

PARCO EOLICO

COMUNE DI ISILI
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Elaborato:

ELABORAZIONI SIA

Relazione geologica

Codice elaborato:

IS_SIA_A014

Data: Dicembre 2023

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	01/12/2023	Emissione per procedura 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	14
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	18
6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	18
6.2. Unità tettonica del Gerrei.....	22
6.3. Unità tettonica di Meana Sardo.....	23
6.4. Corteo filoniano.....	23
6.5. Successione sedimentaria Mesozoica.....	24
6.6. Successione vulcano-sedimentaria Miocenica	24
6.7. Depositi Quaternari dell'area continentale.....	26
7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI	29
8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO	29
9. CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	31
10. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	35
10.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	37
10.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	38
11. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	40
11.1. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea	40
11.2. Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee	41
11.3. Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi	46
12. INQUADRAMENTO CLIMATICO	47
12.1. Precipitazioni.....	48
12.2. Temperature.....	49

12.3.	Stima dell'Evapotraspirazione	50
13.	INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	57
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.	64
15.3.	Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)	64
15.4.	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	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: TOMOGRAFIA ELETTRICA	72
16.2.1.	Caratteristiche delle stese sismiche	73
16.2.2.	Caratteristiche della Strumentazione impiegata	73
16.2.3.	Elaborazione dei dati	73
16.3.	Indagini sismiche: MASW	74
16.3.1.	Specifiche delle indagini svolte	75
16.3.2.	Caratteristiche della strumentazione impiegata	76
16.3.1.	Elaborazione dei dati	76
16.3.2.	Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	76
16.4.	Risultati delle indagini del sito SMT01-TURBINA IS02	78
16.4.1.	SMT01-IS02: MASW M1	78
16.4.2.	R1-SMT01-IS02: Sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica	79
16.5.	RISULTATI DELLE INDAGINI SITO SMT02-TURBINA IS03	82
16.5.1.	R2-SMT02-IS03: Sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica	82

16.6.	RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SMT03-TURBINA IS04.....	84
16.6.1.	M3-SMT03-IS04: Sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica	84
16.7.	Risultati delle indagini del sito SMT04-TURBINA IS07	87
16.7.1.	SMT04-IS07: MASW M4	87
16.7.2.	R3-SMT04-TL07: Tomografia elettrica e Sismica a rifrazione in onde P	88
16.8.	Indicazioni per la determinazioni dei parametri geomeccanici	91
17.	MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	94
17.1.	Modello Geologico di sito.....	94
17.1.1.	Modello Geologico 01	94
17.1.2.	Modello Geologico 02.....	95
17.2.	Viabilità di impianto e Cabina collettore.....	96
18.	CONCLUSIONI: CRITICITÀ GEOLOGICHE E SUGGERIMENTI OPERATIVI.....	98

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Localizzazione del progetto.....	8
Figura 2	Panoramica del nei pressi dell'area di studio	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 - sottostazione	13
Figura 7	Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 7,2MW.....	15
Figura 8	– Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1:50.000 – Foglio 540 "Mandas". Nel riquadro l'area di progetto	20
Figura 9	– Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2013. Note Illustrative Foglio CARG Mandas)	20
Figura 10	Formazione di Ussana.....	25
Figura 11	Depositi di versante, ciottoli in Muschelkalk (sx)	27
Figura 12	Stralcio carta geologica (Fonte RAS).....	28
Figura 13	Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione	30
Figura 14	Tipologia di frana: 1. Crollo; 2. Ribaltamento; 3. Scivolamento	30
Figura 15	- Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia.....	32
Figura 16	Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso	32
Figura 17	Valori della costante mi per diversi tipi di roccia	33
Figura 18	Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.....	34
Figura 19	Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti per la formazione dei calcari di Dorgali	35
Figura 20	Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)	36

Figura 21 sezione geologica dell'area vasta. vedasi l'evidenza della superficie di spianamento sulle formazioni paleozoiche successiva base d'appoggio dei depositi calcarei mesozoici (Tacchi) (Progetto CARG).....	36
Figura 22 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS01e della IS02, l'altipiano calcareo con in primo piano i segni dell'attività di movimento terra in località Balloiana.....	38
Figura 23 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS03.....	39
Figura 24 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS05.....	39
Figura 25 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS).....	42
Figura 26 stralciop della Carta Idrogeologica del PUC Isili, 2015.....	43
Figura 27 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo.....	44
Figura 28 Carta della permeabilità del substrato (fonte RAS).....	45
Figura 29 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Nurri (e Escalaplano per gli anni 2013 e 2015) nel periodo 2008-2018.....	49
Figura 30 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Senorbì (anni 2012 e 2018), Gergei (2017), Sadali (anni 2013-2016), e nella stazione di Nurri (1995-2011).....	50
Figura 31 Bilancio idro-meteorologico per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 (espresso in mm).....	51
Figura 32 Bilancio idro-meteorologico per il periodo aprile 2021 – settembre 2021 (espresso in mm).....	52
Figura 33 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata relativa nell'anno 2017 (mese giugno).....	53
Figura 34 Ventosità media annuale per la stazione meteorologica di Cagliari relativa all'anno 2021.....	54
Figura 35 Umidità relativa per la stazione di Cagliari, per l'anno 2021.....	55
Figura 36 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Isili (anno 2021).....	55
Figura 37 Climogramma relativo alla regione di Isili.....	56
Figura 38 Carta dei Suoli (Fonte RAS).....	57
Figura 39 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).....	59
Figura 40 Carta Uso del Suolo (PUC Isili, 2015).....	59
Figura 41 Pericolosità da frana PAI (PUC Isili, 2015) e area oggetto di intervento.....	61
Figura 42 Pericolosità idraulica PAI (PUC Isili, 2015) e area oggetto di intervento.....	62
Figura 43 Pericolosità idraulica e geomorfologica PAI (RAS, agg.2022).....	63
Figura 44 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento.....	64
Figura 45 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF.....	65
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.....	79
Figura 50 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	88

1. PREMESSA

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico dislocato nel territorio comunale di **Isili** – sub-regione del Sarcidano, 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 **29/05/2023** e **5-6/06/2023** nella zona di interesse.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Isili si eleva ai margini di un altopiano che si affaccia sulla vallata del Sarcidano, in un paesaggio caratterizzato da estese valli e colline. La superficie pianeggiante, resa fertile da numerosi fiumi e ruscelli, è coltivata soprattutto a cereali e foraggi. Le abbondanti acque del territorio sono imbrigliate dalla diga realizzata nella gola di Is Borrocos (il cui nome è stato erroneamente distorto secondo il lessico campidanese in "Is Barrocos", divenuta poi la denominazione ufficiale dell'invaso), tra il 1985 e il 1991, che, ostruendo il corso del fiume, ha creato un bacino artificiale nel quale spicca un isolotto formatosi per effetto del riempimento dell'invaso, sul quale è presente una vecchia chiesetta

(ristrutturata) intitolata a San Sebastiano. Il lago di Is Borroccus viene utilizzato prioritariamente come bacino di acqua potabile e, secondariamente, per la pratica di diverse discipline sportive quali la pesca sportiva, la canoa e le escursioni.

Le pareti ripide o più spesso strapiombanti delle gole che si aprono nel suo territorio, attirano gli appassionati del free climbing. Isili è il capolinea della linea ferroviaria a scartamento ridotto per Cagliari, e della tratta turistica del Trenino Verde per Laconi (sino a poco tempo fa si arrivava sino a Sorgono). Il vecchio percorso della ferrovia che collegava Isili Sarcidano a Villacidro è stato parzialmente trasformato in pista ciclabile panoramica che parte da Isili e raggiunge Barumini.

Nella zona settentrionale del territorio comunale si trova l'area industriale di Perd' 'e Cuaddu, a nord-est della quale sorgerà l'impianto in progetto, purtroppo mai decollata e oggi in gran parte ricoperta da un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica. Ancora più a nord è presente una Casa di reclusione con circa 650 ha di terreno forestale e porzioni dedicate al pascolo e alla coltivazione, lavorate dai detenuti.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **540 sez. IV "Isili"**;
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Foglio: **540020 "Nurallao"**.

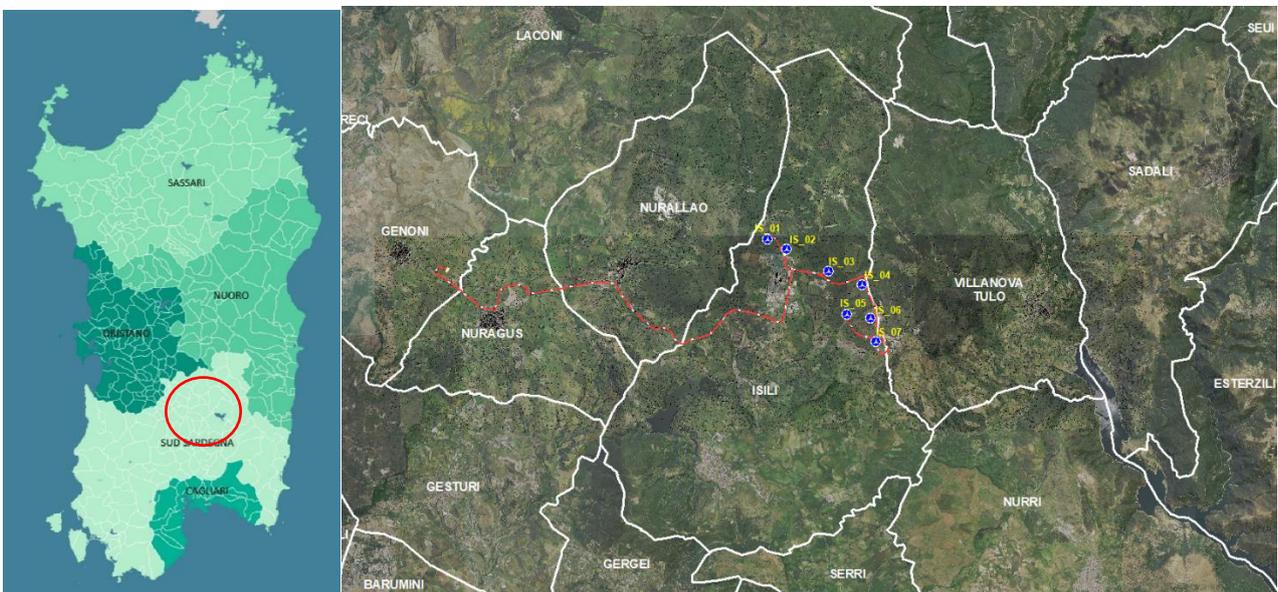


Figura 1 Localizzazione del progetto



Figura 2 Panoramica del nei pressi dell'area di studio

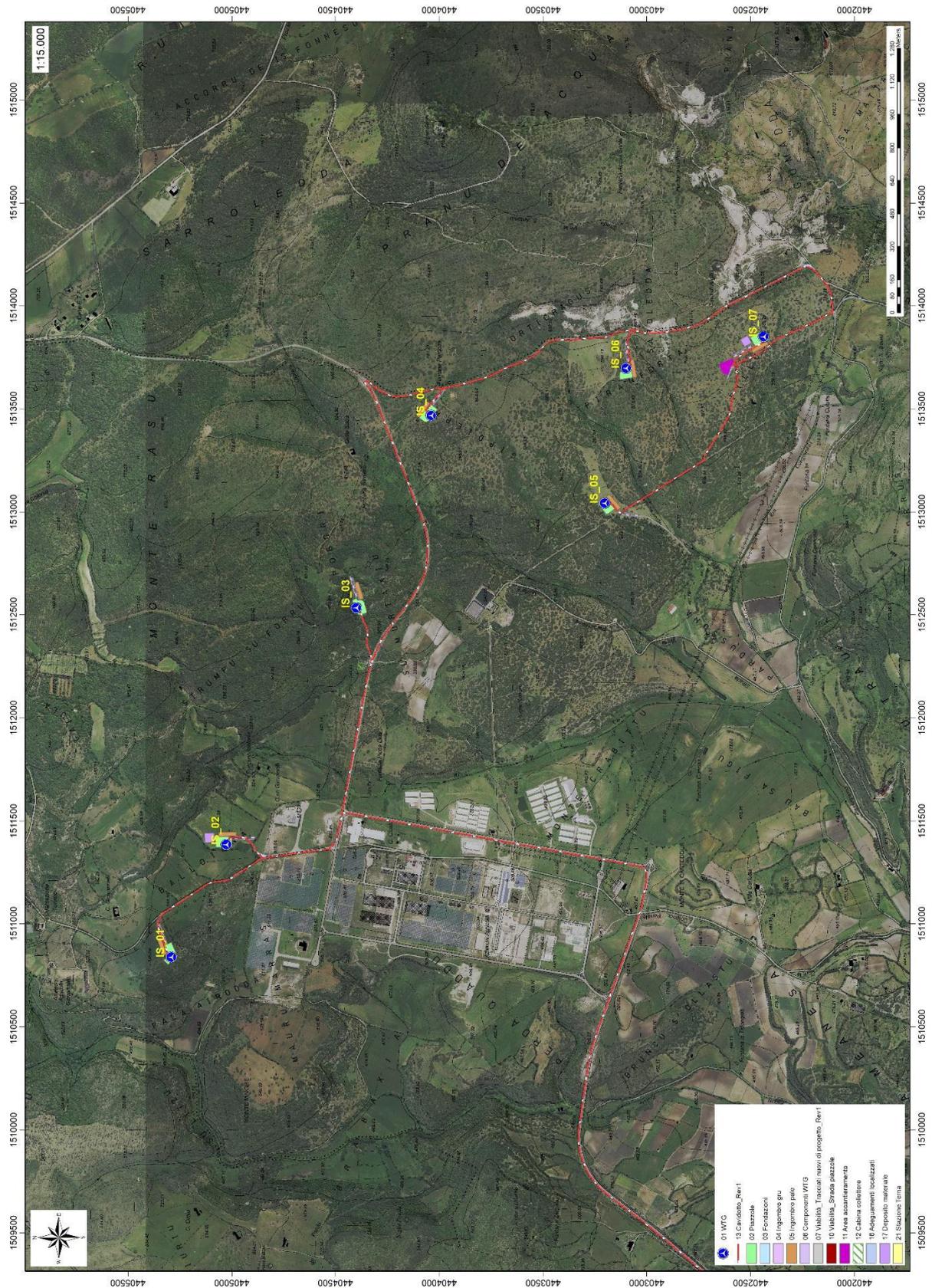


Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

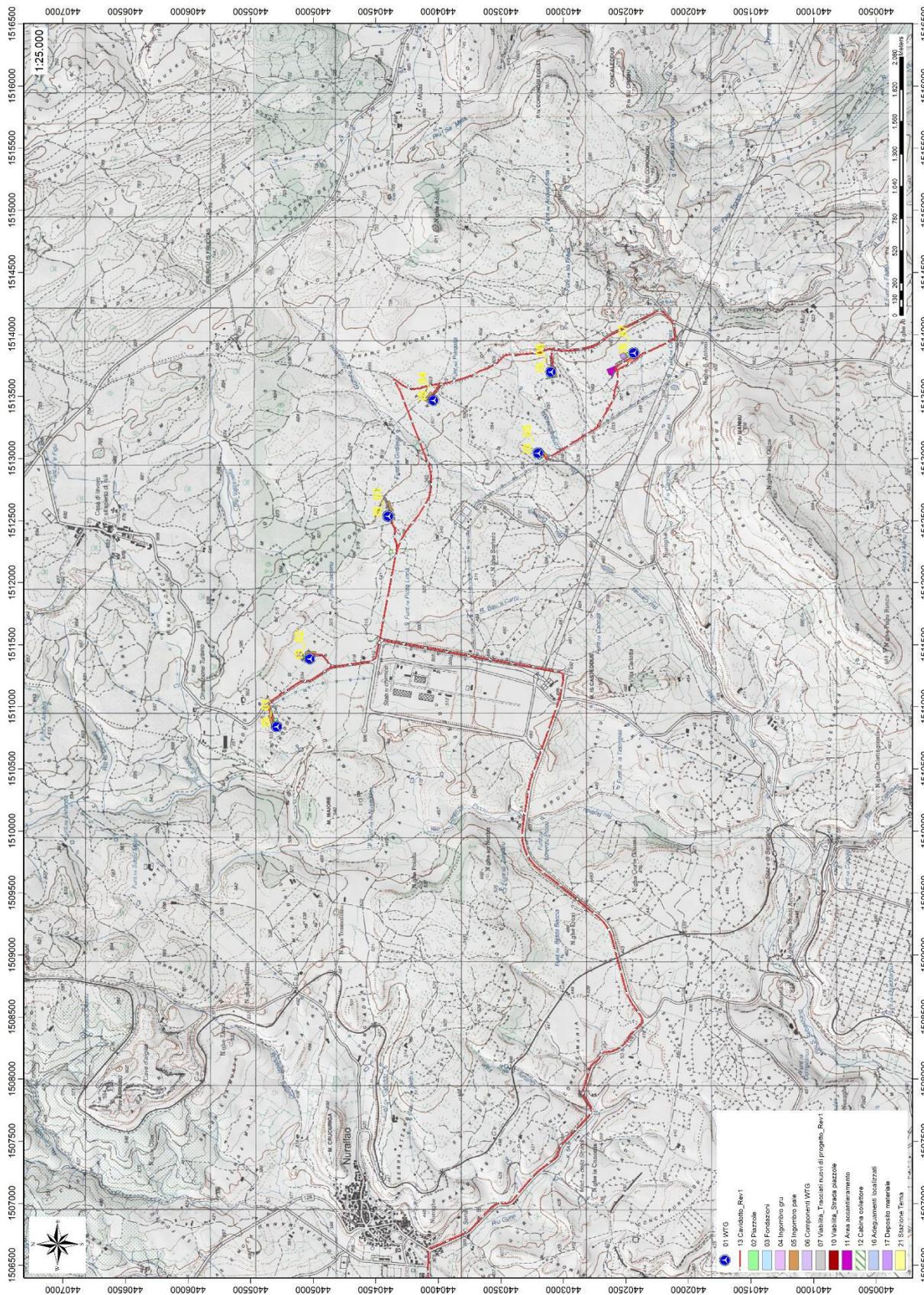


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

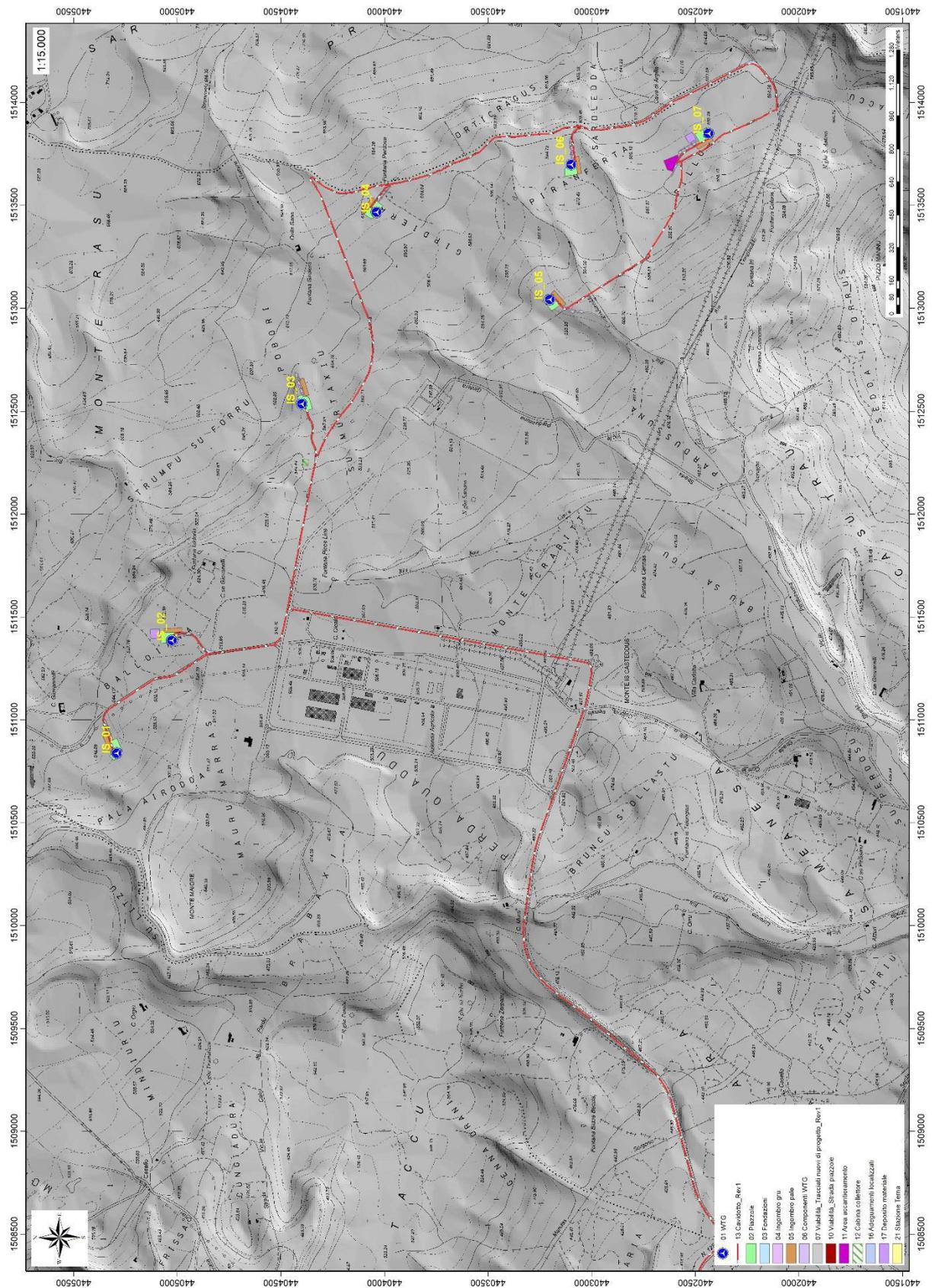


Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Est - impianto

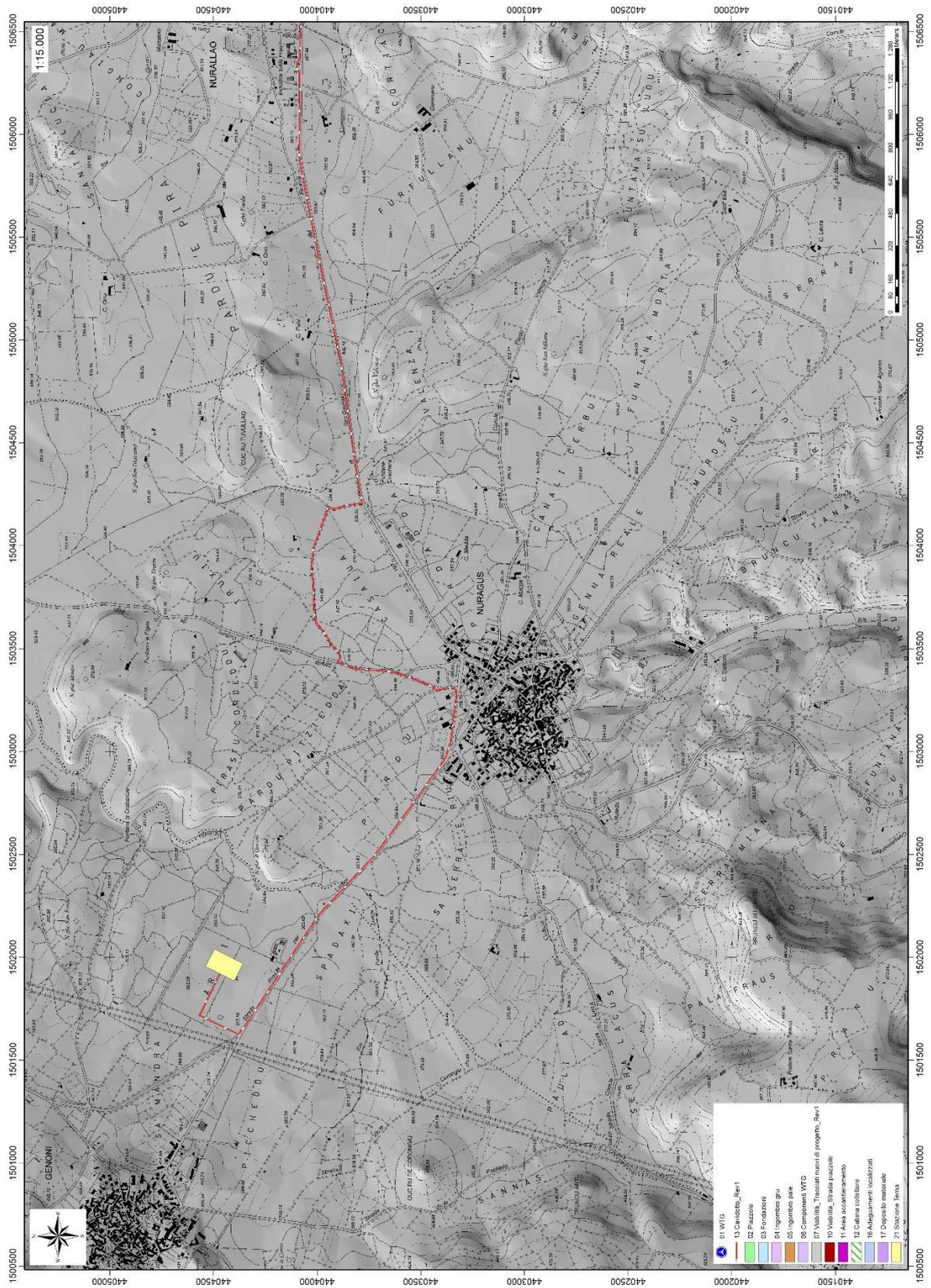


Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore ovest - sottostazione

5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

L'impianto sarà costituito dai 7 aerogeneratori da 7,2 MW ciascuno. L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà convogliata, attraverso una rete a 36 kV realizzata con cavo interrato, alla sezione 36 kV della Stazione di nuova realizzazione del Gestore Della Rete, sita nel comune di Genoni, mediante un collegamento in antenna.

Il Parco eolico 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 medie dimensioni adibiti prevalentemente a pascolo. L'energia prodotta dalla centrale eolica verrà fornita alla rete elettrica nazionale mediante la realizzazione di una connessione a 36 kV alla sezione 36kV della stazione elettrica Terna di nuova realizzazione. Il collegamento elettrico tra gli aerogeneratori e la Cabina Collettore 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 collegamento tra la Cabina Collettore e stazione elettrica Terna sarà realizzato attraverso la costruzione di un raccordo di lunghezza pari a circa 14700 m in cavo MT interrato.

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		
IS_01	1510838,5884	4405292,3730	9° 7'34.70"	39°47'50.83"	545,00	119
IS_02	1511385,4236	4405026,8102	9° 7'57.68"	39°47'42.19"	529,80	119
IS_03	1512535,2218	4404399,9238	9° 8'45.98"	39°47'21.79"	581,00	119
IS_04	1513468,2286	4404039,2015	9° 9'25.19"	39°47'10.04"	616,50	119
IS_05	1513043,2758	4403203,4088	9° 9'7.26"	39°46'42.96"	527,80	119
IS_06	1513698,5387	4403100,2010	9° 9'34.80"	39°46'39.57"	588,00	119
IS_07	1513850,7936	4402437,4188	9° 9'41.15"	39°46'18.07"	584,60	119

Gli aerogeneratori individuati per la realizzazione del parco eolico hanno potenza nominale di 7200 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. IS_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.

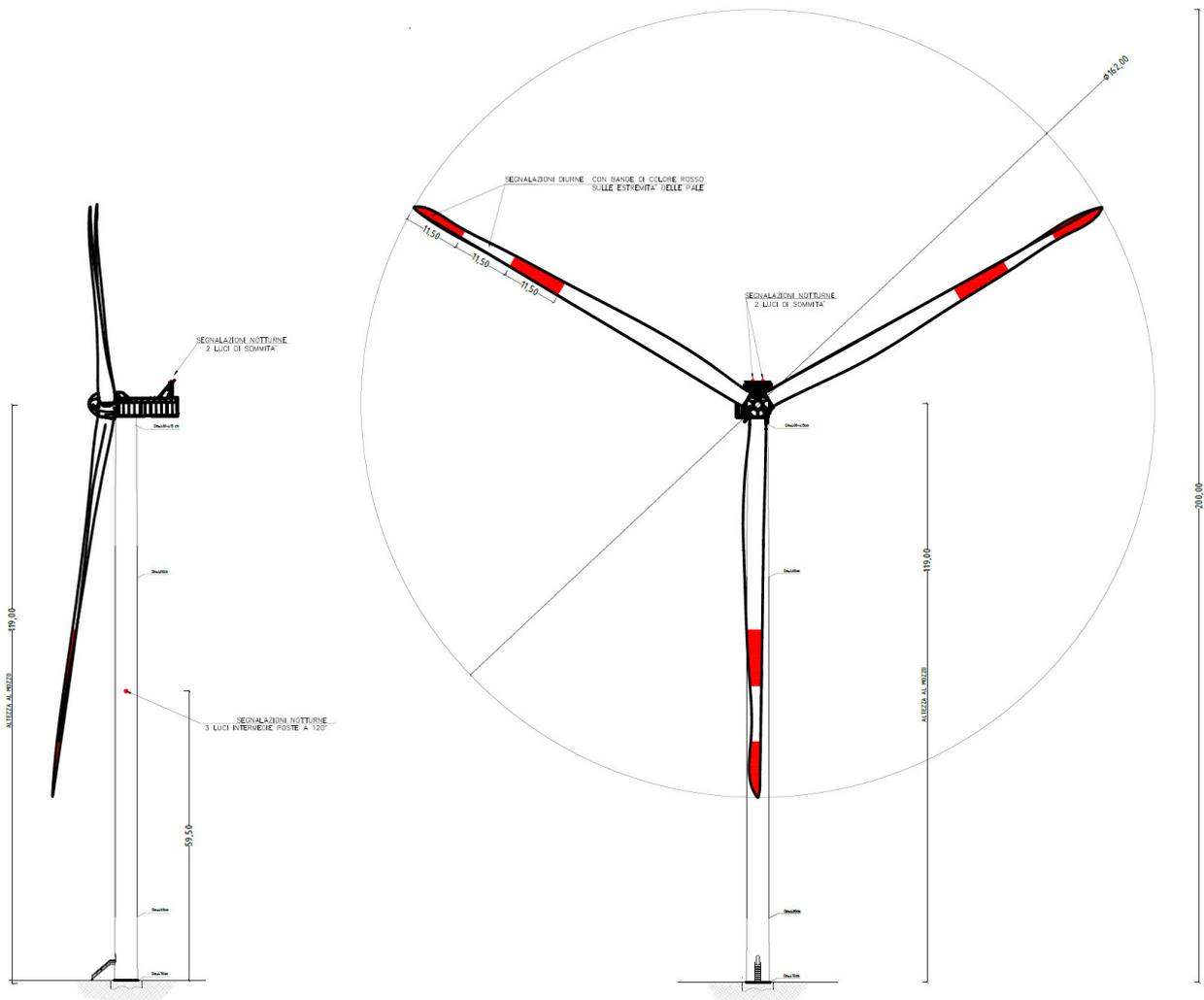


Figura 7 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 7,2MW

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

vere variazioni tipologiche con macchine simili per caratteristiche dimensionali e tecnico-produttive, ferme restando le caratteristiche dimensionali massime dell'aerogeneratore.

DATI TIPOLOGICI E DIMENSIONALI AEROGENERATORI	
NUMERO TOTALE AEROGENERATORI IN PROGETTO	7
POTENZA GENERATORE	7200 KW
ALTEZZA MASSIMA HUB	119 m
DIAMETRO ROTORE	162 m
ALTEZZA MASSIMA RAGGIUNGIBILE	200 m
AREA SPAZZATA DAL ROTORE	20611 mq
NUMERO PALE	3
LUNGHEZZA PALE	79,35 m

Dati tecnici:

-Dati tecnici:

- Potenza nominale: 7200 kW e tensione nominale di 800 volt;
- Potenza unitaria generatore: 7600 kW;
- Frequenza: 0 – 126 Hz;
- Numero pale: 3;
- Lunghezza pale: 79,35 m;
- Raggio del rotore: 81 m;
- Area spazzata: 20611 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 3300 a 4133 m²);
- Superficie impronta fondazione 530,93 m²;
- Ingombro scavo fondazione: circa 849,09 m².

La realizzazione della cabina collettore è prevista lungo la strada comunale in località "Perde Quaddu" vicino all'aerogeneratore IS_03, per accedere alla cabina occorre imboccare dalla SP52 la strada in località "Perde Quaddu" percorrere per circa 4.0 km direzione area industriale di Isili sino al raggiungimento della strada in adeguamento denominata in progetto "Stradello CAB_COL_A.

L'area della cabina si colloca ad una quota di 550,50 m s.l.m, il piazzale ospitante la cabina collettore avrà una superficie sistemata in piano di 770 mq, l'area delimitata da apposita perimetrazione avrà una superficie inferiore pari a di 750 mq.

Per il collegamento di tutti i 7 aerogeneratori e per la connessione alla sottostazione sarà necessario realizzare circa 23 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 sviluppatisi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

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

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvengono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è soggetto a magmatismo, intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

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

L'area di studio ricade nella zona a Falde Esterne del basamento varisico sardo; principalmente è costituita dalle metamorfiti di basso grado, appartenenti all'Unità Tettonica del Gerrei, dalle metamorfiti dell'Unità tettonica di Meana Sardo e da quelle dell'unità di Riu Gruppa, dalle coperture sedimentarie eoceniche, dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari.

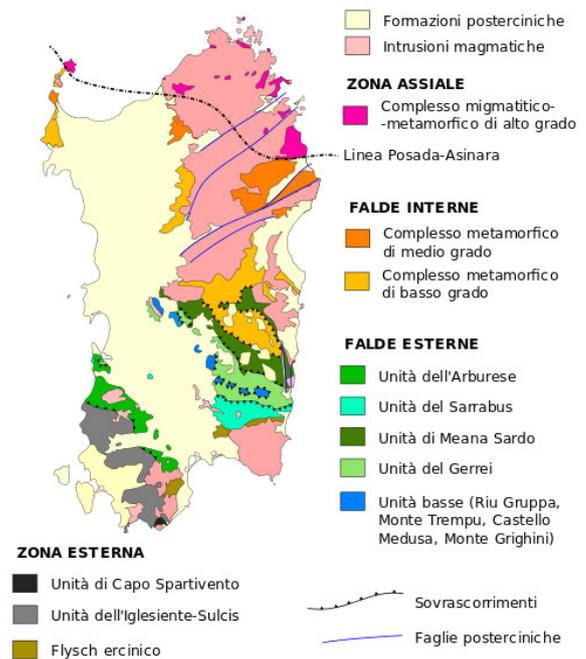
Le Unità Tettoniche affioranti sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore.

L'impilamento tettonico delle Falde esterne, nell'area di studio, vede alla base l'Unità tettonica di Riu Gruppa, su cui sovrascorre l'Unità del Gerrei a sua volta sovrascorsa dall'Unità di Meana Sardo. Queste tre unità tettoniche sono caratterizzate da significative differenze nella successione stratigrafica, soprattutto nella successione vulcanica dell'Ordoviciano medio.

L'Unità tettonica del Gerrei è divisa in due sottounità: la Sottounità di Arcu de su Bentu e la Sottounità di M. Lora. Le due sottounità si caratterizzano per la presenza dei Porfiroidi nella sottounità di Arcu de su Bentu e delle Vulcaniti di Monte Santa Vittoria in quella di Monte Lora.

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.



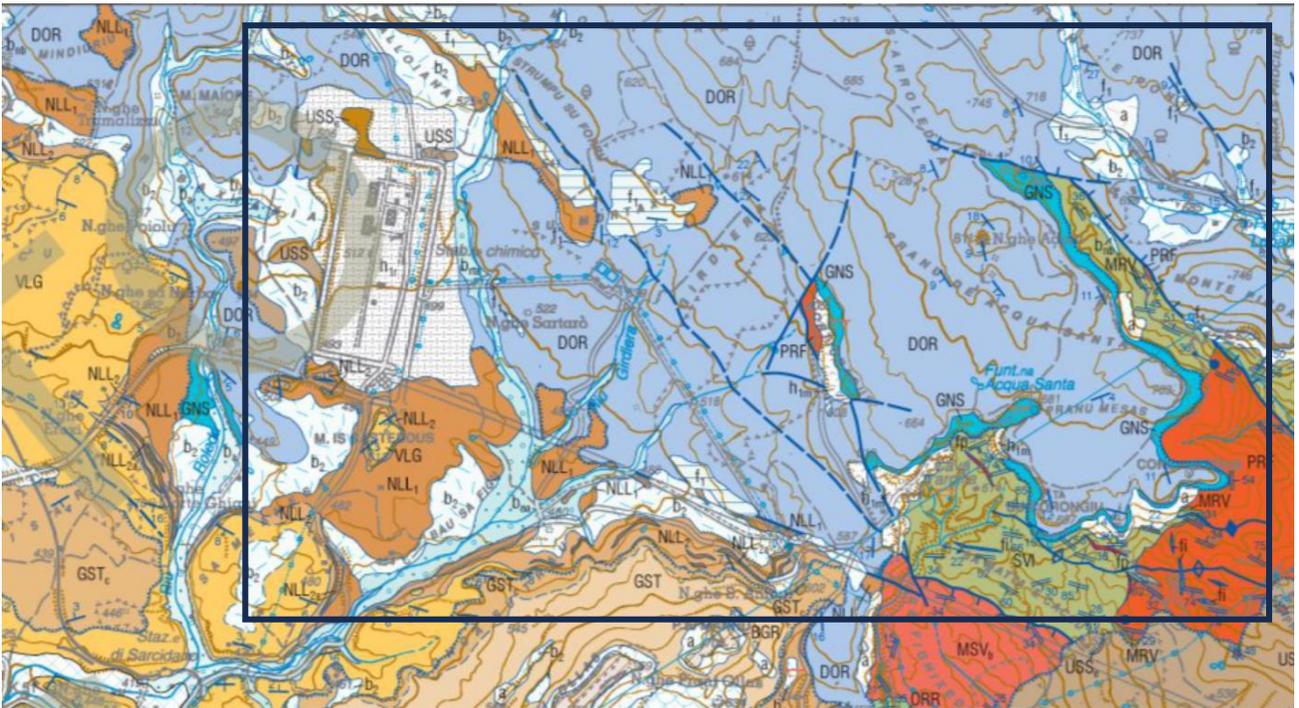


Figura 8 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1:50.000 – Foglio 540 “Mandas”. Nel riquadro l’area di progetto

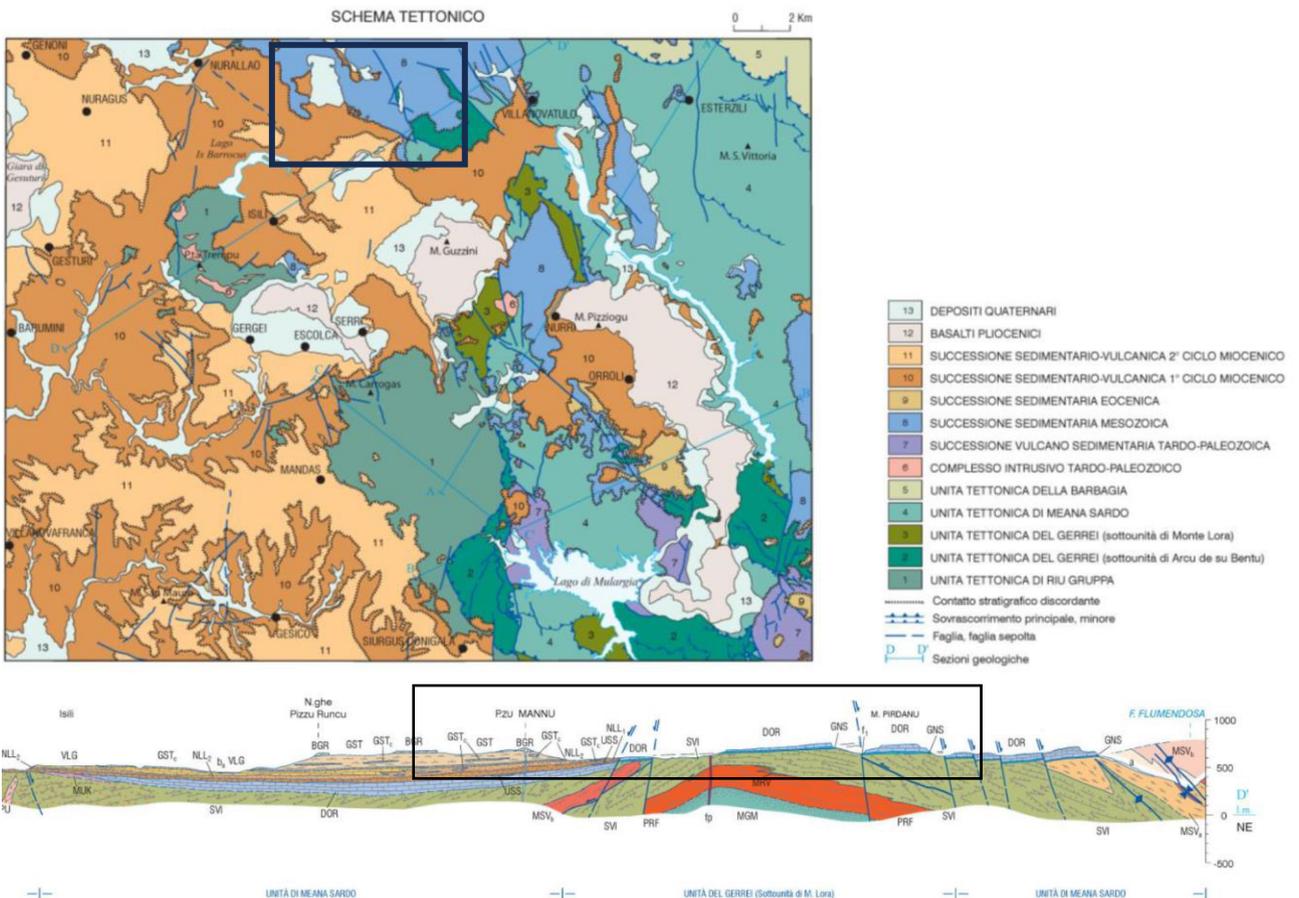


Figura 9 – Schema Tettonico dell’area di studio (tratto da Funedda et al., 2013. Note Illustrative Foglio CARG Mandas)

L'ossatura geologica del territorio di Isili è quindi rappresentata dalle litologie metamorfiche paleozoiche che affiorano sia nel settore Nord che sud del territorio. Tutto il settore centrale del territorio è invece occupato dai depositi sedimentari mesozoici e terziari a cui si sovrappongono prodotti vulcanici delle Giare e tutti i depositi quaternari dei fondi valle (depositi alluvionali) e delle pendici (corpi di frana antichi, depositi detritici, pluvio colluviali) derivati dall'erosione dei rilievi e che si sono depositati nella piana antistante. E proprio nel settore centrale si configura l'area in cui sorgerà l'impianto proposto. Nello specifico, la successione litologica riscontrata nel territorio e uniformata con la nomenclatura ufficiale, può essere così riassunta come segue, dal più recente al più antico:

Depositi quaternari dell'area continentale

- **h1m**, Depositi antropici - Discariche minerarie, Olocene
- **b2**, Coltri pluvio colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti arricchiti in frazione organica, Olocene
- **ba**, Unità: Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE,
- **baa**, Unità: Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. Olocene
- **bnb**, Unità: Depositi alluvionali terrazzati. sabbie, Olocene
- **f1**, Unità: Travertini, depositi carbonatici travertinosi, ben cementati, fitoermali, fitostromali e fitoclastici con tracce di resti vegetali e gusci di gasteropodi, Olocene
- **PVM2a**, Unità: Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie, Pleistocene sup.

Successioni vulcano sedimentarie oligo - mioceniche

- **GSTc**, Unità: Litofacies nelle Marne di Gesturi. Generalmente alla base della Formazione, arenarie grossolane e conglomerati. Burdigaliano sup. – Langhiano Medio
- **VLG**, Unità: Calcari di Villagreca. Calcari bioclastici e biocostruiti (Bioerme a coralli e briozoi e biostromi ad alghe e molluschi). Aquitaniano inf.
- **NLL2**, Unità: Arenarie di Serra Longa (Formazione di Nurallao). Arenarie da grossolane a microconglomeratiche, con intercalazioni di arenarie siltose. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **NLL2a**, Unità: Litofacies nelle Arenarie di Serra Longa (Formazione di Nurallao). Bancate metriche di arenarie fossilifere e biocalcareniti. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **NLL1**, Unità: Conglomerato di Duidduru (Formazione di Nurallao). Conglomerati poligenici eterometrici e sabbie con locali livelli di biocalcareniti, talora con componente vulcanica. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **USS**, Unità: Formazione di Ussana. Conglomerati e brecce grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligomioceniche e livelli

argilloso – arenacei rossastri talora prevalenti nella base e rari lenti carbonatiche intercalate. Oligocene sup.- Aquitaniano inf.

Successioni sedimentarie mesozoiche e tardo paleozoiche

- **DOR**, Unità: Formazione di Dorgali. Dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici da litorali a circalitorali con foraminiferi e alghe calcaree. Dogger - Malm.
- **GNS**, Unità: Formazione di Genna Selole. Conglomerati quarzosi molto maturi, con alla base livelli carboniosi e argille. Dogger.

Basamento metamorfico paleozoico

- **SVI**, Unità: Arenarie di San Vito (Unità tettonica di Meana Sardo). Alternanze irregolari da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta. Cambiano medio – Ordoviciano Inf.
- **PRF**, Unità: Porfiroidi auct. Metarioliti e metariodaciti con struttura occhiatina, metaepiclastiti. Ordoviciano ? medio.
- **SVI**, Unità: Arenarie di San Vito (Unità Tettonica del Gerrei). Alternanze irregolari di metaquarzoareniti, metarenarie micacee e metapeliti. Livelli di metaconglomerati minuti quarzosi e rari livelli carbonatici intercalati nella parte alta. Cambiano medio – Ordoviciano Inf.

6.2. UNITÀ TETTONICA DEL GERREI

Questa unità tettonica è divisa in due sottounità: la Sottounità di M. Lora e la Sottounità di Arcu de su Bentu, geometricamente inferiore alla precedente. Le modeste differenze tra le successioni di queste due sottounità riguardano i sedimenti dell'Ordoviciano superiore e il complesso vulcano-sedimentario dell'Ordoviciano medio, che risulta costituito da metaepiclastiti, metandesiti e porfiroidi nella sottounità di Monte Lora, e da porfiroidi in quella di Arcu de su Bentu. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostratigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

(SVI) Arenarie di San Vito: questa formazione, che affiora a S e a O dell'abitato di Orroli, è costituita da metaquarzoareniti e, più raramente, metarenarie feldspatiche, di color grigio chiaro, grigio-verdastro o nocciola chiaro. Si tratta di rocce a granulometria fine, ben selezionate, in strati molto sottili o medi, raramente metrici, ricche in miche detritiche e matrice cloritico-sericitica, e una componente litica rappresentata da frammenti di metamorfiti. Le metarenarie formano regolari alternanze, da centimetriche a metriche, con metasiltiti e metapeliti grigio-verdastre e raramente metapeliti scure. Localmente affiorano metaquarzoareniti grigio-chiare, massive, in bancate di alcuni metri di spessore. Lo spessore delle Arenarie di San Vito nell'Unità tettonica del Gerrei è difficilmente valutabile a causa delle intense strutture plicative isoclinali e del contatto di base

sempre tettonico. A causa dell'intensa deformazione, le strutture riconoscibili sono costituite quasi sempre dalla foliazione. L'età della formazione è riferita al Cambriano medio- Ordoviciano inferiore sulla base di associazioni ad acritarchi riconosciuti in altre aree.

(PRF) Profiroidi Auct.. queste metavulcaniti caratterizzano l'unità tettonica del Gerrei. Si tratta di originari tufi ed ignimbriti a composizione riolitica e riodacitica, con struttura marcatamente occhiadina conferita da porfidoclasti di K-feldspato, plagioclasio e quarzo con dimensioni in genere di 0,5-1cm in una massa di fondo sericitico-cloritica. Si presentano in giacitura massiva, con colori variabili dal verdastro al giallo al rosa chiaro secondo il tipo d'alterazione. Questa formazione è attribuita all'Ordoviciano medio.

6.3. UNITÀ TETTONICA DI MEANA SARDO

Affiora nella parte sud-orientale dell'area di studio e si trova in contatto tettonico con la sottostante unità tettonica del Gerrei. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostratigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

(SVI) Arenarie di San Vito: questa formazione è costituita da metarenarie fini di colore grigio-verde oliva, metasiltiti, quarziti e metargilliti, e un livello di metaconglomerati a elementi di quarzo e metarenarie in matrice filladica intercalati nella parte mediana della successione. La parte alta della formazione è caratterizzata da livelli da centimetrici a decimetrici di metapeliti varicolori da grigio a viola scuro, ed è ricoperta in discordanza dal metaconglomerato di Muravera o direttamente dalla Formazione di Monte Santa Vittoria. La base della formazione invece non è mai esposta, in quanto è tagliata dal contatto basale tettonico con la sottostante unità del Gerrei. Lo spessore della formazione, seppur interessata da diversi raddoppi tettonici, è superiore ai 100 m. L'età della successione è attribuita al Cambriano medio – Ordoviciano inferiore, sulla base dei fossili di acritarchi rinvenuti.

6.4. CORTEO FILONIANO.

(fp) Filoni ed ammassi di porfidi granitici: sono costituiti da filoni con spessori generalmente non superiori a qualche decina di metri; e dimensioni variabili tra qualche metro e parecchie centinaia di metri, orientati secondo direzioni N-S e NNW-SSE.

Presentano struttura isotropa porfirica per presenza di fenocristalli di K-feldspato, quarzo e rare biotite e muscovite, immersi in una massa di fondo granofirica. L'età è riferibile al Carbonifero superiore - Permiano.

6.5. SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MESOZOICA

La successione sedimentaria mesozoica è costituita da due sintemi separati da una discordanza: il sintema triassico, che include depositi continentali (Buntsandstein Auct.) e calcari neritici (Muschelkalk Auct.), e quello giurassico che comprende sedimenti fluviali e transizionali (Formazione di Genna Selole), e calcari dolomitici di piattaforma neritica (formazione di Dorgali).

(GNS) Formazione di Genna Selole: questa formazione, di esiguo spessore (0 – 30 m), è costituita da conglomerati monogenici quarzosi, con intercalazioni di quarzoareniti biancastre e argille bianche o grigio-chiare caolinifiche, a clasti ben arrotondati del basamento (quarzo, liditi, porfidi, quarziti, ecc...), con strutture sedimentarie. Sono spesso associate argille grigie o bianche, con rari livelli di conglomerati monogenici quarzosi e frammenti di lignite nera. Il contatto inferiore è sempre discordante, mentre quello superiore è concordante con i calcari della formazione di Dorgali soprastante. Nelle frazioni siltose e argillose sono conservati i resti vegetali e pirite, e alla base del conglomerato affiorano paleosuoli ricchi in ossidi e idrossidi di ferro. Sulla base delle paleoflore l'età attribuita alla formazione è il Giurassico medio (Dogger).

(DOR) Formazione di Dorgali: è costituita da depositi tabulari suborizzontali o debolmente inclinati che formano degli altipiani detti "Tacchi". La parte basale è formata da calcari marnosi e marne giallastro-grigie, con locali intercalazioni arenacee e siltitico-argillitiche grigio-verdastre, seguiti da dolomie e calcari dolomitici da biancastri fino a nocciola o rossastri, fossiliferi, in banchi decimetrici o metrici. La formazione, che presenta uno spessore massimo di 50 m, ricopre in discordanza quella di Genna Selole, mentre il limite superiore è sempre erosivo con le successioni soprastanti (formazioni di Ussana, Nurallao e basalti delle Giare). In base all'associazione fossilifera (gasteropodi, ostracodi, lamellibranchi e brachiopodi), la formazione viene riferita al Giurassico medio-superiore (Dogger – Malm). **Questa litologia è la maggiormente rappresentata e substrato di appoggio di tutte le turbine.**

6.6. SUCCESSIONE VULCANO-SEDIMENTARIA MIOCENICA

(USS) Formazione di Ussana: affiora nella parte centro-occidentale dell'area vasta. La formazione è costituita da conglomerati clasto-sostenuti, fortemente eterometrici e poligenici, e da arenarie poco classate organizzate in banchi grossolani, con sporadici livelli argillosi, e intercalazioni di livelli discontinui di piroclastiti e arenarie vulcanoclastiche (USSe), travertini (USSf) e calcari lacustri (USSg). La frazione conglomeratica è prevalente, e presenta clasti elaborati di dolomie e calcari mesozoici ed eocenici e arenarie eoceniche, e rari clasti del basamento paleozoico, con scarsa matrice sabbiosa o argillosa e buon grado di compattazione. Il contatto di base è discordante sul basamento paleozoico, sui depositi mesozoici e eocenici, mentre il contatto superiore con la

formazione di Nurallao è graduale. La formazione presenta spessore variabile da pochi metri a 150 m, e contiene diverse associazioni fossilifere che permettono di riferirla all'Oligocene superiore – Miocene inferiore (Aquitaniense inferiore).



Figura 10 Formazione di Ussana

(NLL) Formazione di Nurallao: è composta da un membro basale fossilifero noto come “conglomerato di Duidduru” (NLL1) di spessore variabile tra 0 e 30 m, costituito da depositi conglomeratici eterometrici a ciottoli e blocchi di tutte le formazioni precedenti, organizzati in livelli decimetrici alternati a livelli di arenarie grossolane stratificate e con differente grado di cementazione.

Il membro sommitale della formazione è rappresentato dalle arenarie di Serra Longa (NLL2), costituite da arenarie e conglomerati minuti con stratificazione parallela e incrociata, che passano lateralmente e verso l'alto ad arenarie grossolane a cemento carbonatico. Le arenarie costituiscono grossi banchi, e sono composte da elementi moderatamente selezionati di quarzo e feldspati, grano-sostenuti, intercalate a livelli conglomeratici decimetrici, e areniti e ruditi bioclastiche in strati spessi da 1 a 10 m. Lo spessore del membro varia da pochi metri fino a superare 100 m. Per il ricco contenuto fossilifero (turritellidi, coralli, foraminiferi, ostreidi, pettinidi, echinidi, ecc...) la formazione è datata Oligocene superiore – Burdigaliano inferiore.

(GST) Marne di Gesturi: è costituita da una successione prevalentemente marnoso-arenacea (GST), al cui interno sono distinti: conglomerati basali e sabbie di ambiente transizionale (GSTc), banchi di calcareniti ad alghe (Lithothamnium) (GSTb), e, nella parte superiore, livelli piroclastici e tufiti (GSTa).

Sebbene questa formazione possa raggiungere spessori superiori ai 200 m, nell'area di studio i conglomerati basali non eccedono il metro, mentre i banchi di calcareniti presentano uno spessore costante di 3 m e una continuità laterale notevole, e i livelli tuffitici raggiungono spessori massimi di 20 m.

Le Marne di Gesturi poggiano in discordanza sulle sottostanti formazioni del I ciclo miocenico o direttamente sul basamento paleozoico, e il tetto è sempre eroso. Per via dell'abbondante contenuto in foraminiferi, ostracodi, pteropodi, bivalvi ed echinidi, l'età attribuita a tali depositi è Burdigaliano superiore – Langhiano medio.

VLG – Calcari di Villagreca. Questa successione carbonatica è nota in letteratura come "Calcari di Isili". La formazione affiora con notevoli spessori sul fianco orientale di P.ta Treppe e nell'area tra questo rilievo e Nurallao. Alla base, spesso in concordanza con il membro del conglomerato di Duidduru, compaiono notevoli spessori di calcaridetratici (rudstone), biocalciruditi e biocalcareniti (wackestone/packstone) che nell'evoluzione delle scogliere carbonatiche rappresentano lo stadio di stabilizzazione e si generano per fenomeni di disintegrazione meccanica contemporanei all'evoluzione della biocostruzione. Hanno frequente aspetto nodulare e talvolta massivo, organizzati in strati di circa 40cm di spessore. Ad essi seguono livelli biocostruiti da centimetrici a decimetrici, con una impalcatura costituita generalmente da colonie di coralli che rappresentano lo stadio iniziale della colonizzazione.

6.7. DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi di versante, coltri eluvio-colluviali e depositi alluvionali.

(bna) Depositi alluvionali terrazzati: si tratta di sedimenti alluvionali a tessitura grossolana, come sabbie grossolane e ghiaie. I depositi difficilmente raggiungono spessori superiori ai 5 m, di ambiente di conoide o piana alluvionale e situati in prossimità dei corsi d'acqua. Sono strettamente correlati ad un reticolo idrografico molto simile a quello attuale di cui costituiscono i letti di piena straordinaria o le piane alluvionali. Olocene.

(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.

(b) Depositi alluvionali: Si tratta di materiali che si rinvencono nei letti dei fiumi attualmente soggetti a processi di erosione, trasporto e rideposizione periodica. Sono costituiti da ghiaie poligeniche eterometriche, talora in matrice sabbiosa con lenti sabbiose e sabbioso-ghiaiose poco continue. Sono tipici sedimenti di barra, sia longitudinale che laterale o mediana, non cementati. Olocene.



Figura 11 Depositi di versante, ciottoli in Muschelkalk (sx)

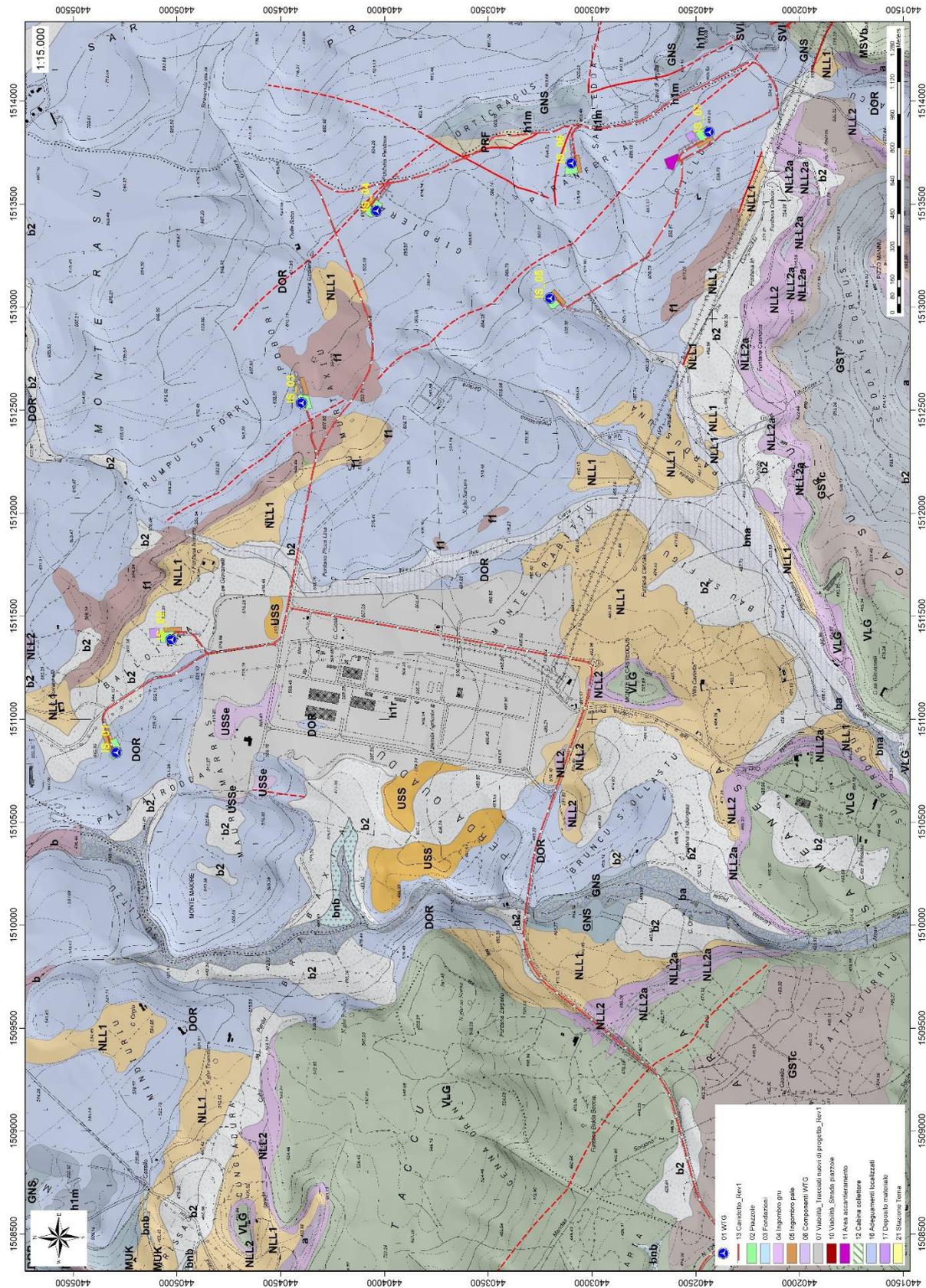


Figura 12 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento del complesso calcareo dolomitico che caratterizza la serie dei "Tacchi" ben rappresentata in tutta l'area vasta. In generale si presenta con giacitura sub-orizzontale o debolmente inclinata in serie di piccoli altopiani tabulari.

La parte basale è costituita da calcari marnosi e da marne da giallastre a grigi, con locali intercalazioni arenacee o siltitiche-argillitiche grigio-verdastre. Seguono dolomie e calcari dolomitici di colore da bianca a nocciola a rossastri fossiliferi in bancate da decimetriche a metriche.

La formazione ricopre in concordanza quella di Genna Selole (GNS). Il limite superiore è erosivo, con differenti trasgressioni da parte delle successioni cenozoiche: formazione di Ussana, formazione di Nurallao e basalti delle Giare.

Lo spessore della formazione è di 50 m, l'ambiente deposizionale è di piattaforma neritica. Le datazioni radiometriche li collocano al Giurassico Medio-superiore (Dogger-Malm).

È la litologia sulla quale si sviluppa l'intero 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, calcari e dolomie).

Tutte le turbine eoliche sono posizionate sull'altopiano calcareo- dolomitico.

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 geostrutturali lo permettono (piani a franapoggio o intersezione di piani con direttrice a franapoggio):

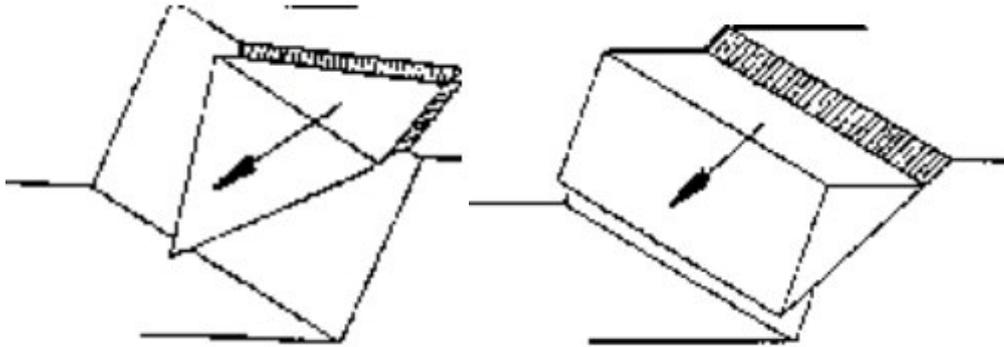


Figura 13 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

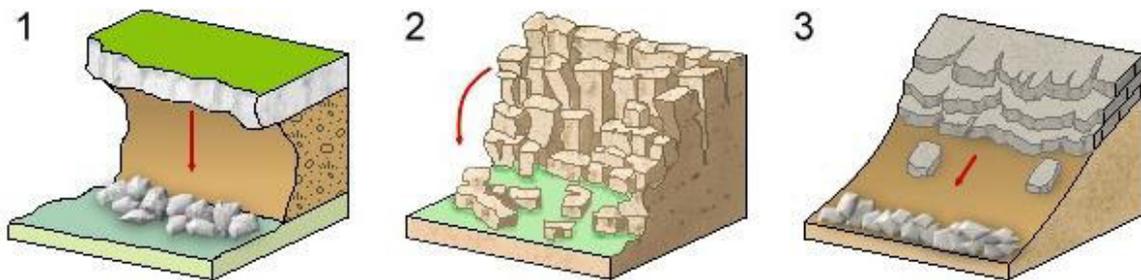


Figura 14 Tipologia di frana: 1. Crollo; 2. Ribaltamento; 3. Scivolamento

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.

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 geostrutturali rilevati in sito in pareti esposte, laddove disponibili, dai dati derivanti dai sondaggi geognostici.

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 esser 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 mi (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_{ci} e mi) 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 mi per diversi tipi di roccia.

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

$$mb = mi [(GSI-100)/28]$$

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

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

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 COMPRESIONE 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, saigemma
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 15 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

DESCRIZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA	CONDIZIONI SUPERFICIALI				
	MOLTO BUONE	BUONE	DISCRETE	SCADENTE	MOLTO SCADENTE
STRUTTURA	DIMINUIZIONE DELLA QUALITÀ SUPERFICIALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO				
A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.	B/VG	B/G	B/F	B/P	B/V/P
CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutualmente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.	VB/VG	VB/G	VB/F	VB/P	VB/V/P
A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.	BD/VG	BD/G	BD/F	BD/P	BD/V/P
DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.	D/VG	D/G	D/F	D/P	D/V/P

INDICE GEOLOGICO DI RESISTENZA GSI (Geological Strength Index)	CONDIZIONI SUPERFICIALI				
	MOLTO BUONE	BUONE	DISCRETE	SCADENTE	MOLTO SCADENTE
STRUTTURA	DIMINUIZIONE DELLA QUALITÀ SUPERFICIALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO				
A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.	80	70			
CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutualmente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.	60	50			
A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.	40				
DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.	20				
					10

Figura 16 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
				Grovacche (18)		
	Non clastiche	Organogene			Calcare bianco (7)	
		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)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
	Scure		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 17 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> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{3K\sigma_{v(r)}\sigma_3 + 3\sigma_{v(r)}^2}$ <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, diorite, diabase e riolite</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 18 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

(DOR) Formazione di Dorgali

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

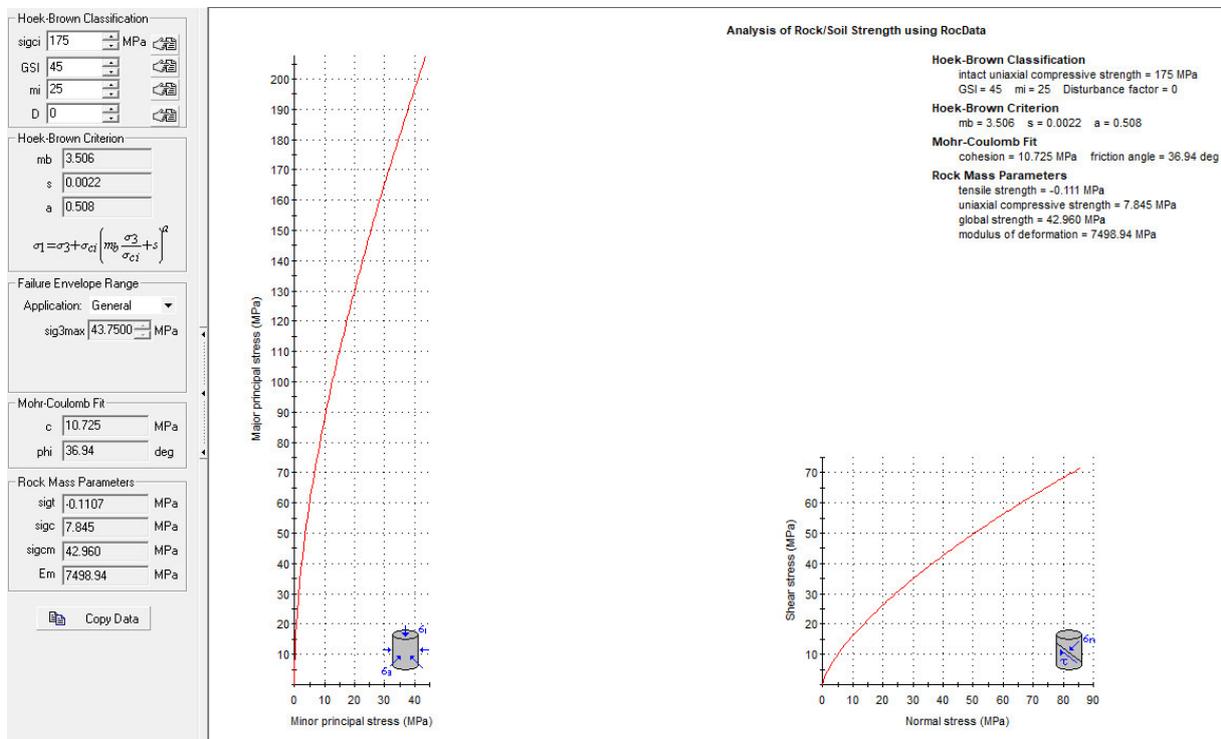


Figura 19 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti per la formazione dei calcari di Dorgali

10. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La forma prevalentemente pianeggiante di alcuni rilievi presenti nei pressi dell'area di studio sulle litologie plioceniche a nord e paleozoiche a sud est 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.

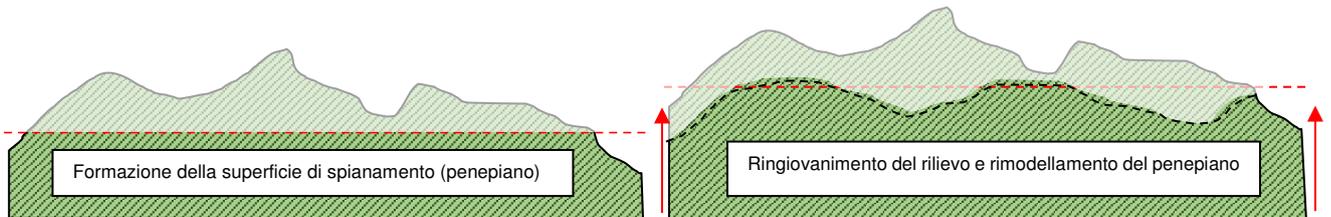


Figura 20 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

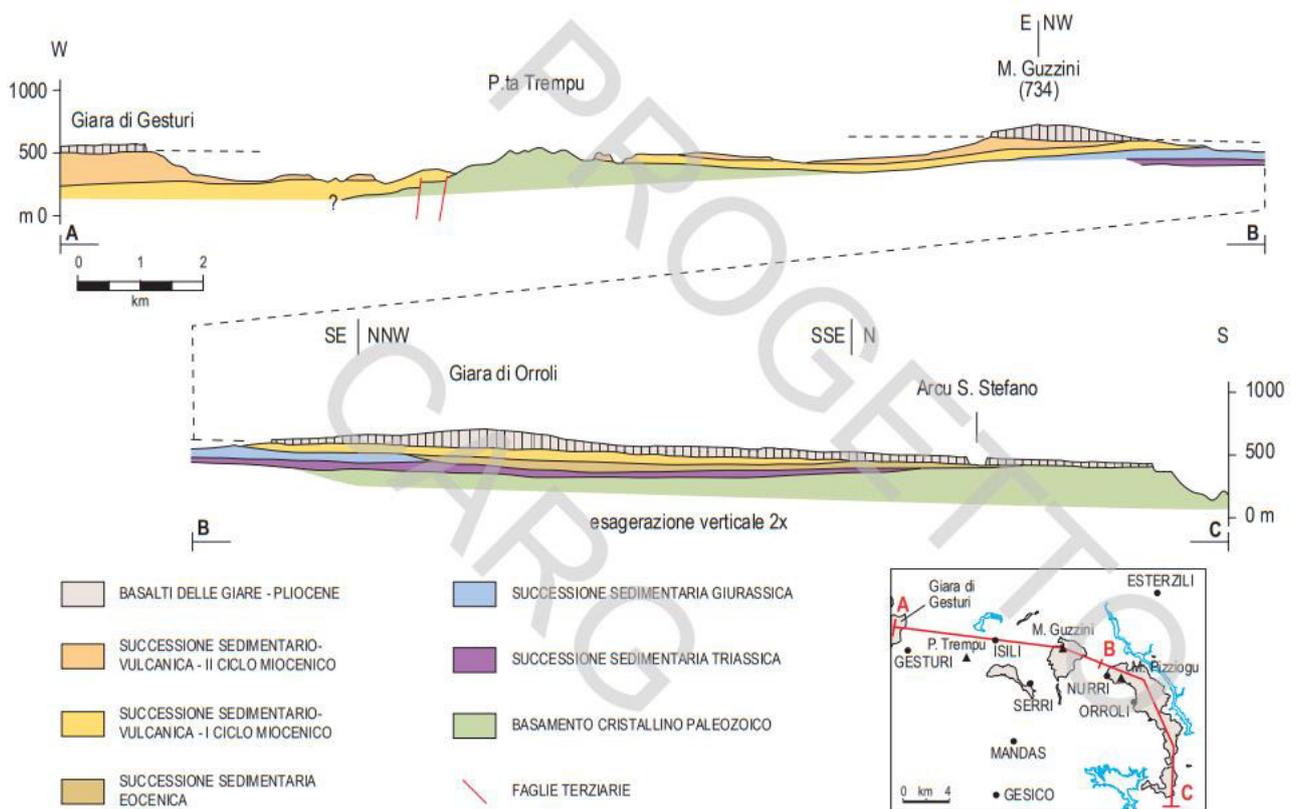


Fig. 73 - Sezione geologica schematica attraverso le Giare basaltiche del Foglio 540 "Mandas". Esagerazione verticale 2x.

Figura 21 sezione geologica dell'area vasta. vedasi l'evidenza della superficie di spianamento sulle formazioni paleozoiche successiva base d'appoggio dei depositi calcarei mesozoici (Tacchi) (Progetto CARG)

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 che è tuttora ben preservata al di sotto dei basalti delle Giare e delle formazioni calcaree giurassiche. Essa taglia indistintamente tutte le formazioni pre-basaltiche giungendo ad interessare il basamento. 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, verificatasi al livello del mare e successivamente sollevata da movimenti tettonici.

La messa in posto dei plateaux basaltici e l'esposizione dei tavolati calcarei su questa superficie e il successivo sviluppo di un reticolo idrografico spesso a controllo tettonico, generalmente NW-SE, hanno determinato la morfologia attuale dell'area vasta con rilievi tabulari sub-orizzontali spesso isolati come testimoni di un antico espandimento lavico che interessava diverse centinaia di kmq.

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. I corsi d'acqua incidono il basamento paleozoico, formando valli con versanti poco acclivi. 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 e in particolar modo con l'evoluzione oligo-miocenica e plio-quadernaria.

Le superfici morfologiche principali sono rappresentate da modesti rilievi sub arrotondati e dai resti di un altipiano profondamente disseccato 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 ai 600-700 metri (P.ta Su Corongiu, 697m, P.zu Mannu 708 m, P.ta Corongiu Eguas 763 m, Bruncu Is Fruccas 744m) Monte Maggiore (540m).

Le morfologie che caratterizzano l'area sono legate alla messa in posto dei calcari giurassici della formazione di Dorgali (*mesas* o *Tacchi*) che in questa zona, affiorano spesso con pendenze non trascurabili, generando superfici strutturali inclinate tipo *cuestas* (Tacco di Santa Maria).

Sulle litologie terziarie, la diversa resistenza delle sequenze sedimentarie è responsabile della genesi di versanti a gradini, con cenge e superfici strutturali di minore estensione.

Il reticolo idrografico dell'area di studio mostra valli quasi sempre poco incassate, con prevalente andamento N-S. 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.

Laddove invece le litologie sono più tenere e nei depositi terziari e quaternari si osservano morfologie erosive come superfici con solchi di ruscellamento e di dilavamento concentrato.



Figura 22 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS01e della IS02, l'altipiano calcareo con in primo piano i segni dell'attività di movimento terra in località Balloiana

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 23 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS03



Figura 24 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS05

11. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO



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

Si osserva che il territorio di Isili, considerando la classificazione dei bacini definiti a livello Regionale (P.A.I.) ricade nell'ambito di due bacini idrografici principali (Fiume Tirso, Sistema Flumendosa Campidano Cixerri) sebbene le tre aste principali cui pervengono i deflussi sono rappresentati dal Fiume Tirso (deflussi che sono orientati verso il territorio di Nurallao), il Fiume Flumendosa (deflussi che sono orientati verso il territorio di Villanovatulo) e il Flumini Mannu che drena la maggior parte dei deflussi del territorio sino a dare origine al Lago di san Sebastiano e poi a valle continua il suo percorso sino alla Stagno di Santa Gilla. Il reticolo idrografico su queste litologie 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.

11.1. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

Il reticolo idrografico sulle litologie affioranti è impostato su un sistema di valli e compluvi, ed è caratterizzato da una ramificazione ben sviluppata in tutta l'area vasta che include le zone di interesse per il progetto. I principali corsi d'acqua in prossimità dell'impianto partendo da Ovest sono il **Riu Turbino** che diventa **Riu Roledu** che scorre da Nord verso Sud a Occidente dell'intero parco, il **Riu Bau 'E Carru** che attraversa il parco le turbine IS02 e IS03 nelle parte centrale, il **Riu Gutturu Strunconis** tra le IS03 e la IS04 e che confluisce insieme al **Riu Congiuedda** e al **Bau 'e Carru** nel **Riu Congiaduredda** con direzione Sud Ovest e il **Riu Carrulo** scorre poi verso sud a oriente rispetto alla IS07.

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 spazature, la presenza di tali riempimenti limita fortemente il passaggio delle acque.

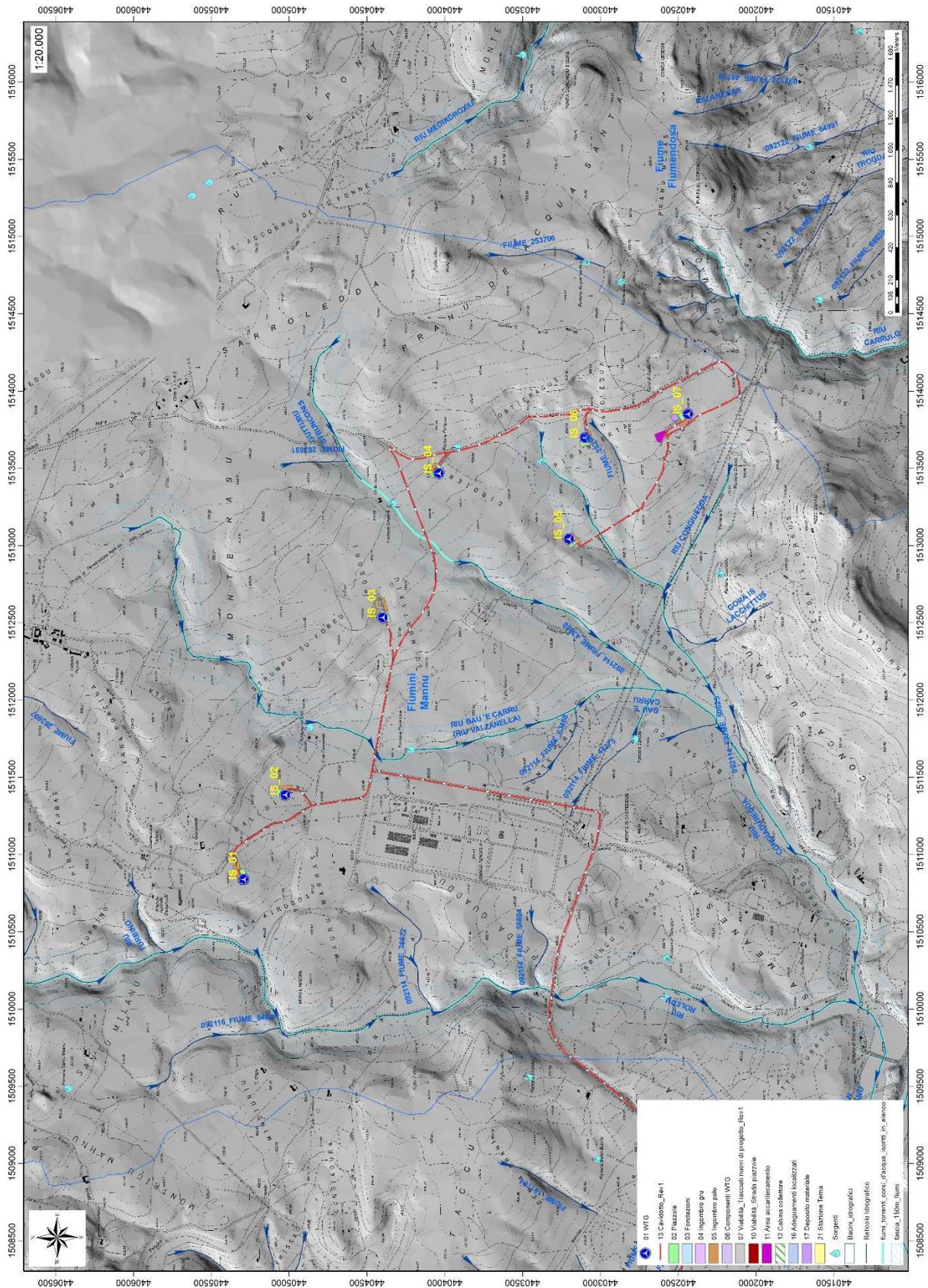


Figura 25 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

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.

UNITA'	FORMAZIONE GEOLOGICA	DESCRIZIONE
Detritico carbonatica quaternaria	traverzini, detriti di falda	Permeabilità alta per porosità
Alluvioni plio quaternarie	Alluvioni antiche, alluvioni recenti, alluvioni attuali, depositi fluvio lacustri. Sistema di Fortovesme	Permeabilità per porosità complessiva medio bassa, localmente medio alta nei livelli a matrice più grossolana
Vulcaniti plio quaternarie	Basalti delle Giare	Permeabilità complessiva per fratturazione da medio-bassa a bassa, localmente in corrispondenza di facies fratturate e cavernose permeabilità per fratturazione e subord. per porosità medio alta
Detritica pliocenica	Conglomerati, arenarie, argille di sistema alluvionale	Permeabilità per porosità complessivamente bassa localmente media in corrispondenza dei livelli a matrice più grossolana
Detritico carbonatica miocenica superiore	calcarei, calcareniti, arenarie marnose con subordinate marne e siltiti, conglomerati arenarie	Permeabilità complessiva medio alta, da medio bassa a medio alta per porosità nei termini detritici, medio alta per fratturazione e/o cavitazioni nei termini carbonatici
	marni, marne arenacee e silicee, conglomerati a matrice argillosa con subordinate arenarie, calcareniti e sabbie con locali intercalazioni tufacee	Permeabilità complessiva medio bassa per porosità alta, localmente medio alta per porosità nei termini sabbioso-arenacei
Detritica carbonatica oligo miocenica inferiore	Conglomerati e arenarie con matrice generalmente argillosa siltite e argille con locali intercalazioni di tuffi di ambiente continentale	Permeabilità per porosità bassa
Vulcaniti oligomioceniche	vulcaniti calcalkaline	Permeabilità per fratturazione complessiva medio bassa
carbonatica mesozoica	calcarei, calcari dolomitici, dolomie, calcari nodulati, calcari bioclastici, calcari marnosi, marne calcareniti, calcari soliferi, arenarie, calcari micritici, dolomie, marnose, marne e gessi e argille di ambiente transizionale e marino	Permeabilità complessiva medio alta per fratturazione e carsismo nei termini carbonatici, e per porosità nei termini arenacei, localmente bassa nei termini marnoso e argillosi
detritico permio carbonifero e triassico	argille, siltiti, arenarie e conglomerati, talora con intercalazioni di calcari silticizzati, di calcari con soles lacustri di ambiente continentale	Permeabilità per fratturazione complessiva medio bassa, localmente media in corrispondenza dei livelli arenacei e conglomeratici
Magmatica paleozoica	complesso filoniano, complesso vulcanico	Permeabilità complessiva bassa per fratturazione localmente media in corrispondenza delle aree con sistemi di fratturazione sviluppati
Metamorfica superiore paleozoica	complesso metamorfico scissoso	Permeabilità complessiva bassa per fratturazione, localmente in corrispondenza delle lenti carbonatiche medio alta per fratturazione e carsismo

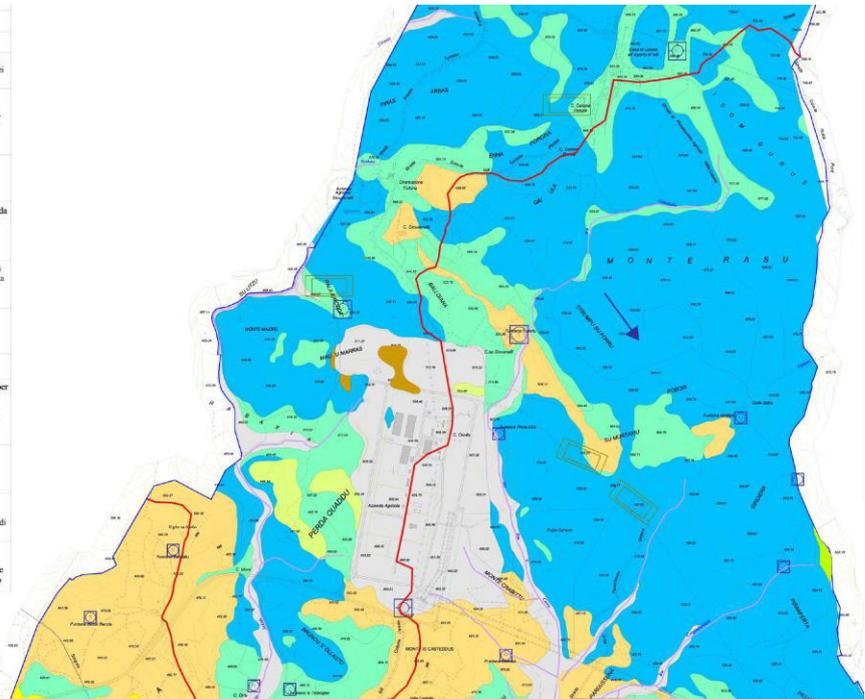


Figura 26 stralciop della Carta Idrogeologica del PUC Isili, 2015

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 filtra 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.

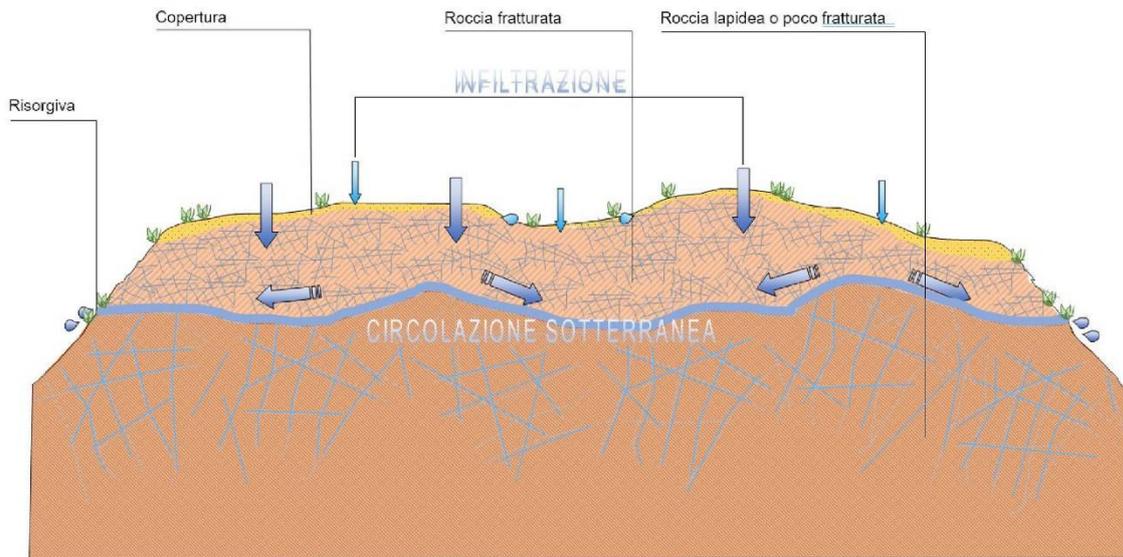


Figura 27 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

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 medio-alta per carsismo e fratturazione e medio alta per porosità per i terreni mesozoici e terziari**, eccetto che per le aree in cui affiorano le litologie paleozoiche, che presentano **permeabilità medio-bassa per fratturazione**.

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

Per quanto riguarda gli acquiferi e le loro caratteristiche nell'area di Perd'e Cuaddu i calcari dolomifici, a tetto di faglie dirette, vanno ad immergersi sotto i tufi bentonitizzati, le arenarie e i calcari miocenici, dando così luogo ad un acquifero in pressione. La struttura idrogeologica, verificata da alcuni sondaggi è però limitata non essendo stata individuata né verso Isili né verso Nuragus. Nella successione miocenica l'acquifero più produttivo è principalmente costituito dalle arenarie conglomeratiche della formazione di Nurallao poggianti sul basamento paleozoico. Il loro spessore (200m) e la loro estensione sono fattori favorevoli per un buon immagazzinamento. (fonte Progetto CARG)

Nell'area di interesse sono state individuate diverse risorgenze per lo più con portate sotto il litro al secondo (Funtana Picca Linna, Funtana Giridiera, Funtana Perdosa) tranne Funtana Isidoriu la cui portata è compresa tra 1 l/sec e i 5l/sec. (fonte PUC Isili, 2015)

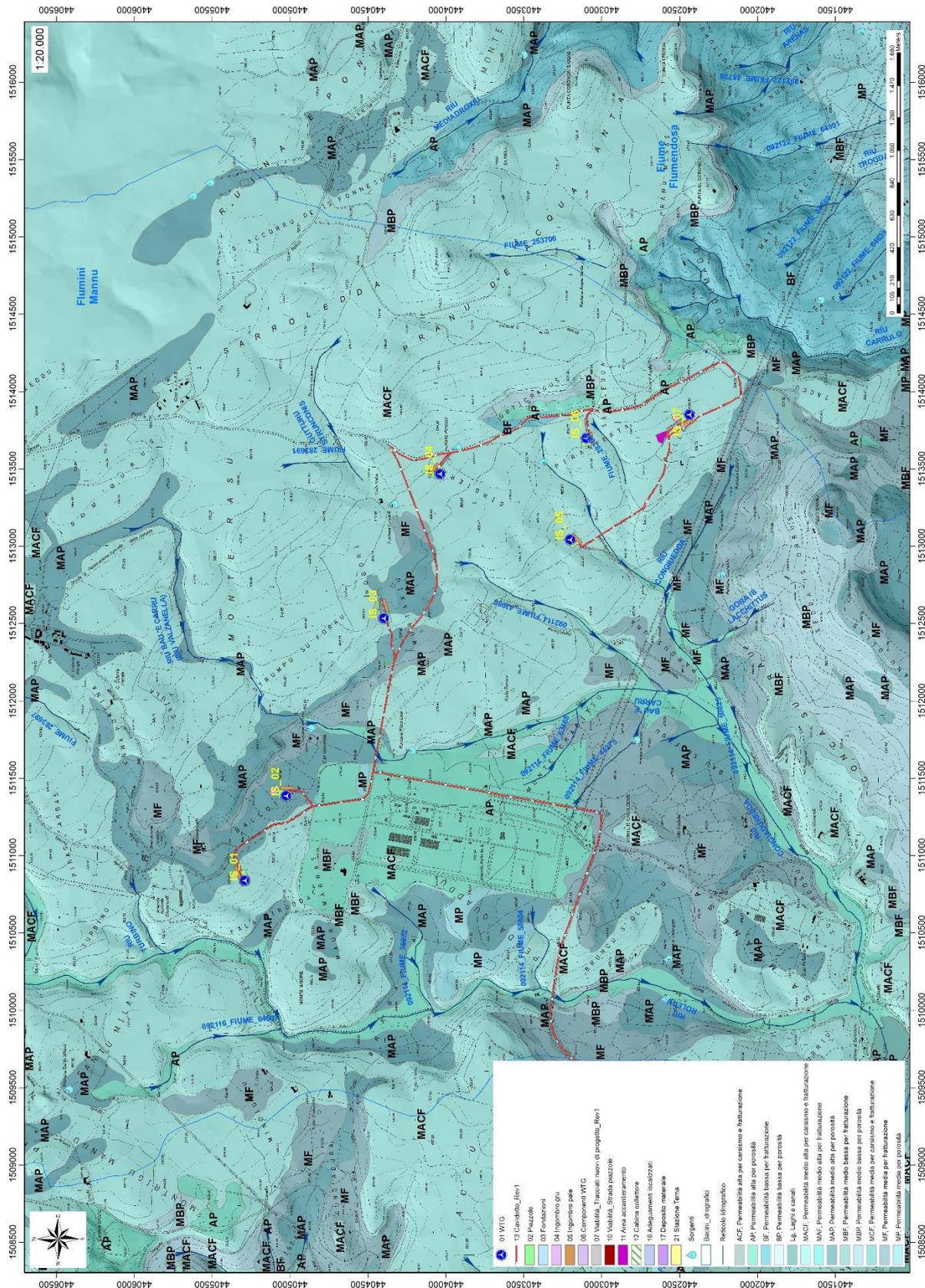


Figura 28 Carta della permeabilità del substrato (fonte RAS)

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). Nel caso specifico la sorgente di Fontana Perdosa si trova lungo una linea di faglia che determina una soglia idraulica su cui si manifesta più a nord anche la sorgente Fontana Girdiera. Il limite d'emergenza di queste sorgenti il cui acquifero è rappresentato dalla formazione dei calcari di Dorgali è la sottostante e meno permeabile formazione di Genna Selole. 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 Isili e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Nurri, Escalaplano, Senorbì, Sadali e Gergei, localizzate nel raggio di 17-32 km dal settore in esame, nonché dai dati riportati negli studi del PUC di Isili.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio (Tab.1) è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2018 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S. delle stazioni di Nurri e Escalaplano, così come i dati termometrici, relativi però alle stazioni di Nurri, Senorbì, Sadali e Gergei.

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.

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

12.1. PRECIPITAZIONI

Nella Tab.1 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2018 registrati nella stazione di Nurri e di Escalaplano (per gli anni 2013 e 2015). 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 2008 e il 2018.

Tabella 1 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Nurri e di Escalaplano (per gli anni 2013 e 2015)

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
2018	29,2	74,6	146,4	81,7	132,4	114,6	0,4	146,2	44,3	139,4	169,2	11,8	1090,2
2017	104,1	92,3	9,8	40,2	0	4,2	1,4	1	1,2	3,8	61,2	88	407,2
2016	0	0	20,6	30,9	37,3	4	1,4	0	66,5	11,1	89,9	158,8	420,4
2015	47,6	77,8	69,4	8	69,4	19,4	63,2	27,2	75,8	123,8	20,4	4,8	606,8
2014	160,3	65,5	97,2	43,4	43	21,6	13,2	0	0,2	17,8	89,6	91,6	643,4
2013	53,6	69	109,8	31	12	2,2	69,2	35,6	33,2	13,6	332,8	79,6	841,6
2012	38,2	69,6	3,6	89,8	76,2	0	0,2	2,4	26,3	78	101,1	51,2	536,6
2011	46,4	127,8	71,6	26,6	66,8	37,6	6,8	0,4	77	13,4	258	95,6	828
2010	158,8	81,2	41,2	78,6	78,4	57,4	3,4	5,2	16,6	79	171,2	116,6	887,6
2009	161	89,6	68,8	122	43	23,6	17	9	122	43,6	48,2	81,2	829
2008	47	15,6	74,4	70,6	58	23	5,2	0	51,4	86,2	154,6	95,8	681,8

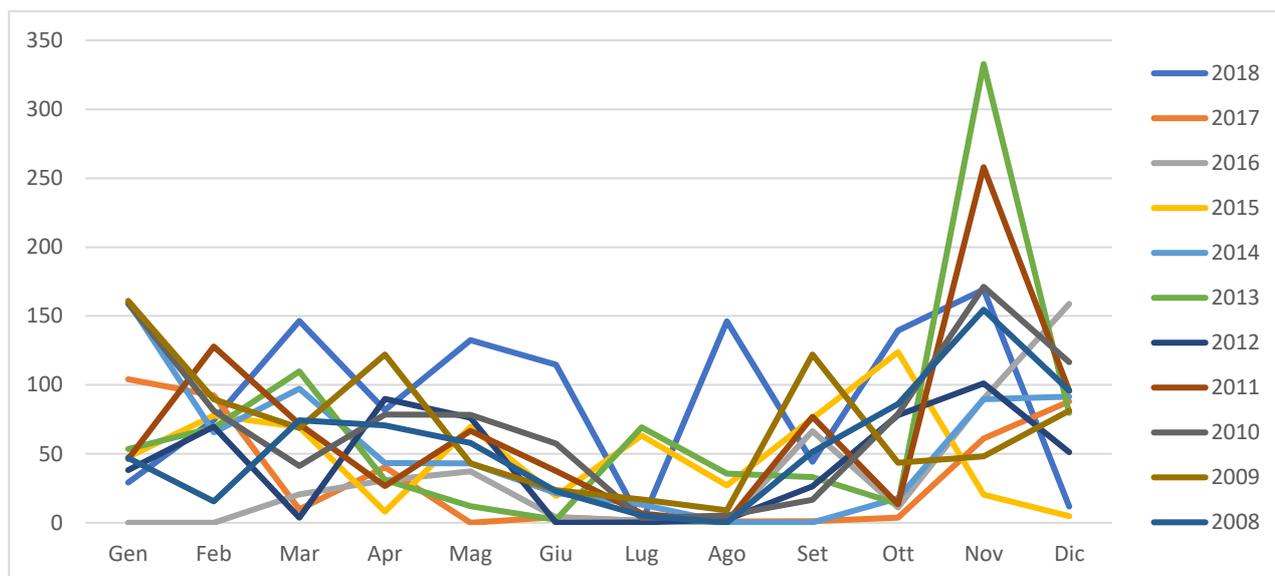


Figura 29 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Nurri (e Escalaplano per gli anni 2013 e 2015) nel periodo 2008-2018.

L'andamento pluviometrico dell'area di Isili 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 Nurri, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nel grafico di Tab. 2 e sono relativi alla stazione di Senorbì per gli anni dal 2012 e 2018, a quella di Sadali per gli anni dal 2013 al 2016, a quella di Gergei per l'anno 2017, e alla stazione di Nurri per l'intervallo 1995-2011.

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2018	11,6	8,2	11,4	15,9	17,7	22,8	27,1	25,7	23,4	18,9	14,4	11
2017	6,5	10,2	11,5	13,1	17,8	24,2	25,5	27,7	20	17,5	11	7,4
2016	6,2	7,4	6,6	12,4	12,7	17,8	21,6	21	17,9	14	9,8	7,6
2015	5	3,9	7,5	10,1	14,8	18,5	23,5	21,4	18,3	13,6	9,6	6,5
2014	5,6	6,5	6,9	10,5	12,8	18,1	19,9	21,4	19,2	15,7	11,4	5,5
2013	5,1	3,2	7,2	10,6	12,2	16,7	20,9	21,3	17	16,1	8,1	5,8
2012	9	6,3	12,5	14,1	17,9	24,5	26,2	28,3	22,9	19,3	15,4	9,9
1995-2011	6,6	7,2	9,7	12,5	17,1	21,8	24,5	24,6	19,6	16,3	11	7,5

Tabella 2 - Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Senorbì per gli anni dal 2018 e 2012, in quella di Gergei per il 2017, Sadali per gli anni 2016-2013, e presso la stazione di Nurri per il periodo 1995-2011.

La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2018, è di circa 14,5 °C. Il mese più freddo è Febbraio con una media di circa 6,6°C, mentre le temperature più elevate si riscontrano a Luglio e Agosto con circa 23,6 °C.

Nel grafico sottostante è illustrato l'andamento delle temperature medie mensili per il periodo 1995-2011 registrate nella stazione di Nurri, Senorbì per gli anni 2012 e 2018, Gergei per l'anno 2017, e Sadali per gli anni 2013 - 2016.

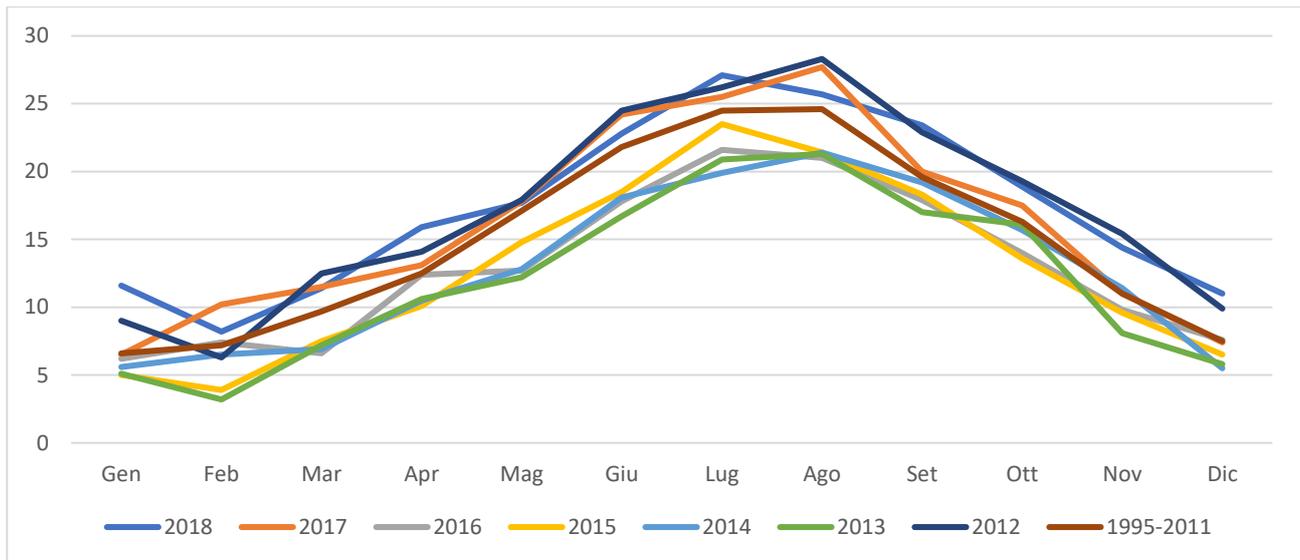


Figura 30 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Senorbì (anni 2012 e 2018), Gergei (2017), Sadali (anni 2013-2016), e nella stazione di Nurri (1995-2011).

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.

Nelle Figure 31 e 32 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 cumulato di precipitazione ed il cumulato dell'evapotraspirazione di riferimento (ETO) stimata con il metodo Hargreaves-Samani.

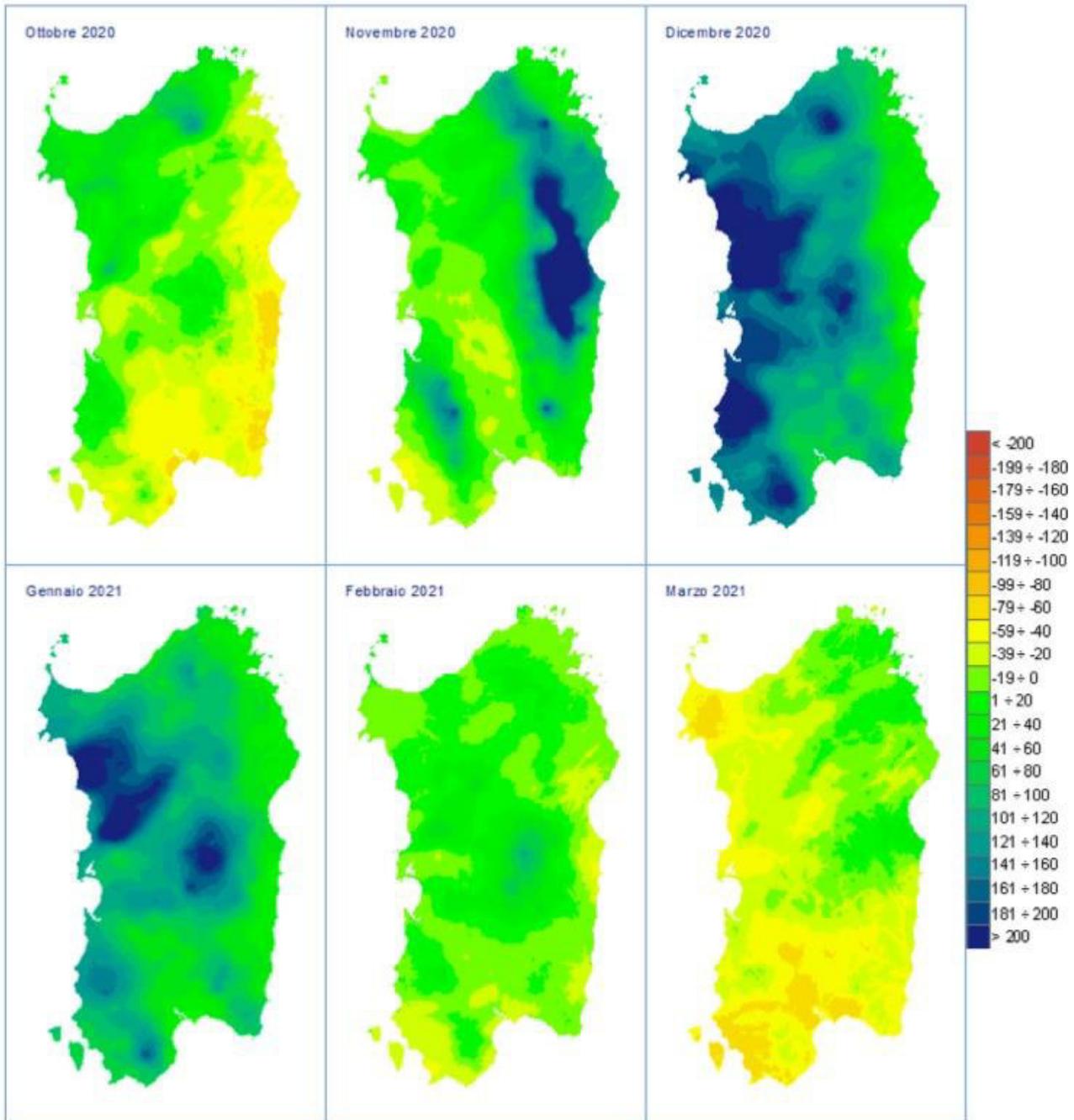


Figura 31 Bilancio idro-meteorologico per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 (espresso in mm).

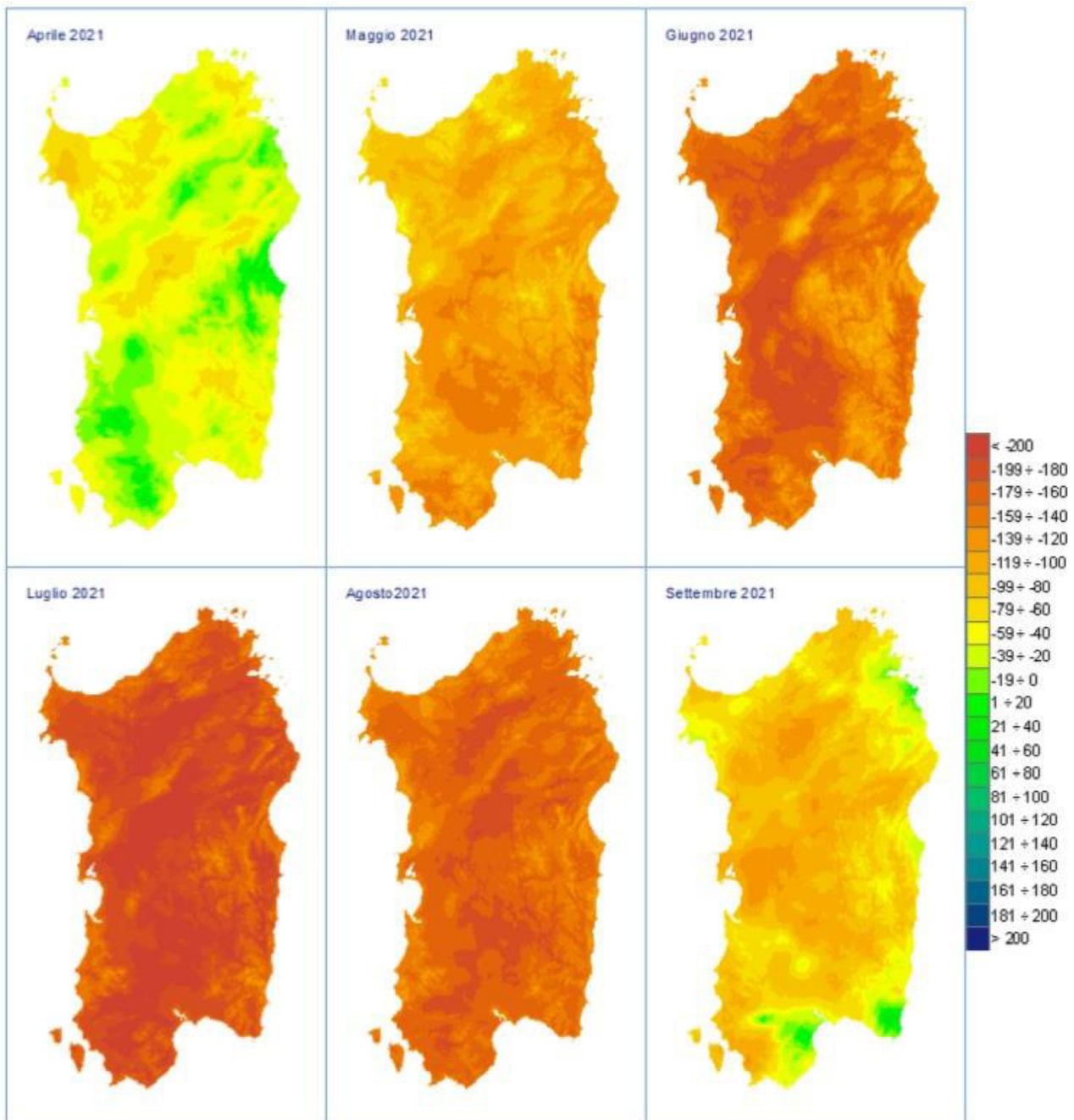


Figura 32 Bilancio idro-meteorologico per il periodo aprile 2021 – settembre 2021 (espresso in mm).

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 ($2/8 < \text{nuvolosità} < 6/8$) 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 presente 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.

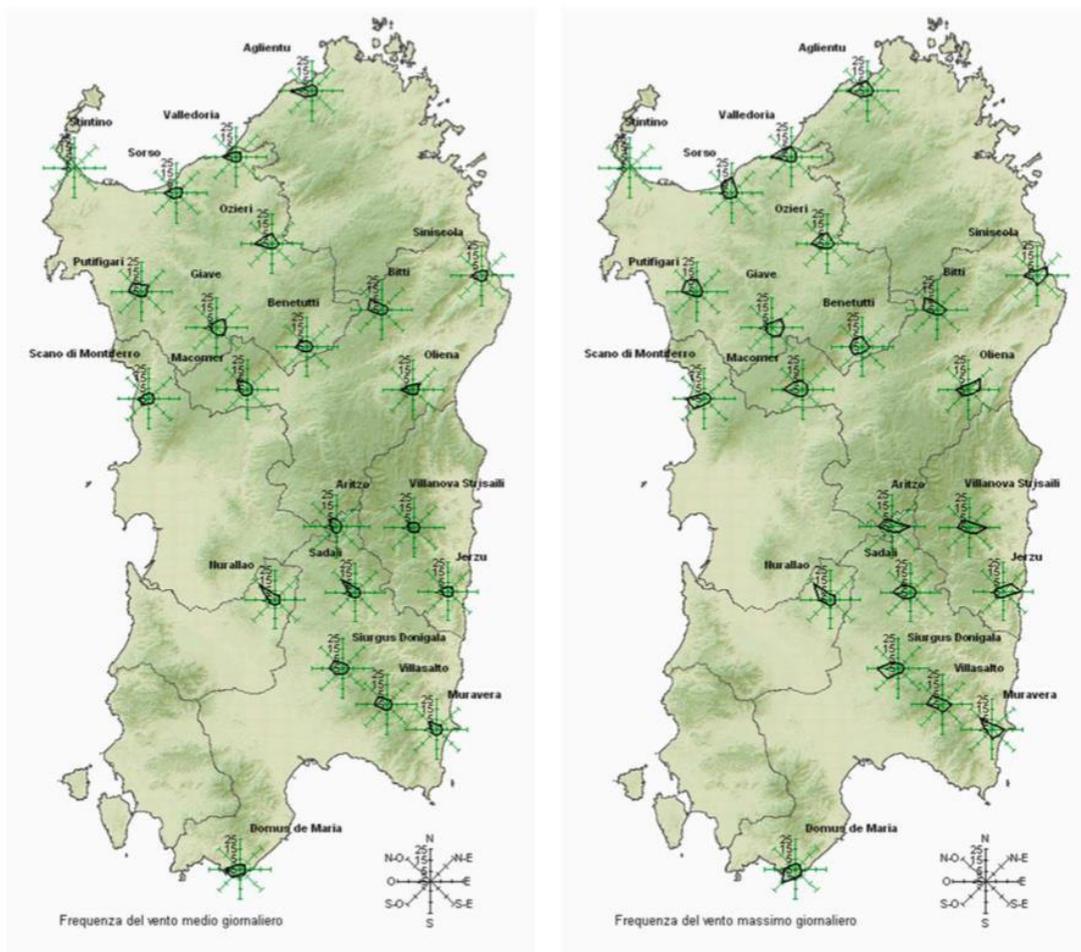


Figura 33 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata relativa nell'anno 2017 (mese giugno).

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.

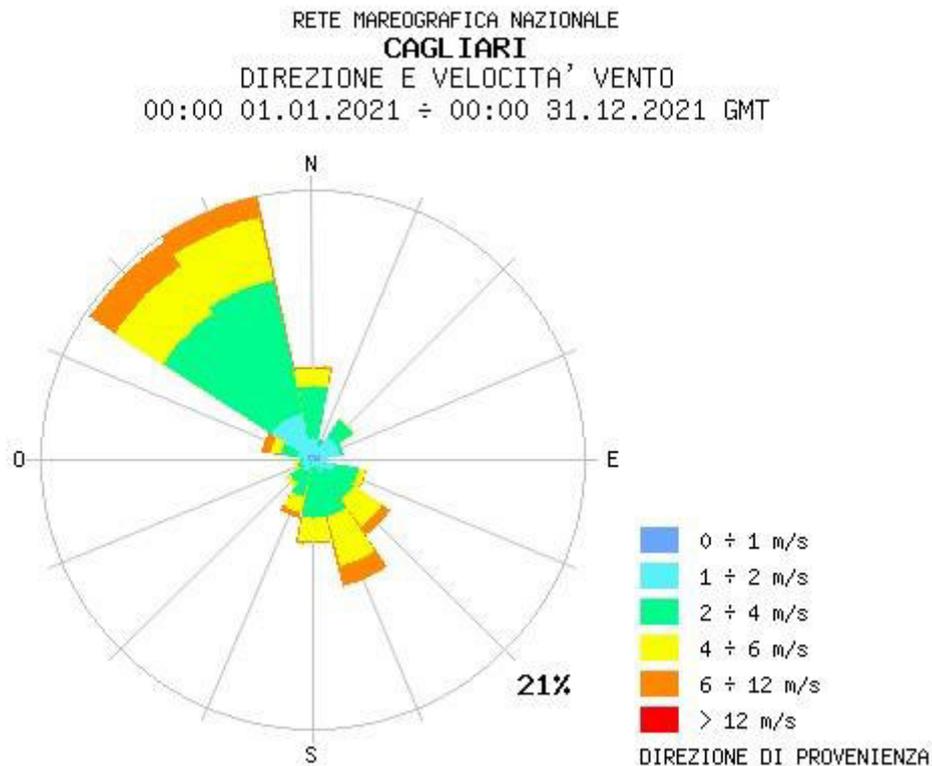


Figura 34 Ventosità media annuale per la stazione meteorologica di Cagliari relativa all'anno 2021.

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.

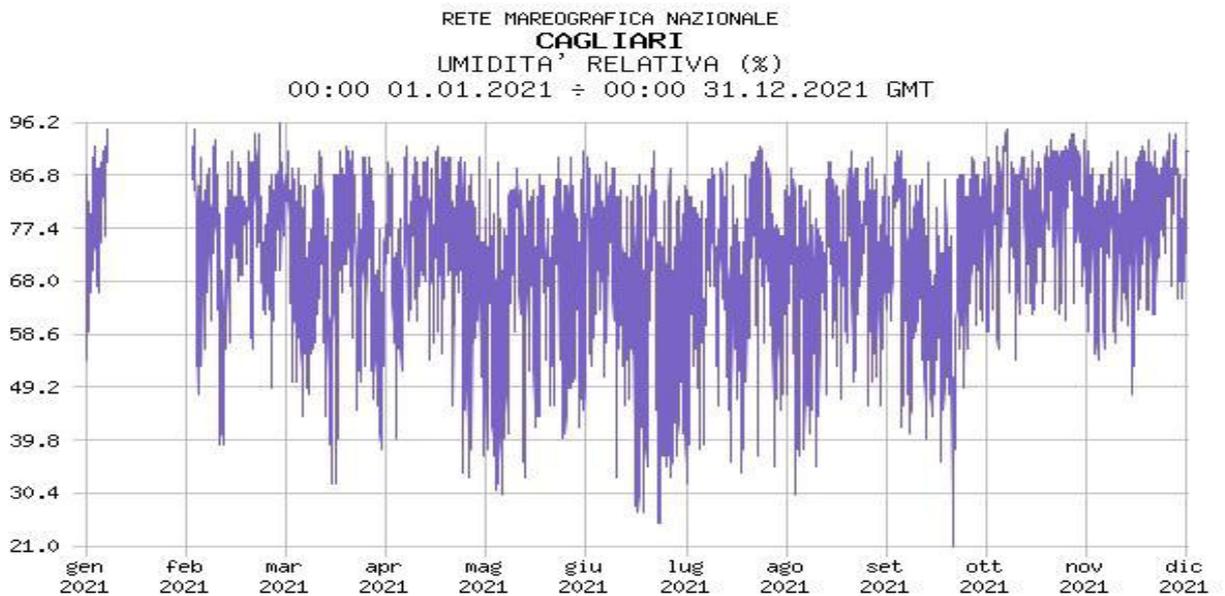


Figura 35 Umidità relativa per la stazione di Cagliari, per l'anno 2021.

Il diagramma ombrotermico elaborato per il settore di Isili (Fig.36), 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.

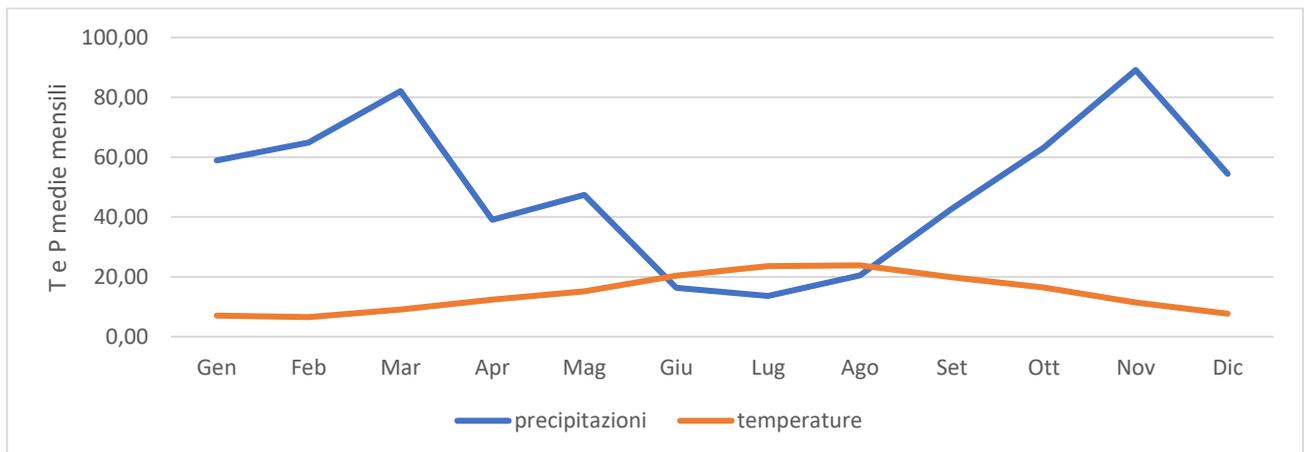


Figura 36 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Isili (anno 2021).

Il clima è caratterizzato da un periodo caldo con scarsa piovosità e uno più freddo e piovoso. Nel grafico di Fig.36 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 2012-2021 permette di classificare il clima dell'area di Isili come "mediterraneo con estate calda", nel quale la temperatura media annua (14,5 °C), per quattro mesi (Giugno-Settembre) supera i 21 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 650 mm annui.

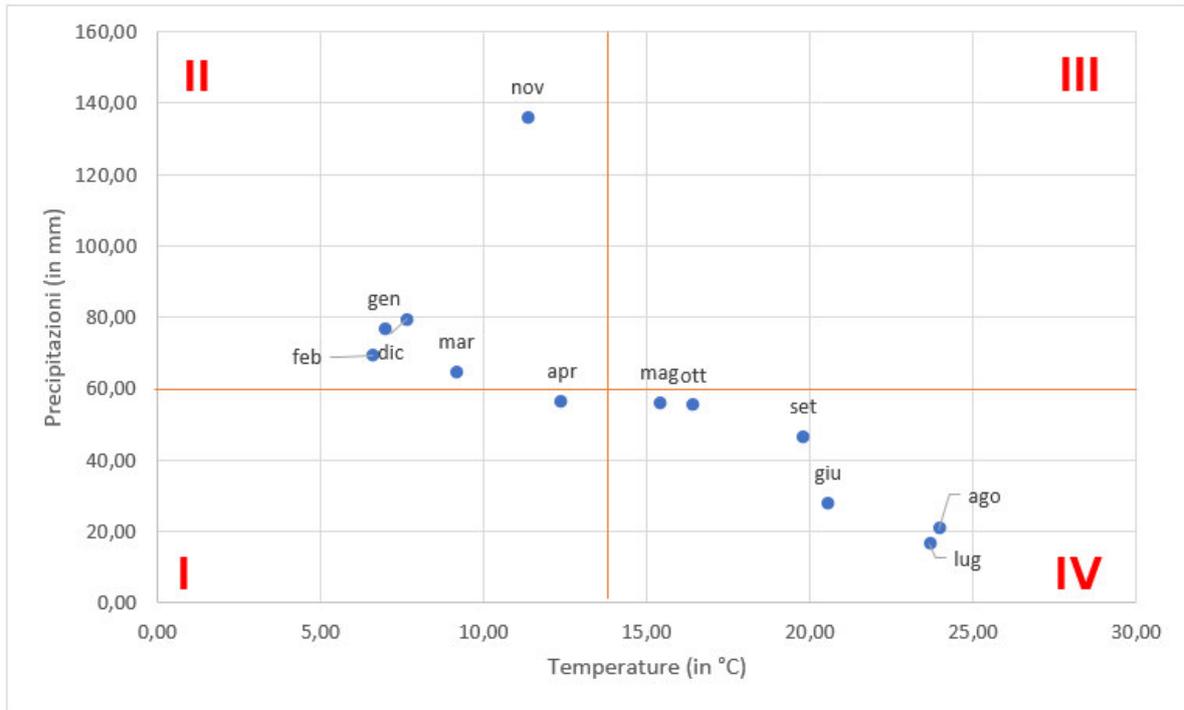


Figura 37 Climogramma relativo alla regione di Isili.

Dal climogramma (Fig.37) realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 2012-2018 per l'area di Isili, 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.

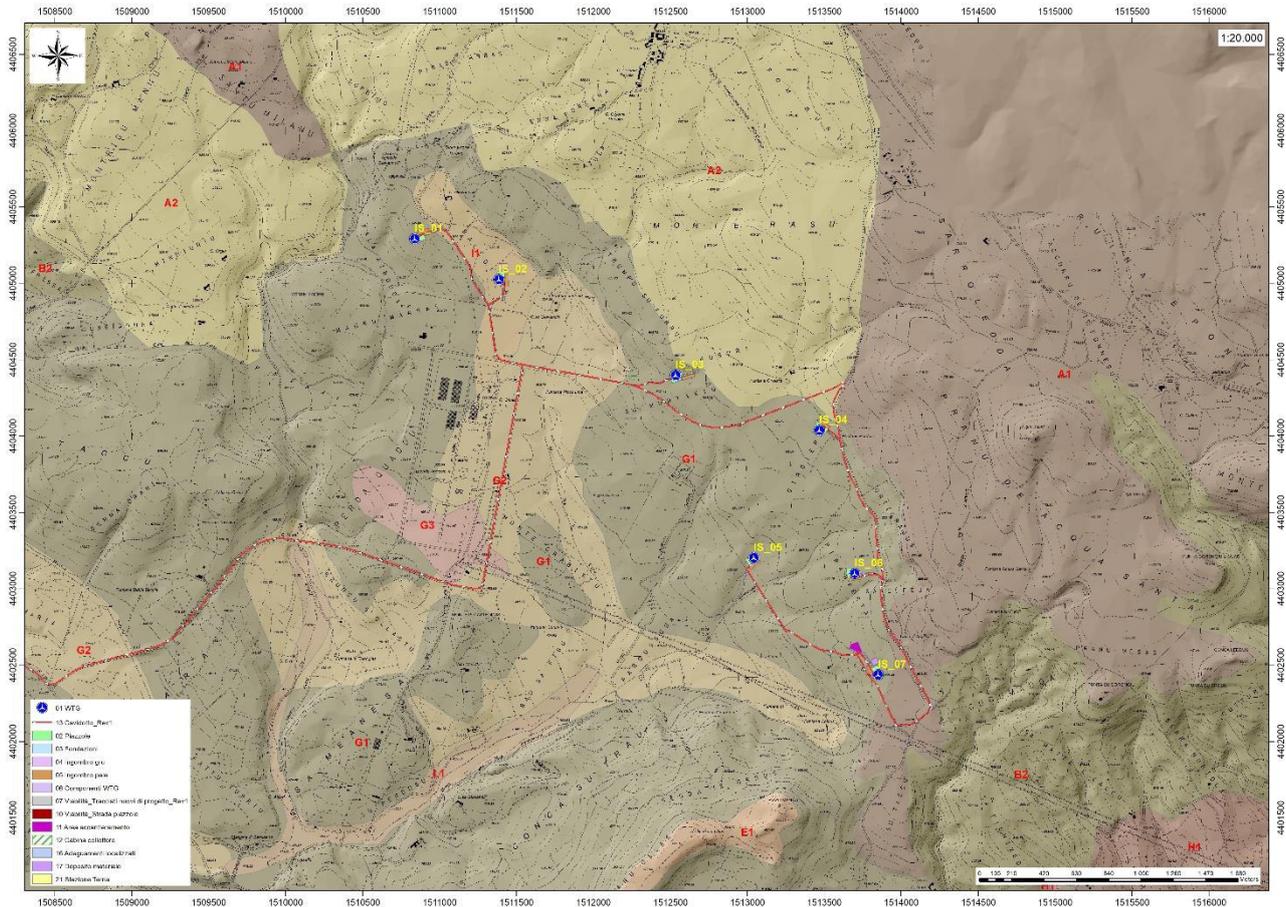


Figura 38 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

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 **“Marne, arenarie e calcari marnosi del Miocene e relativi depositi colluviali.”** in **Aree con forme ondulate, sulle sommità collinari e in corrispondenza dei litotipi più compatti.** Tutte le turbine tranne la **IS_02** ricadono nel profilo **G1**, ovvero **“Profili A-C, roccia affiorante e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, permeabili, subcalcini, saturi. LITHIC XERORTHENTS, ROCK OUTCROP, subordinatamente XEROCHREPTS. Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro e carbonati”.**

La **IS_02** ricade nel profilo **11**, ovvero **Alluvioni e su arenarie eoliche cementate del Pleistocene**. in **Aree da subpianeggianti a pianeggianti**. “**Suoli a profilo A-Bt-C, A-Btg-Cg e subordinatamente A-C, profondi, da FS a FSA in superficie, da FSA ad A in profondita', da permeabili a poco permeabili, da subacidi ad acidi, da saturi a desaturati. TYPIC, AQUIC, ULTIC PALEXERALFS, subordinatamente XEROFLUVENT, OCHRAQUALFS. Eccesso di scheletro, drenaggio da lento a molto lento**”.

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

A1 - Roccia affiorante e suoli a profondita' variabile nelle anfrattuosita' della roccia, con profili A-R e subordinatamente A-Bt-R, argillosi, poco permeabili, neutri, saturi.

G2- Profili A-Bw-C, A-Bk-C e A-C, da mediamente profondi a profondi, da franco sabbiosi a franco sabbioso argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, subalcalini, saturi.

G3 - Profili A-C, profondi, argillosi, poco permeabili, subalcalini, saturi.

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**”, ricade la turbina IS_01;

nel livello **2111**, classificato come “**seminativi in aree non irrigue**”, ricade la turbina IS_02;

nel livello **3111**, classificato come “**bosco di latifoglie**”, ricadono le turbine IS_03 e IS_06;

nel livello **3241**, classificato come “**aree a ricolonizzazione naturale**”, ricade la turbina IS_04;

nel livello **2112**, classificato come “**Prati artificiali**”, il punto di installazione della turbina IS_05;

nel livello **244**, classificato come “**aree agroforestali**”, ricade la turbina IS_07;

Nello studio del PUC datato 2015 vengono confermate le stesse classi.

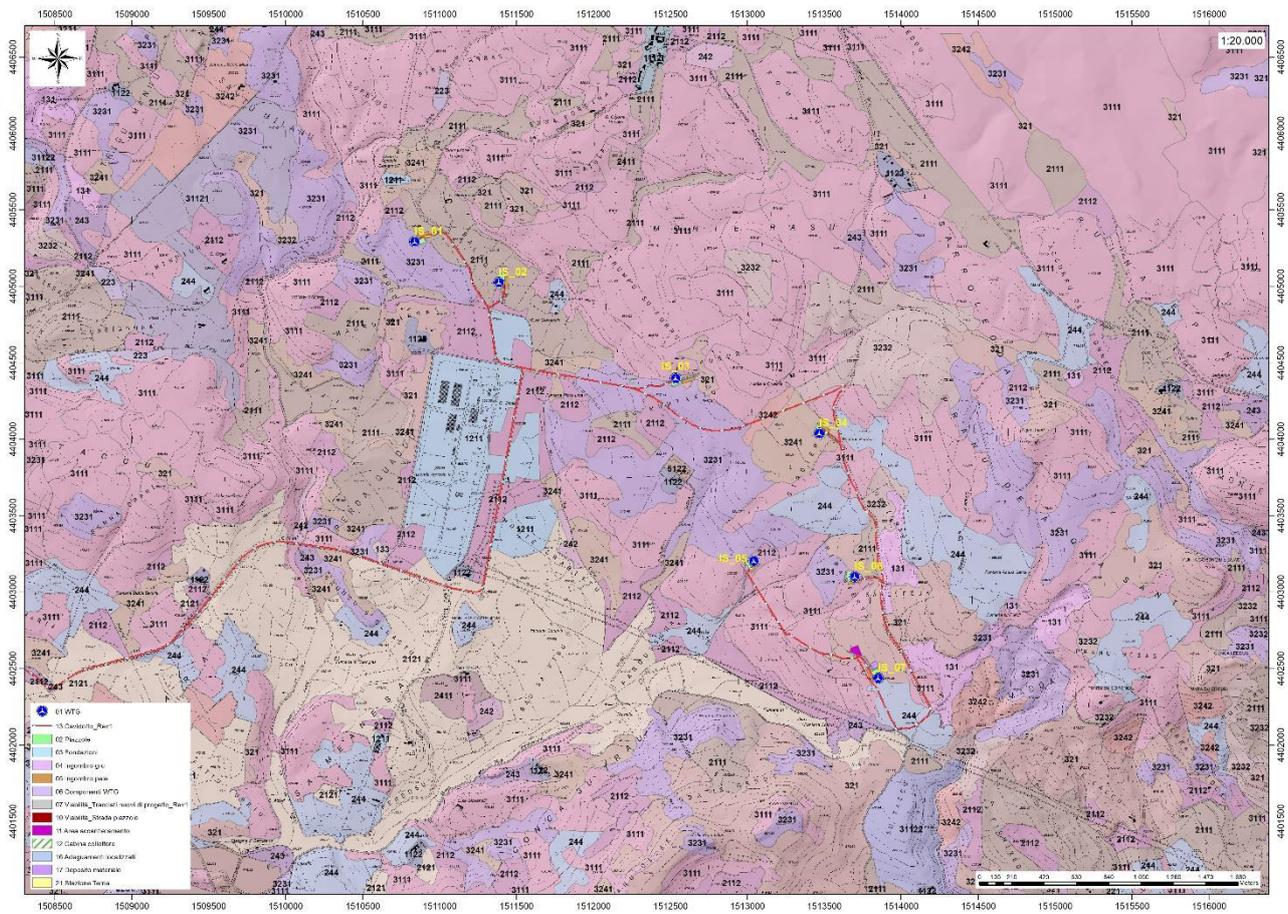


Figura 39 Stralci della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

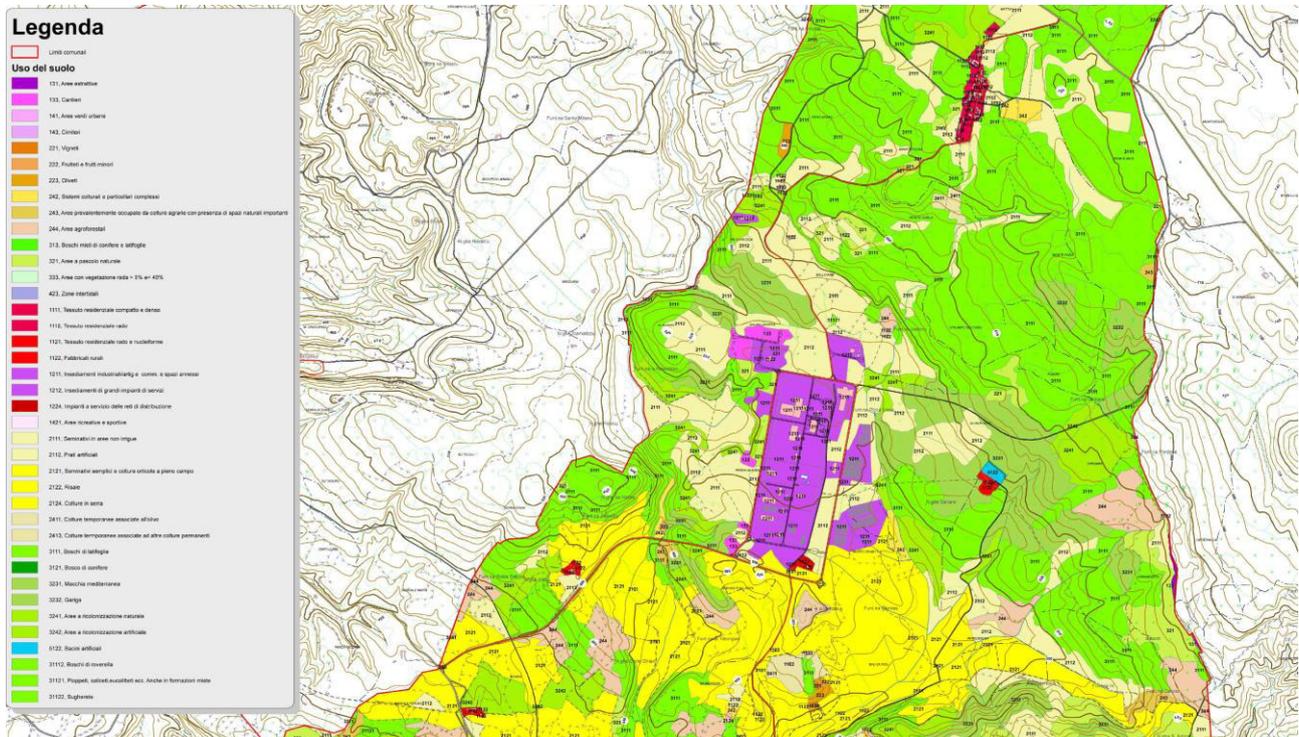


Figura 40 Carta Uso del Suolo (PUC Isili, 2015)

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 **Isili**, con Deliberazione del Consiglio Comunale N. 37 del 19/12/2013, ha adottato il nuovo Piano Urbanistico Comunale in cui è stato redatto lo studio di compatibilità idraulico e geologico-tecnico ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione (NA) del PAI. Lo stesso ha superato la verifica di coerenza con Determ. Dir. Gen. N. 367/DG del 11/02/2014 ed è stato pubblicato nel Buras n.15 del 02/04/2015. Successivamente non è stata redatta alcuna variante. L'area di progetto è compresa nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica del PAI.

In particolare:

- Tutte le turbine ricadono in aree perimetrare Hg1
- Il cavodotto si sviluppa generalmente sempre su strade esistenti e corre interrato a circa 1,30 -1,50m da p.c. incontra solo un punto perimetrato Hg2 in località N.ghe Eroxi

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità idraulica non risulta che nel territorio interessato dall'intervento siano presenti settori perimetrati da pericolosità legata a fenomeni idraulici o aree interessate da fenomeni di esondazione naturali fatti salvi due punti lungo gli attraversamenti sul Rio Roledu e l'area di esondazione del Rio Pardu Longi ai piedi del N.ghe Geroni poco prima della sottostazione.

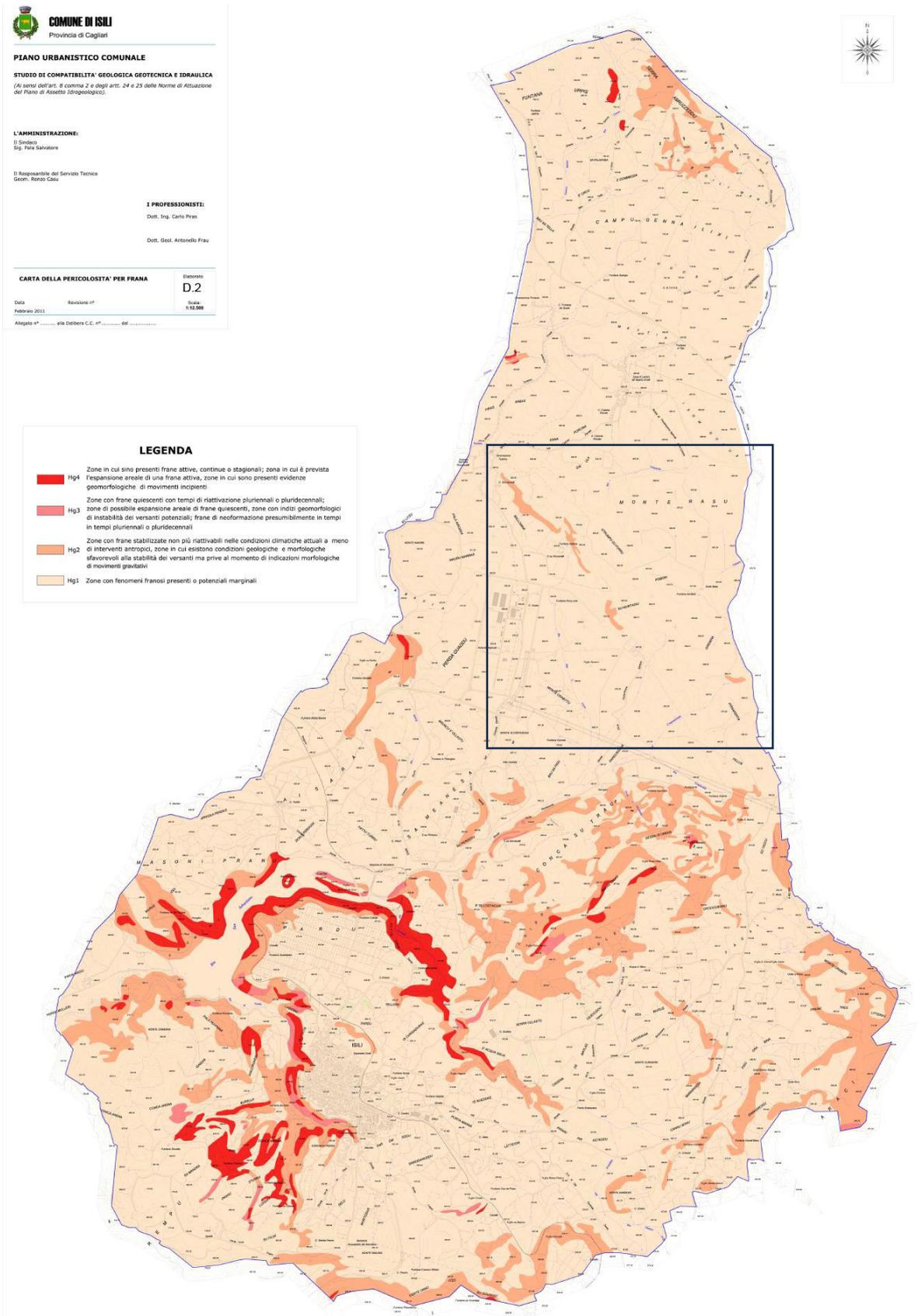


Figura 41 Pericolosità da frana PAI (PUC Isili, 2015) e area oggetto di intervento

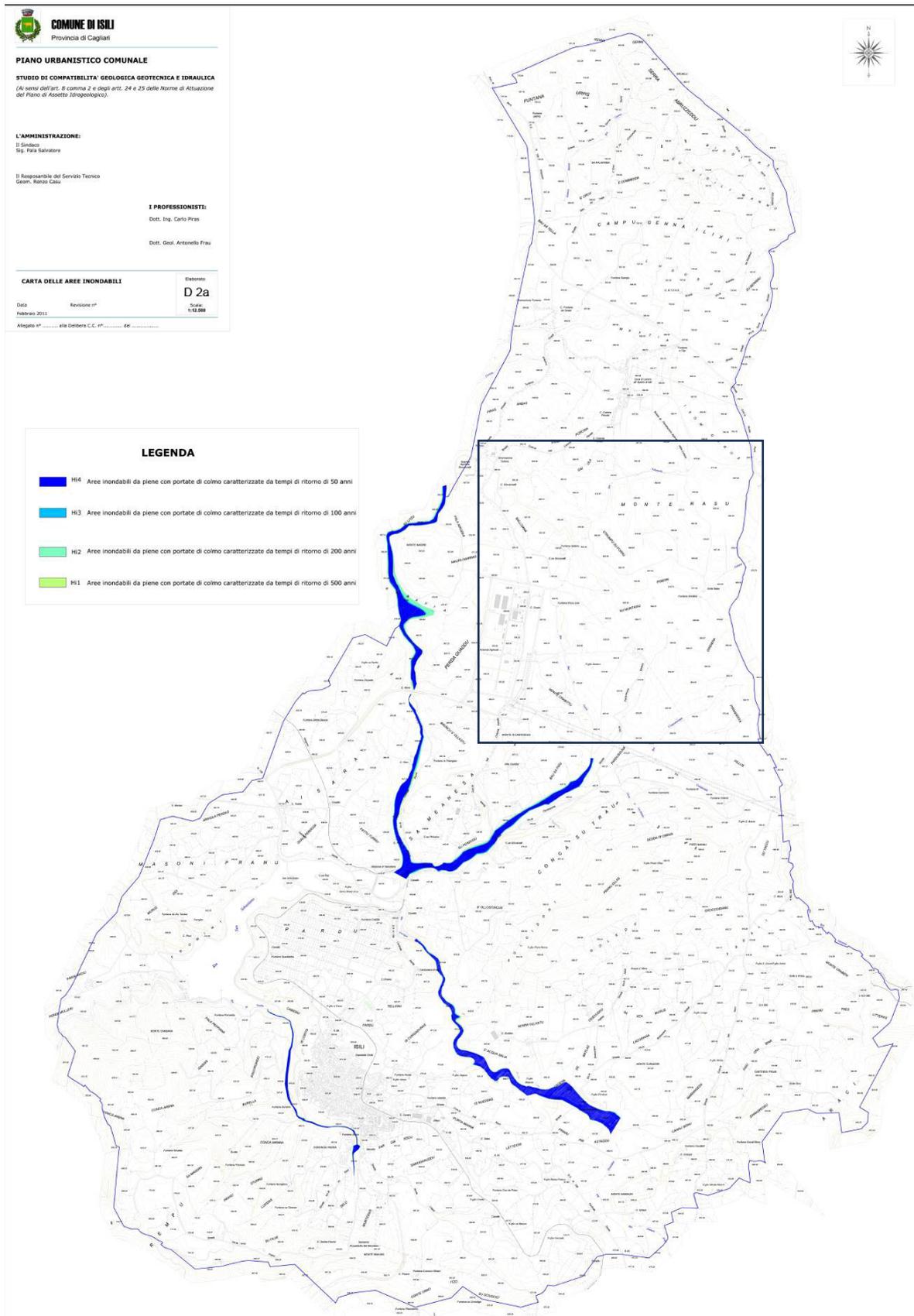


Figura 42 Pericolosità idraulica PAI (PUC Isili, 2015) e area oggetto di intervento

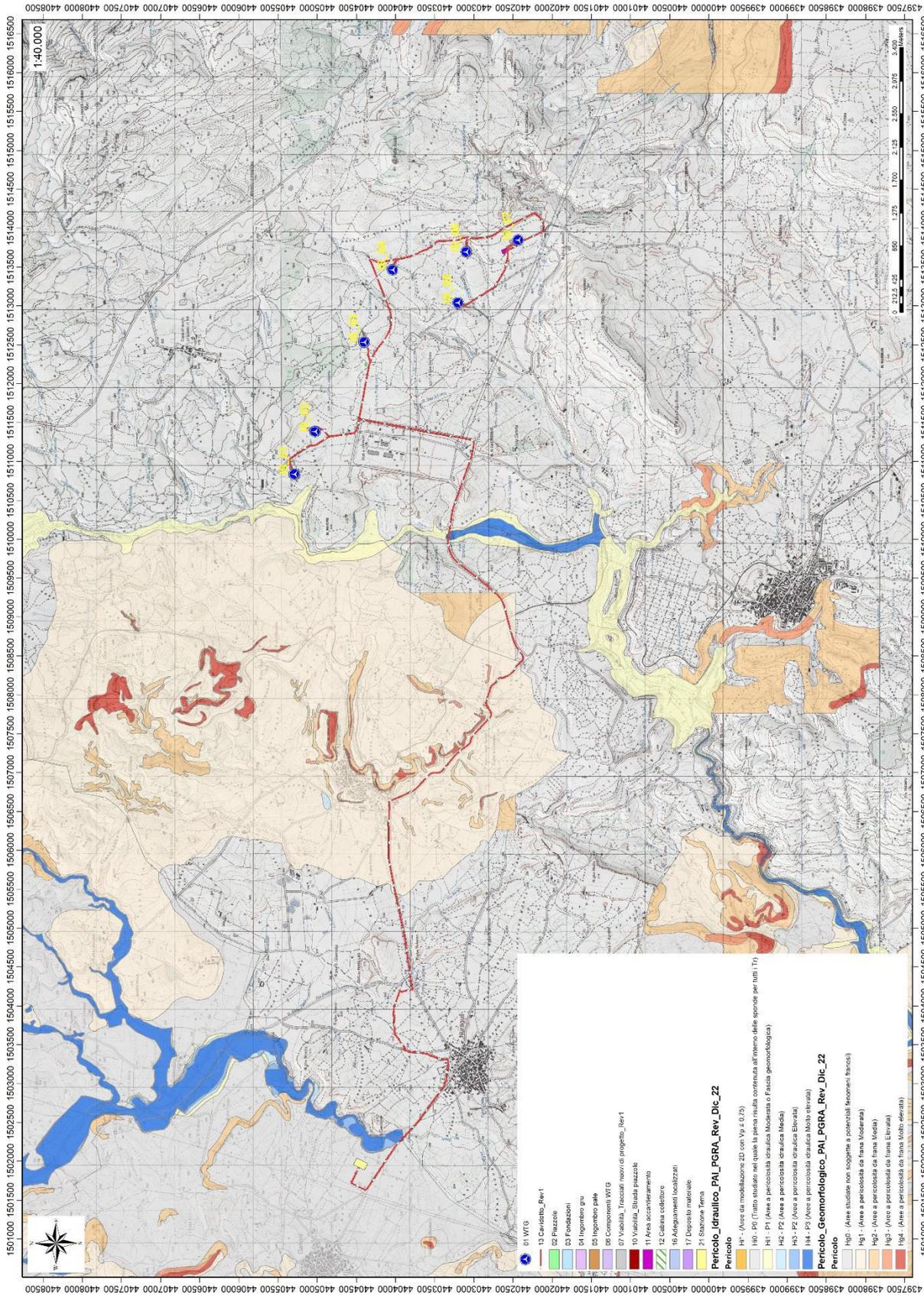


Figura 43 Pericolosità idraulica e geomorfologica PAI (RAS, agg.2022)

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.

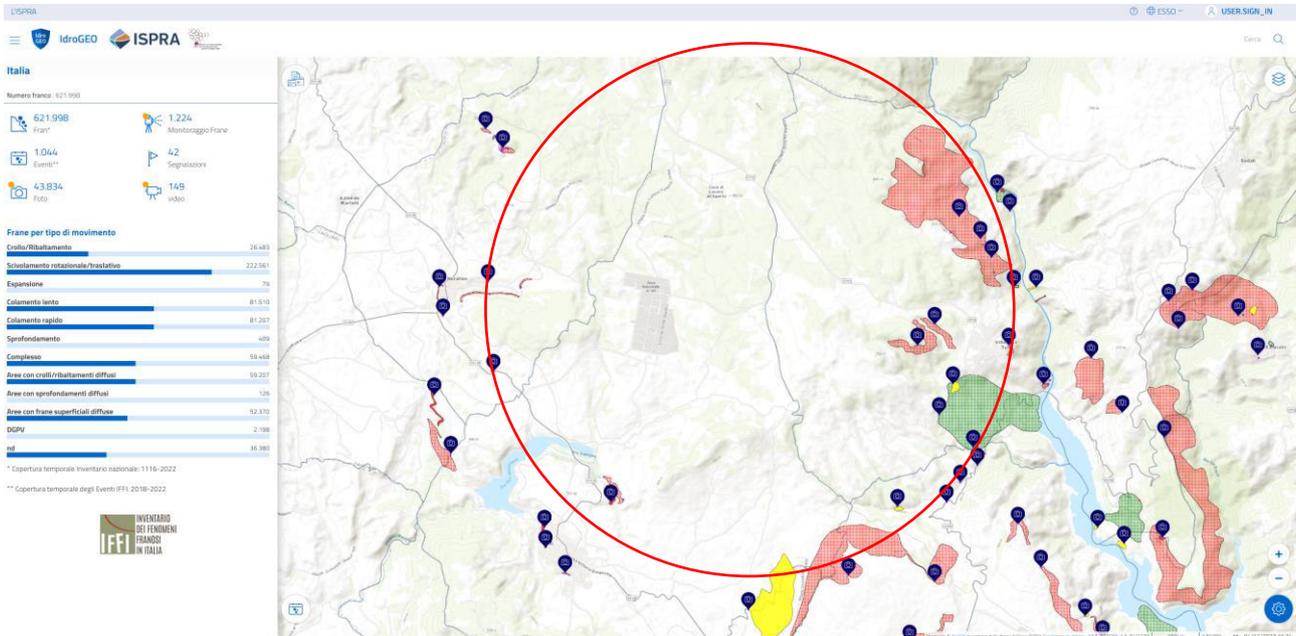


Figura 44 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

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 **Isili** non sono presenti aree perimetrate dal **P.S.F.F.**, **mentre parzialmente interessa un piccolo tratto del caviodotto.**

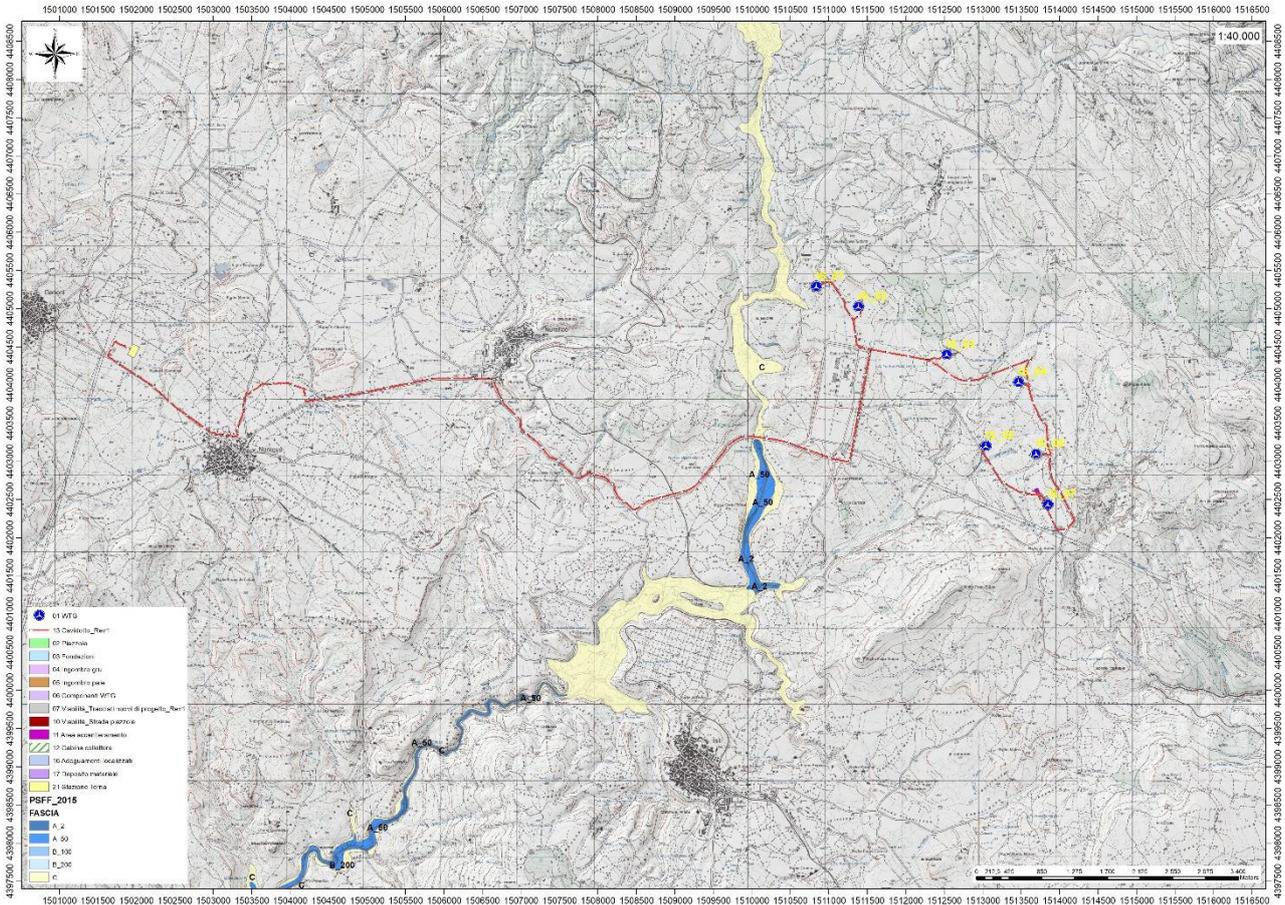


Figura 45 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF

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 impianto non è interessata da perimetrazioni del P.G.R.A. mentre parzialmente interessa un piccolo tratto del caviodotto.

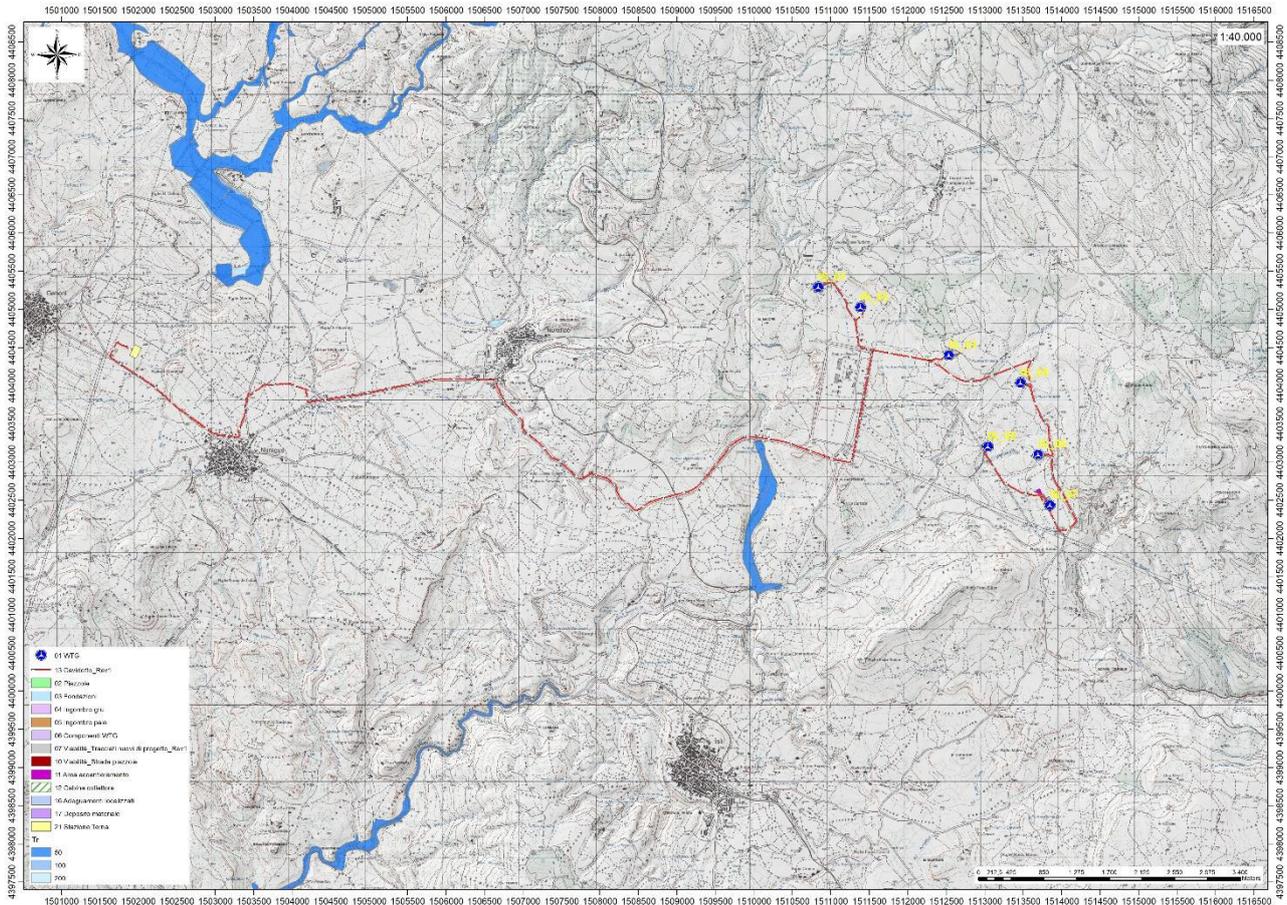


Figura 46 Stralcio perimetrazione PGRA aggiornata al 2021.

15.5. ART.30TER NTA PAI

Poiché il territorio comunale pur essendo 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 interferiscono 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.

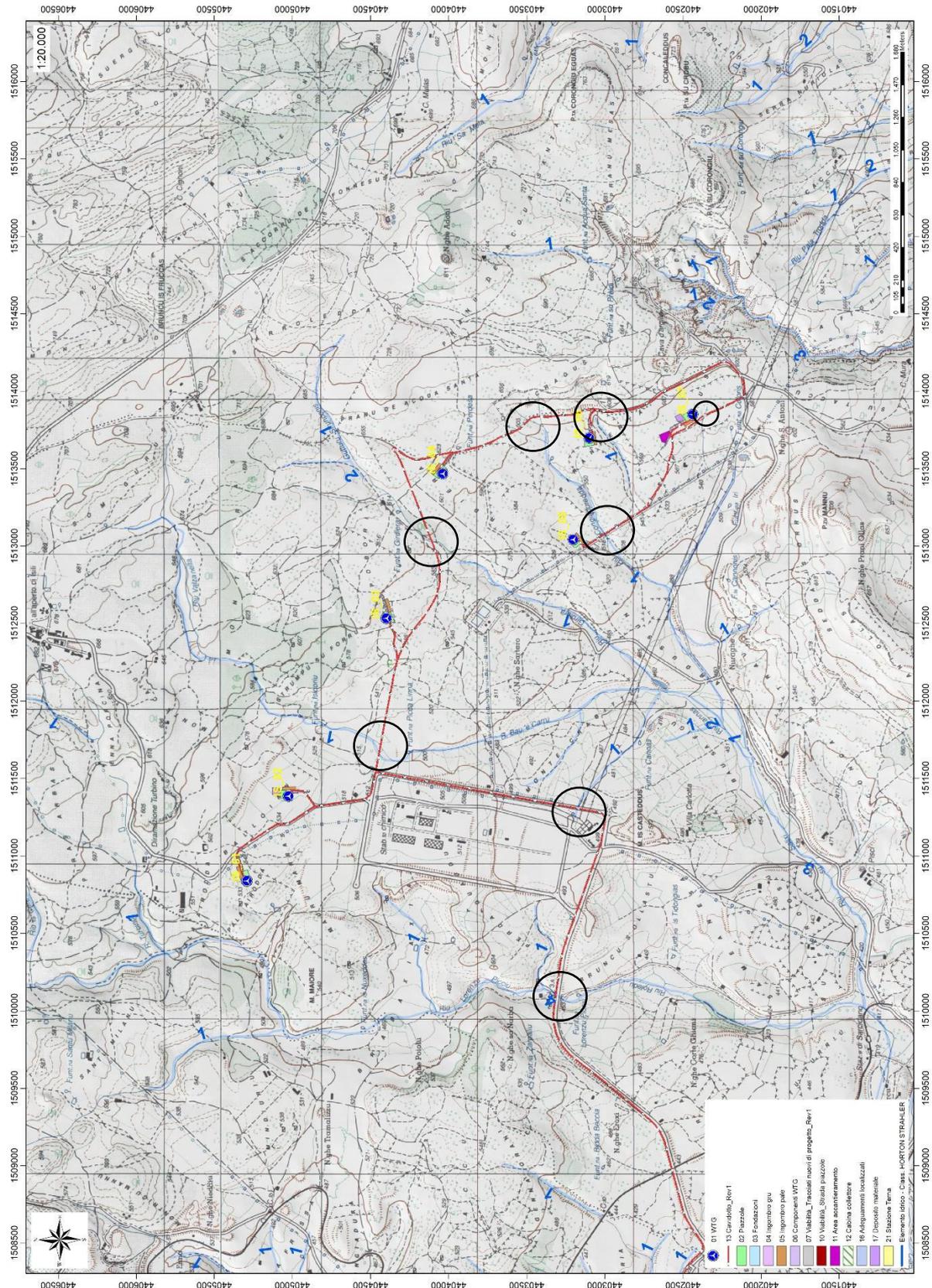


Figura 47 Interferenze dei corsi d'acqua con le opere di progetto (i numeri definiscono l'ordine di Strahler)

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 e tomografia elettrica**. 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/ Picchetti	Interdistanza	Lunghezza(m)
R/M 1 (SMT01)	Rifrazione/Masw	SO-NE	24	3,0	69,0
R2 (ST02)	Rifrazione	SSE-NNO	24	3,0	69,0
R3 (ST03)	Rifrazione	ONO-ESE	24	3,0	69,0
R/M 4 (SMT04)	Rifrazione/Masw	NNO-SSE	24	3,0	69,0
T1 (SMT01)	Tomografia Elettrica	SO-NE	32	3,0	93,0
T2 (ST02)	Tomografia Elettrica	SSE-NNO	32	3,0	93,0
T3 (ST03)	Tomografia Elettrica	ONO-ESE	32	3,0	93,0
T4 (SMT04)	Tomografia Elettrica	NNO-SSE	32	3,0	93,0

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.

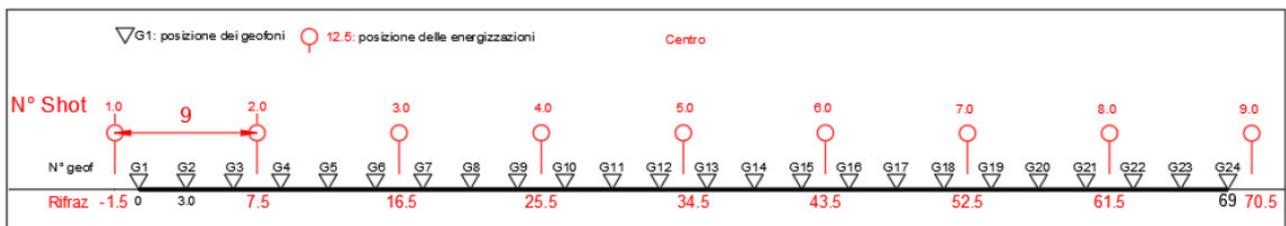


Figura 48 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 m

16.1.2. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, 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.

16.1.3. 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%.

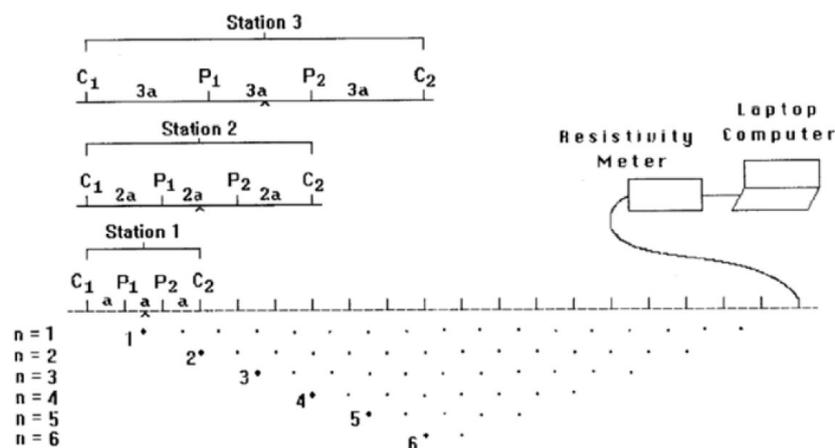
In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4.01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (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: TOMOGRAFIA ELETTRICA

Lo scopo dei metodi geofisici è quello di ottenere informazioni sulla natura e struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure opportunamente effettuate in superficie. Il metodo utilizzato in questa indagine ricade fra i metodi geoelettrici "attivi", cioè quelli che utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno, con l'intento di misurare la resistività apparente degli strati attraversati dalla corrente elettrica.

La tecnica tomografica si compone di uno stendimento costituito nel caso specifico da un massimo di 48 elettrodi posti ad un'interdistanza costante l'uno dall'altro, che vengono gestiti automaticamente dallo strumento di misura e commutati alternativamente come elettrodi di corrente e di misura di differenza di potenziale (d.d.p.).

La metodologia permette l'acquisizione di una considerevole quantità di dati sulla resistività "apparente", rappresentativi sia delle variazioni laterali, che verticali lungo il profilo così da generare una Tomografia Elettrica lungo una linea sul terreno.



L'utilizzo appropriato dei programmi d'inversione consente l'elaborazione delle sezioni di resistività in grado di riprodurre accuratamente le variazioni del parametro fisico. La resistività rappresenta una proprietà fisica molto importante, poiché dipende da vari fattori quali, la natura dei terreni e delle

rocce, la saturazione dell'acqua, la porosità della roccia, e tutte le anomalie locali generate da strutture localizzate come cavità, corpi di discarica, tracce di dispersione d'inquinanti, etc. La profondità d'esplorazione è variabile secondo il dispositivo e della risoluzione richiesta; mediamente è pari a circa 1/5 della lunghezza dello stendimento.

16.2.1. CARATTERISTICHE DELLE STESE SISMICHE

Per ciascun stendimento sono state impiegate tre geometrie di acquisizione, come di seguito specificato:

- Quadripolo di Wenner
- Quadripolo di Wenner Schlumberger
- Quadripolo Dipolo-Dipolo

Ogni metodo utilizzato ha delle caratteristiche proprie e come tale tende meglio a rappresentare specifiche strutture presenti nel sottosuolo.

16.2.2. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

La strumentazione utilizzata per lo studio è composta dai seguenti dispositivi:

- sistema di misurazione ed acquisizione formato da un georesistivimetro completo di unità di energizzazione ed un computer per la gestione automatica delle acquisizioni (apparecchiatura per tomografia elettrica Mod. Polares della PASI) che fornisce la corrente da immettere nel sottosuolo con una tensione in uscita di picco di $\pm 700V$ ed una corrente variabile fra 5 e 2.000 mA;
- n° 2MUX per la gestione automatica delle acquisizioni in cui gli elettrodi collegati all'unità di acquisizione ed energizzazione sono in grado di funzionare alternativamente come elettrodi di corrente e di potenziale;
- N° 2 cavi per 16 elettrodi cable A-B-M-N con connettore per MUX
- 32 elettrodi in acciaio inox

16.2.3. ELABORAZIONE DEI DATI

L'elaborazione tomografica consiste, nella suddivisione dello spazio bidimensionale della sezione in celle secondo uno schema definito con riferimento alla distribuzione e alla dispersione dei dati. Per ognuna delle celle è calcolata la resistività apparente che soddisfi il complesso delle misure eseguite, su questo schema è applicato il metodo d'ottimizzazione dei minimi quadrati modificando il modello di partenza, in maniera iterativa in modo che si riduca la differenza tra i valori di resistività apparente calcolati e quelli effettivamente misurati.

Il grafico che ne deriva è una sezione bidimensionale in cui le zone ad uguale resistività sono raffigurate da aree caratterizzate dal medesimo colore. Le tinte blu rappresentano resistività basse,

poi si passa a colori che vanno dal verde al giallo e infine al rosso che rappresenta litologie a resistività via via sempre più alte.

Le misure sperimentali sono state elaborate mediante uno specifico programma di interpretazione tomografica denominato "ZONDRES2D". Il programma d'interpretazione tomografica ZONDRES2D elabora un modello bidimensionale di resistività del sottosuolo che soddisfa i valori sperimentali acquisiti con le varie interdistanze dello stendimento.

16.3. 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.

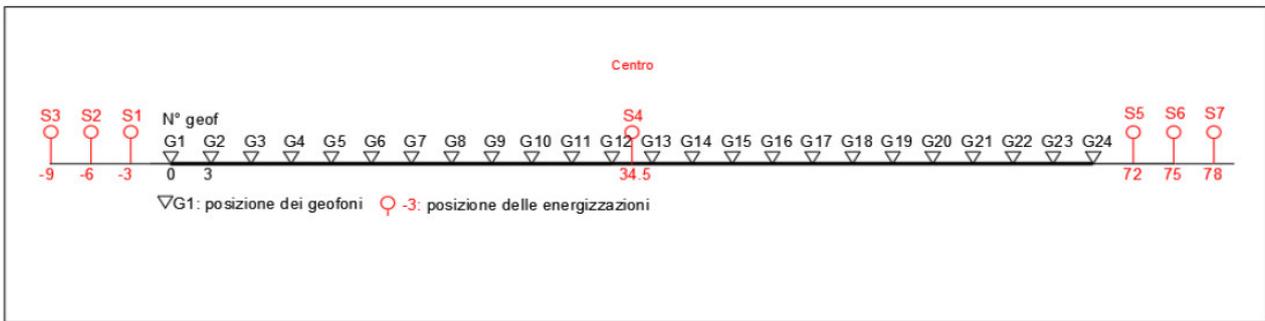
Profondità di indagine

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.

16.3.1. 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.



16.3.2. 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..

16.3.1. 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.

16.3.2. 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.

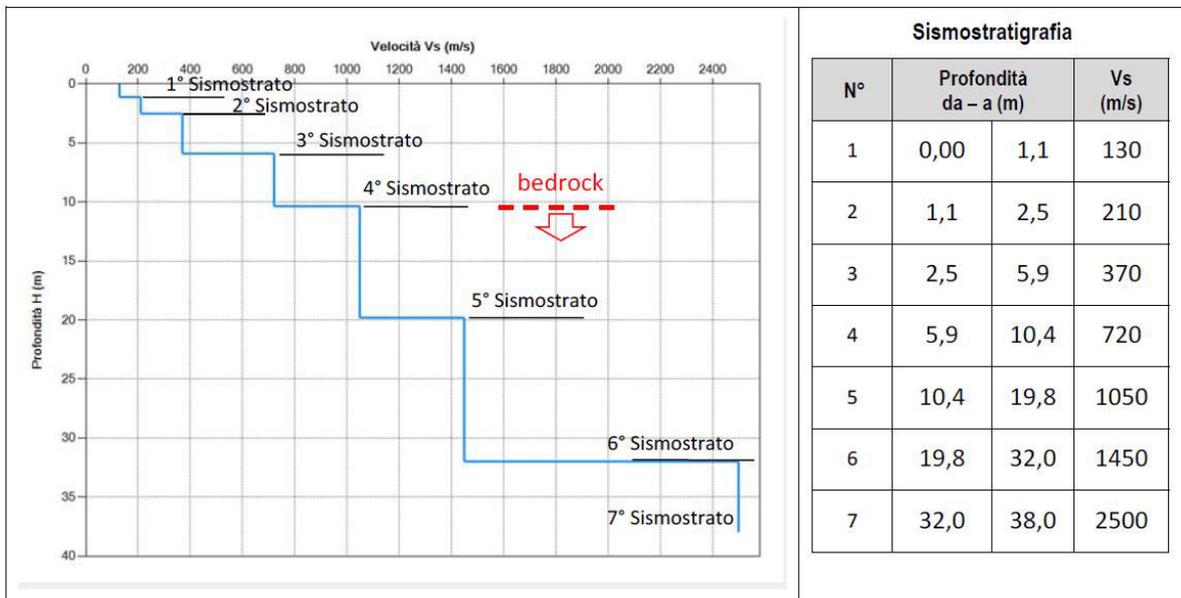
16.4. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SMT01-TURBINA IS02

16.4.1. SMT01-IS02: 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
0,0-1,1	1° sismostrato con Vs di 130 m/s , Terre poco addensate
1,1-2,5	2° sismostrato con Vs di 210 m/s , Terre mediamente addensate
2,5-5,9	3° sismostrato con Vs di 370 m/s , Terre addensate
5,9-10,4	4° sismostrato con Vs di 720 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
10,4-19,8	5° sismostrato con Vs di 1050 m/s , Substrato roccioso fratturato
19,8-32,0	6° sismostrato con Vs di 1450 m/s , Substrato roccioso da fratturato a sano
32,0-38,0	7° sismostrato con Vs di 2500 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs



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

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

con:
hi spessore dell'*i*-esimo strato;
Vs,i velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
N numero di strati;
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **10,4 m** (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,4 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs_{eq} = 10,4/0,0305=340,23 m/s** che dà luogo ad una categoria E, ossia:

Categoria E: terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

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	0,0-1,1	terre	1.800	260	130	0,33	78	10	29	78
2	1,1-2,5	terre	2.000	420	210	0,33	235	28	88	235
3	2,5-5,9	terre	2.100	740	370	0,33	765	92	284	765
4	5,9-10,4	12%	2.200	1.440	720	0,33	3.040	365	1.138	3.040
5	10,4-19,8	15%	2.350	2.100	1050	0,33	6.914	1.037	2.589	6.914
6	19,8-32,0	22%	2.400	2.900	1450	0,33	13.455	2.960	5.051	13.455
7	>32,0	25%	2.450	5.000	2500	0,33	40.836	10.209	15.308	40.836

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 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.

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

16.4.2. R1-SMT01-IS02: SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P E TOMOGRAFIA ELETTRICA

Nella sezione di sismica a rifrazione **R1-SMT01-IS02** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R1	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,5/8,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,5/8,0 a 13,0/17,5	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 13,0/17,5 a 18,0/20,0	1800-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 18,0/20,0 a 30,0-35,0	2400-4800

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 4800 m/s.

Il **sismostrato A** caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 2,5 e 8,0 metri da p.c e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna.

Il **sismostrato B** caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 13,0 e 17,5 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 18,0 e 20,0 m di profondità dal p.c.

Il **sismostrato D** rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità medio-alte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 30,0/35,0 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 13,0 e 17,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 18,0 e 20,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

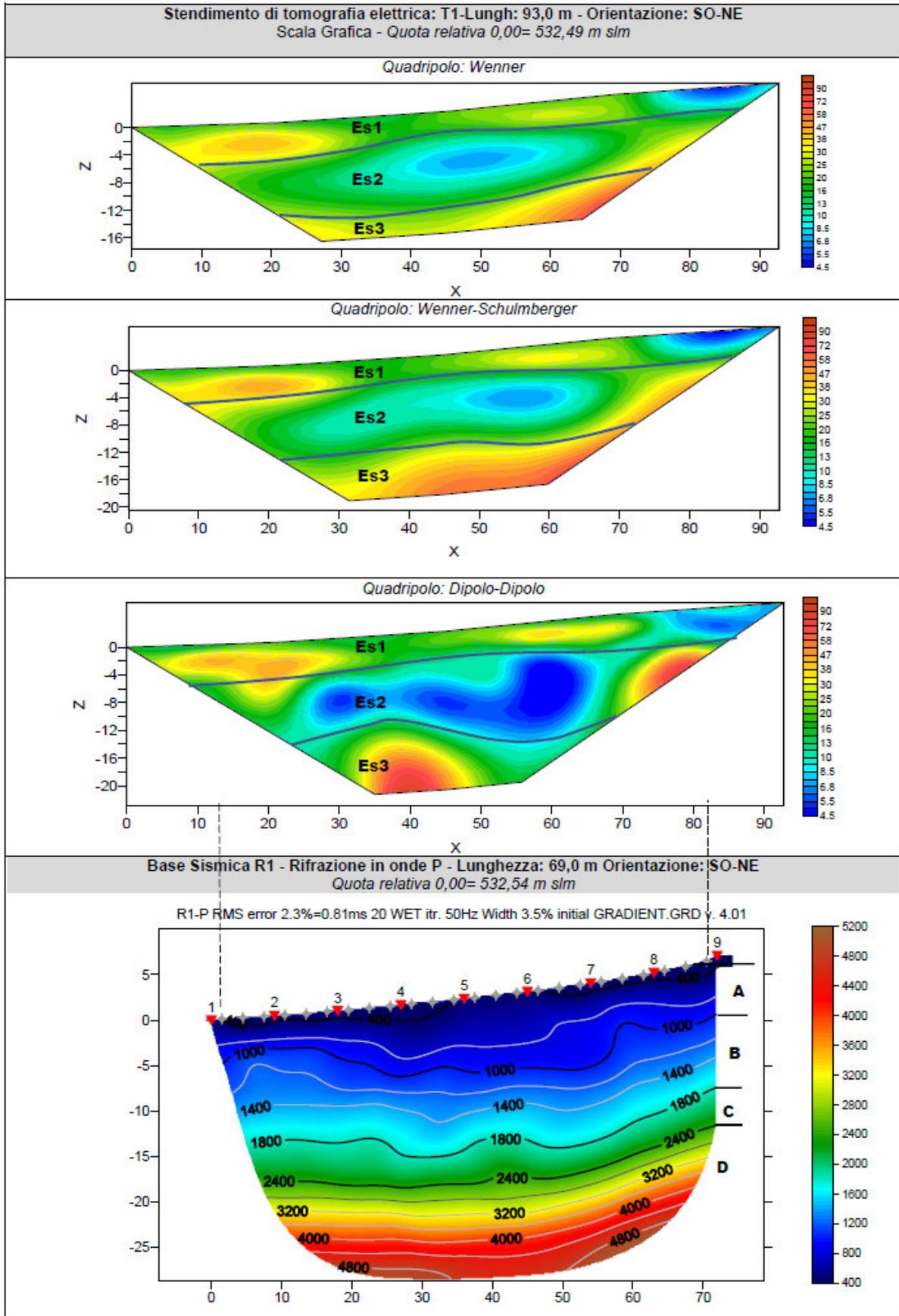
La sezione di tomografia elettrica T1, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività basse; nello specifico si rileva:

un primo elettrostrato (ES1) con spessori pari a circa 4,0/7,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali, caratterizzati da resistività bassa con range di valori compreso tra 4,5 e 40 $\Omega\cdot m$ con i valori più bassi rilevati tra le progressive 78-80 m;

segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da uno spessore maggiore rispetto agli elettrostrati adiacenti e valori bassi di resistività (tra 6 e 30 $\Omega\cdot m$) rilevabili soprattutto nella zona centrale della sezione, tra le progressive 40-60 m, situazione dovuta probabilmente alla presenza di una falda idrica;

il terzo elettrostrato (Es3) mostra dei valori di resistività leggermente maggiori, compresi tra 25 e 70 $\Omega\cdot m$.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).



16.5. RISULTATI DELLE INDAGINI SITO SMT02-TURBINA IS03

16.5.1. R2-SMT02-IS03: SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P E TOMOGRAFIA ELETTRICA

Nella sezione di sismica a rifrazione **R2-SMT02-IS03** 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 1,5/2,5	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,5/2,5 a 3,0/4,5	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,0/4,5 a 5,0/7,0	1800-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 5,0/7,0 a 16,0/18,0	2400-4800

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 4800 m/s.

Il **sismostrato A** caratterizzato da terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori molto ridotti compresi tra 1,5 e 2,5 metri da p.c e un andamento pressoché parallelo al piano campagna.

Il **sismostrato B** caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggerissime variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 3,0 e 4,5 m dal p.c.

Il **sismostrato C** costituito da rocce poco fratturate e/o sane (rippabili con difficoltà) si osserva fino a profondità comprese tra 5,0 e 7,0 m di rispetto al p.c.

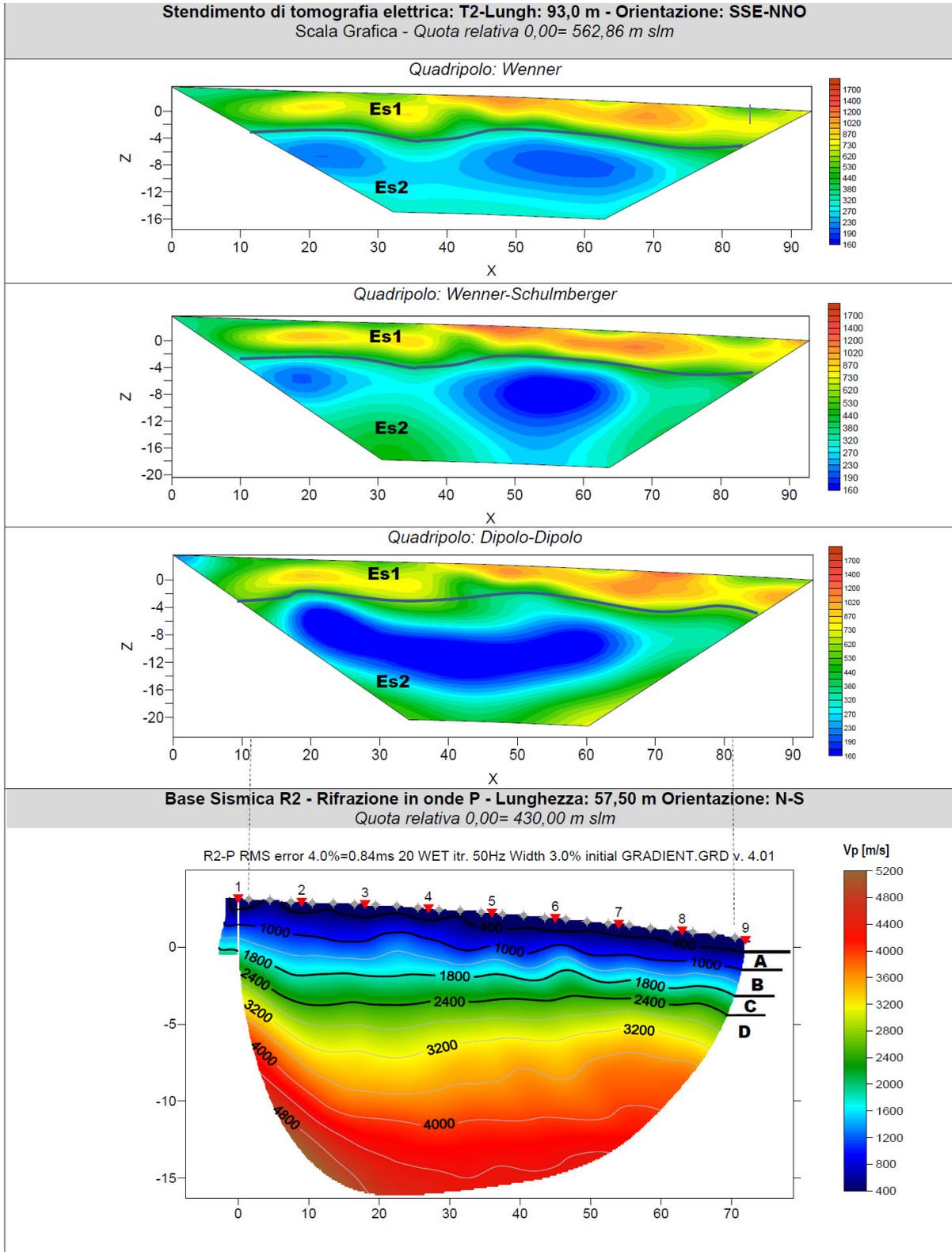
Il **sismostrato D** rappresenta il substrato lapideo non rippabile, caratterizzato da velocità di propagazione delle onde elastiche alte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine.

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 investigato.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 3,0 e 4,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 5,0 e 7,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T2, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medio-alte rispetto alle sezioni precedenti; nello specifico si rileva la presenza di un primo elettrostrato (ES1) di spessore pari a circa 4,0/6,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali e facies sedimentarie, con valori compresi nel range da 400 a 1200 $\Omega \cdot m$; segue un secondo elettrostrato (Es2) sino alla massima profondità rappresentata in sezione, caratterizzato da valori inferiori di resistività (valori compresi tra 160 e 530 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza di rocce tenere/fratturate e/o la probabile presenza di una o più falde idriche lungo tutta la sezione

investigate. Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).



16.6. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SMT03-TURBINA IS04

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

Nella sezione di sismica a rifrazione **R3-SMT03-IS04** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R3	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
Sismostrati		
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 1,0/2,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,0/2,0 a 2,5/5,5	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 2,5/5,5 a 4,0/10,0	1800-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 4,0/10,0 a 20,0/24,0	2400-4800

Dall'esame della sezione sismica 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 4800 m/s; nello specifico il settore laterale sinistro della sezione (progressive da 10 a 30 m) presenta valori di velocità maggiori a parità di profondità, fatto correlabile alla presenza di un substrato litoide poco fratturato.

Il **sismostrato A** caratterizzato da terre di copertura (facilmente rippabile) presenta un esiguo spessore compreso tra 1,0 e 2,0 metri da p.c. e un andamento sub-parallelo rispetto al piano campagna.

Il **sismostrato B** caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna con piccole variazioni di spessore, esso si rileva fino a profondità comprese tra 2,5 e 5,5 m dal p.c.

Il **sismostrato C** costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si riscontra fino a profondità comprese tra 3,5 e 10,0 m rispetto al piano campagna, presentando un aumento laterale di spessore.

Il **sismostrato D**, costituito da rocce sane (non rippabili) lo si riscontra a partire da 3,5 e 10,0 m rispetto al p.c. sino alle massime profondità rilevabili in sezione.

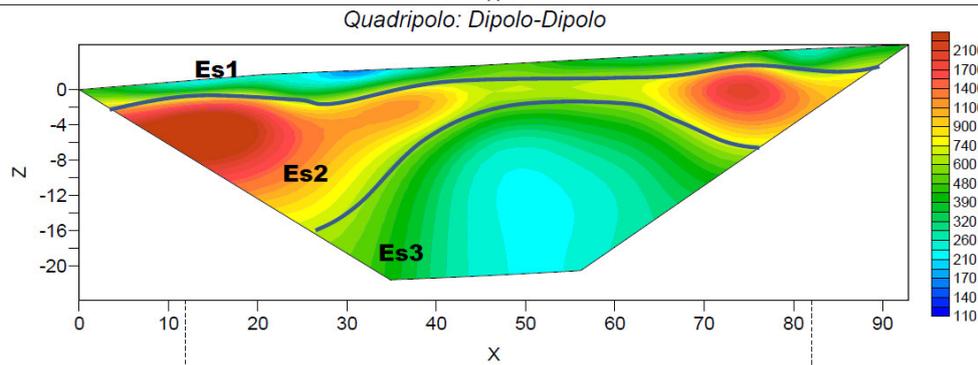
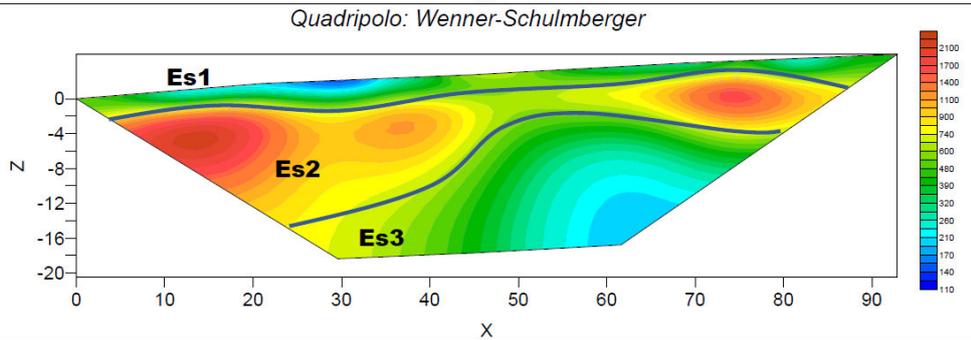
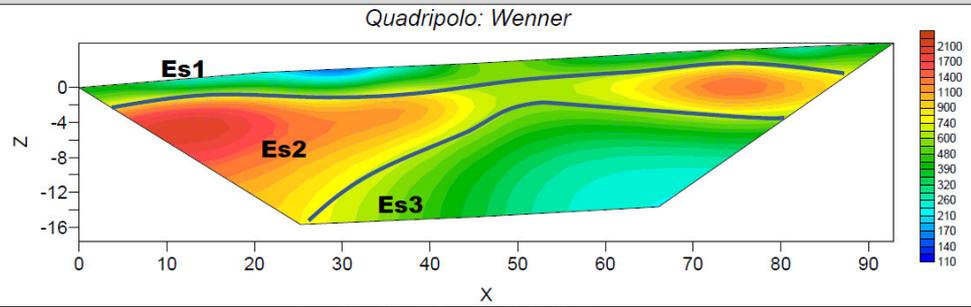
Dalla sezione sismica si osservano nel complesso valori di Vp medio-alti, in particolare si riscontra una riduzione laterale delle velocità dalla progressiva 40 alla progressiva 65 m verosimilmente dovuto a una minore densità del materiale investigato a causa di una maggiore grado di fratturazione/alterazione rispetto al materiale circostante.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 2,5 e 5,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 3,5 e 10,0 si riscontra la presenza di materiale non rippabile. La sezione di tomografia elettrica T3, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medio-alta; nello specifico si distingue un primo

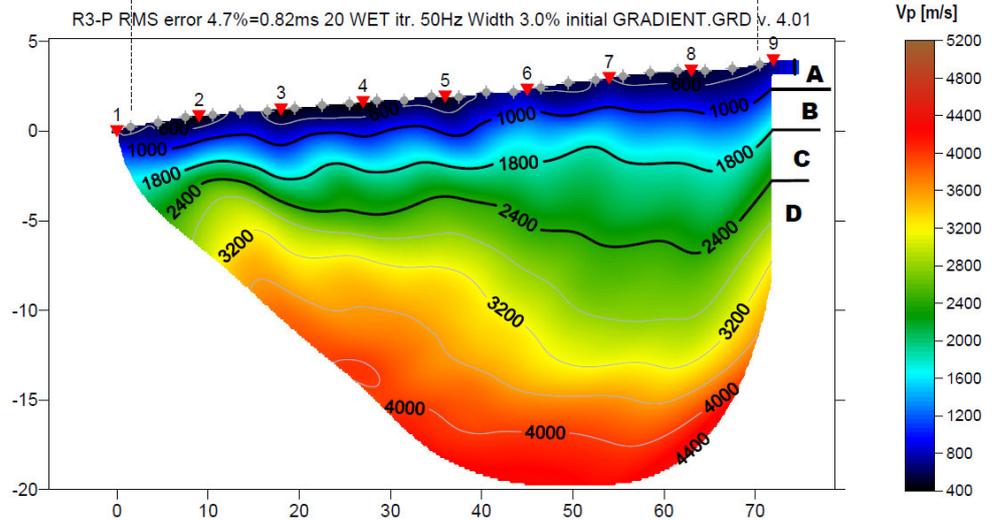
elettrostrato (ES1) di esiguo spessore pari a circa 1,0 a 2,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali con valori di resistività compresi tra 180 e 550 $\Omega\cdot m$, segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori di resistività tra 550 e 2100 $\Omega\cdot m$ riconducibile alla presenza di un substrato roccioso maggiormente resistivo; chiude la sequenza un terzo elettrostrato (ES3) ben individuabile nella configurazione Dipolo-Dipolo caratterizzato da valori decrescenti di resistività riconducibile a materiale alterato/fratturato.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).

Stendimento di tomografia elettrica: T3-Lungh: 93,0 m - Orientazione: ONO-ESE
 Scala Grafica - Quota relativa 0,00= 612,57 m slm



Base Sismica R3 - Rifrazione in onde P – Lunghezza: 69,0 m - Orientazione: ONO-ESE
 Quota relativa 0,00= 613,40 m slm



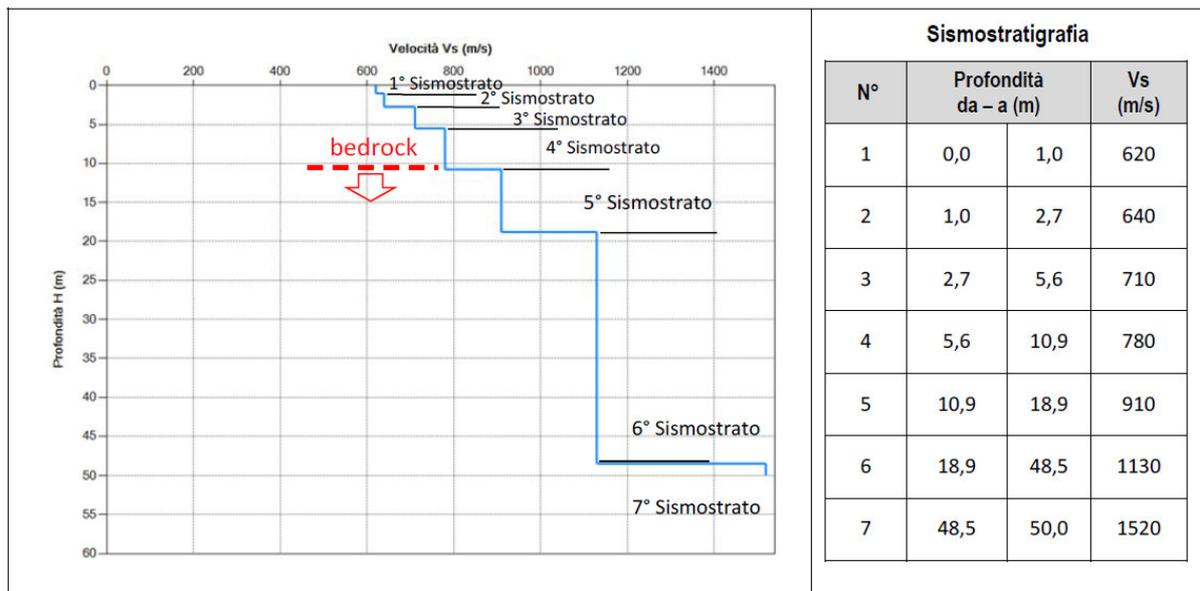
16.7. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SMT04-TURBINA IS07

16.7.1. SMT04-IS07: MASW M4

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M4, 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 620 m/s , Terre addensate
1,0-2,7	2° sismostrato con Vs di 640 m/s , Terre mediamente addensate
2,7-5,6	3° sismostrato con Vs di 710 m/s , Terre molto addensate
5,6-10,9	4° sismostrato con Vs di 780 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
10,9-18,9	5° sismostrato con Vs di 910 m/s , Substrato roccioso fratturato
18,9-48,5	6° sismostrato con Vs di 1130 m/s , Substrato roccioso da fratturato a sano
48,5-50,0	7° sismostrato con Vs di 1520 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M4 - 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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs 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 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	1.240	620	0,33	1.844	222	696	696
2	1,0-2,7	terre	2.000	1.280	640	0,33	2.187	264	824	824
3	2,7-5,6	terre	2.100	1.420	710	0,33	2.824	340	1.059	1.059
4	5,6-10,9	12%	2.200	1.560	780	0,33	3.570	428	1.334	1.334
5	10,9-18,9	15%	2.350	1.820	910	0,33	5.188	778	1.942	1.942
6	18,9-48,5	22%	2.400	2.260	1130	0,33	8.169	1.797	3.060	3.060
7	>48,5	25%	2.450	3.040	1520	0,33	15.093	3.773	5.659	5.659

Figura 50 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.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{30,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

16.7.2. R3-SMT04-TL07: TOMOGRAFIA ELETTRICA E SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P

Nella sezione di sismica a rifrazione **R3-SMT04-IS07** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R4	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
Sismostrati		
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 1,0/3,5	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,0/3,5 a 2,5/9,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 2,5/9,0 a 5,0/14,0	1800-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 5,0/14,0 a 25,0/26,0	2400-4800

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 rippabili), presenta spessori compresi tra 2,5 e 4,5 metri e un andamento parallelo al piano campagna.

Il **sismostrato B**, caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso un andamento parallelo al piano campagna e leggere variazioni di spessore, si rileva fino a profondità comprese tra 13,0 e 15,0 m dal p.c.

Il **sismostrato C**, caratterizzato da rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà) presenta anch'esso leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 16,0 e 18,0 dal p.c.

Il **sismostrato D**, caratterizzato da rocce debolmente fratturate e sane (non rippabili) si osserva invece fino alla massima profondità di indagine, ovvero 22,0 m di profondità dal p.c e rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte.

Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle V_p con alcune 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 13,0 e 15,0 m dal p.c i terreni risultano difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 16,0 e 18,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

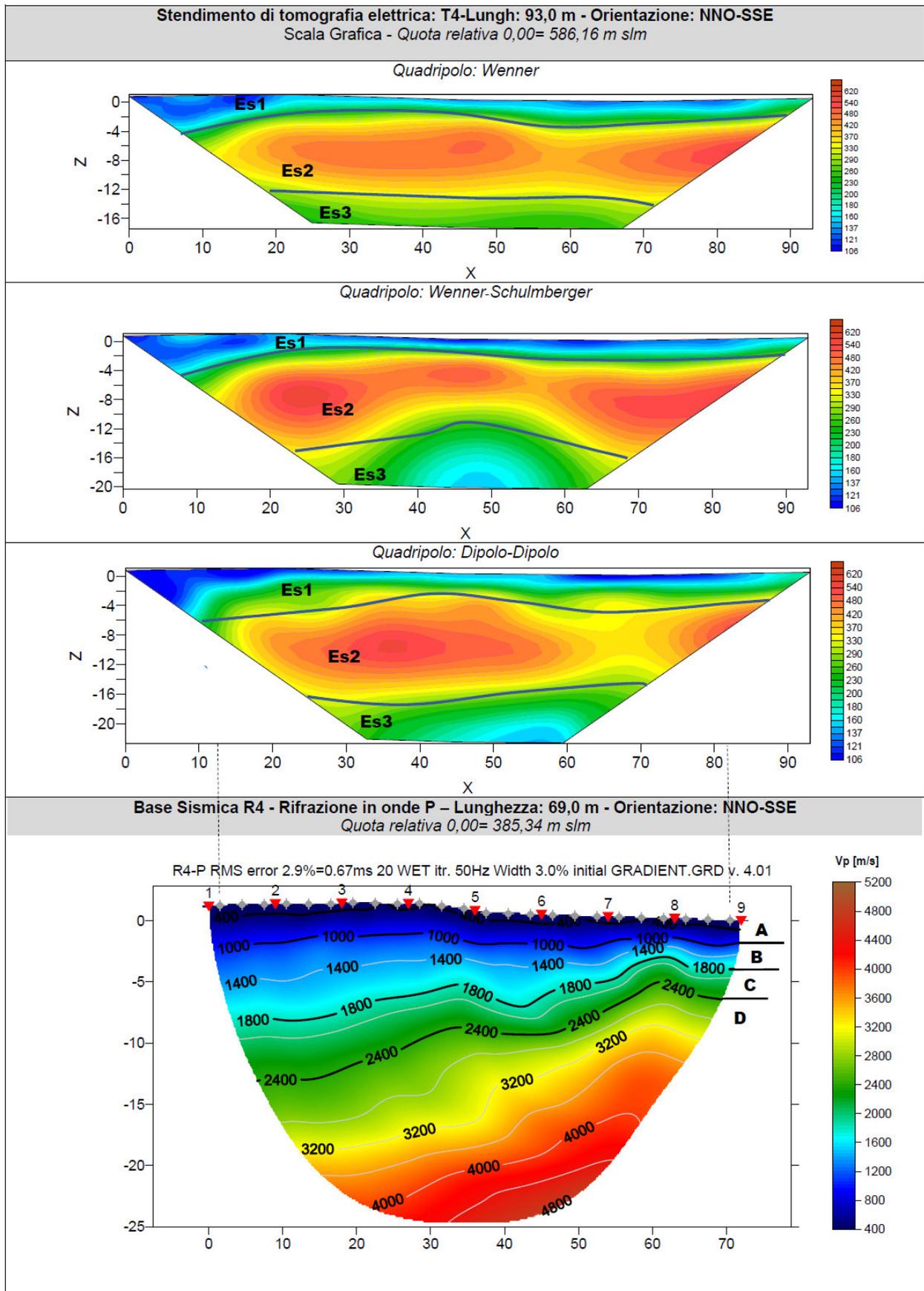
La sezione di tomografia elettrica T4, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività media; nello specifico si rileva

un primo elettrostrato (ES1) di spessore variabile e compreso tra 2,0 e 4,0 m riconducibile sia alla coltre di terreni superficiali con valori di resistività compresi tra 100 e 250 $\Omega \cdot m$, segue

un secondo elettrostrato (Es2) con variazioni di resistività nella zona centrale della sezione presumibilmente legate alla presenza di zone più competenti dunque maggiormente resistive, con valori compresi tra 250 e 600 $\Omega \cdot m$;

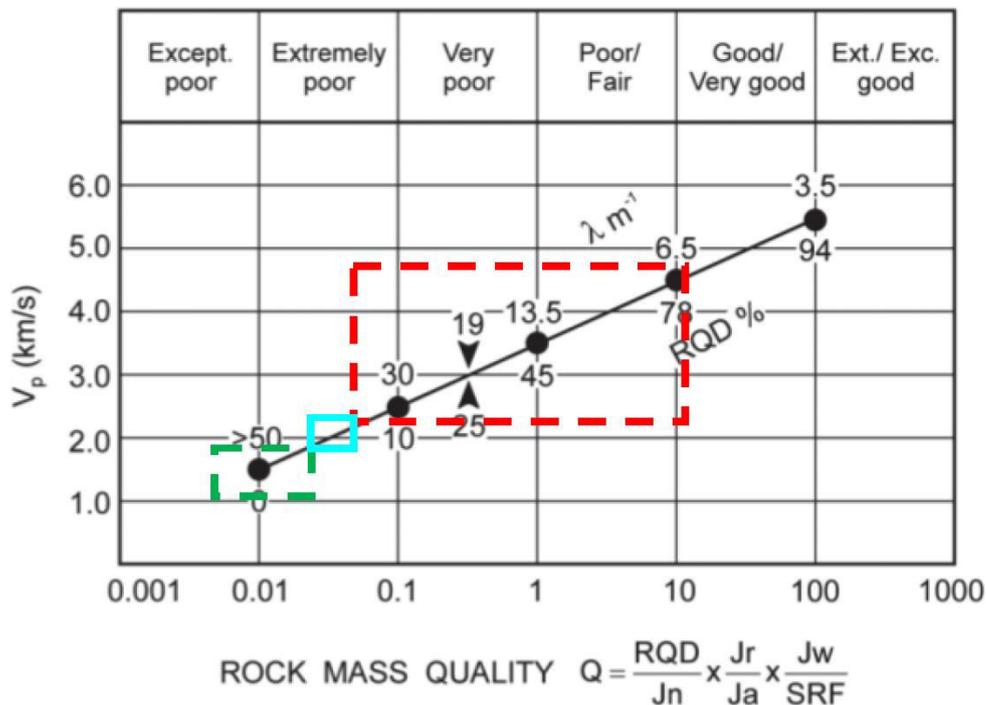
il terzo elettrostrato (Es3) presenta resistività inferiori rispetto al soprastante, con valori compresi tra 150 e 250 $\Omega \cdot m$, dovuto verosimilmente ad una alterazione spinta dei materiali presenti.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).



16.8. 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 50 e 45 e un indice di qualità Q medio di 0,01 (ammasso roccioso estremamente scadente); il rettangolo celeste rappresenta il sismostrato C che ha valori di RQD compresi tra 3 e 8, un numero di fratture per metro compreso tra 40 e 35 e un valore dell'indice Q medio di 0,04 (ammasso roccioso da estremamente scadente a scadente/discreto); infine il rettangolo rosso rappresenta il sismostrato D che ha valori di RQD compresi tra 8 e 80, un numero di fratture per metro compreso tra 35 e 6,5 e un valore dell'indice Q tra min 0,035 e max 10. 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)	1000-1800	0-3	50-40	0.01-0.04
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	1800-2400	3-8	40-35	0.04-0.08
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	2400-4800	8-80	35-6.5	0.08-10

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

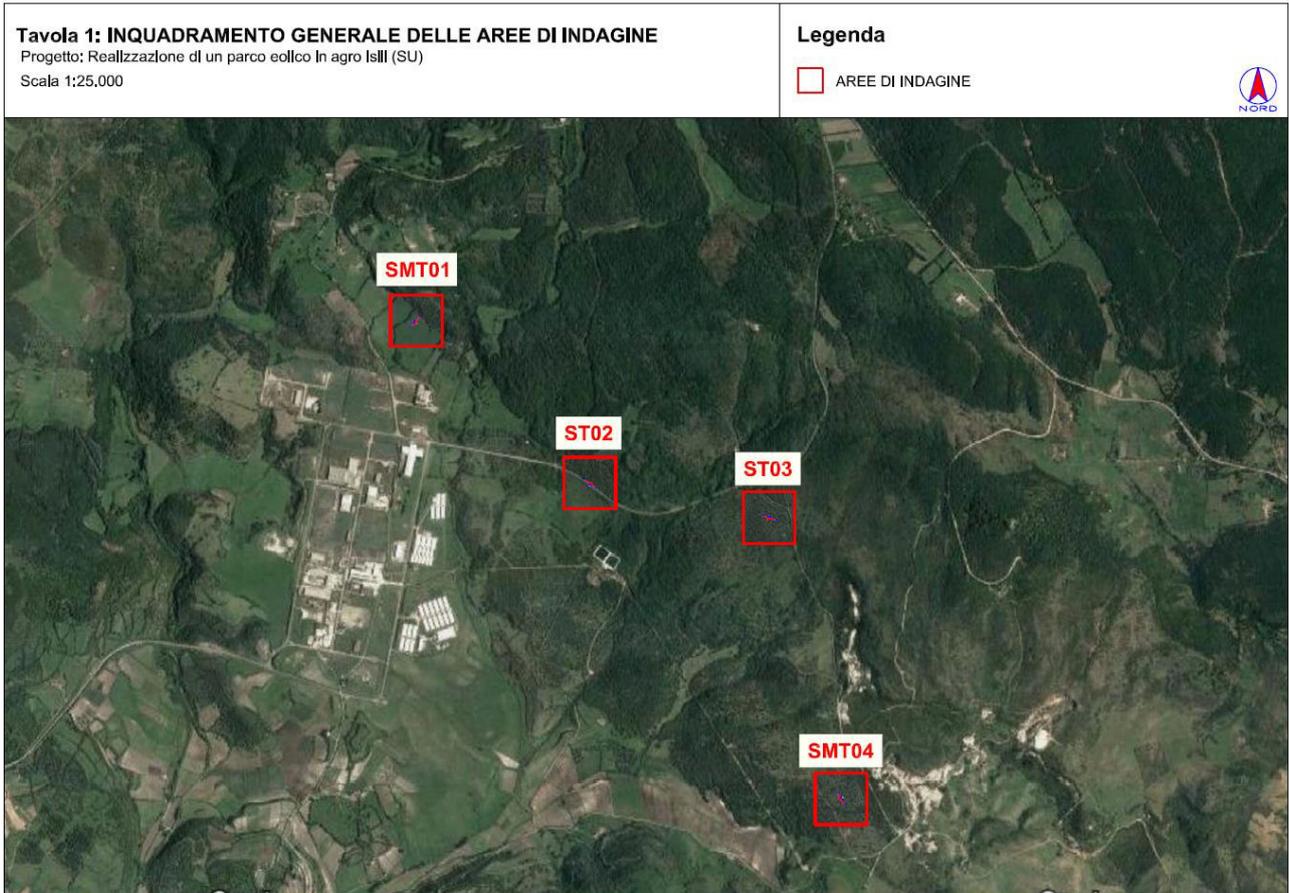
La prospezione geofisica attraverso l'impiego delle tecniche MASW, sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto litotratigrafico dell'area in esame e dedurre le caratteristiche sismiche ed elettriche. Lungo la verticale indagata si evince la presenza di sismostrati con velocità Vp e Vs 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 Vs 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 (SMT01)	10,40	340,23	E
M4 (SMT04)	10,80	719,63	B

I 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 e di tomografia elettrica 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 in R2 e R4 a partire da pochi metri dal p.c. si incontrano terreni non rippabili (v. anche Masw) mentre per R3 e R5 i terreni risultano rippabili sino a circa 15-18 m e infine in R1 sino a 13,0 m. L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di escludere la presenza di anomalie riconducibili a zone di maggiore fratturazione e/o presenza di cavità di origine carsica.



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 IS_01 – IS_02 – IS_03:

da 0,00 a 2,5m – depositi colluviali/eluviali/suoli

da 2,5m a 6m – conglomerati poligenici e sabbie alterate, debolmente consolidate

da 6,00m a 20,00m – dolomie e calcari dolomitici da intensamente fratturati a fratturati

da 20,00m a 32m - dolomie e calcari dolomitici da fratturati a sani

FALDA: a partire dalla quota di 6m da p.c. (su IS_02) e 4,00m da p.c. (su IS_03 si riscontra presenza di falda. Nell'area è presente una risorgenza denominata Funtana Isidoru nei pressi della IS_01.

17.1.2. MODELLO GEOLOGICO 02

Turbine IS_04 – IS_05 – IS_06 – IS_07:

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

da 1,00m a 11mm – dolomie e calcari dolomitici da intensamente fratturati a fratturati

da 11,00m a 50m - dolomie e calcari dolomitici da fratturati a sani

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 2,5m – depositi colluviali/eluviali/suoli **(S1)**

da 2,5m a 6m – conglomerati poligenici e sabbie alterate, debolmente consolidate **(S2)**

da 6,00m a 10,00m – dolomie e calcari dolomitici da intensamente fratturati a molto fratturati **(S3)**

da 10,00m a 20m - dolomie e calcari dolomitici da molto fratturati a fratturati **(S4)**

da 20,00m a 32m - dolomie e calcari dolomitici da fratturati a sani **(S5)**

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

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico SMT01.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo di circa 2,5m si incontra un livello superficiale di conglomerati e sabbie dello spessore di circa 3,5m, al di sotto il substrato, costituito da calcari e dolomie si presenta intensamente fratturato a fratturato per uno spessore di 14m, con grado di fratturazione che diminuisce all'aumentare della profondità. A partire dai 20m da piano campagna il grado di fratturazione diminuisce per passare al litotipo maggiormente massivo.

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	S5
Descrizione		Depositi eluvio-colluviali/	conglomerati poligenici e sabbie alterate, debolmente consolidate	Substrato roccioso da fratturato a poco fratturato	Substrato roccioso da fratturato a sano	Substrato roccioso sano
Peso di volume**	[kg/mc]	1.800	2.000	2.100	2.350	2.400
Peso di volume saturo**	[kg/mc]	1.900	2.100	2.100	2.350	2.400
Angolo di attrito* interno	[°]	26,12	32,50	35,15	38,25	45
Coesione*	[Mpa]	0.5	0,00	0,288	3,54	14
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico **	[Mpa]	28	92	365	1037	2960
Coefficiente di Poisson**	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)**	[Mpa]	88	284	1138	2589	5051
Velocità onde di taglio Vs**	[m/sec]	210	370	720	1050	1450

*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 CABINA COLLETTORE

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 molto fratturati a fratturati in 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 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 dei calcari. 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 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, 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.