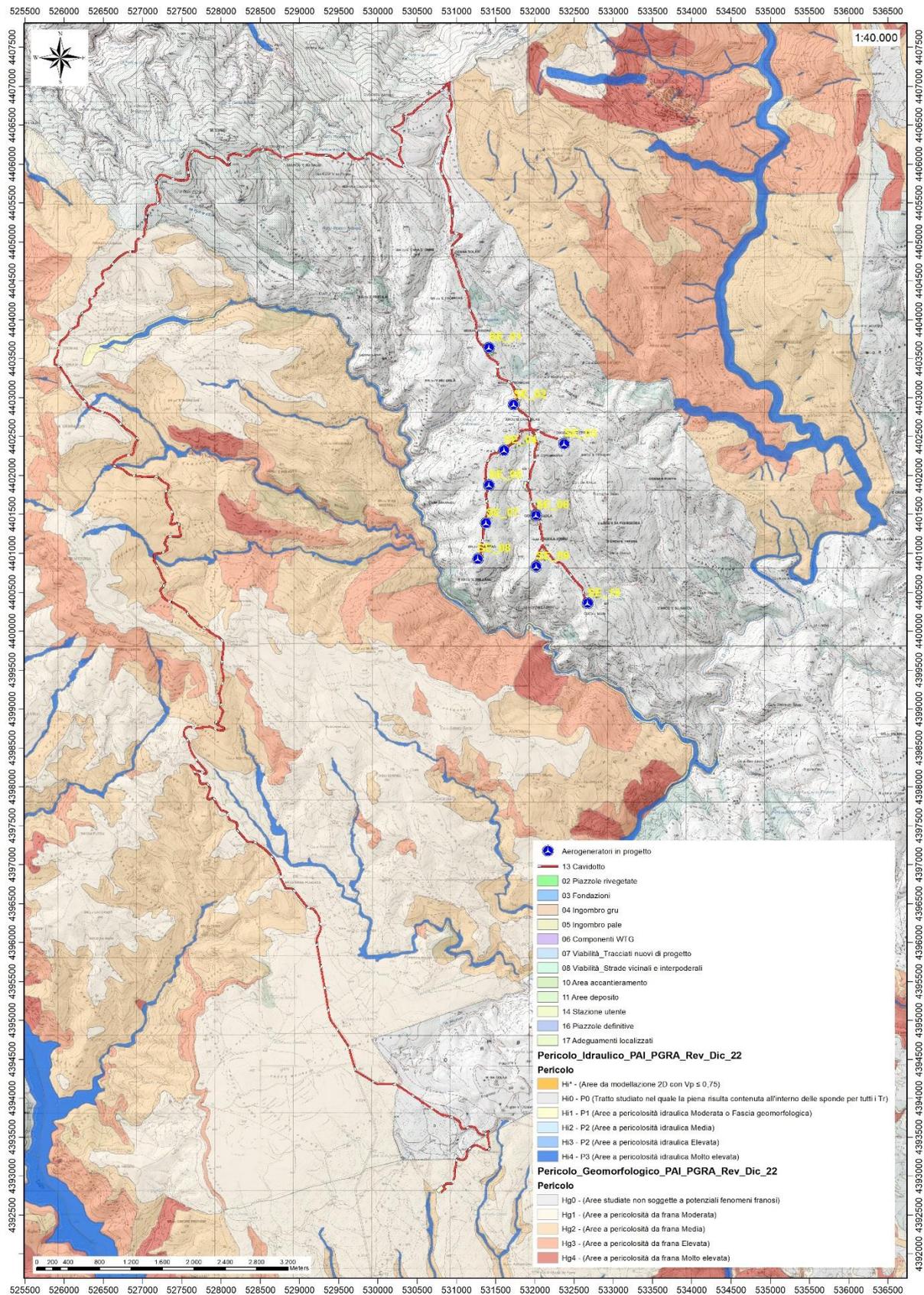


Figura 42 Pericolosità idraulica e geomorfologica PAI (RAS, agg,2022)

15.2. INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI – PROGETTO I,F,F,I,

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario sono menzionate aree **con crolli/ribaltamenti diffusi** e **aree con frane superficiali diffuse** che ricadono nell'area vasta della zona di interesse.

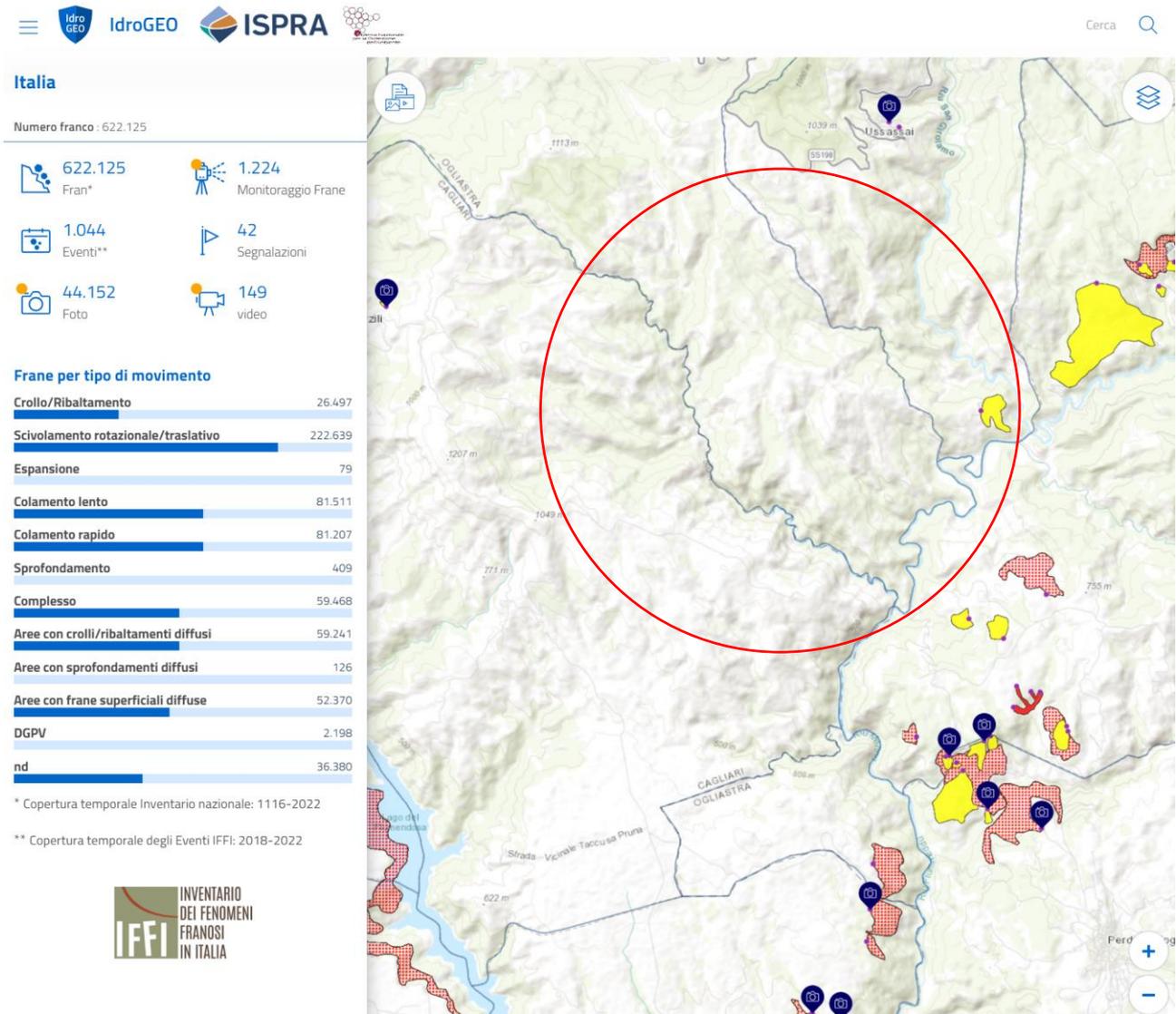


Figura 43 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

15.3. PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (P,S,F,F,)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) definisce, per i principali corsi d'acqua della Sardegna, le aree inondabili e le misure di tutela per le fasce fluviali. A seguito dello svolgimento delle conferenze programmatiche, tenute nel mese di gennaio 2013, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n,1 del 20,06,2013, ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P,A,I,) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Con Delibera n. 2 del 17,12,2015, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna ha approvato 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.

Per quanto riguarda le delimitazioni presenti nella cartografia del Piano Stralcio Fasce Fluviali, si evince che nel territorio circostante l'area di **Seui** non sono presenti aree perimetrate dal **PSFF**.

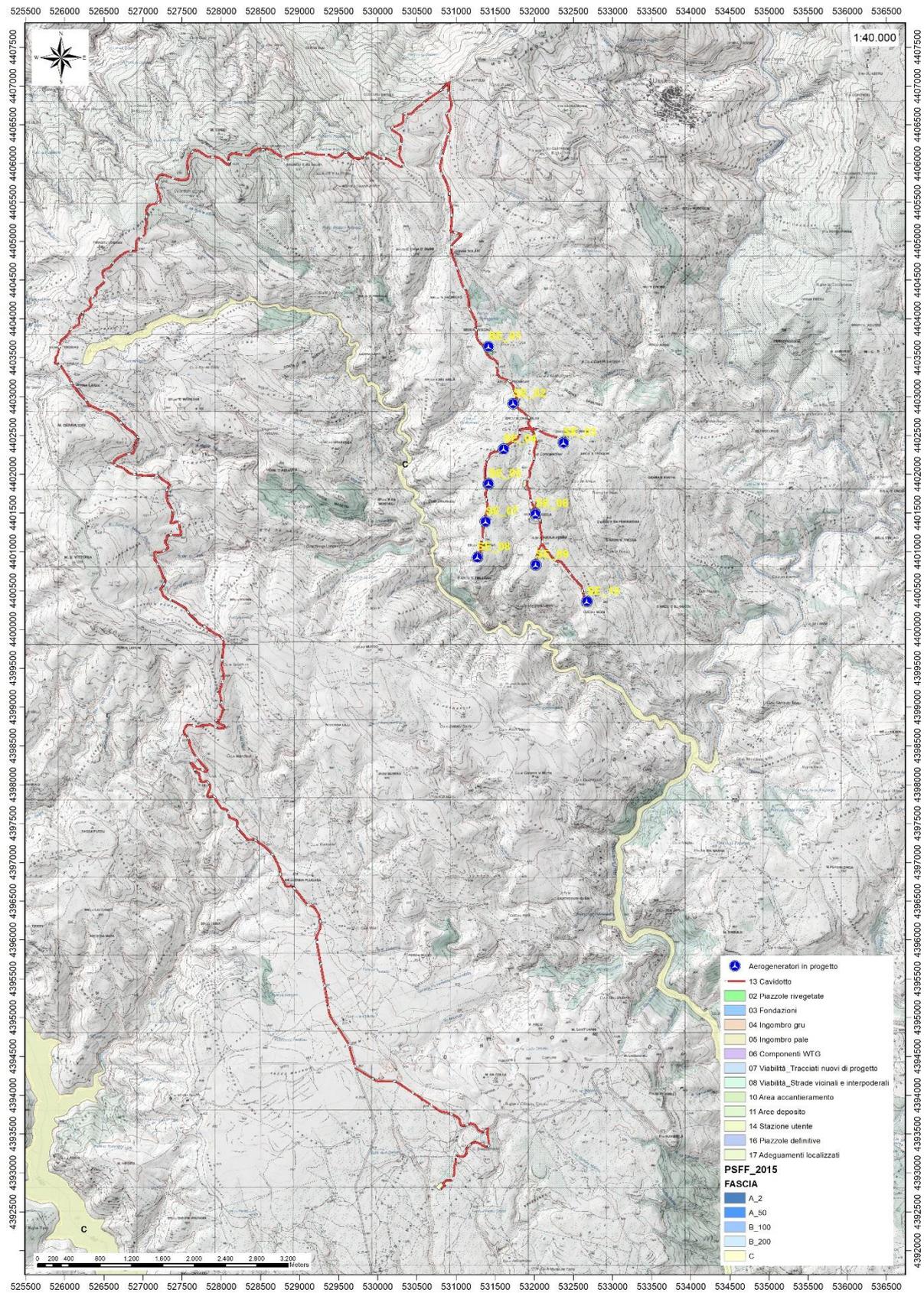


Figura 44 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF

15.4. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

L'articolo 7 del D,Lgs, 23 febbraio 2010 n, 49 "Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni", che recepisce in Italia la Direttiva comunitaria 2007/60/CE, prevede che in ogni distretto idrografico, di cui all'art, 64 del D,Lgs,152/2006, sia predisposto il **Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni** (di seguito indicato come PGRA).

L'obiettivo generale del PGRA è la riduzione delle conseguenze negative derivanti dalle alluvioni sulla salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali, Esso coinvolge pertanto tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni, con particolare riferimento alle misure non strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli eventi alluvionali; tali misure vengono predisposte in considerazione delle specifiche caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato. Il PGRA individua strumenti operativi e di *governance* (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative, L'area di progetto non è interessata da perimetrazioni del PGRA.

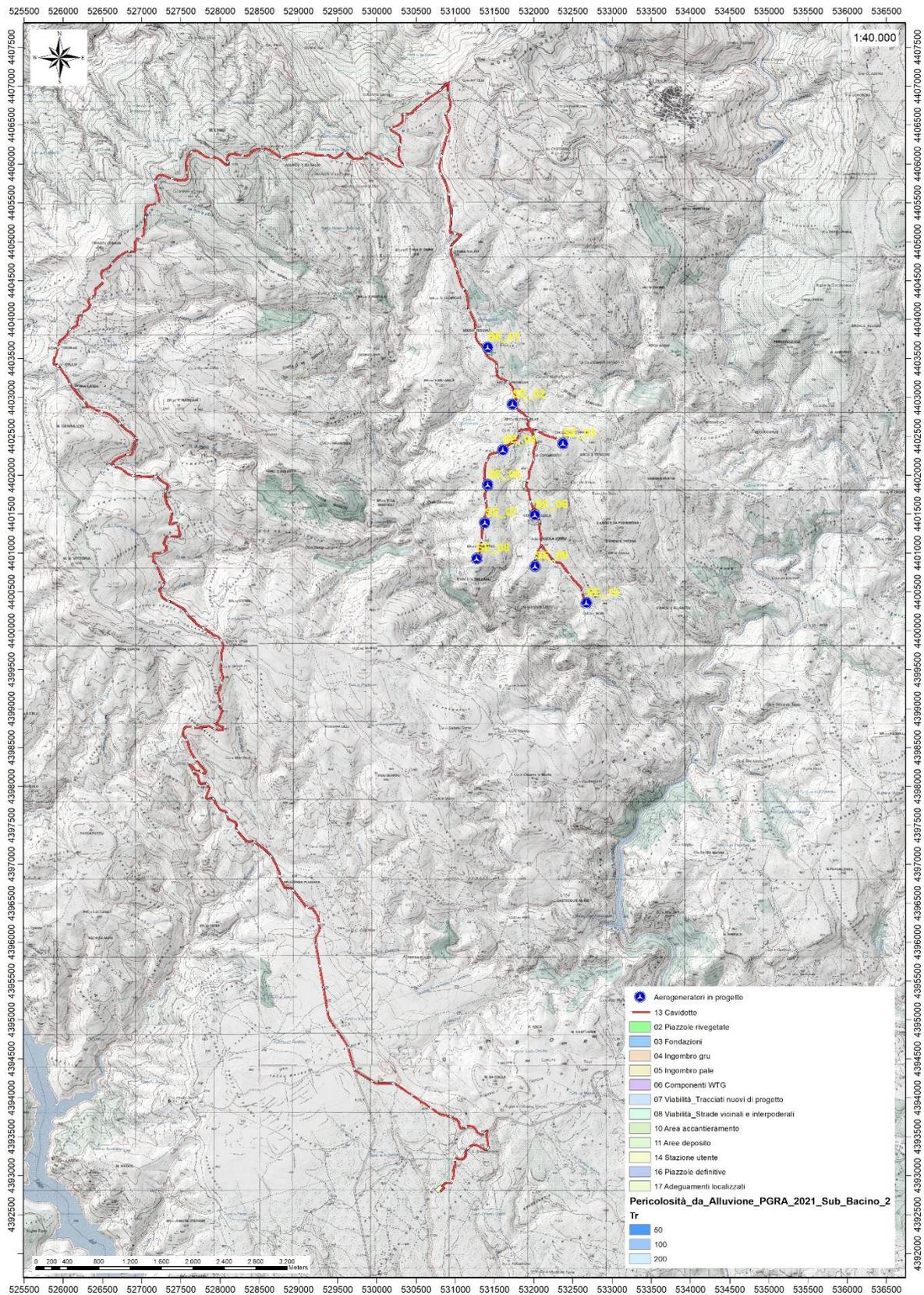


Figura 45 Stralcio perimetrazione PGRA aggiornata al 2021,

15.5. ART.30TER NTA PAI

Poiché il territorio comunale non è stato oggetto di uno Studio di dettaglio della pericolosità idraulica così come previsto dall'art,8 comma c delle NTA PAI, non possiede ancora lo strumento di pianificazione aggiornato alle ultime modifiche ed indicazioni sugli studi del reticolo idrografico minore, nelle more che questo avvenga, vengono istituite le fasce di prima salvaguardia secondo il comma 1 dell'art.30ter di seguito riportato:

"Per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio regionale di cui all'articolo 30 quater per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto."

Nel caso specifico i corsi d'acqua che scorrono a valle allontanandosi dalle zone maggiormente elevate ove sorgeranno le fondazioni delle turbine sono classificati di **ordine 1 e 2** secondo la gerarchia di Horton-Strahler e, in ragione delle distanze di prima salvaguardia istituite con il suddetto art,30ter, le opere devono rispettare quindi **una distanza di 10m** dall'asse del tracciato fluviale.

Nelle tavole sono evidenziati i tratti fluviali più prossimi alle opere in progetto e le rispettive **classi Horton-Strahler** contenute nel layer RAS. Le turbine in progetto sono situate oltre la fascia di rispetto minima consentita, In taluni casi le strade di collegamento possono interferire con impluvi di ordine 1 o 2, in tal caso si rende necessario verificare la portata dell'impluvio e ristabilire, se necessario, la connessione a valle mediante opportuni attraversamenti.

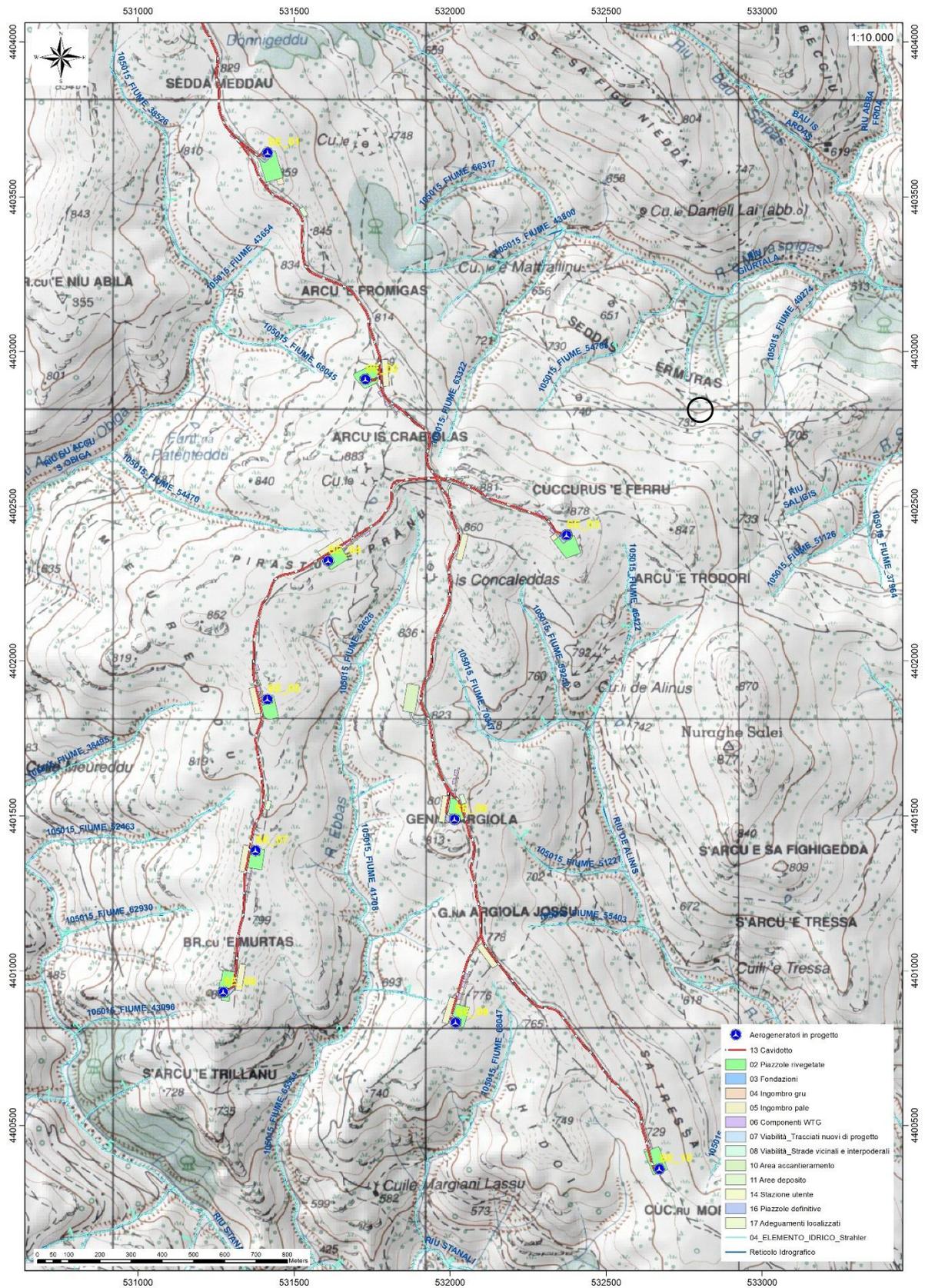


Figura 46 Interferenze dei corsi d'acqua con le opere di progetto (i numeri definiscono l'ordine di Strahler)

16. 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

16.1. GENERALITÀ SUL METODO SISMICO A RIFRAZIONE

Il metodo sismico a rifrazione studia la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali. La determinazione delle velocità si ottiene misurando i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica. Operativamente i profili sismici si eseguono disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), posti ad un intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare. Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili. Nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori. L'interpretazione dei segnali e la ricostruzione del profilo di velocità delle onde P consiste di almeno due fasi ben distinte, e cioè l'interpretazione dei sismogrammi e l'interpretazione dei diagrammi tempi-istanze (dromocrone).

Nella prima fase i tempi di primo arrivo dei segnali sismici vengono letti direttamente sui sismogrammi di campagna visualizzati a monitor. I tempi letti in corrispondenza di ciascun canale (geofono), vengono memorizzati in appositi files che costituiscono i dati in input del software utilizzato. Per ciascun tiro, quindi, si ricostruisce un diagramma dei tempi di arrivo in funzione della distanza dal punto di tiro stesso.

L'interpretazione delle dromocrone consiste, quindi, nel suddividere la funzione tempi/distanze in segmenti a pendenza differente, indicativi della presenza di variazioni di velocità nel sottosuolo. Questa operazione viene eseguita ad un terminale videografico dove è possibile eseguire modifiche ed aggiustamenti continui dell'interpretazione.

Il numero di segmenti per ciascuna funzione equivale al numero di strati che costituiranno il modello interpretativo finale; modello che consiste in una stratigrafia del terreno basata sulle variazioni di velocità delle onde compressionali.

Nella maggior parte dei casi, comunque, si riscontrano variazioni stratigrafiche che non corrispondono a variazioni di tipo litologico in senso stretto, ma alla naturale variazione di compattezza dello stesso materiale che, per alterazione superficiale o per semplice decompressione, si presenta più allentato in prossimità della superficie rispetto alle zone più profonde.

In questi casi per la modellizzazione del sottosuolo, risulta più adatta un'altra tecnica di elaborazione: la tecnica di elaborazione tomografica.

Con questa tecnica il sottosuolo viene suddiviso in elementi finiti di forma quadrata e di dimensioni estremamente piccole (dell'ordine di grandezza di decimetri) un software specifico, (nel nostro caso si è utilizzato il software RAYFRACT vers 4,01), che stima le velocità sismiche compatibili con ogni

singolo elemento affinché i tempi di percorso dei vari fronti d'onda, generati nei punti di tiro disposti lungo il profilo, risultino il più possibile simili ai tempi misurati e letti sui sismogrammi. Il risultato che si ottiene è una griglia di valori di velocità dalla superficie fino alle massime profondità di indagine che caratterizzano i vari elementi in cui è stato suddiviso il sottosuolo.

Questa griglia di valori può essere, quindi utilizzata per rappresentare l'andamento nel sottosuolo delle varie litologie presenti mediante variazioni cromatiche associate alle variazioni di velocità o mediante linee di isovelocità.

16.1.1. CARATTERISTICHE DELLE STESE SISMICHE

Per tutte le basi sismiche sono state eseguite 9 energizzazioni intervallate ogni 3 geofoni secondo lo schema di acquisizione definito dalle specifiche tecniche.

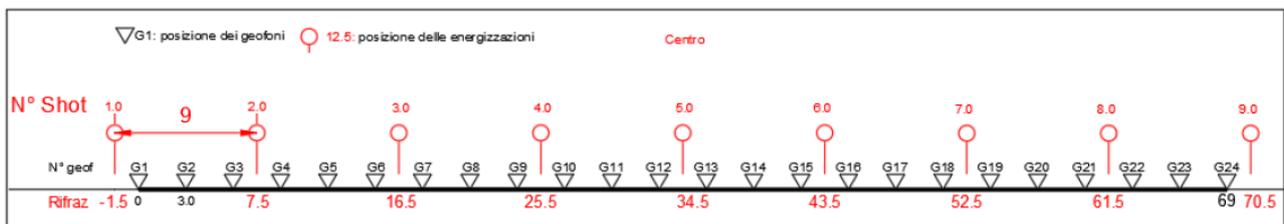


Figura 47 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 m

16.1.2. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse è stata utilizzata una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA Electronic instruments, 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.

16.1.3. ELABORAZIONE DEI DATI

I dati delle prospezioni sono costituiti dalla geometria d'acquisizione (posizioni e quote relative dei punti scoppio e dei geofoni) e dai tempi di primo arrivo delle onde elastiche di compressione (onde P), determinati manualmente sulle registrazioni riprodotte a schermo (picking dei primi arrivi). La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. Nelle figure che seguono si riportano alcune schermate delle operazioni eseguite.

L'inversione dei dati è stata eseguita secondo i criteri della tomografia sismica, mediante apposito software specialistico basato su tecniche di ottimizzazione non lineare. La sovrapposizione tra dromocrone sperimentali e calcolate ha portato a valori ottimi con valori dell'RMS <5%.

In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4,01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (WavepathEikonalTraveltime tomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono.

16.2. 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:

$$v = \lambda \times \nu$$

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.

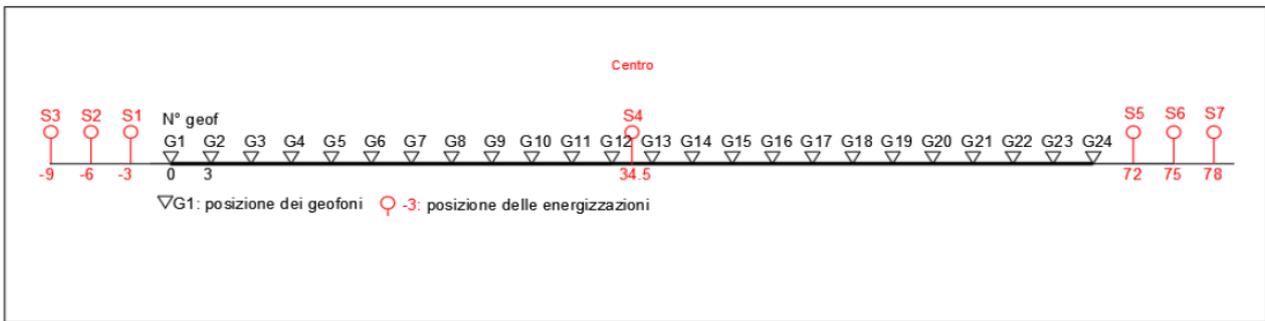
Profondità di indagine

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.

16.2.1. 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.



16.2.2. 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.

16.2.1. 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.

16.2.2. 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)

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

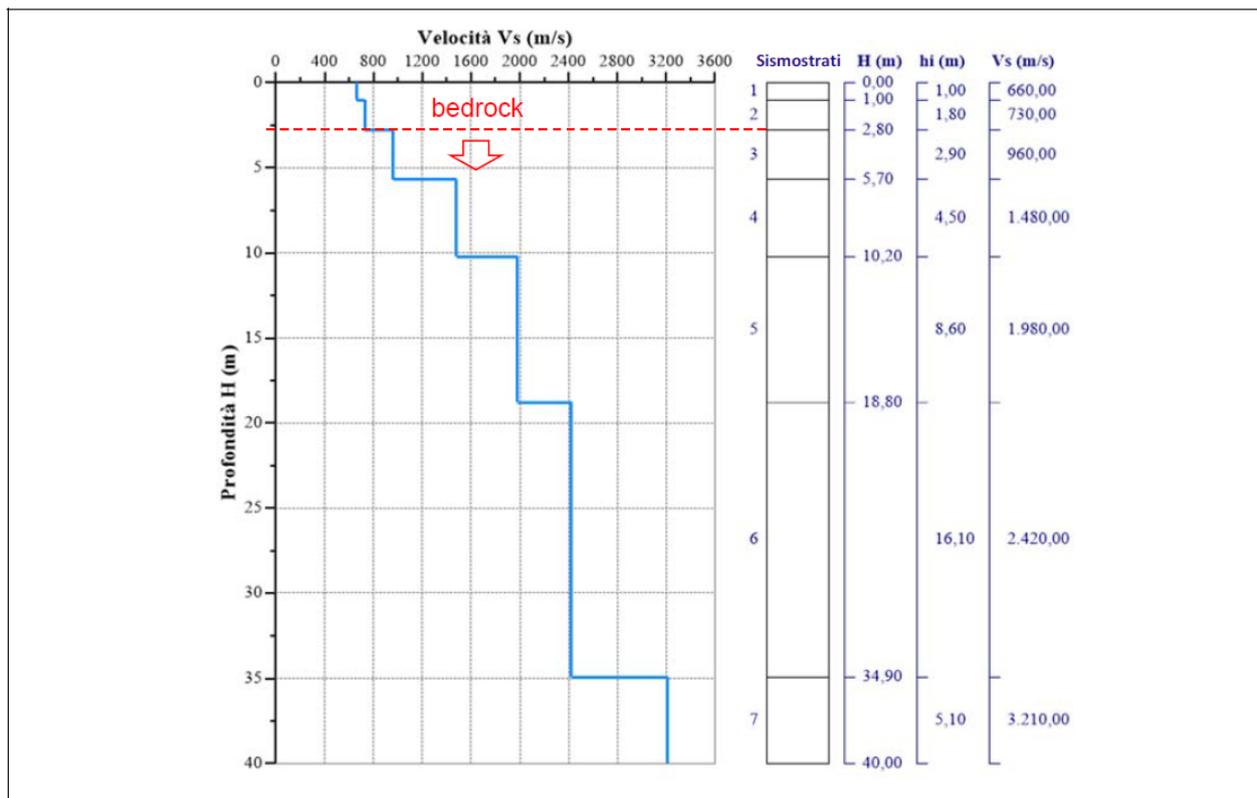
16.3. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SM01-TURBINA SE_05

16.3.1. 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 660 m/s Terre estremamente addensate
1,0 - 2,8	2° sismostrato con Vs di 730 m/s Terre estremamente addensate
2,8 - 5,7	3° sismostrato con Vs di 960 m/s Substrato roccioso fratturato
5,7 - 10,2	4° sismostrato con Vs di 1480 m/s Substrato roccioso fratturato
10,2 - 18,8	5° sismostrato con Vs di 1980 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
18,8 - 34,9	6° sismostrato con Vs di 2420 m/s Substrato roccioso sano
34,9 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 3210 m/s 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_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[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 48 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_{SPT}, 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;

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 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_{eq}>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.

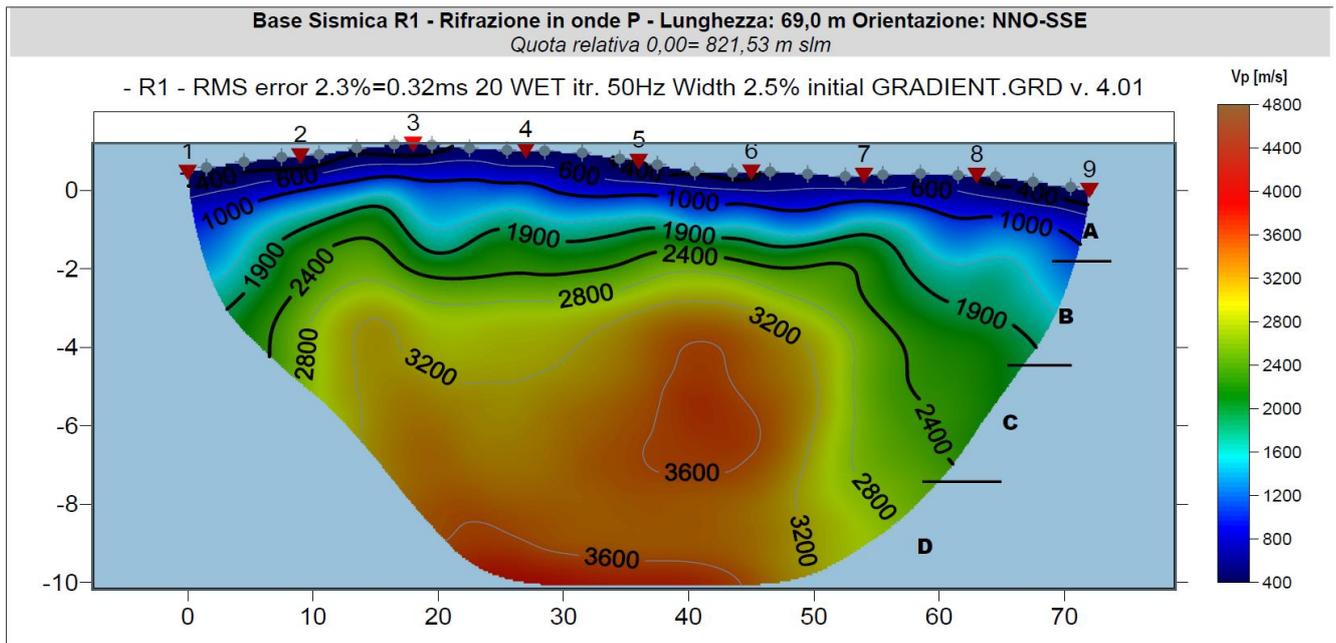
16.3.2. R1-SM01-SE_02: SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P

Nella sezione di sismica a rifrazione **R1-SM01-SE_05** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R1	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
Sismostrati		
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 0,8/1,2	400-1000
B: Unità delle terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 0,8/1,2 a 1,5/4,0	1000-1900
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 1,5/4,0 a 2,2/7,0	1900-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 2,2/7,0 a 10,1-11,0	2400-3600

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 3600 m/s. Il **sismostrato A** caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 0,8 e 1,2 metri da p,c e un andamento analogo al piano campagna. Il **sismostrato B** caratterizzato da terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta un andamento irregolare rispetto al sismostrato precedente e si rileva fino a profondità comprese tra 1,5 e 4,0 m dal p,c. Il **sismostrato C** costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 2,2 e 7,0 m di profondità dal p,c. Il **sismostrato D** rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità Vp medie e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 10,0/11,0 m dal p,c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso,

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 1,5 e 4,4 m dal p,c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 2,2 e 7,0 m dal p,c, si riscontra la presenza di materiale non rippabile.



16.4. RISULTATI DELLE INDAGINI SITO SM02-TURBINA SE_09

16.4.1. R2-SM02-SE_09: SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P

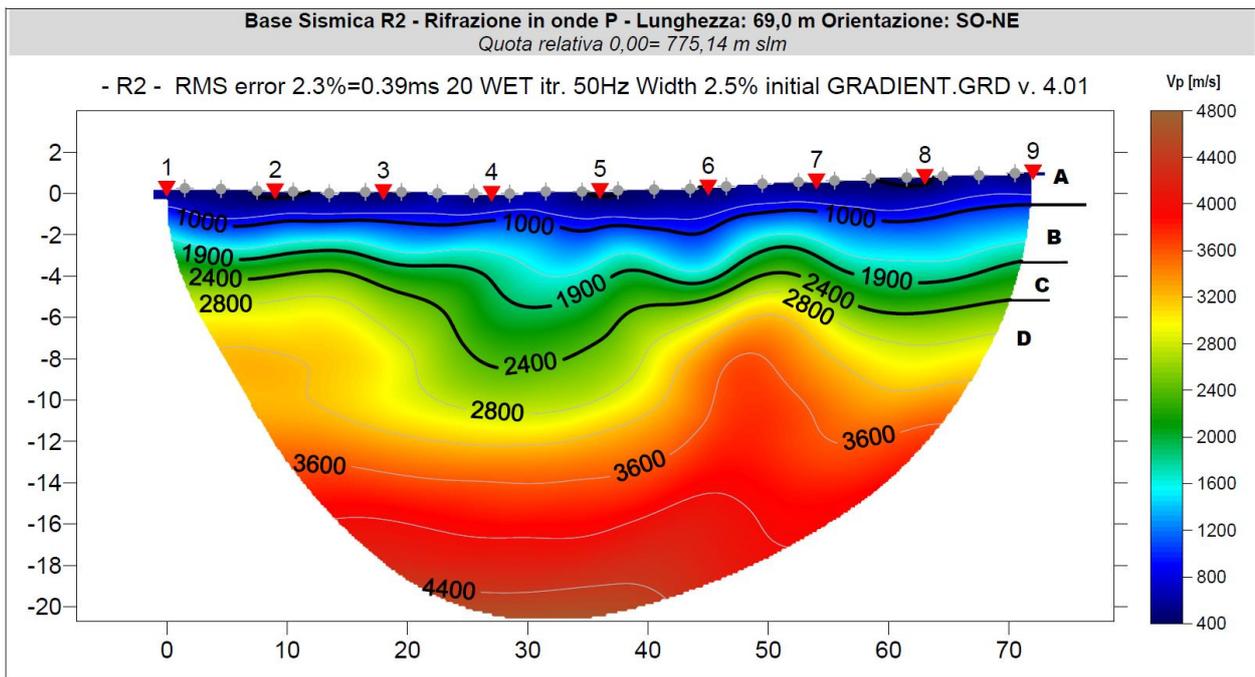
Nella sezione di sismica a rifrazione **R2-SM02-SE_09** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R2	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 1,0/2,1	400-1000
B: Unità delle terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,0/2,1 a 3,0/5,4	1000-1900
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,0/5,4 a 4,0/8,2	1900-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 4,0/8,2 a 20,5-23,5	2400-4400

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4400 m/s. Il **sismostrato A** caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 1,0 e 2,1 metri da p,c e un andamento simile al piano campagna. Il **sismostrato B** caratterizzato da terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 3,0 e 5,4 m dal p,c. Il **sismostrato C** costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 4,0 e 8,2 m di profondità dal p,c. Il **sismostrato D** rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte e si riscontra fino alle massime

profondità di indagine comprese tra 20,5/23,5 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso: nello specifico è possibile distinguere una fascia compresa tra le progressive 20 e 40 m caratterizzata da un maggiore grado di fratturazione che determina una minore velocità a parità di profondità.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 3,0 e 5,4 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 4,0 e 8,2 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.



16.5. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SM03-TURBINA SE_02

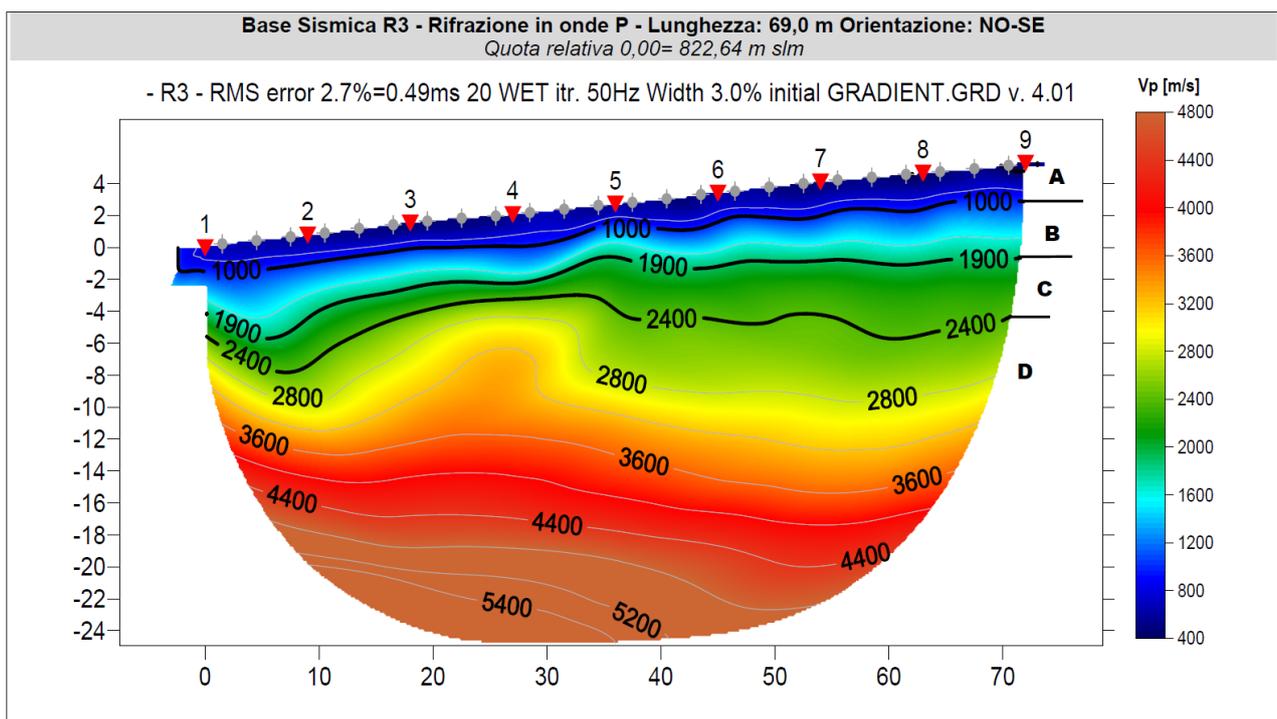
16.5.1. M3-SMT03-IS04: SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P E TOMOGRAFIA ELETTRICA

Nella sezione di sismica a rifrazione **R3-SM03-SE_02** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R3	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 1,2/2,0	400-1000
B: Unità delle terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,2/2,0 a 3,0/6,0	1000-1900
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,0/6,0 a 5,2/10,0	1900-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 5,2/10,0 a 24,5-30,0	2400-5400

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s

ai 5400 m/s. Il **sismostrato A** caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 1,2 e 2,0 metri da p,c e un andamento simile al piano campagna. Il **sismostrato B** caratterizzato terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 3,0 e 6,0 m dal p,c. Il **sismostrato C** composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 5,2 e 10,0 m di profondità dal p,c. Il **sismostrato D** rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità medioalte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 24,5/30,0 m dal p,c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 3,0 e 6,0 m dal p,c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 5,2 e 10,5 m dal p,c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.



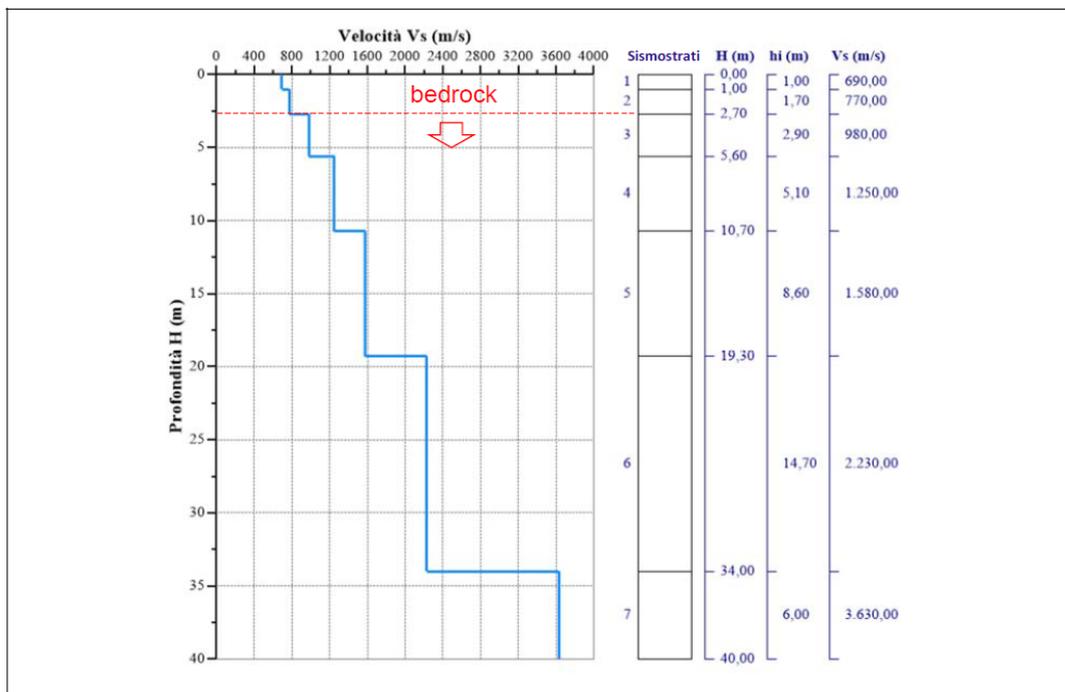
16.6. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SM04-TURBINA SE_07

16.6.1. 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, $V_{s,eq}$ (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.

Esaminato il profilo delle V_s si pone come profondità del substrato **10,8 m** ($V_s > 800$ 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: **$V_{s,eq} = 10,8/0,01501 = 719,63$ 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 V_s , e V_p e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	V_p	V_s	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico E_d	Modulo di Young statico E_d	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[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 49 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 V_s e N_{spt} , 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;

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 **2,70 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 Vseq>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.

16.6.2. R4-SM04-SE_03: SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P

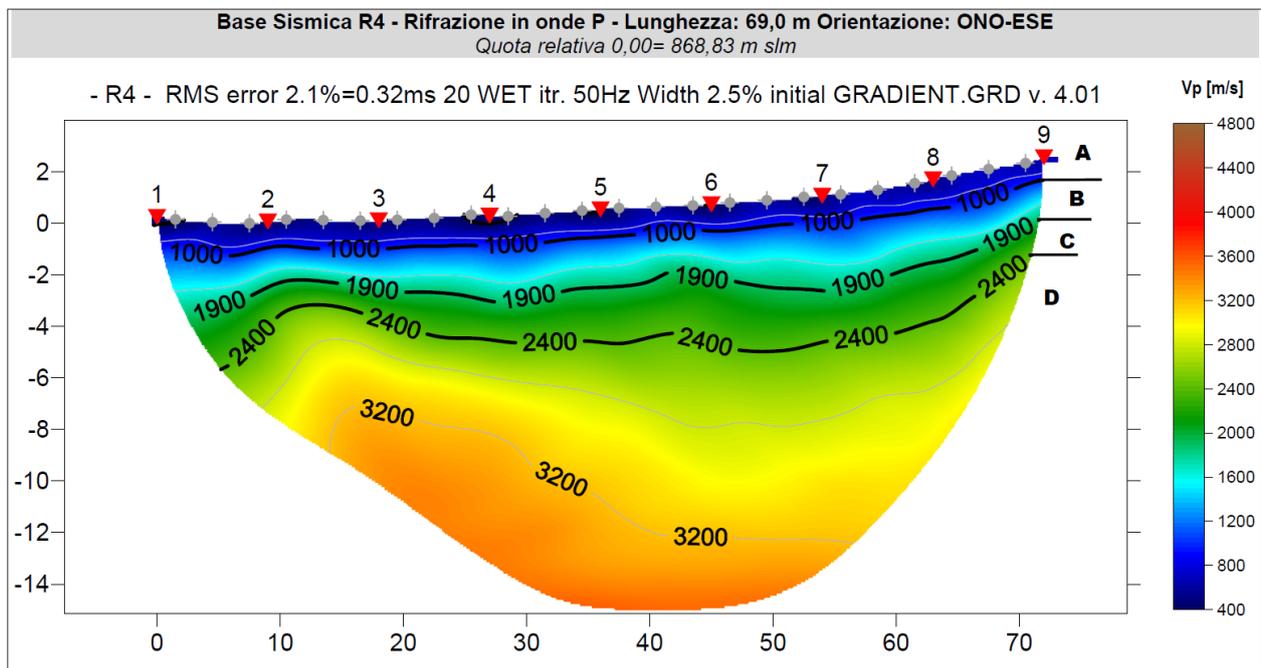
Nella sezione di sismica a rifrazione **R4-SM04-SE_03** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R4	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 0,8/1,2	400-1000
B: Unità delle terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 0,8/1,2 a 2,2/3,8	1000-1900
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 2,2/3,8 a 3,0/5,5	1900-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 3,0/5,5 a 15,0-17,5	2400-3200

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 3200 m/s. Il **sismostrato A** caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 0,8 e 1,2 metri da p,c e un andamento analogo al piano campagna. Il **sismostrato B** caratterizzato da terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta un andamento leggermente irregolare rispetto al precedente, con leggere variazioni rispetto ai sismostrati adiacenti, riscontrabile fino a profondità comprese tra 2,2 e 3,8 m dal

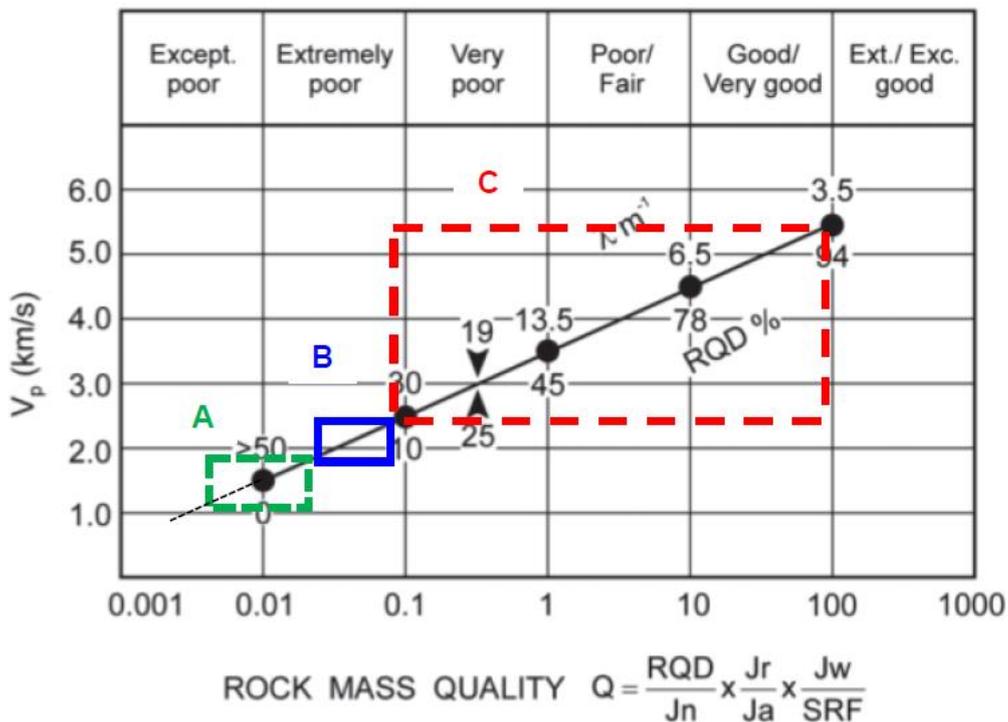
p,c. Il **sismostrato C** costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 3,0 e 5,5 m di profondità dal p,c. Il **sismostrato D** rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile, si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 15,0/17,5 m dal p,c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso,

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 2,2 e 3,8 m dal p,c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 3,0 e 5,5 m dal p,c, si riscontra la presenza di materiale non rippabile.



16.7. INDICAZIONI PER LA DETERMINAZIONI DEI PARAMETRI GEOMECCANICI

Le prospezioni geofisiche possono essere utilizzate in situazioni molto complesse quali gli ammassi metamorfici molto fratturati o in assenza di indagini dirette (v. sondaggi geognostici) per la definizione spaziale di alcuni elementi degli ammassi rocciosi (fratture, RQD, etc). Tra questi quello che potrebbe essere impiegato nel contesto in esame, è quello di N, Barton (2002) – che ha cercato di correlare, attraverso relazioni empiriche, le velocità delle onde P con la qualità della roccia Q e quest'ultima con una serie di parametri meccanici. Il grafico mostra la correlazione tra Vp con RQD e λ (fratture per metro) e il relativo indici di qualità dell'ammasso roccioso di Barton (Q),



Sulla base dei litotipi individuati dalla sismica in via preliminare e previa successiva conferma tramite esecuzione di sondaggi geognostici si può applicare la correlazione ai sismostrati B, C e D. Il rettangolo verde indica il settore del sismostrato B, con un RQD compreso tra 0 e 3, un numero di fratture per metro che varia tra 60 e 45 e un indice di qualità Q medio di 0,015 (ammasso roccioso eccezionalmente scadente); il rettangolo blu rappresenta il sismostrato C che ha valori di RQD compresi tra 3 e 8, un numero di fratture per metro compreso tra 45 e 30 e un valore dell'indice Q medio di 0,07 (ammasso roccioso estremamente scadente); infine il rettangolo rosso rappresenta il sismostrato D che ha valori di RQD compresi tra 8 e 95, un numero di fratture per metro compreso tra 30 e 3,5 e un valore dell'indice Q tra min 0,09 e max 100. Da quanto sopra le 3 unità sismostratigrafiche possono essere classificate come segue:

Sismostrati	Vp (m/s)	RQD (%)	λ (1/m)	Q*
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	1000-1900	0-3	60-45	0.008-0.04
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	1900-2400	3-8	45-30	0.04-0.09
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	2400-5400	8-95	30-3,5	0.09-100

*L'indice Q può essere correlato all'indice RMR della classificazione di Bieniawski con la relazione: $RMR = 9 \ln Q + 44$;

La prospezione geofisica attraverso l'impiego delle tecniche MASW, sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto litotratigrafico dell'area in esame e dedurne le caratteristiche sismiche ed elettriche. Lungo la

verticale indagata si evince la presenza di sismostrati con velocità V_p e V_s in genere crescente con la profondità con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi, mentre tutti i terreni e rocce incontrati sono caratterizzati da valori di resistività da medio bassa a bassa.

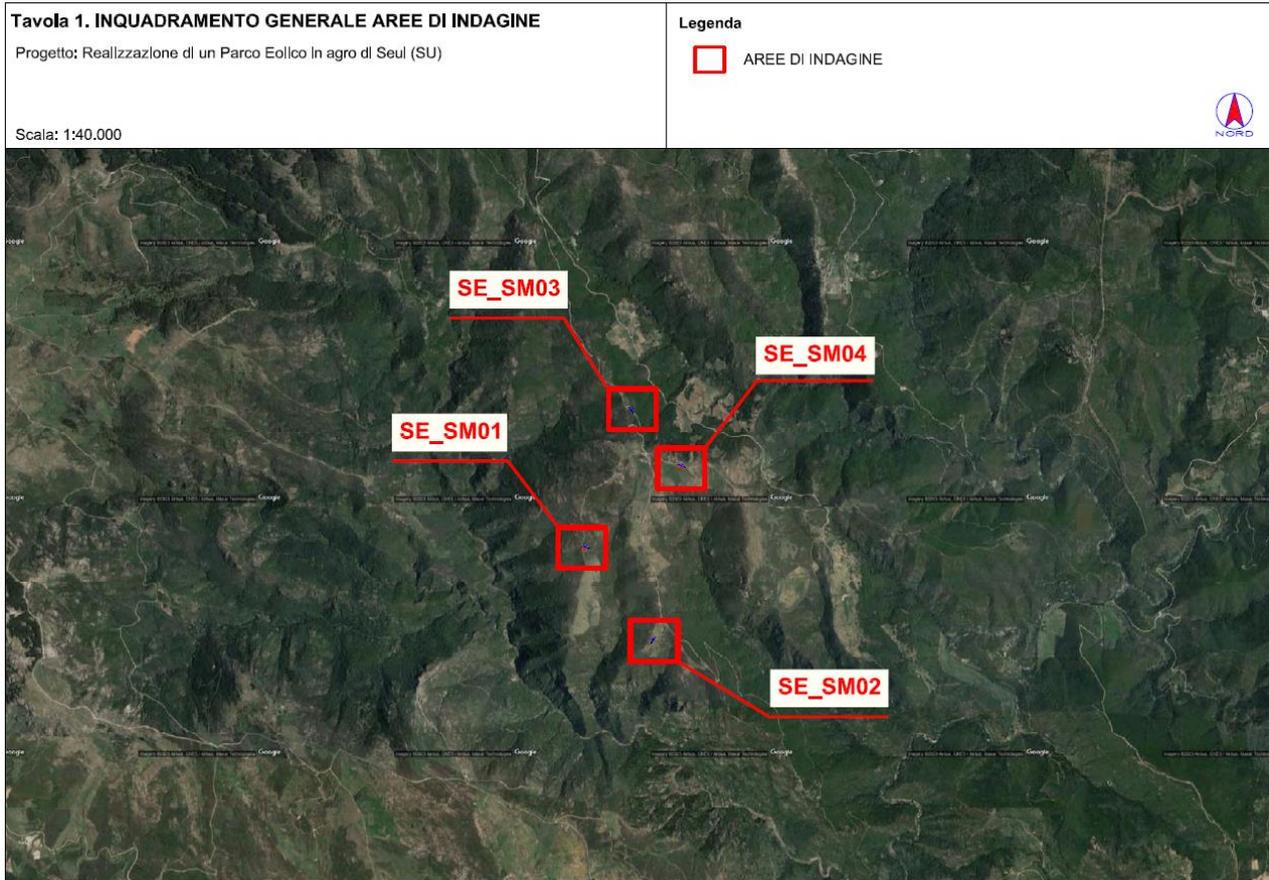
Per quanto riguarda le MASW, lungo gli stendimenti si evince la presenza di sismostrati con velocità V_s crescente con la profondità sino ad incontrare il bed rock con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per i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

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	A

dati derivati dalla MASW messi in correlazione con le bibliografiche indicate nei precedenti paragrafi hanno permesso di determinare i parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni e per correlazione ottenere una preliminare definizione dei parametri di resistenza al taglio.

L'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione ha permesso di ricostruire l'assetto sismostratigrafico dei terreni. Nei precedenti paragrafi si illustrano i differenti sismostrati individuati dai quali è possibile distinguere i terreni delle coperture dal substrato roccioso. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che nelle sezioni i terreni risultano rippabili sino a pochi metri di profondità rispetto al piano campagna, specificamente profondità medie comprese tra 2,4 e 4,8 m da piano campagna.

Le prospezioni geofisiche in rifrazione sono state utilizzate anche per la definizione spaziale di alcuni elementi degli ammassi rocciosi (fratture, RQD, etc) e per la definizione per l'indice di qualità di Barton Q: si tratta chiaramente di correlazioni da impiegare con le dovute approssimazioni ma comunque utili in determinate situazioni nelle quali dai sondaggi è difficile ottenere dei parametri di caratterizzazione dell'ammasso roccioso.



17. MODELLAZIONE GEOLOGICA

17.1. MODELLO GEOLOGICO DI SITO

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione esecutiva dell'opera e nelle varie fasi di realizzazione.

L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti, Nello specifico:

- Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti, Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione ai livelli meno competenti sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio. La profonda deformazione che le metamorfiti hanno subito genera variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro, pertanto, si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
- Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia – pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali, In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito ed in particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, sono stati individuati **2 modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito per gruppi di turbine.

17.1.1. MODELLO GEOLOGICO 01

Turbine SE_01 – SE_02 – SE_04, SE_05, SE_06, SE_07, SE_08, SE_09, SE_10:

da 0,00 a 1,00m – depositi colluviali/eluviali/suoli

da 1,00m a 2,8m – filladi fortemente fratturate

da 2,80m a 10,2m – filladi fratturate

da 2,8m a 20,00m – filladi da debolmente fratturate a sane

FALDA: non riscontrata

17.1.2. MODELLO GEOLOGICO 02

Turbina SE_03:

da 0,00 a 1,00m – depositi colluviali/eluviali/suoli ben addensati -

da 1,00m a 2,7mm – porfidi da intensamente fratturate a fratturate

da 2,70m a 10,7m – porfidi fratturate

da 10,7m a 20,00m – filladi da debolmente fratturate a sane

FALDA: non riscontrata

Per quanto concerne la parametrizzazione, stante le risultanze, si ritiene di adottare come modello geologico del sito quello maggiormente cautelativo e perciò a caratteristiche geotecniche peggiori e condizioni di falda presente.

Pertanto, la stratigrafia di riferimento è la seguente:

da 0,00 a 1,00m – depositi colluviali/eluviali/suoli ben addensati -

da 1,00m a 2,7mm – porfidi da intensamente fratturate a fratturate

da 2,70m a 10,7m – porfidi fratturate

da 10,7m a 20,00m – filladi da debolmente fratturate a sane

FALDA: a partire dalla quota di 4m da p.c.

Per la caratterizzazione geotecnica sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico SE_SM04.

Si suggerisce in fase di progettazione esecutiva di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es, sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

Per il calcolo di c e phi è stato utilizzato il software RocData, nel quale i valori dei parametri inseriti sono stati ricavati in parte da prove geofisiche e in parte dall'osservazione in campo.

Di seguito i parametri geotecnici:

MODELLO GEOLOGICO						
		Dati Parametri Resistenza				
Tipo di Terreno		S1	S2	S3	S4	
Descrizione		Depositi eluvio-colluviali/	Substrato roccioso intensamente fratturato	Substrato roccioso fratturato	Substrato roccioso da poco fratturato a sano	
Peso di volume**	[kg/mc]	1,800	2,000	2,100	2,350	
Peso di volume saturo**	[kg/mc]	1,900	2,100	2,100	2,350	
Angolo di attrito*	[°]	26,12	32,50	35,15	38,25	
Coesione*	[Mpa]	0,5	0,00	0,288	3,54	
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico **	[Mpa]	28	252	619	3685	
Coefficiente di Poisson**	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	
Modulo di taglio (G)**	[Mpa]	88	785	1932	9209	
Velocità onde di taglio Vs**	[m/sec]	210	660	960	1980	

*Valori ricavati da interpolazioni su ROCDATA da confermare con indagini dirette e puntuali

** Valori ricavati da dati derivati dalle indagini geofisiche da confermare con indagini dirette e puntuali

17.2. VIABILITÀ DI IMPIANTO E SOTTOSTAZIONE

La viabilità di impianto è stata scelta utilizzando dei tracciati preesistenti che verranno adeguatamente ridefiniti nelle sezioni nella misura utile e funzionale al servizio destinato con particolare riferimento alla fase di realizzazione del parco ove avverrà la maggior se non totale movimentazione di carichi e mezzi, La stessa viabilità sarà mantenuta in fase di esercizio.

La viabilità dovrà sopportare un peso per asse pari a 20,5 tonnellate/metro quadro, una pressione massima di circa 2 kg/cm. La carreggiata dovrà essere pari a 5 metri, La pendenza longitudinale massima della viabilità per strade con fondo sterrato o ghiaioso deve essere in condizioni ordinarie del 10% circa, la pendenza può essere del 14-15% per strade con fondo sterrato ad aderenza migliorata, per pendenze superiori il fondo dovrà essere cementato o rivestito con pavimentazione ecologica (costituita da una miscela di inerti, cemento, acqua, opportuni additivi e specifici pigmenti atti a conferire al piano stradale una colorazione il più possibile naturale e coerente con il contesto).

Sostanzialmente tutta la viabilità si snoda lungo substrato roccioso con presenza in taluni casi di una copertura superficiale di terreno vegetale e /o roccia degradata con spessori variabili da 0,00m a 6,00m.

Per quanto riguarda la scavabilità del substrato roccioso esso nelle varie facies presenti e nella parte superficiale risulta quasi sempre da fratturato a molto fratturato per cui facilmente scavabile con ripper e martellone.

La possibile presenza di alcune saccature a forte componente argillosa suggerisce di prevedere opere di smaltimento delle acque superficiale adeguatamente dimensionate.

Il tracciato del cavidotto si snoda lungo aree pianeggianti e tracciati stradali esistenti, Il cavidotto in progetto andrà a interessare il basamento paleozoico e nelle formazioni terziarie; ricadrà inoltre, in particolar modo nell'ultimo tratto di pianura ad arrivare alla sottostazione Terna, nei depositi quaternari, depositi alluvionali e depositi alluvionali terrazzati.

Non sono previste fondazioni profonde, pertanto non si rilevano particolari criticità salvo il controllo del deflusso delle acque superficiali essendo posizionata alle pendici di un versante.

18. CONCLUSIONI: CRITICITÀ GEOLOGICHE E SUGGERIMENTI OPERATIVI,

Lo studio condotto finalizzato ad individuare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche idrogeologiche e geostrutturali dell'area di interesse alle opere di progetto ha permesso, attraverso il rilievo diretto in sito, le indagini geognostiche e l'interpretazione sinergica tra le informazioni derivate di definire **nr. 2 modelli geologici e geotecnici ai sensi delle NTC 2018 rappresentativi delle diverse condizioni del sito, con particolare riferimento alle posizioni degli aerogeneratori e alla viabilità di accesso e di servizio al sito.**

Per quanto concerne l'installazione degli aerogeneratori, gli stessi prevedono opere fondanti costituite da plinti circolari a sezione troncoconica il cui piano di posa è previsto ad una profondità di riferimento di 3-4m da piano campagna.

L'analisi geologica ha restituito per queste profondità di scavo una condizione generalmente rappresentata da ammassi rocciosi da fratturati a sani relazione alla tipologia litologica come definito nei diversi modelli geologici individuati.

In ordine al grado di fratturazione si identificano le seguenti criticità alle quali tener conto in fase di progettazione esecutiva quando i modelli geologici individuati verranno confermati da indagini specifiche e puntuali sui siti di imposta dei singoli aerogeneratori:

Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti, Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione ai livelli meno competenti sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio.

La fratturazione che i calcari e le dolomie, quali substrato di appoggio delle fondazioni, hanno subito produce la formazione di blocchi di dimensioni variabili e pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale puntuale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.

Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia, falda non rilevata in fase di indagine, Vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi o per intercettazione della falda, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali delle coltri colluviali. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

Per quanto riguarda la scavabilità del substrato roccioso esso nelle varie facies presenti e nella parte superficiale risulta quasi sempre da fratturato a molto fratturato per cui facilmente scavabile con ripper e martellone.

La possibile presenza di alcune saccature a forte componente argillosa suggerisce di prevedere opere di smaltimento delle acque superficiale adeguatamente dimensionate.

Il tracciato del cavidotto si snoda lungo tracciati stradali esistenti. Il cavidotto in progetto andrà a interessare il basamento paleozoico.

Non sono previste fondazioni profonde, pertanto non si rilevano particolari criticità salvo il controllo del deflusso delle acque superficiali essendo posizionata alle pendici di un versante,