

PARCO EOLICO "KERSONESUS"

COMUNE DI TEULADA

PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Elaborato:

ELABORAZIONI SIA

Relazione di compatibilità idrogeologica

Codice elaborato:

TL_SIA_A026

Data: Marzo 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 | 16/03/2023 | Emissione per procedura VIA | | | |
| | | | | | |

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| SOMMARIO..... | 1 |
| 1. PREMESSA | 5 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 5 |
| 3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO | 5 |
| 4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE..... | 6 |
| 5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA | 12 |
| 6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO | 15 |
| 6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento | 15 |
| 6.2. Successione pre-Ordoviciano medio della Zona esterna | 16 |
| 6.2.1. Micascisti ad andalusite ("Scisti di M.Settiballas" Auct.) | 16 |
| 6.2.2. Formazione di Bithia | 17 |
| 6.2.3. Formazione di Nebida..... | 17 |
| 6.2.4. Formazione di gonnese | 19 |
| 6.2.5. Formazione di Cabitza..... | 20 |
| 6.3. Complesso plutonico del Carbonifero superiore-Permiano | 22 |
| 6.3.1. Leucograniti equigranulari e leucograniti a granato | 22 |
| 6.4. Corteo filoniano | 23 |
| 6.5. Depositi Quaternari dell'area continentale | 23 |
| 7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI..... | 27 |
| 7.1. Campagna di raccolta dati geostrutturali su affioramento..... | 29 |
| 7.1.1. Rilievo geostrutturale nella Formazione di Nebida (NEB) | 29 |
| 7.1.2. Rilievo geostrutturale nei Granitoidi (VLD) | 31 |
| 7.1.3. Rilievo geostrutturale nei Porfidi Granitici (PRF) | 33 |
| 8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO | 35 |
| 9. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO | 37 |
| 9.1 Lineamenti geomorfologici dell'area di studio..... | 37 |
| 9.2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa | 41 |
| 10. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO | 44 |
| 10.1 Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea | 44 |
| 10.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee | 49 |

| | | |
|---------|--|----|
| 10.3 | Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi..... | 52 |
| 11. | INQUADRAMENTO CLIMATICO | 54 |
| 11.1 | Precipitazioni..... | 56 |
| 11.2 | Temperature | 57 |
| 11.3. | Stima dell'Evapotraspirazione | 58 |
| 12. | INQUADRAMENTO PEDOLOGICO | 67 |
| 13. | USO DEL SUOLO..... | 68 |
| 14. | ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI..... | 69 |
| 14.1 | Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.) | 69 |
| 14.2 | Inventario dei Fenomeni Fransi – Progetto I.F.F.I..... | 74 |
| 14.3 | Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.) | 74 |
| 14.4 | Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)..... | 75 |
| 14.5 | Art.30ter NTA PAI | 77 |
| 15. | MODELLAZIONE GEOLOGICA..... | 80 |
| 15.1. | Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi..... | 80 |
| 15.2. | Modello Geologico di sito | 87 |
| 15.2.1. | Modello Geologico 01 – TL_A, TL_02, TL_03, TL_05, TL_06, TL_08..... | 88 |
| 15.2.2. | Modello Geologico 02 –TL_07..... | 89 |
| 15.3. | Viabilità di impianto e Sottostazione | 91 |
| 16. | COMPATIBILITÀ IDRAULICA E GEOLOGICA-GEOTECNICA | 92 |
| 17. | CONCLUSIONI..... | 97 |

INDICE DELLE FIGURE

| | | |
|----------|---|---|
| Figura 1 | Localizzazione del progetto | 7 |
| Figura 2 | Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio..... | 7 |
| Figura 3 | Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, cavidotto e sottostazione..... | 8 |
| Figura 4 | Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000..... | 9 |

Dott.ssa Geol.

COSIMA ATZORI

Studio Tecnico di Geologia
Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente

| | |
|---|----|
| Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Nord..... | 10 |
| Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Sud..... | 11 |
| Figura 7 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 6,2MW | 13 |
| Figura 8 Schema tettonico-strutturale della Sardegna | 16 |
| Figura 9 Affioramento roccioso del Membro di Mattoppa (NEB1) a SE della TL_02..... | 18 |
| Figura 10 Membro del Calcare Ceroide, Formazione di Gonnese. GNN2 | 19 |
| Figura 11 Membro del Calcare Ceroide, Formazione di Gonnese. | 20 |
| Figura 12 Affioramento degli Scisti di Cabitza..... | 21 |
| Figura 13 Leucograniti dell'unità Intrusiva di Villacidro | 22 |
| Figura 14 Affioramento di porfidi granitici nei pressi della TL_07 | 23 |
| Figura 15 Depositi di versante, alla base granitoidi alterati (VLD) | 24 |
| Figura 16 Coltri eluvio-colluviali, alla base Membro di Mattoppa (NEB) | 25 |
| Figura 17 Stralcio carta geologica (Fonte RAS) | 26 |
| Figura 18 Faglia a basso angolo nei pressi della TL_03. | 28 |
| Figura 19 Blande pieghie a scala decimetrica nei pressi della TL_02. | 28 |
| Figura 20 Vista sull'affioramento della Fm. Nebida con tracce dei giunti di fratturazione | 30 |
| Figura 21 Proiezioni stereografiche delle discontinuità della scanline NEB. | 31 |
| Figura 22 Rilievo geostrutturale VLD..... | 32 |
| Figura 23 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento VLD..... | 33 |
| Figura 24 Rilievo geostrutturale PRF..... | 34 |
| Figura 25 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento PRF..... | 34 |
| Figura 26 tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione | 35 |
| Figura 27 A sinistra Scivolamento di un cuneo su taglio stradale, a destra scarpata dissestata su probabile vecchia cava.... | 36 |
| Figura 28 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala) | 37 |
| Figura 29 Morfologia del paesaggio nei pressi dell'area di Studio, dolci colline e larghe vallecicole nella parte occidentale del parco | 39 |
| Figura 30 Morfologia del paesaggio nei pressi dell'area di Studio, valli più incise nella parte orientale del parco. | 40 |
| Figura 31 Morfologie erosive in corrispondenza dei tagli stradali | 40 |
| Figura 32 Piazzola TL_2..... | 41 |
| Figura 33 Piazzola TL_3..... | 41 |
| Figura 34 Piazzola T4 | 42 |
| Figura 35 Piazzola TL_5..... | 42 |
| Figura 36 Piazzola TL_6..... | 42 |
| Figura 37 Piazzola TL_7..... | 43 |
| Figura 38 Piazzola TL_8..... | 43 |
| Figura 39 - Bacino idrografico di interesse al progetto (Studio Idraulico PAI art.8 c.2 Comune di Teulada – 2020) | 45 |
| Figura 40 - Carta dei Bacini idrografici (Studio Idraulico PAI art.8 c.2 Comune di Teulada – 2020) | 46 |
| Figura 41 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS) | 48 |
| Figura 42 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo | 50 |
| Figura 43 Monografie dei pozzi cod.194720 e cod.194740..... | 51 |
| Figura 44 Carta della permeabilità del substrato (fonte RAS)..... | 53 |
| Figura 45 Bilancio idro-meteorologico per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 (espresso in mm)..... | 59 |

| | |
|---|----|
| Figura 46 Bilancio idro-meteorologico per il periodo aprile 2021 – settembre 2021 (espresso in mm)..... | 60 |
| Figura 47 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata presso la stazione meteorologica di Teulada relativa nell'anno 2016 (mese giugno)..... | 62 |
| Figura 48 Ventosità media annuale per la stazione meteorologica di Cagliari relativa all'anno 2021..... | 63 |
| Figura 49 Umidità relativa per la stazione di Cagliari, per l'anno 2021..... | 64 |
| Figura 50 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Teulada (anno 2021)..... | 65 |
| Figura 51 Climogramma relativo alla regione di Teulada..... | 66 |
| Figura 52 Carta dei Suoli (Fonte RAS)..... | 67 |
| Figura 53 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS)..... | 68 |
| Figura 54 Pericolosità geomorfologica PAI..... | 71 |
| Figura 55 Pericolosità da frana PAI aggiornata al 2021..... | 72 |
| Figura 56 Pericolosità idraulica PAI aggiornata al 2021..... | 73 |
| Figura 57 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento..... | 74 |
| Figura 58 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF..... | 75 |
| Figura 59 Stralcio perimetrazione PGRA aggiornata al 2021..... | 76 |
| Figura 60 Stralcio corsi d'acqua numerati secondo l'ordine di Strahler in prossimità delle TL_A e TL_02..... | 77 |
| Figura 61 Stralcio corsi d'acqua numerati secondo l'ordine di Strahler in prossimità delle TL_03 e TL05..... | 78 |
| Figura 62 Stralcio corsi d'acqua numerati secondo l'ordine di Strahler in prossimità delle TL_06 e TL07..... | 78 |
| Figura 63 Stralcio corsi d'acqua numerati secondo l'ordine di Strahler in prossimità della TL_08..... | 79 |
| Figura 70 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia..... | 81 |
| Figura 71 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso..... | 81 |
| Figura 72 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia..... | 82 |
| Figura 73 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia..... | 83 |
| Figura 45 - Tipici posa cavidotto..... | 95 |

1. PREMESSA

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "**KERSONESUS**" dislocato nel territorio comunale di **Teulada** – sub-regione del Sulcis-Iglesiente, Provincia del Sud Sardegna (SU), al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico è stata redatta la presente **Relazione di Compatibilità Idrogeologica**, in supporto al progetto, con l'obiettivo di valutare la compatibilità idraulica e geologico-geotecnica dell'intervento e, in relazione a quanto prescritto dalla normativa vigente in materia di rischio idrogeologico e delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano d'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna (PAI) agg. 2022.

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 01.12.2022 Testo coordinato delle N.T.A. al P.A.I – Aggiornato ai sensi della Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 15 del 22 novembre 2022, pubblicazione sul B.U.R.A.S n. 55 del 01/12/2022.

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 **08/11/2022** nella zona di interesse.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Teulada è un comune del basso Sulcis che si affaccia nella costa più a Sud dell'Isola, comprende per esempio le cale di *capo Malfatano*, sovrastato da una torre spagnola e con uno stagno alle spalle, e *Cala Zafferano*, mentre a nord-ovest si trova la spiaggia *Is Arenas Biancas*, parte meridionale della località *Porto Pino* (per buona parte in territorio di Sant'Anna Arresi), le cui dune sono accessibili da una strada dentro il poligono militare. Alle spalle della costa, situato sul fondo di una valle tra i rilievi coperti da foreste di lecci e sughere si trova il centro abitato.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **565 sez. III** "Santadi"; **573 sez. IV** "Teulada"

Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Foglio: **565130** "Is Carillus"; **565140** "Punta Sebera"; **573010** "Case Culurgioni"; **573020** "Teulada".



Figura 1 Localizzazione del progetto



Figura 2 Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio

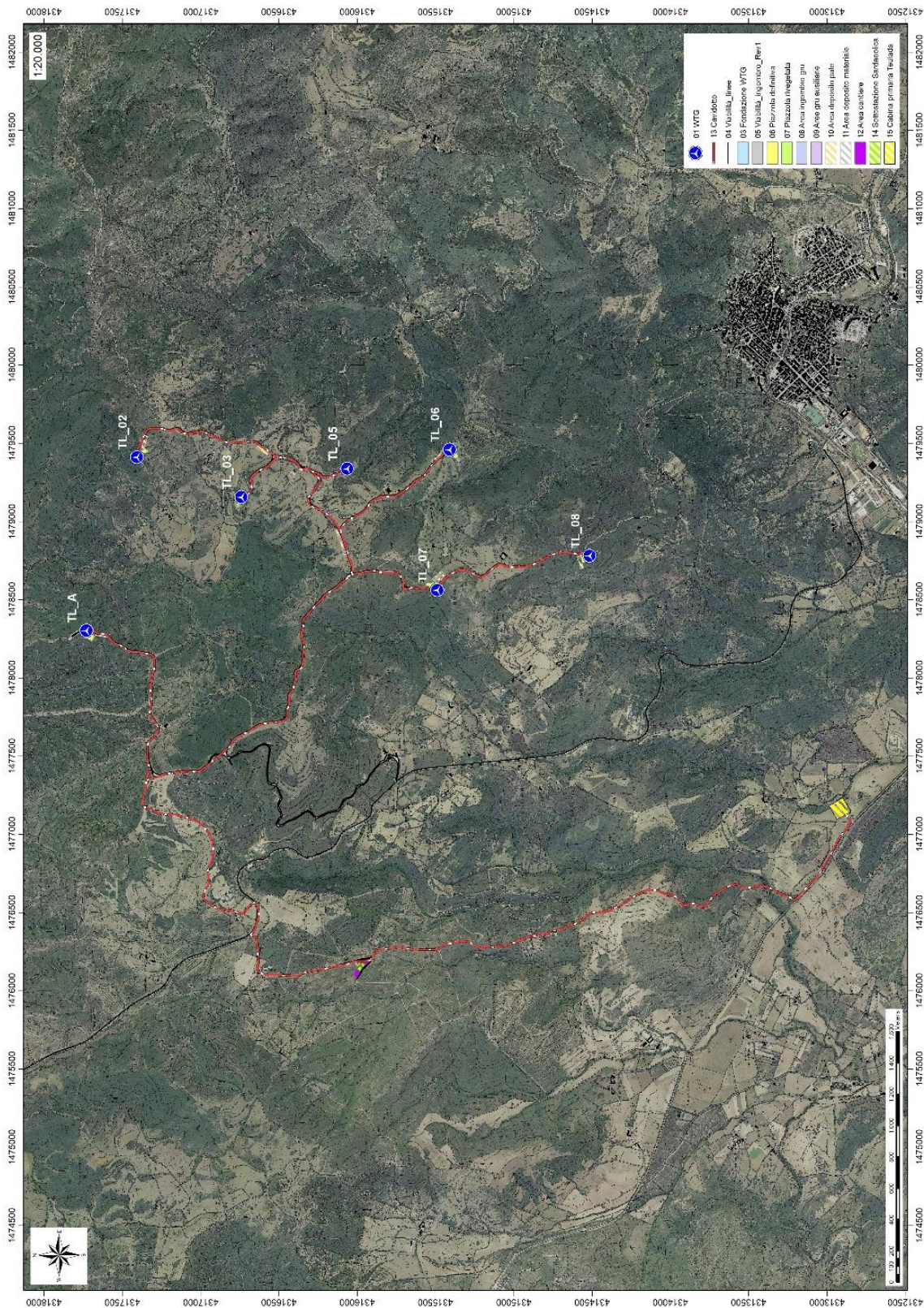


Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, cavidotto e sottostazione.

Dott.ssa Geol.
COSIMA ATZORI



Studio Tecnico di Geologia
Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA SARDEGNA
Sezione A n°656

info@giaiconsulting.eu
posta-certificata@pec.giaiconsulting.eu

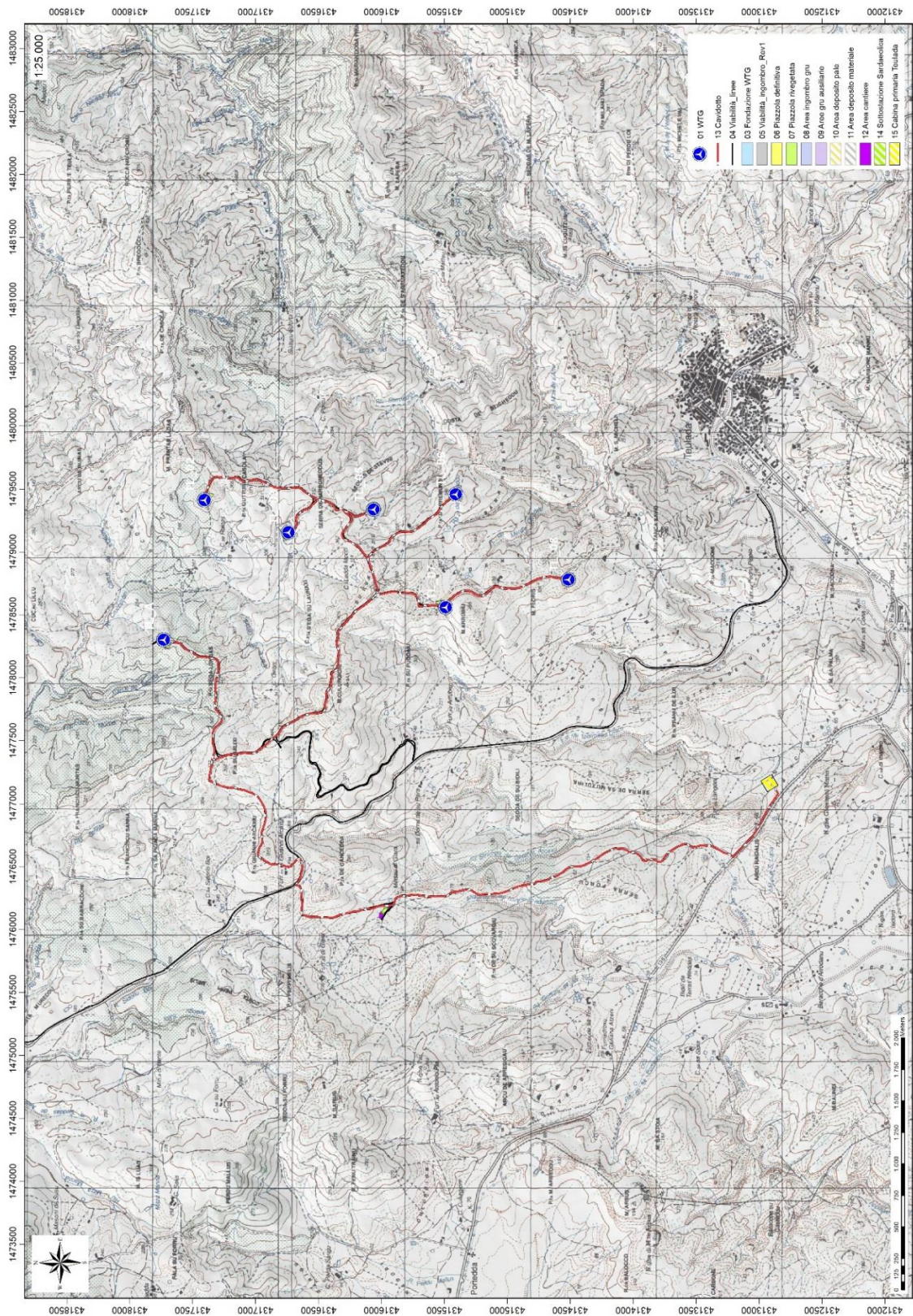


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

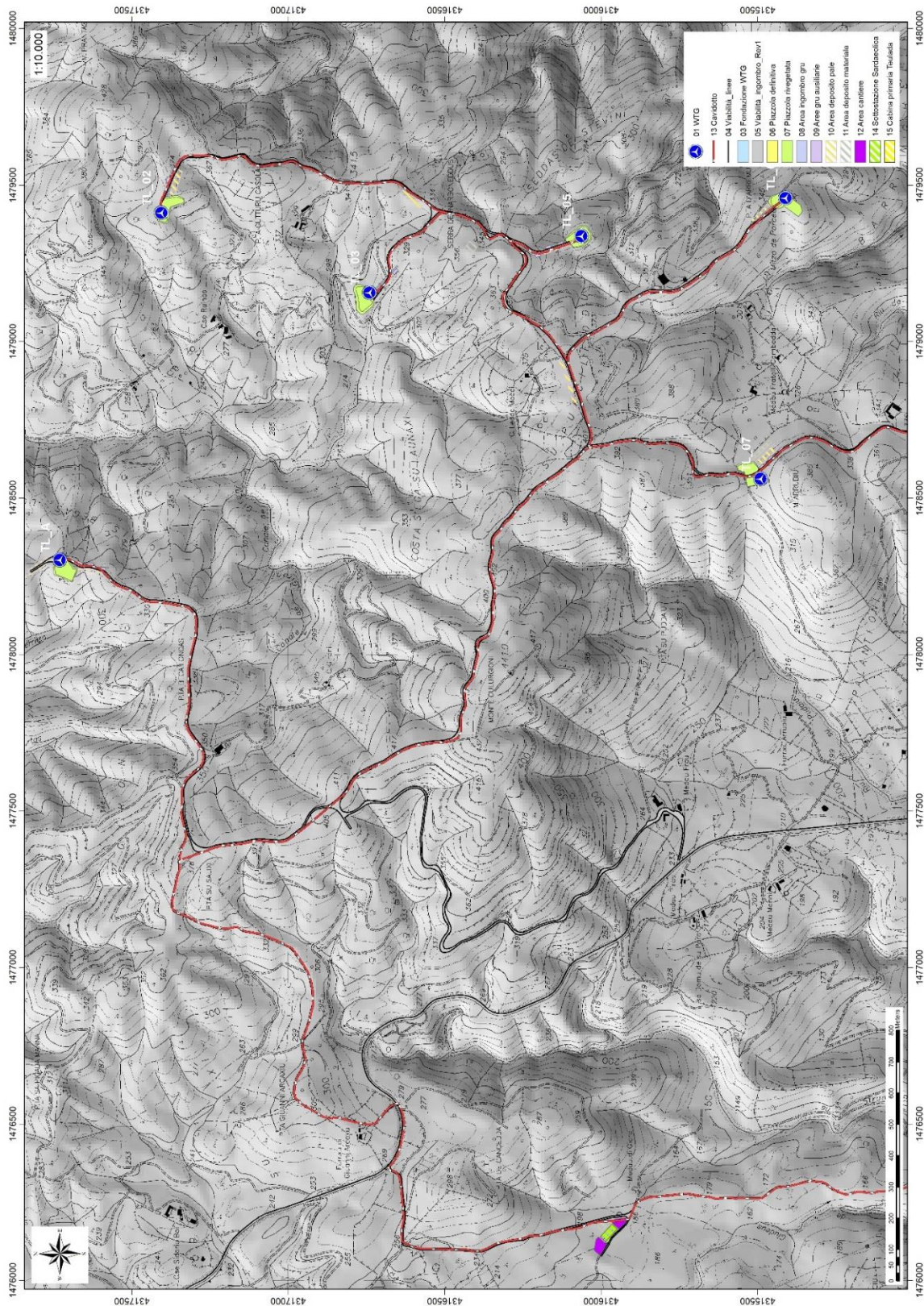


Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Nord

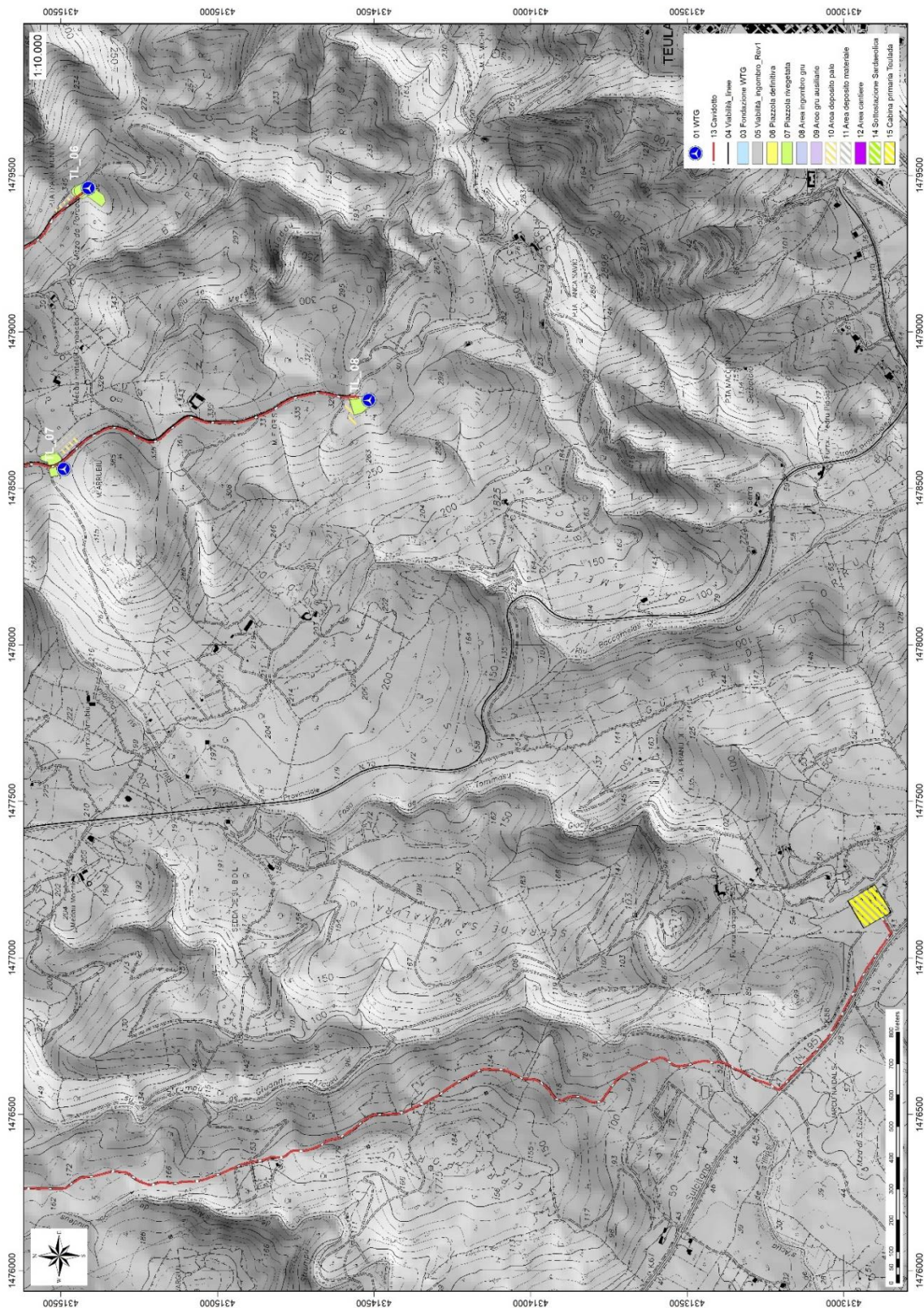


Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Sud

5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

L'impianto costituito dai 7 aerogeneratori funzionerà in parallelo con attraverso una rete a 30 kV realizzata con cavo interrato, alla sottostazione 30/150 kW An=60 MVA sita nel territorio comunale di Teulada e poi immessa sulla rete a 150 kV del Gestore Della Rete mediante la Cabina Primaria di proprietà di e-distribuzione denominata Teulada. La sottostazione produttore verrà connessa ad uno stallo (di nuova realizzazione) nella Cabina Primaria esistente, attraverso un collegamento in antenna con cavo interrato AT con tensione nominale 150 kV di lunghezza di circa 3,7 km.

COORDINATE AEROGENERATORI IN PROGETTO

| WTG | Italy GAUSS-BOAGA | | Geografiche WGS84 | | QUOTA base torre m s.l.m. | ALTEZZA HUB torre m |
|-------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------|
| | EST | NORD | EST | NORD | | |
| TL_02 | 1479411,8019 | 4317406,7489 | 8°45'42.98" | 39° 0'19.36" | 364,50 | 125 |
| TL_03 | 1479156,3318 | 4316740,7624 | 8°45'32.43" | 38°59'57.73" | 308,50 | 125 |
| TL_05 | 1479336,719 | 4316063,8585 | 8°45'40.01" | 38°59'35.79" | 327,00 | 125 |
| TL_06 | 1479459,1141 | 4315411,7354 | 8°45'45.16" | 38°59'14.65" | 335,60 | 125 |
| TL_07 | 1478560,9985 | 4315490,7254 | 8°45'7.83" | 38°59'17.13" | 344,50 | 125 |
| TL_08 | 1478781,5063 | 4314516,1509 | 8°45'17.10" | 38°58'45.53" | 322,50 | 125 |
| TL_A | 1478302,5314 | 4317730,8268 | 8°44'56.82" | 39° 0'29.78" | 300,00 | 125 |

Gli aerogeneratori individuati per la realizzazione del parco eolico hanno potenza nominale di 6200 kW e sono posti in cima a torri tronco coniche in acciaio con un'altezza massima fuori terra, misurata al mozzo, di 125 m; il generatore è azionato da elica tripala con diametro di 162 m (vedi tav. TL_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.

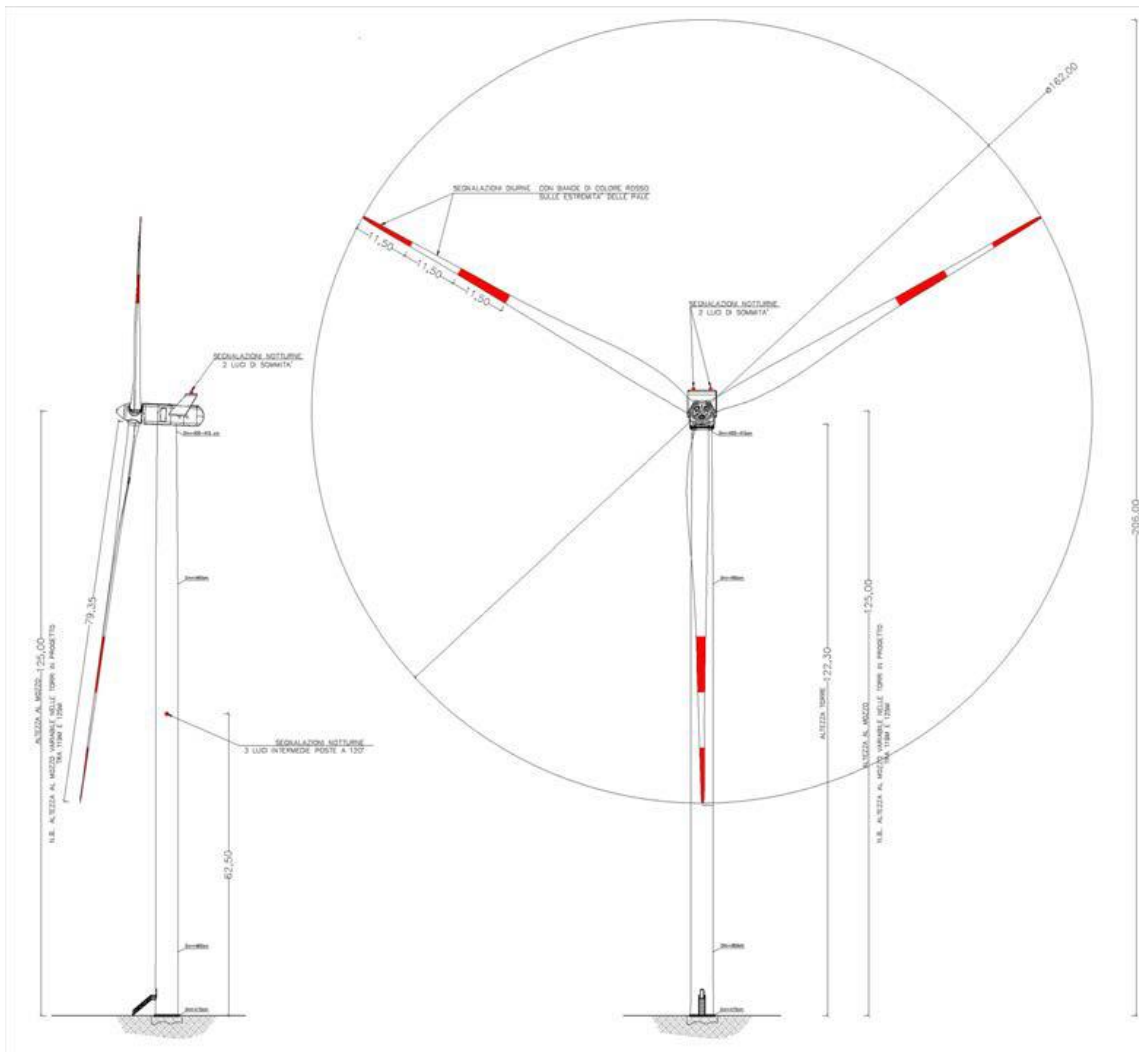


Figura 7 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 6,2MW

| DATI TIPOLOGICI E DIMENSIONALI AEROGENERATORI | |
|---|----------|
| NUMERO TOTALE AEROGENERATORI IN PROGETTO | 7 |
| POTENZA GENERATORE | 6200 KW |
| ALTEZZA MASSIMA HUB | 125 m |
| DIAMETRO ROTORE | 162 m |
| ALTEZZA MASSIMA RAGGIUNGIBILE | 206 m |
| AREA SPAZZATA DAL ROTORE | 20611 mq |
| NUMERO PALE | 3 |
| LUNGHEZZA PALE | 79,35 m |

Dati tecnici:

- Potenza nominale: 6200 kW e tensione nominale di 800 volt;
- Potenza unitaria generatore: 6250 kW;
- Frequenza: 0 – 138 Hz;
- Numero pale: 3;
- Lunghezza pale: 79,35 m;
- Raggio del rotore: 81 m;
- Area spazzata: 20612 m²;
- Tipo di sostegno: tubolare metallico;
- Altezza da terra del rotore: max 125 m;
- Fondazioni: piastra in C.A. dimensioni di circa 30 m di diametro; completamente interrata ad una profondità massima di 4,11 m;
- Piazzola di servizio: circa 3200 m² (variabile da 3241 a 4056 m²);
- Superficie impronta fondazione 706,90 m²;
- Ingombro scavo fondazione: circa 1075,00 m².

La sottostazione elettrica produttore in progetto si colloca ad una quota di 190m s.l.m, il piazzale ospitante la sottostazione elettrica produttore avrà una superficie sistemata in piano di 1715 mq, oltre ad un'area d'accesso pavimentata di 170 mq, l'area della sottostazione delimitata da apposita perimetrazione avrà una superficie di 1280 mq.

Per il collegamento di tutti i 7 aerogeneratori e per la connessione alla sottostazione sarà necessario realizzare circa 18.946 m 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 nel **Complesso metamorfico ercinico in facies degli scisti verdi e anchimetamorfico, nella Successione pre-Ordoviciana medio della Zona esterna.**

Questa successione testimonia il passaggio da una piattaforma terrigena cambriana inferiore (Formazione di Bithia, Formazione di Nebida con intercalazioni di vulcaniti basiche e intermedie probabilmente legate ad una concomitante fase di *rifting*, ad un ambiente lagunare con barre oolitiche (tetto della Formazione di Nebida).

I sedimenti prevalentemente terrigeni della Formazione di Nebida sono seguiti verso l'alto dalla potente successione carbonatica della Formazione di Gonnese, costituita da dolomie e calcari di piana tidale, frammentata a più riprese in bacini e zone di alto strutturale in seguito a fasi tettoniche distensive. Si passa quindi alla Formazione di Cabitza, che marca l'annegamento della piattaforma carbonatica.

Nella zona di Capo Spartivento affiorano dei micascisti ad andalusite ("Scisti di M. Settiballas" Auct.), i cui rapporti originari con la precedente successione rimangono incerti e che sono stati dubitativamente attribuiti al Precambriano.

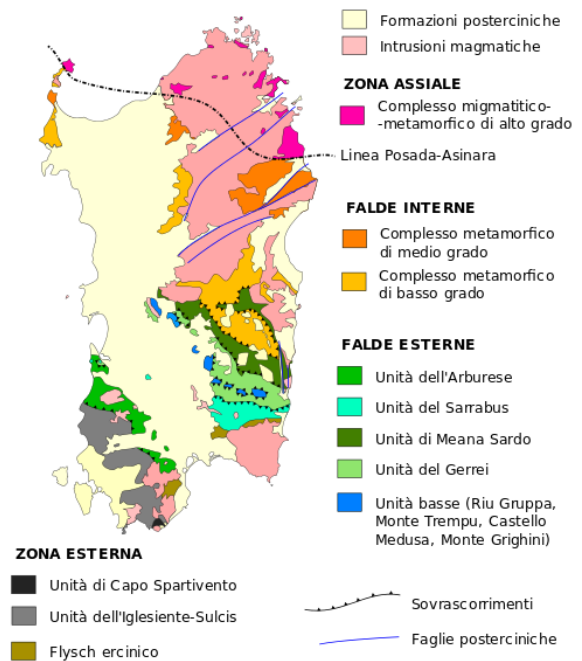


Figura 8 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

6.2. SUCCESSIONE PRE-ORDOVICIANO MEDIO DELLA ZONA ESTERNA

6.2.1. MICASCISTI AD ANDALUSITE ("SCISTI DI M. SETTIBALLAS" AUCT.)

Si tratta di micascisti gneissici, caratterizzati da uno sviluppato layering composizionale definito dall'alternanza di livelli millimetrici granoblastici e lepidoblastici, che costituiscono alcuni affioramenti di limitata estensione presso Capo Spartivento. Gli effetti della ricristallizzazione metamorfica sono intensi e denotano un'evoluzione metamorfica polifasica. Si distinguono infatti almeno due eventi metamorfici: uno più antico, di medio grado e di alto gradiente termico, testimoniato da relitti deformati di andalusite, muscovite, biotite, granato e cordierite, ed uno più recente, relativo allo sviluppo della foliazione principale, che comporta la blastesi di biotite e muscovite. Sia l'età che i

rapporti con il resto della successione cambriana sono incerti. Questi micascisti sono intrusi dai granitoidi ordoviciani; essi vengono considerati come i termini più antichi della successione e riferiti da alcuni Autori al Precambriano.

6.2.2. FORMAZIONE DI BITHIA

La Formazione di Bithia affiora esclusivamente in quest'area dell'Isola, lungo una stretta fascia attorno agli Ortogneiss di Capo Spartivento. Lo spessore reale non è valutabile a causa dell'intensa tettonizzazione, mentre lo spessore apparente supera i 600 m. Si tratta di una successione silicoclastica, prevalentemente costituita da filladi, metaquarzoareniti e metarenarie quarzifiche, a cui si intercalano metagrovacche, metaconglomerati e marmi. Sono inoltre presenti intercalazioni di metavulcaniti basiche e intermedie attribuite ad una fase di rifting precambriana.

I metaconglomerati affiorano in diverse località, ma sempre con spessori modesti (fino a qualche metro). Si tratta di originari conglomerati poligenici poco selezionati. I clasti, molto deformati e immersi in una matrice arenitica quarzoso-feldspatica, sono principalmente costituiti da frammenti di quarziti sia grigie che nere (liditi), da quarzo di vena, e in subordine da elementi di originarie rocce vulcaniche e carbonatiche. I marmi affiorano in livelli che possono arrivare a 15-20 m di spessore; hanno colore grigio chiaro, contengono intercalazioni di calcescisti e sono spesso affetti da una intensa dolomitizzazione secondaria. La parte alta della successione è caratterizzata da metapeliti alternate a metarenarie quarzose, talora con stratificazione incrociata. La Formazione di Bithia viene interpretata come una successione terrigena, con tendenza regressiva, evolutasi su un margine. La Formazione di Bithia poggia sull'Ortogneiss di Capo Spartivento con contatto tettonico. I due complessi hanno, infatti, un diverso grado metamorfico: la deformazione del granitoide ordoviciano è avvenuta in condizioni anfibolitiche, mentre il metamorfismo principale della Formazione di Bithia si è sviluppato a temperature relativamente basse ed è associato ad un'intensa deformazione cataclastico-milonitica. La natura e la posizione del contatto della Formazione di Bithia con la sovrastante Formazione di Nebida è incerto. Sia per la sua posizione stratigrafica sottostante alla Formazione infracambriana di Nebida, sia per correlazioni con formazioni precambriane europee, la Formazione di Bithia è stata riferita al Precambriano superiore.

6.2.3. FORMAZIONE DI NEBIDA

Questa formazione è in prevalenza costituita da sedimenti terrigeni affetti da metamorfismo ercinico di grado molto basso ed affiora estesamente in tutto l'Iglesiente-Sulcis. Nell'Iglesiente e nel Sulcis settentrionale costituisce il termine più antico della successione affiorante, mentre nel Sulcis meridionale essa sormonta la Formazione di Bithia. La Formazione di Nebida è tradizionalmente

suddivisa in due membri che sono, dal basso verso l'alto, il Membro di Matoppa ed il Membro di P.ta Manna. Il Membro di Matoppa è costituito da originarie siltiti grigio chiare con intercalazioni di arenarie, arenarie quarzose, quarzo-areniti ed arcosi a grana fine, in livelli di alcuni dm (1 m al massimo) di spessore. Verso l'alto il grado di maturità diminuisce progressivamente, le diffuse intercalazioni arenitiche divengono più frequenti e di maggiore potenza, fino a passare a metarenarie quarzoso-micacee grigie, rossastre e verdi a grana grossa, alternate a metaquarzoareniti micacee e subordinati livelli di metasiltiti; la successione termina con metarenarie quarzoso-feldspatiche alternate a metarenarie quarzoso-micacee e metagrovacche con matrice carbonatica. In bibliografia sono state descritte numerose strutture sedimentarie, come stratificazioni e laminazioni parallele ed incrociate, gradazioni, bioturbazioni, *ripple mark*, *slumping*. Direttamente sui depositi terrigeni e solo localmente sulle lenti calcaree si rinviene, seppure in modo discontinuo, un caratteristico orizzonte di calcari oolitici che costituisce la base del Membro di P.ta Manna.



Figura 9 Affioramento roccioso del Membro di Matoppa (NEB1) a SE della TL_02

Il Membro di P.ta Manna è costituito da un'alternanza ritmica di metareniti, metasiltiti e metargilliti a cemento carbonatico e di metacalcari. Nelle metareniti sono diffuse strutture sedimentarie quali stratificazione incrociata, *ripple mark* asimmetrici e bioturbazioni. I livelli carbonatici sono costituiti da metacalcari grigi biocostruiti, metacalcari oolitici e oncolitici, metacalcari nodulari variegati, metacalcari neri a ooidi e metacalcari grigi a incrociata. Nella parte alta della successione le intercalazioni carbonatiche divengono prevalentemente dolomitiche, con strutture da disseccamento (*mudcrack*) e tappeti algali (stromatoliti) che preannunciano i caratteri della

sovrastante Dolomia rigata. Verso la sommità del Membro di P.ta Manna aumentano le intercalazioni carbonatiche e sono costituite generalmente da metadolomie, mentre i livelli silicoclastici sono principalmente costituiti da metargilliti e quarziti.

6.2.4. FORMAZIONE DI GONNESA



Figura 10 Membro del Calcare Ceroide,
Formazione di Gonnese. GNN2

La fine della deposizione silicoclastica e l'inizio di quella prevalentemente carbonatica marca il passaggio dalla Formazione di Nebida alla Formazione di Gonnese. Lo spessore della Formazione di Gonnese è estremamente variabile: da 180 a 480 m. La Dolomia rigata è costituita da metadolomie primarie e metacalcari ben stratificati, caratterizzati da ripetizioni cicliche di facies costituite da originari:

a) fanghi carbonatici stratificati; b) stromatoliti laminate; c) stromatoliti laminate con pseudomorfi di gesso o anidride; d) pisoliti vadose e/o breccie da disseccamento; localmente sono presenti livelli oolitici o a pellets, anche silicizzati, e noduli di selce. L'ambiente di deposizione della Dolomia rigata corrisponde ad una piana di marea che si instaura su una morfologia piana o poco accidentata, in condizioni di clima caldo e arido. La distribuzione delle litofacies testimonia un graduale approfondimento del bacino di sedimentazione da N verso S. La parte del bacino nell'area di studio della Dolomia rigata si trovava

infatti in condizioni prevalentemente subtidali, come suggerito dalla sostituzione della dolomia con calcari algali laminati.

Il Calcare ceroide è costituito da metacalcari massicci di colore grigio, generalmente mal stratificati. Presenta quattro facies fondamentali: a) mudstone-wackestone con bioclasti; b) grainstone con ooliti e/o oncoliti, echinodermi e resti di trilobiti; c) boundstone criptoalgali, localmente boundstone scheletoalgali con archeociati; d) pisoliti vadose. Tali facies indicano ambienti che variano da supratidale a subtidale. La loro distribuzione rivela una morfologia a piattaforme e bacini connessa con una tettonica distensiva sin-sedimentaria. Il Calcare ceroide è ritenuto paleontologicamente pressoché sterile; i rari resti fossili rinvenuti sono placche di echinodermi e frammenti di trilobiti.

L'interruzione degli apporti terrigeni da E avrebbe determinato il prevalere della sedimentazione carbonatica. La presenza di archeociati nella parte alta della Dolomia rigata e del Calcarea ceroide permette di riferire l'intera Formazione di Gonnese al Cambriano inferiore.



Figura 11 Membro del Calcarea Ceroide, Formazione di Gonnese.

6.2.5. FORMAZIONE DI CABITZA

Questa formazione affiora nell'Iglesiente-Sulcis ed è stata suddivisa in due membri che dal basso sono: a) Calcarea nodulare; b) Scisti di Cabitza. Nella recente proposta di questa formazione è stata poi denominata dal Prof. paleontologo Pillola "Gruppo di Iglesias", a sua volta suddiviso in Formazione di Campo Pisano e Formazione di Cabitza. Il Membro del Calcarea nodulare poggia con contatto netto sul Calcarea ceroide, localmente tramite una breccia ad elementi di Calcarea ceroide o depositi argillitici vari. È costituito da una fitta alternanza di sottili livelli di metargilliti più o meno siltosi rossi e verdi, più raramente neri, metacalcari grigi e rosati con struttura nodulare e marne giallastre. Gandin all'interno di questo membro distingue tre litofacies: a) metacalcari massivi, ben stratificati con porzioni a lamine (prevalentemente *wackestone-packstone*); b) metacalcari nodulari più o meno marnosi e ricchi di resti fossili; c) alternanze di metacalcari ed originarie marne.

I metacalcari nodulari sono il litotipo più rappresentato e contengono abbondanti resti di echinodermi, trilobiti, *Chancelloria*, brachiopodi, spicole di spugne e hyolithidi. L'associazione di trilobiti indica la parte bassa del Cambriano medio. L'ambiente di deposizione del Calcarea nodulare corrisponde ad un mare epicontinentale poco profondo e poco ossigenato, con apporti ritmici di materiale terrigeno fine. Questo tipo di sedimentazione testimonia l'inizio dell'annegamento della piattaforma carbonatica in conseguenza dell'attività tettonica distensiva all'inizio del Cambriano

medio. Lo spessore di questo membro è variabile, da 20 a 60. Verso l'alto il Calcarea nodulare passa agli Scisti di Cabitza. Si tratta di una caratteristica successione formata da ritmiche alternanze centimetriche e millimetriche di metargilliti e metasiltiti varicolori, raramente carbonatiche, con subordinati livelli di metarenarie, generalmente fini; la parte sommitale è localmente costituita da metarenarie fini e quarziti con frequenti laminazioni incrociate. Gli Scisti di Cabitza sono ricoperti in discordanza dai sedimenti clastici ordoviciani ("Puddinga" *Auct.*) che marcano la cosiddetta *Discordanza Sarda*. Il loro limite superiore è quindi erosivo. Gli Scisti di Cabitza sono stati suddivisi da Gandin e Pillola (1985) in due intervalli: a) un intervallo inferiore, costituito principalmente da metasiltiti, metargilliti e metarenarie a grana fine, con strutture sedimentarie tipo laminazioni parallele e convolute, *ripple mark*, *flute cast* e piste riferibili a *Cruziana*, *Planolites* e *Helmitopsis*. Raramente, verso la base del membro affiorano lenti di metacalcari di colore vinaccia o verdolini; b) un intervallo superiore, costituito da originarie laminiti argilloso siltose con intercalazioni di quarzo-areniti micacee e metareniti. I caratteri sedimentologici dei due intervalli segnano un'evoluzione dell'ambiente da neritico a pelagico non molto profondo, con la deposizione del Calcarea nodulare si ha la frammentazione e l'annegamento della piattaforma carbonatica, a cui segue la deposizione degli Scisti di Cabitza, che segnano la fine della sedimentazione carbonatica e l'instaurarsi di una sedimentazione terrigena pelagica più profonda.



Figura 12 Affioramento degli Scisti di Cabitza.

Nella parte bassa della successione sono da tempo noti fossili del Cambriano medio: trilobiti, rari brachiopodi, carpoidi sia interi che in placche. Il rinvenimento di resti fossili nella parte medio-alta della formazione ha permesso di documentare con trilobiti il Cambriano superiore e l'Ordoviciano inferiore. Questa datazione è di particolare importanza poiché consente di precisare meglio l'età

della Discordanza sarda dell'Iglesiente, che risulta così compresa tra l'Ordoviciano inferiore e l'Ordoviciano superiore (età dei primi livelli paleontologicamente datati trasgressivi sui depositi continentali della "Puddinga" *Auct.*) e di correlarla con la Discordanza sarrabese della Sardegna sud-orientale.

6.3. COMPLESSO PLUTONICO DEL CARBONIFERO SUPERIORE-PERMIANO

6.3.1. LEUCOGRANITI EQUIGRANULARI E LEUCOGRANITI A GRANATO

I leucograniti affiorano diffusamente in tutti i settori del basamento sardo. Si contraddistinguono per l'omogeneità compositiva e per le tessiture debolmente orientate o quasi isotrope. Il trend generale delle intrusioni è generalmente discordante rispetto a quello delle rocce incassanti e a quello delle intrusioni precedenti. La direzione dominante varia da N-S a NE-SW. Le età radiometriche disponibili variano da 289 ± 1 Ma a 274 ± 9 Ma. Si tratta di granitoidi a tendenza leucocrata inequigranulare, a cui il quarzo globulare conferisce un aspetto tendenzialmente porfirico. Nella massa di fondo microcristallina spiccano inoltre fenocristalli subedrali di K-feldspato. La biotite cristallizzata in individui isolati di taglia attorno a 3 mm è in proporzioni modali non superiori a 5%.



Figura 13 Leucograniti dell'unità Intrusiva di Villacidro

Sono caratterizzati da una grana media equigranulare, con K-feldspato equidimensionale di taglia sub-centimetrica, cristallizzato in individui policristallini che conferiscono alla roccia la caratteristica colorazione rosata. La biotite, di taglia non superiore a 2 mm, è in proporzioni modali non superiori al 7%. Le facies affioranti nel Sarrabus si differenziano dalle precedenti per la grana fine, per la

tendenza ololeucocrata derivante dalla quasi totale assenza della biotite e per la tessitura in genere isotropa, ma talvolta anche orientata.

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; hanno colore tipicamente rosso mattone o ocraceo. La struttura varia da afirica a porfirica per la presenza di fenocristalli di quarzo, feldspato potassico, oligoclasio e subordinata biotite immersi in una massa di fondo quarzoso-feldspatica. La struttura è isotropa, e solo localmente orientata in corrispondenza delle salbande; l'età è riferibile al Carbonifero superiore - Permiano.



Figura 14 Affioramento di porfidi granitici nei pressi della TL_07

(fi) Filoni intermedio-basici: corpi filoniani dell'ordine di qualche metro, di colore bruno-verdastro e struttura subafirica, debolmente porfirica o microcristallina, con cristalli di plagioclasio e femici alterati. Carbonifero superiore – Permiano.

(fq) Filoni idrotermali: sono costituiti da corpi filoniani di esiguo spessore (qualche metro) caratterizzati da quarzo, fluorite, barite, calcite e solfuri metallici (galena).

6.5. 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. Olocene.

(a) Depositi di versante: sono costituiti da depositi monogenici, eterometrici e con clasti spigolosi e a varia granulometria accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Gli affioramenti più estesi si rinvengono alla base dei versanti, oppure in corrispondenza dei compluvi dove formano delle falde di detrito piuttosto estese. Lo spessore di questi depositi solitamente è variabile ma non supera i 5 m. Olocene.



Figura 15 Depositi di versante, alla base granitoide alterato (VLD)

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



Figura 16 Coltri eluvio-colluviali, alla base Membro di Mattoppa (NEB)

(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.

Nel caso specifico, turbine TL_A, TL_2, TL_3, TL_5, TL_6 e TL_8 andranno a poggiare nella formazione del Membro di Mattoppa (NEB), mentre la TL_7 andrà a poggiare sui granitoidi (VLD).

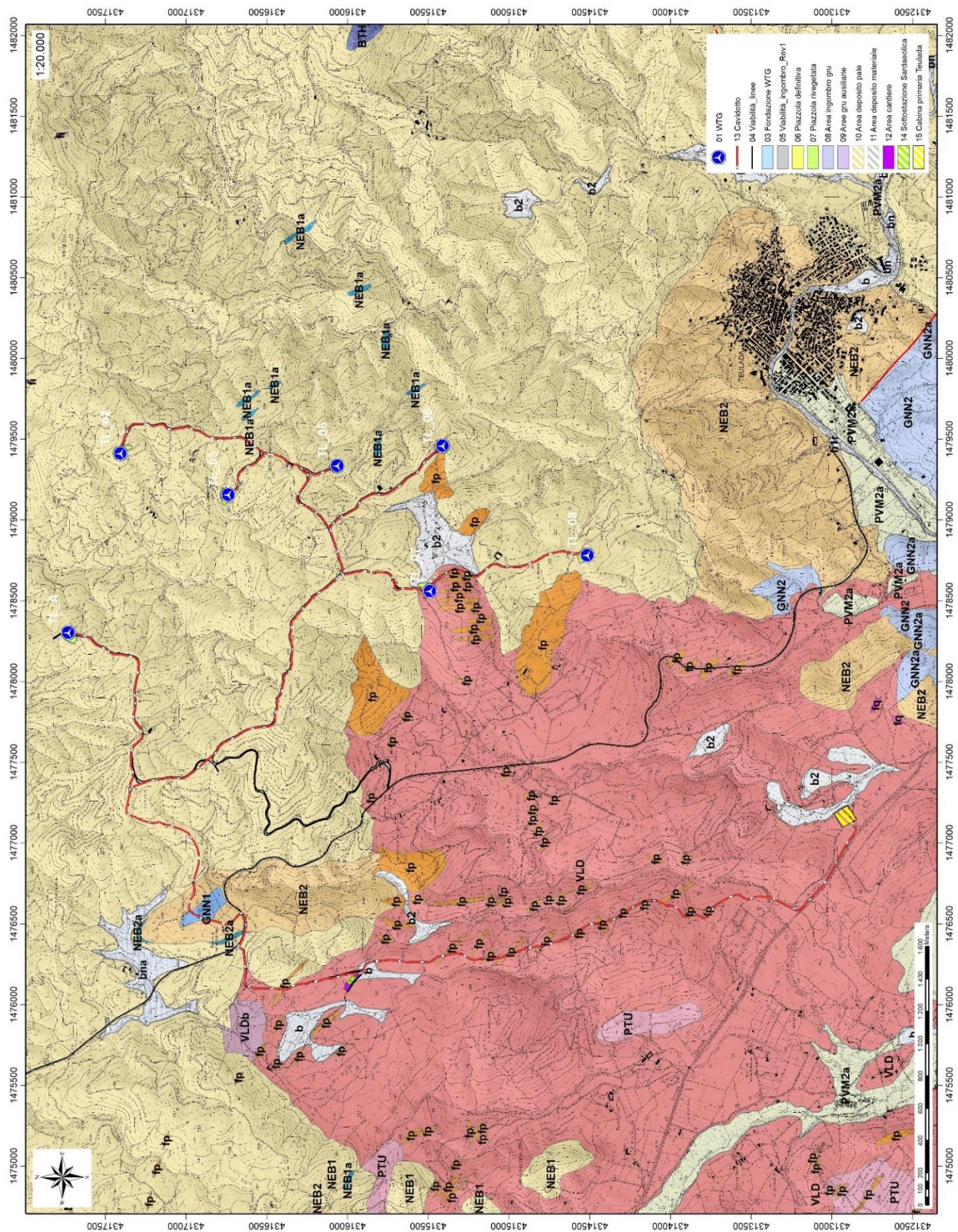


Figura 17 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

Dott.ssa Geol.
COSIMA ATZORI



Studio Tecnico di Geologia
Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA SARDEGNA
Sezione A n°656

info@gaiaconsulting.eu
posta-certificata@pec.gaiacconsulting.eu

7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI

Le strutture delle litologie su cui ricade il parco eolico sono riconducibili a diversi eventi che caratterizzano la storia della Sardegna meridionale, le evidenze più antiche dei quali risalgono alla tettonica plicativa caledoniana (Fase sarda) è testimoniata nel Sulcis e nell'Iglesiente da una discordanza angolare tra le formazioni del Cambriano - Ordoviciano Inferiore e quelle dell'Ordoviciano Superiore. La Fase sarda si manifesta con deboli deformazioni caratterizzate da pieghe cilindriche a largo raggio di curvatura, di direzione assiale E-W, non riconoscibili alla scala dell'affioramento per la sovrapposizione sia delle pieghe coassiali E-W della I fase ercinica, sia di quelle di direzione N-S della II fase ercinica principale. La prima fase Ercinica (F1) di più debole entità, caratterizzata da pieghe cilindriche a grande raggio di curvatura che si sovrappongono alle strutture di direzione assiale E-W della Fase caledoniana. Queste strutture, prive di scistosità, non sono molto evidenti anche perchè la fase N-S (fase ercinica principale) le ha deformate profondamente. La presenza di strutture E-W erciniche è plausibile sia per considerazioni di carattere regionale, sia per la forte immersione assiale verso N (50° - 70°) delle pieghe erciniche della fase N-S. I dati strutturali indicano che le suddette strutture si siano formate a partire da superfici già inclinate verso N, corrispondenti al fianco settentrionale della grande struttura di Nuxis-Santadi-Teulada, con a nucleo le metarenarie della formazione di Nebida. La seconda fase deformativa Ercinica, strutturalmente la più importante poiché ha determinato il raccorciamento maggiore, è caratterizzata da pieghe isoclinali e subisoclinali di direzione assiale N-S di ampiezza variabile (con deviazioni di direzione NW-SE e talora coricate verso W), e da una foliazione di piano assiale (S2) ben sviluppata che nei litotipi siltitici e pelitici rappresenta l'anisotropia planare più evidente alla scala dell'affioramento. Da un punto di vista regionale le strutture prodottesi durante questa II Fase ercinica (fase principale) hanno una taglia minore rispetto alle pieghe E-W della I Fase ercinica, ma le loro caratteristiche rivelano raccorciamenti più importanti. Nei livelli a minore competenza si generano pieghe chiuse accompagnate da una caratteristica scistosità ("scistosità trasversale" Auct.) di direzione prevalente circa N-S. La tettonica tardo-ercinica o post-collisionale (F3) dell'area di studio, come quella di tutta la Zona esterna, è caratterizzata da eventi deformativi minori rispetto a quelli della II Fase N-S che hanno prodotto raccorciamenti modesti, con piegamenti di direzione e stile variabile come kink, pieghe a scatola e a chevron, con assi di direzione N 70° e N 120° ed immersione variabile tra 15° e 30° . Il clivaggio (fracture cleavage e crenulation cleavage) è sviluppato soprattutto nelle parti più profonde delle successioni, in modo discontinuo, ed in funzione dei litotipi e della posizione entro le strutture maggiori. Talora sono presenti pieghe simili o subisoclinali. Anche se regionalmente non si sono prodotti effetti vistosi, localmente sono notevoli le complicazioni tettoniche.



Figura 18 Faglia a basso angolo nei pressi della TL_03.



Figura 19 Blande pieghe a scala decimetrica nei pressi della TL_02.

7.1. CAMPAGNA DI RACCOLTA DATI GEOSTRUTTURALI SU AFFIORAMENTO

Nel corso dei rilievi effettuati è stata realizzata un'indagine mirata alla caratterizzazione geostutturale del basamento roccioso in affioramento, indirizzata al rilievo di tutti i parametri tecnici, verificando in prima battuta le caratteristiche strutturali, come direzione, immersione e inclinazione delle discontinuità presenti, e analizzando le caratteristiche dei vari sistemi di discontinuità. L'analisi della struttura dell'ammasso roccioso e delle discontinuità è infatti indispensabile in quanto essa regola i processi di rottura e deformazione della roccia: lungo tali piani di debolezza, infatti, le resistenze alla trazione risultano sostanzialmente assai ridotte talora nulle.

Dai rilievi geologici è emerso che nel territorio in esame affiorano litologie afferenti alle formazioni paleozoiche di Nebida (NEB), in particolare nel Membro di Mattoppa, dei Granitoidi appartenenti al complesso intrusivo di Villacidro (VLD) e litologie appartenenti al Corteo Filoniano (fp).

Per la determinazione dei parametri geomeccanici delle suddette litologie, sono stati presi in considerazione n° 3 affioramenti rocciosi utilizzati come punti di stazione, nei quali sono state rilevate le caratteristiche delle discontinuità.

Gli affioramenti individuati sono più o meno prossimi ai punti di installazione delle turbine ma in ogni caso, pur essendo diversi in funzione della loro componente mineralogica-petrografica, permettono di classificare in modo preliminare le unità litologiche più rappresentative del sito di indagine.

Alla prima fase del rilievo dei dati in situ, è seguita la fase di elaborazione dei dati riguardanti le giaciture delle discontinuità. La distribuzione nello spazio di tali discontinuità (stratificazione, foliazione, giunti di frattura) è stata rappresentata mediante la proiezione equiangolare di SCHMIDT-LAMBERT, proiezione stereografica equatoriale che visualizza nell'emisfero inferiore della sfera ideale di riferimento le discontinuità, rappresentate come archi di ellissi (dette ciclografiche) per i piani, e come punti per le linee o per i poli dei piani (ossia le intersezioni della linea ortogonale al piano con la sfera di proiezione). L'elaborazione grafica dei dati giaciture delle discontinuità è stata eseguita con il software "Stereonet" di R. Allmendinger.

7.1.1. RILIEVO GEOSTRUTTURALE NELLA FORMAZIONE DI NEBIDA (NEB)

Per quanto riguarda la formazione di Nebida (NEB), è stato fatto un rilievo NEB in un versante esposto a Nord nei pressi del sito nel quale verrà installata la turbina TL_03, presso la località **Serra Narboneddus**.

Il rilievo NEB è stato fatto lungo un taglio di una strada di campagna, coordinate WGS84 479.212,3 4.316.672,724. L'ammasso roccioso presenta un aspetto fratturato, dovuto alla struttura scistosa. Le superfici riconoscibili sono imputabili a foliazione e fratturazione, mentre la stratificazione è spesso trasposta dall'intensa foliazione legata alle deformazioni subite. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la

roccia si presenta fittamente fratturata e percorsa da diverse vene riempite di quarzo. La spaziatura media tra le fratture è di circa 25 cm, e sono riconoscibili almeno due famiglie di giunti, quasi ortogonali tra loro, che si intersecano e creano un reticolo di fratturazione che comporta la scomposizione della roccia in piccoli blocchi e fogli (decimetrici).

Riportando i dati giacitureali delle suddette superfici nella proiezione stereografica è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (con inclinazioni tra i 40° e i 60°), e i giunti di fratturazione dalle inclinazioni variabili. Per quanto riguarda la foliazione si possono riconoscere diversi set di piani, il principale immergente verso NE e mediamente inclinato.



Figura 20 Vista sull'affioramento della Fm. Nebida con tracce dei giunti di fratturazione

I giunti di fratturazione si presentano diversamente orientati, ma è possibile riconoscere almeno 2 famiglie:

Un sistema orientato NNW-SSE, con immersione verso NE e giacitura da (40°-60°).

Un sistema orientato NNE-SSW, con immersione verso W-NW, con piani ugualmente mediamente inclinati.

Sono poi state rilevate fratture minori ma probabilmente dovute allo scavo della roccia durante la costruzione della strada.

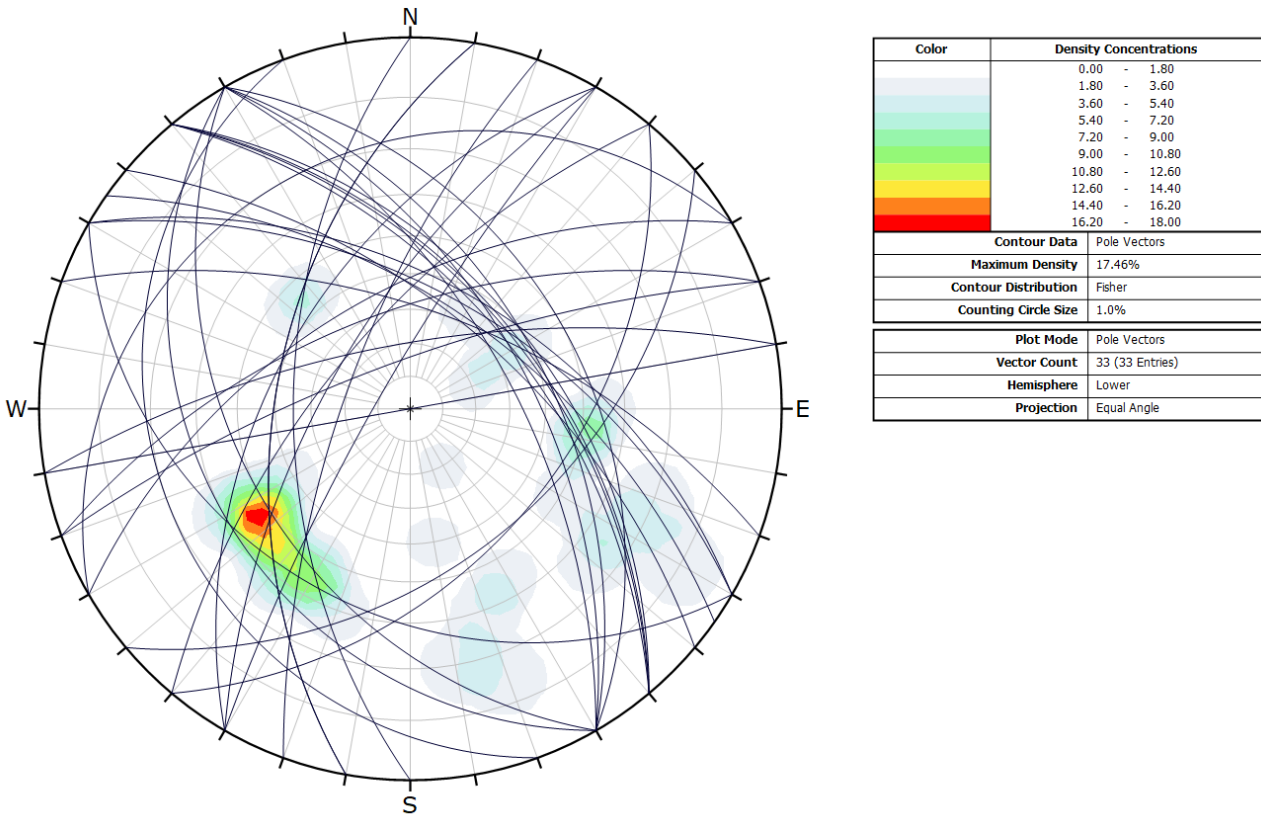


Figura 21 Proiezioni stereografiche delle discontinuità della scanline NEB.

7.1.2. RILIEVO GEOSTRUTTURALE NEI GRANITOIDI (VLD)

Il rilievo VLD è stato fatto lungo una linea di 8,2m orientata NE-SW, situata lungo la strada nei pressi della TL_07. L'ammasso roccioso ha l'aspetto massivo e struttura massiccia. Le superfici riconoscibili sono imputabili unicamente alla fratturazione. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva, e, per quanto resistente, è debolmente affetta da alterazione fisica. La spaziatura media tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,25 m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è evidente però quando queste, talvolta subortogonali tra loro, intersecandosi tendano a dividere l'ammasso generalmente in piccoli blocchi dalle dimensioni decimetriche.

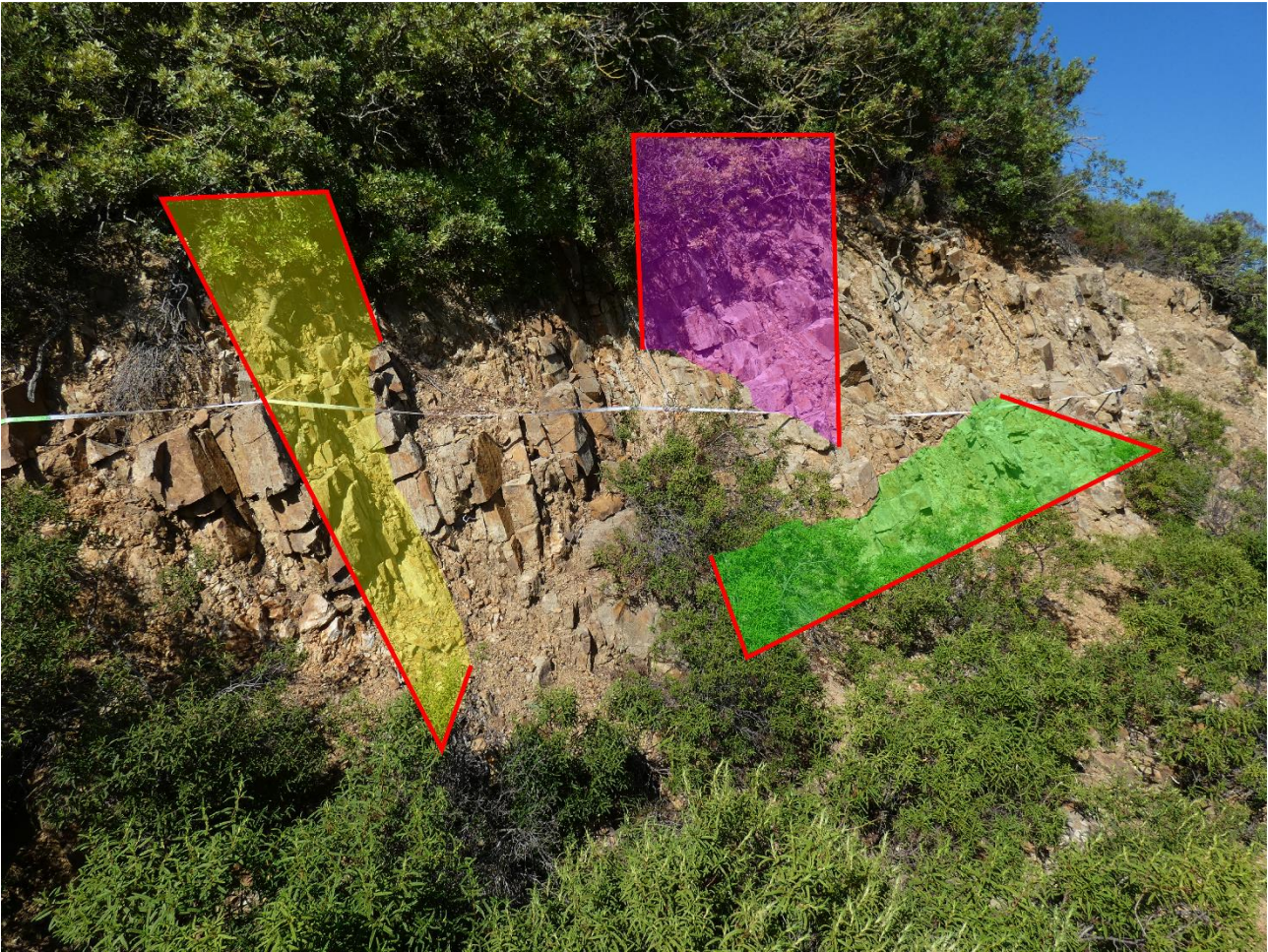


Figura 22 Rilievo geostrutturale VLD.

Le giaciture più frequentemente rilevate risultano immersioni a NE con inclinazioni pari a circa 50° e immersioni a SE con inclinazioni tra i 70° e gli 80°. Sono poi state rilevate fratture minori ma probabilmente dovute allo scavo della roccia durante la costruzione della strada.

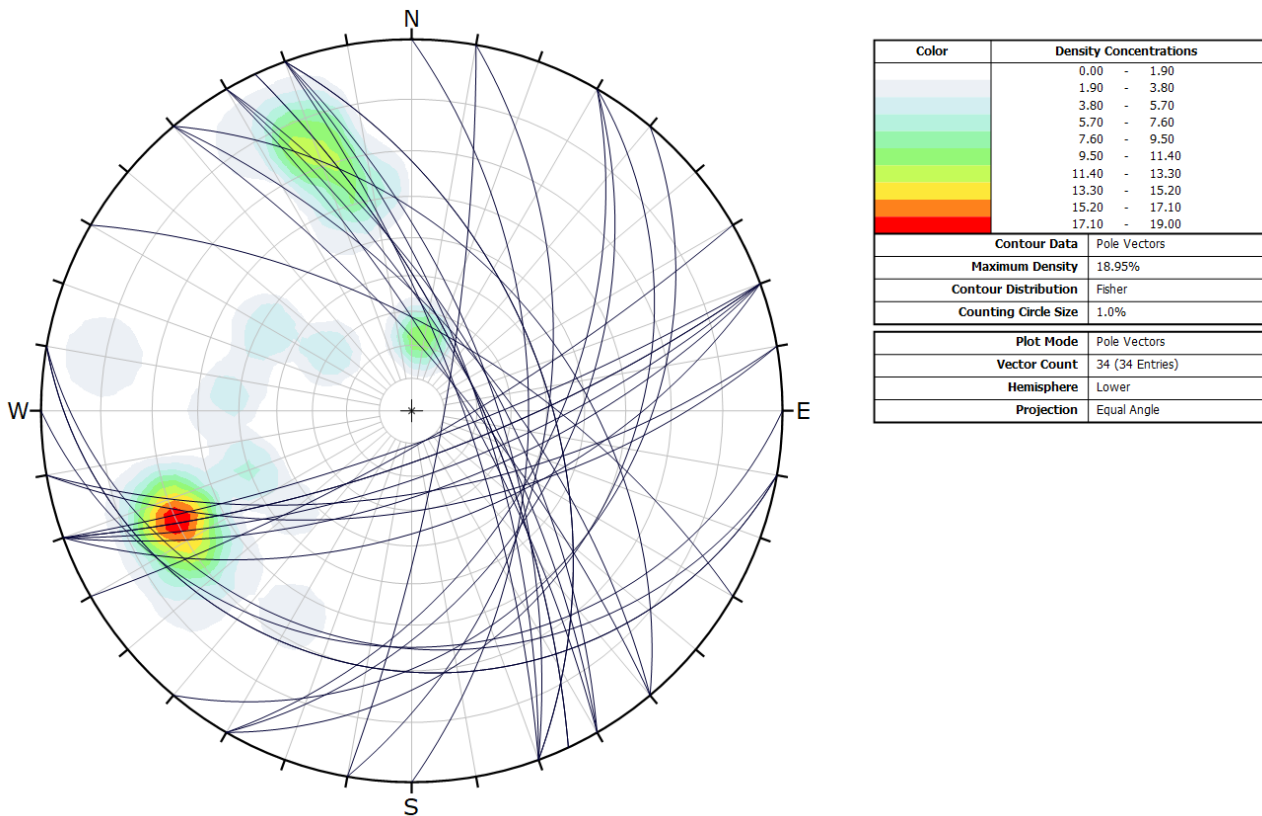


Figura 23 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento VLD.

7.1.3. RILIEVO GEOSTRUTTURALE NEI PORFIDI GRANITICI (PRF)

Il rilievo PRF è stato fatto lungo una linea di 7,50m orientata NE-SW, e situato 255m a SE della **TL_07**. L'affioramento è ubicato lungo una parete mediamente inclinata alta 4,0 m, ad aspetto massivo e poco alterato, l'alterazione è di tipo chimico per processi di argillificazione lungo alcune discontinuità, queste talvolta sono riempite da coltri eluvio-colluviali nelle superfici meno alterate la rugosità si presenta comunque medio-bassa (JRC sempre compreso tra 2 e 10). L'apertura delle fratture va da 4mm fino a oltre i 12m, il riempimento è nella maggior parte dei casi assente e, quando presente, è incoerente.

La spaziatura media tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,25m.

Riportando i dati giacaturali delle superfici di fratturazione nella proiezione stereografica si nota che non è possibile dividere le fratture in più famiglie.

Le giaciture più frequentemente rilevate risultano immersioni a NE con inclinazioni pari a circa 50°-60°. Sono poi state rilevate fratture minori ma probabilmente dovute allo scavo della roccia durante la costruzione della strada.

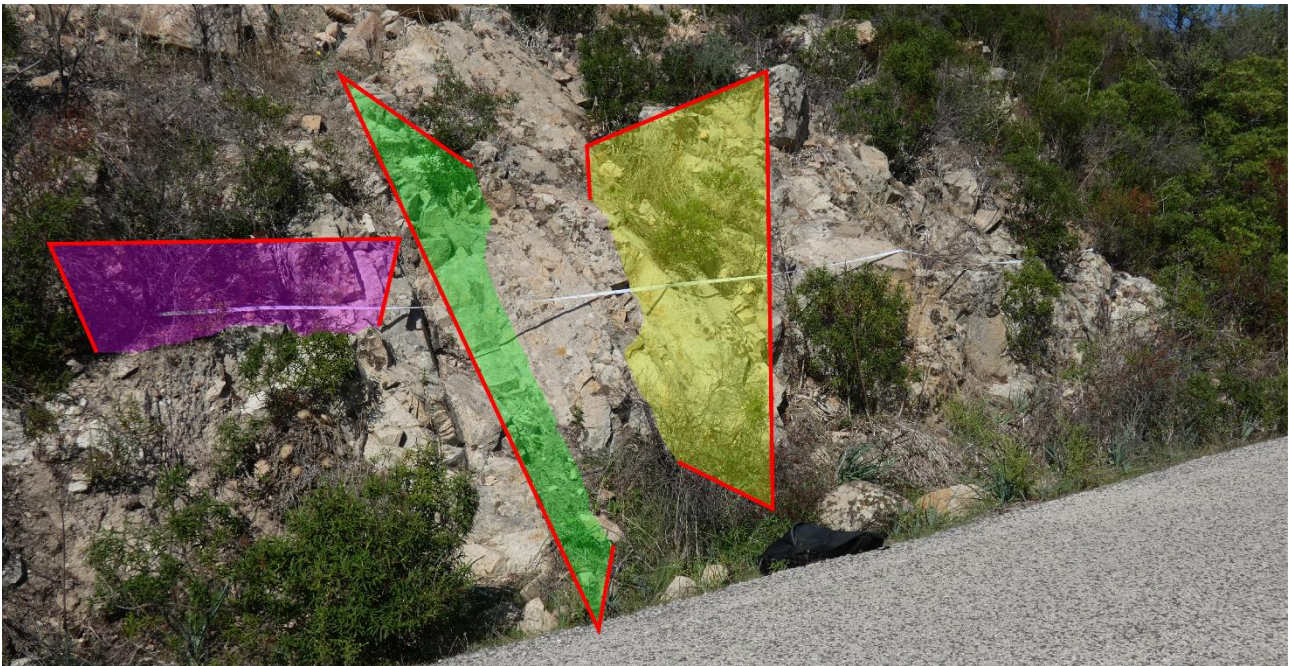


Figura 24 Rilievo geostrutturale PRF

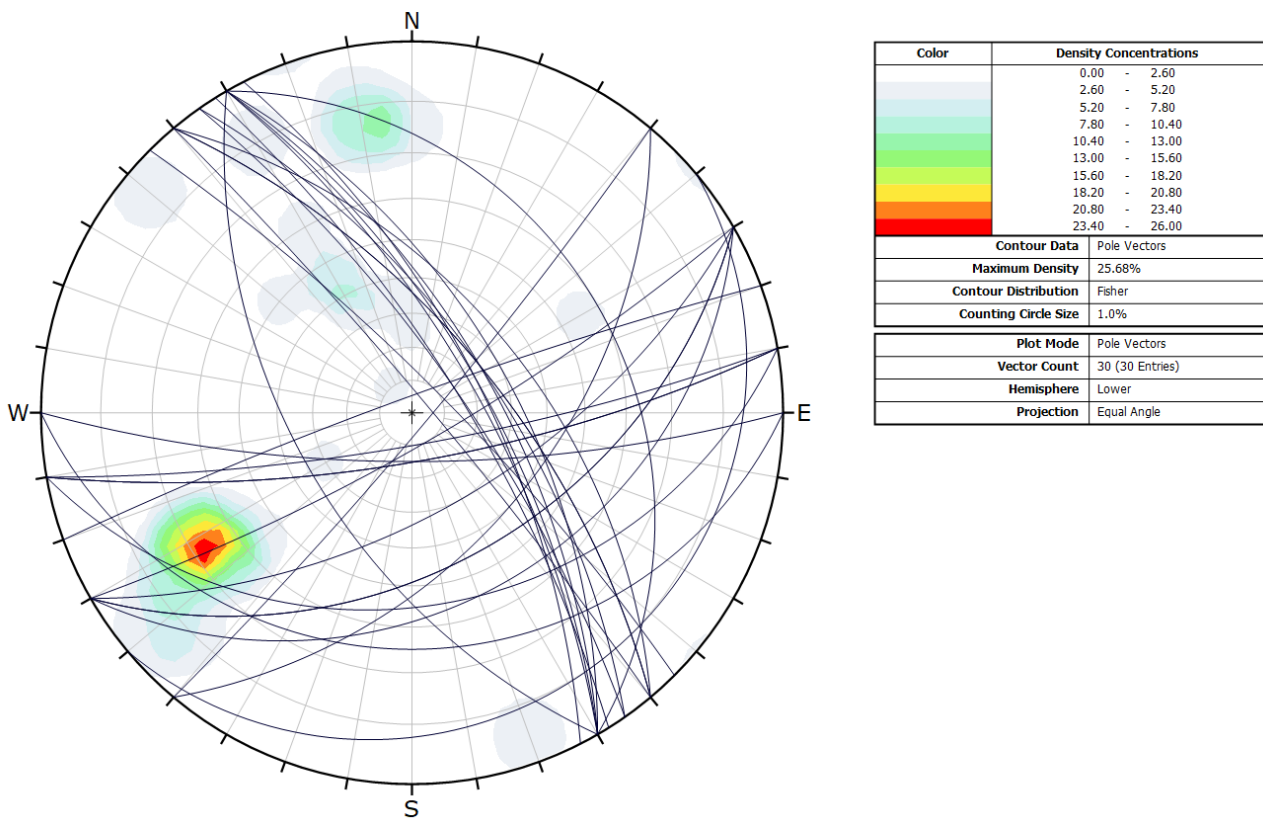


Figura 25 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento PRF.

8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO

L'intensa fratturazione e il grado di metamorfismo, ampiamente descritti nei precedenti capitoli producono sulla roccia una geometria estremamente variabile in termini di direzione e immersione, nelle tre direzioni principali dello spazio. Ciò che varia in relazione alla composizione granulometrica dei singoli strati originari è la spaziatura tra i giunti e il grado di fissilità. Pertanto, è estremamente difficile se non impossibile definire l'assetto a piccola scala per quanto appena descritto.

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

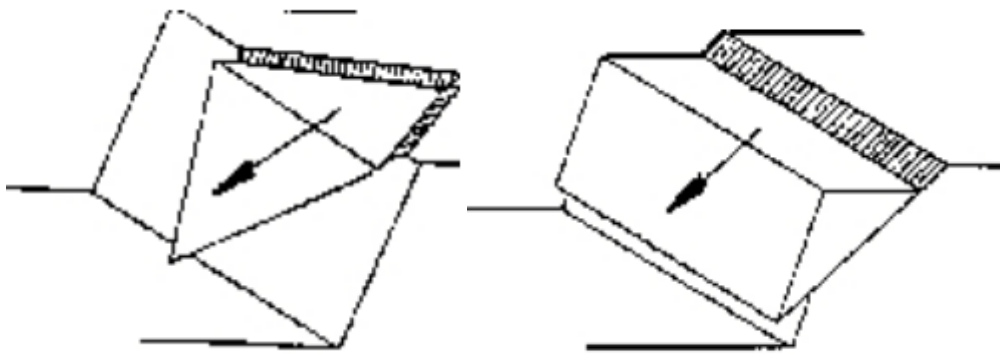


Figura 26 tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

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 scivolamento, 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 scivolamento distinti in relazione al dominio di famiglie di giunti.

Alla piccola scala laddove il materiale originario è costituito da granulometrie fini e a forte componente argillosa, sono più frequenti fenomeni di sfaldamento e distacco di lamine da centimetriche a decimetriche. Queste ultime divengono più simili a piccoli blocchi se la componente sabbiosa aumenta (metasiltiti, metarenarie). Nel caso invece degli ammassi

rocciosi meno fratturati, la presenza di famiglie di giunti con maggiori spazature e con assetto geometrico più regolare determina la formazione di blocchi più grandi, nell'ordine del metro cubo e più.

A scala media difatti, le spazature sono maggiori, anche di qualche metro ed interessano blocchi più grandi ma che rispondono alle medesime dinamiche di quelli pocanzi analizzati.

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.

Relativamente ai dissesti, nell'area di studio si osservano fundamentalmente due caratteri distintivi d'insieme:

Dissesti di origine naturale

Piccoli dissesti localizzati di origine antropica

Nell'area, pertanto, non si rilevano dissesti diffusi su vaste aree ma legati a locali condizioni geomorfologiche e di utilizzo del territorio.



Figura 27 A sinistra Scivolamento di un cuneo su taglio stradale, a destra scarpata dissestata su probabile vecchia cava.

9. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi subarrotondati e dislivelli dell'ordine di oltre 300 m tra monte e valle.

La forma prevalentemente pianeggiante dei versanti collinari dell'area di studio è il risultato della graduale demolizione del rilievo ercinico ad opera degli agenti erosivi, avvenuta alla fine dell'orogenesi ercinica, che ha portato alla formazione di una estesa superficie strutturale nota con il nome di "peneplano ercinico".

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.

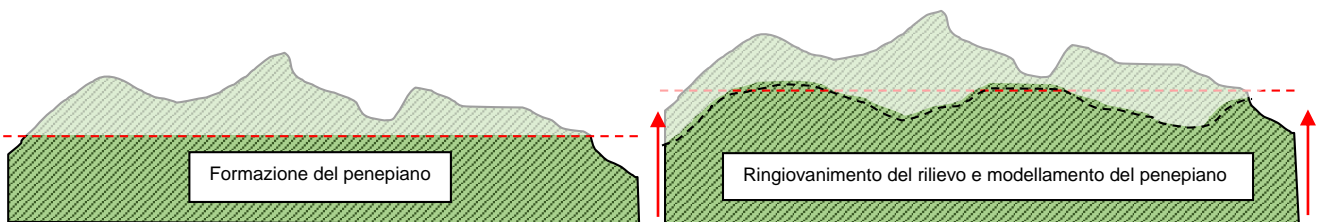


Figura 28 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

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

9.1 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

L'evoluzione geomorfologica del territorio interessato (da Relazione Illustrativa PAI art.8 Comune di Teulada – 2020) è il risultato della combinazione dei processi endogeni ed esogeni; è quindi strettamente dipendente dalla struttura geologica, dalle caratteristiche mineralogico-petrografiche delle rocce, dal loro assetto giaciturale e dalla resistenza offerta all'erosione.

A questi due fattori bisogna aggiungere in maniera non subordinata:

- l'azione del clima locale che favorisce od ostacola determinati processi fisici e chimici sulla superficie e sul substrato roccioso;
- l'interazione antropica sul territorio, particolarmente discriminante nelle zone periurbane.

Adeguate considerazione meritano altresì i fattori geologici come: la litologia locale con le sue implicazioni petrografiche, la condizione di giacitura, la fratturazione, le modalità di sedimentazione del detrito colluviale, etc.; poiché condizionano in modo rilevante, le modalità e le dinamiche di erosione che guidano il modellamento del rilievo e la sua stabilità strutturale.

L'area di Teulada, presenta una grande complessità per quanto riguarda l'aspetto geomorfologico da collegare tanto all'assetto geologico (assetto tettonico-strutturale, litologia) quanto ai diversi agenti morfogenetici che hanno modellato e modellano il paesaggio.

Tra le principali forme di versante legate alla gravità si individuano essenzialmente fenomeni franosi. Per quanto riguarda la loro distribuzione e la loro tipologia bisogna considerare che sono fortemente connesse ai contesti morfostrutturali e alle litologie affioranti (sedimentarie, metamorfiche e magmatiche). Nelle zone in cui affiorano le litologie rocciose, a causa della condizione fisico-meccanica delle masse rocciose e alla maggiore pendenza dei versanti, i processi gravitativi sono riferibili principalmente a frane da crollo e/o ribaltamento e frane di detrito che portano alla formazione di forme di accumulo quali falde e coni di detrito, alimentati dal materiale di disaggregazione delle rocce (proveniente dalle zone più elevate) e in gran parte legati alla dinamica dei versanti.

Nelle linee generali, il drenaggio dell'area è molto eterogeneo in quanto influenzato dalla litologia e struttura dei terreni affioranti (di natura sedimentaria, metamorfica e magmatica) e dal controllo tettonico. I patterns dei diversi reticoli idrografici sono, nelle linee generali, di tipo dentritico e sub-dentritico e localmente si osservano pattern di tipo angolato e/o a traliccio e sub-paralleli.

I paesaggi che circondano il parco fanno parte del massiccio del Sulcis, che si trova a cavallo dello spartiacque che separa i corsi d'acqua che scorrono verso il Mare di Sardegna a W da quelli che drenano verso la pianura del Campidano ed il Canale di Sardegna a E. Questo massiccio è caratterizzato da un'infrastruttura di rocce metamorfiche e magmatiche paleozoiche che in diversi periodi sono state interessate da intensi processi di spianamento. Tali processi in genere si verificano nei pressi del livello del mare e dunque individuano un antico livello di base utile per poter stabilire l'esistenza di eventuali successivi fenomeni di sollevamento di un'area. Nel Sulcis questi processi hanno originato un vero e proprio altopiano, più tardi smembrato dall'erosione lineare. Attualmente, questa antica superficie di spianamento risulta conservata solo in alcuni tratti (ad es., in tutto il settore

nordoccidentale del foglio ed in particolare a E di Serra Cannisoni, dove è ubicata a circa 500 m s.l.m.), benchè sia comunque riconoscibile in diversi altri settori, per la presenza di cime e crinali di uguale altezza. Tuttavia, se l'esistenza di movimenti verticali appare incontestabile, più difficile risulta la collocazione cronologica di questo spianamento e dei successivi sollevamenti. Inoltre, considerando che sui fianchi del massiccio affiorano quasi ovunque i sedimenti della formazione del Cixerri (Eocene medio - ?Oligocene) che sono stati interessati anche da importanti dislocazioni deformative, è verosimile ritenere che tale superficie si sia modellata dopo tali movimenti. Non si tratta però della riesumazione della superficie di spianamento pre-formazione del Cixerri, visto che sia questa superficie sia la medesima formazione paleogenica sono deformate e spianate.



Figura 29 Morfologia del paesaggio nei pressi dell' area di Studio, dolci colline e larghe vallecicole nella parte occidentale del parco

Non si hanno altre informazioni su questo modellamento, dato che non esistono sedimenti che lo ricoprono almeno in questo settore dell'Isola. La mancanza però di depositi continentali e soprattutto vulcanici del Miocene su questa superficie suggerirebbe che lo spianamento sia successivo anche a questi termini. L'approfondimento recente del massiccio del Sulcis è stato operato lungo le linee di debolezza strutturale verosimilmente per processi di erosione selettiva. Le valli attuali seguono le lineazioni, gli assi di scistosità ed i contatti tettonici.



Figura 30 Morfologia del paesaggio nei pressi dell'area di Studio, valli più incise nella parte orientale del parco.



Figura 31 Morfologie erosive in corrispondenza dei tagli stradali

9.2 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 32 Piazzola TL_2



Figura 33 Piazzola TL_3



Figura 34 Piazzola T4



Figura 35 Piazzola TL_5



Figura 36 Piazzola TL_6



Figura 37 Piazzola TL_7



Figura 38 Piazzola TL_8

10. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO



Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, il comune di **Teulada** è incluso nel Sub – Bacino n° 5 Flumendosa-Campidano-Cixerri.

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.

10.1 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.

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.

I bacini del territorio comunale di Teulada sono complessivamente n. 26, per superfici comprese tra 78,05 km² e 0,21 km², denominati in ordine alfabetico dalla lettera "A" alla lettera "Z", a cui segue il nome del corso d'acqua che lo compone; essi sono stati poi suddivisi in n. 10 bacini idrografici principali, n. 4 bacini secondari montani e n. 12 bacini secondari costieri.

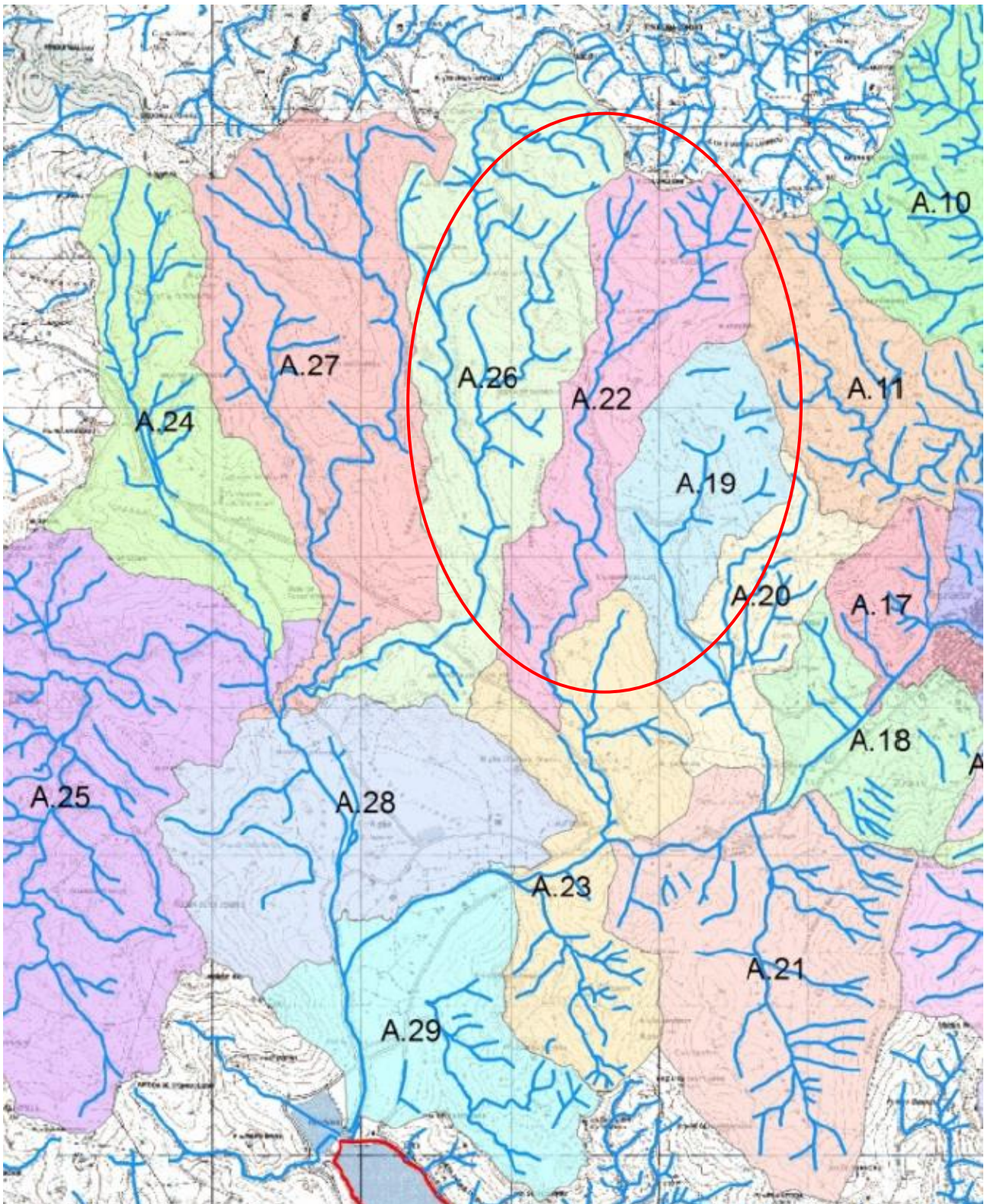


Figura 40 - Carta dei Bacini idrografici (Studio Idraulico PAI art.8 c.2 Comune di Teulada – 2020)

Dalla relazione idraulica dello Studio ex art.8 c.2 NTA PAI in fase di istruttoria e in validità come norma di salvaguardia fino all'approvazione definitiva si evince quanto segue:

Il Sistema Rio di Teulada – Rio de Leonaxiu costituisce il bacino di maggiore estensione del comune di Teulada, avente un'area pari a circa 78 km², identificato con la lettera A e suddiviso in 29 sottobacini, numerati progressivamente da monte verso valle.

I sottobacini da A.1 ad A.23 coprono il settore orientale del bacino rispetto alla foce e sono drenati dal Rio di Teulada con relativi affluenti; i sottobacini da A.24 ad A.29 ricadono invece nella porzione occidentale del bacino e sono drenati dal Rio de Leonaxiu il quale riceve dalla sinistra idrografica il Rio di Teulada. Nella tabella 4 del suddetto studio, si riportano i principali parametri morfometrici che caratterizzano le n. 29 sub-unità idrografiche del Sistema idrografico in esame, quali: superficie del sottobacino, altitudine massima, minima e media, pendenza media, lunghezza dell'asta principale con relative quote e pendenza media.

| BACINO_ID | SOTTOBACINO_ID | NOME RIO | AREA (km ²) | PARAMETRI BACINO | | | |
|-----------|----------------|---|-------------------------|------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| | | | | QUOTA MIN (m) | QUOTA MAX (m) | QUOTA MEDIA (m) | PENDENZA MEDIA (%) |
| A | A.1 | S'ARRIU DE SA FRAZIA - RIU DI ZIU GIOVANNEU | 3.10 | 128.14 | 494.91 | 302.08 | 39.54 |
| | A.2 | RIU DE IS OMINIS MORTUS - RIU DI MONTE MARIA - GUTTURU DE SA TUVARA | 5.66 | 92.05 | 507.78 | 263.96 | 38.97 |
| | A.3 | CANALE DI TINTIENE - RIU DI MONTE MARIA | 1.64 | 77.74 | 349.52 | 186.93 | 39.08 |
| | A.4 | RIU DE FOGALIS - RIU DI MONTE MARIA | 1.12 | 69.98 | 341.22 | 185.68 | 42.88 |
| | A.5 | RIU DI MONTE MARIA | 0.68 | 54.53 | 235.18 | 108.20 | 32.66 |
| | A.6 | RIU DE S'ACQUA PINTADA - RIU DE SCHISORGIU | 3.04 | 104.47 | 343.91 | 218.29 | 33.85 |
| | A.7 | RIU DE S'ACQUA PINTADA | 2.58 | 52.80 | 390.00 | 191.11 | 39.03 |
| | A.8 | RIU DE S'ACQUA PINTADA | 0.56 | 51.66 | 346.80 | 145.25 | 33.16 |
| | A.9 | RIU S'ENA S'ARBEI | 8.74 | 117.32 | 746.31 | 358.90 | 46.54 |
| | A.10 | RIU STIENEDDU - RIU DE MONTI | 3.34 | 93.93 | 471.62 | 266.23 | 41.30 |
| | A.11 | FIUME_16850 - RIU DE MONTI | 2.97 | 75.51 | 400.95 | 239.02 | 36.49 |
| | A.12 | FIUME_11212 - RIU DE MONTI | 3.06 | 68.98 | 529.53 | 268.93 | 49.34 |
| | A.13 | CANALE ANTIUGIU PALA - RIU DE MONTI | 2.46 | 50.25 | 287.21 | 129.26 | 33.99 |
| | A.14 | RIO DI TEULADA | 0.30 | 46.14 | 187.22 | 81.54 | 32.23 |
| | A.15 | RIO DI TEULADA | 0.38 | 41.92 | 324.12 | 124.63 | 35.69 |
| | A.16 | RIO DI TEULADA | 1.09 | 35.12 | 251.28 | 96.98 | 31.05 |
| | A.17 | RIO DI TEULADA | 0.82 | 29.10 | 286.85 | 117.33 | 39.68 |
| | A.18 | RIO DI TEULADA | 1.47 | 21.34 | 346.93 | 96.59 | 32.86 |
| | A.19 | RIU BACCAMELAS | 1.62 | 44.97 | 382.53 | 189.42 | 26.08 |
| | A.20 | RIU BACCAMELAS | 1.23 | 20.90 | 326.43 | 136.73 | 32.10 |
| | A.21 | RIO DI TEULADA | 3.83 | 12.74 | 390.03 | 162.23 | 37.77 |
| | A.22 | RIU DE SU PUDDAIU | 2.52 | 32.27 | 441.00 | 219.94 | 26.60 |
| | A.23 | RIU DE SU PUDDAIU - RIO DI TEULADA | 2.66 | 7.08 | 304.70 | 87.78 | 32.45 |
| | A.24 | RIU DE SA PORTEDDA | 2.70 | 16.30 | 337.10 | 112.90 | 25.19 |
| | A.25 | RIU DE CASTEDDU - RIU GUTTURU TROTTU | 6.35 | 12.35 | 276.24 | 129.60 | 17.12 |
| | A.26 | RIU DE S'ACQUA S'ILLIPSI | 4.07 | 14.96 | 432.02 | 189.37 | 27.48 |
| | A.27 | STRUMPU DE S'ARCU GIUDEUS - RIU DE S'ACQUA S'ILLIPSI | 4.30 | 11.36 | 333.30 | 155.28 | 22.36 |
| | A.28 | RIU DE LEONAXIU | 3.31 | 1.40 | 274.47 | 53.97 | 20.93 |
| | A.29 | RIU DE LEONAXIU | 2.45 | -0.41 | 255.41 | 69.76 | 28.07 |

Tabella 4 – Caratteristiche morfometriche dei sottobacini del Rio di Teulada – Rio de Leonaxiu.

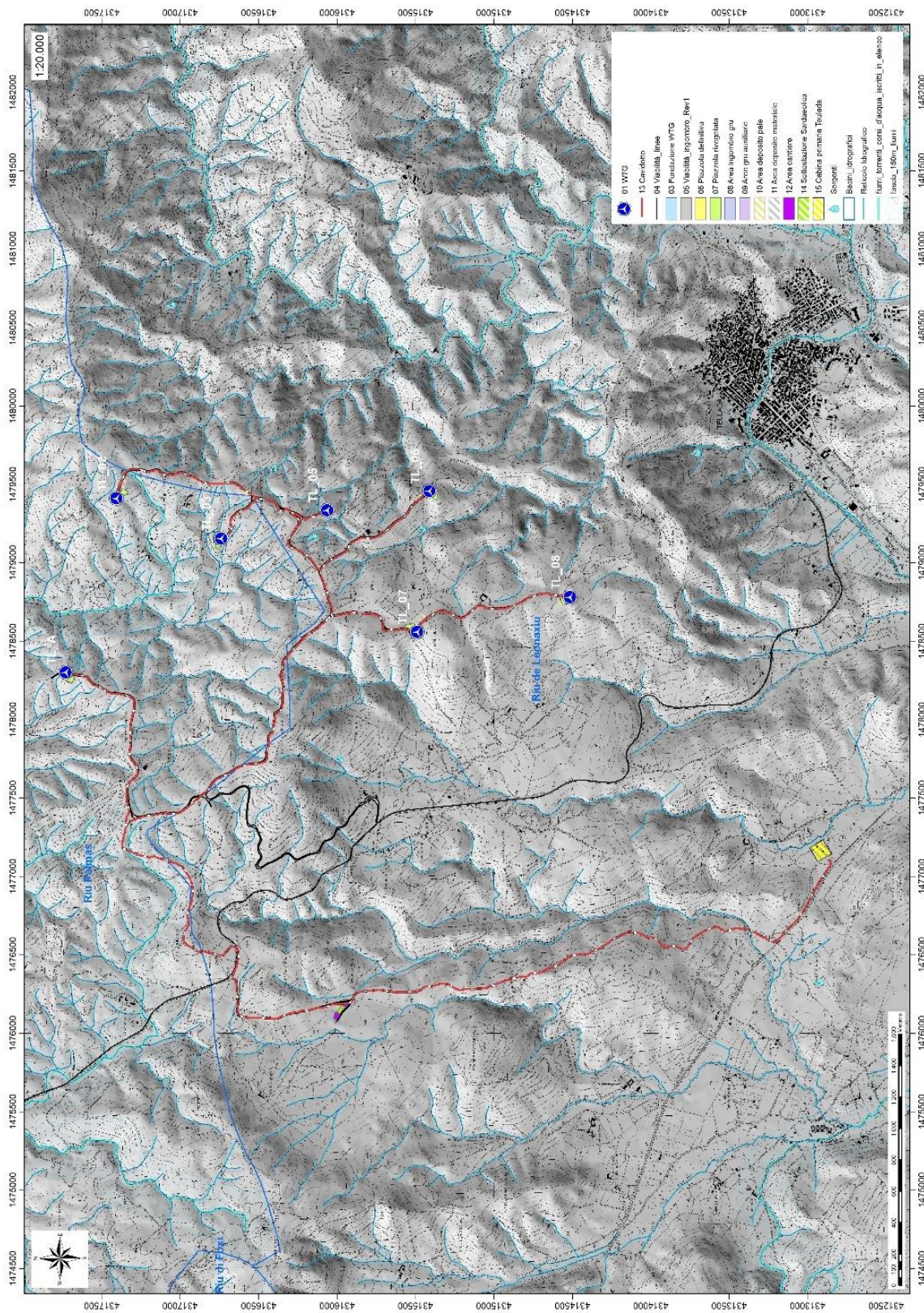


Figura 41 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

10.2 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. Complessivamente, le forti pendenze dei versanti non sono favorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche: la circolazione idrica profonda è di modesta entità e strettamente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.

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

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

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

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

Gli afflussi che arrivano sul terreno sotto forma per lo più di piogge, più raramente e poco tempo di neve, in parte scorrono lungo la superficie in genere a lamina d'acqua per poi organizzarsi in deboli

rivoli che si concentrano lungo gli impluvi fino a raggiungere il bordo dell'altopiano oltre il quale si riversano lungo valli strette a V ancora in evoluzione geomorfologica.

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

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

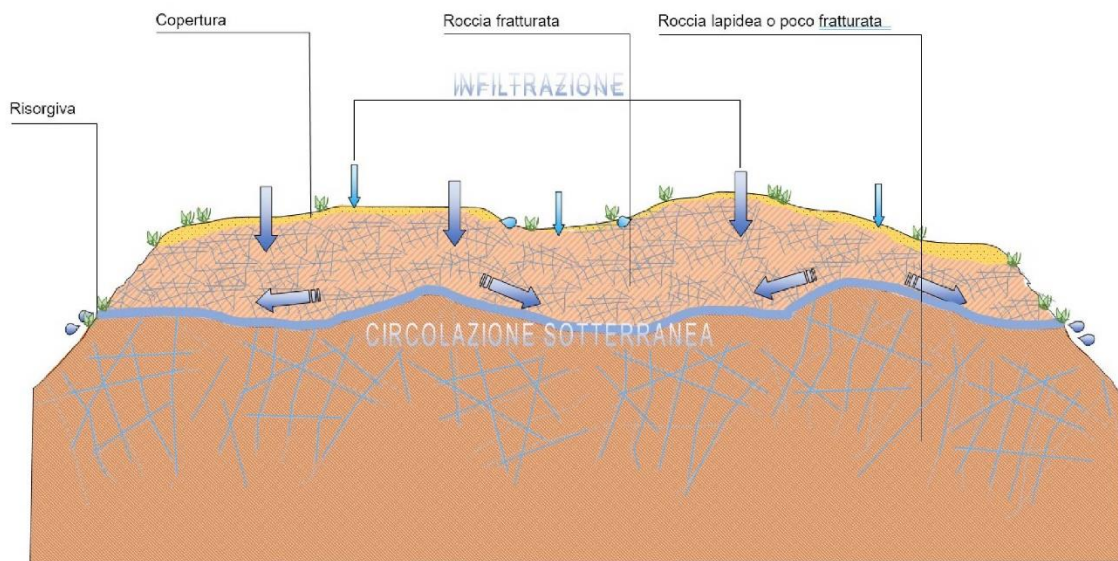


Figura 42 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Da un censimento nell'Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo ex Lg 464/1984 non sono presenti perforazioni per uso di acque sotterranee nell'area di interesse. Nelle immagini seguenti le schede di un pozzo (Cod.194740) a sud dell'impianto e di un altro pozzo (Cod.194720) situato ad ovest dell'area di installazione dell'impianto.

Nel pozzo con cod.194720 la falda si rinviene a quota -15m da piano campagna (livello statico), nel pozzo con cod.194740 la falda si ritrova a profondità superiori agli 80m.

| ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale | | ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|--|------------------|-----------------------------------|---------------|------------------------|-------|-------|--|------|--|---------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------|---------------|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|--|----------------------------------|--|--|-------|-------------------|------------------|--------------|---------------|------------------------|---|------|------|------|--|---------------------|---|------|-------|-------|--|-----------------------------------|---|-------|-------|-------|--|----------------------------------|
| Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984) | | Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dati generali | Ubicazione indicativa dell'area d'indagine | Dati generali | Ubicazione indicativa dell'area d'indagine | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Codice: 194720 Regione: SARDEGNA Provincia: CAGLIARI Comune: TEULADA Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 50,00 Quota pc slm (m): ND Anno realizzazione: ND Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): ND Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 1 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 0 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 3 Longitudine WGS84 (dd): 8,732903 Latitudine WGS84 (dd): 39,000389 Longitudine WGS84 (dms): 8° 43' 58,45" E Latitudine WGS84 (dms): 39° 00' 01,41" N (*):Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia | | Codice: 194720 Regione: SARDEGNA Provincia: CAGLIARI Comune: TEULADA Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 50,00 Quota pc slm (m): ND Anno realizzazione: ND Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): ND Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 1 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 0 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 3 Longitudine WGS84 (dd): 8,732903 Latitudine WGS84 (dd): 39,000389 Longitudine WGS84 (dms): 8° 43' 58,45" E Latitudine WGS84 (dms): 39° 00' 01,41" N (*):Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIAMETRI PERFORAZIONE <table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>50,00</td> <td>50,00</td> <td>205</td> </tr> </tbody> </table> | | Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | Diametro (mm) | 1 | 0,00 | 50,00 | 50,00 | 205 | DIAMETRI PERFORAZIONE <table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>50,00</td> <td>50,00</td> <td>205</td> </tr> </tbody> </table> | | Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | Diametro (mm) | 1 | 0,00 | 50,00 | 50,00 | 205 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | Diametro (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,00 | 50,00 | 50,00 | 205 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | Diametro (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,00 | 50,00 | 50,00 | 205 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FALDE ACQUIFERE <table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>15,00</td> <td>16,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> | | Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | 1 | 15,00 | 16,00 | 1,00 | FALDE ACQUIFERE <table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>15,00</td> <td>16,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> | | Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | 1 | 15,00 | 16,00 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 15,00 | 16,00 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 15,00 | 16,00 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STRATIGRAFIA <table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Spessore (m)</th> <th>Età geologica</th> <th>Descrizione litologica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>3,00</td> <td>3,00</td> <td></td> <td>DEPOSITI ALUVIONALI</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3,00</td> <td>37,00</td> <td>34,00</td> <td></td> <td>CALCARI CARSIIFICATI E FRAITURATI</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>37,00</td> <td>50,00</td> <td>13,00</td> <td></td> <td>GRANITI DIACLASSATI E FRAITURATI</td> </tr> </tbody> </table> | | Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Spessore (m) | Età geologica | Descrizione litologica | 1 | 0,00 | 3,00 | 3,00 | | DEPOSITI ALUVIONALI | 2 | 3,00 | 37,00 | 34,00 | | CALCARI CARSIIFICATI E FRAITURATI | 3 | 37,00 | 50,00 | 13,00 | | GRANITI DIACLASSATI E FRAITURATI | STRATIGRAFIA <table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Spessore (m)</th> <th>Età geologica</th> <th>Descrizione litologica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>3,00</td> <td>3,00</td> <td></td> <td>DEPOSITI ALUVIONALI</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3,00</td> <td>37,00</td> <td>34,00</td> <td></td> <td>CALCARI CARSIIFICATI E FRAITURATI</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>37,00</td> <td>50,00</td> <td>13,00</td> <td></td> <td>GRANITI DIACLASSATI E FRAITURATI</td> </tr> </tbody> </table> | | Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Spessore (m) | Età geologica | Descrizione litologica | 1 | 0,00 | 3,00 | 3,00 | | DEPOSITI ALUVIONALI | 2 | 3,00 | 37,00 | 34,00 | | CALCARI CARSIIFICATI E FRAITURATI | 3 | 37,00 | 50,00 | 13,00 | | GRANITI DIACLASSATI E FRAITURATI |
| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Spessore (m) | Età geologica | Descrizione litologica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,00 | 3,00 | 3,00 | | DEPOSITI ALUVIONALI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3,00 | 37,00 | 34,00 | | CALCARI CARSIIFICATI E FRAITURATI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 37,00 | 50,00 | 13,00 | | GRANITI DIACLASSATI E FRAITURATI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Spessore (m) | Età geologica | Descrizione litologica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,00 | 3,00 | 3,00 | | DEPOSITI ALUVIONALI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3,00 | 37,00 | 34,00 | | CALCARI CARSIIFICATI E FRAITURATI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 37,00 | 50,00 | 13,00 | | GRANITI DIACLASSATI E FRAITURATI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 43 Monografie dei pozzi cod.194720 e cod.194740

Le litologie affioranti possono essere assegnate a classi di permeabilità alquanto differenti, e precisamente:

Permeabilità alta:

- Metacalcari e metadolomie della formazione di Gonnese, del Cambriano;
- Metacalcari del Siluriano-Devoniano;
- Depositi alluvionali e detriti di falda del Pleistocene-Olocene;

Permeabilità medio-bassa:

- Granitoidi del Complesso intrusivo tardo-paleozoico;
- Complesso magmatico filoniano;
- Vulcaniti e depositi ciottolosi continentali della successione vulcano-sedimentaria dell'Oligocene-Miocene;

Permeabilità scarsa:

- Successione terrigeno-carbonatica della formazione di Nebida, del Cambriano;
- Permeabilità bassa:

- Successione terrigena del Cambriano - Ordoviciano Inferiore - Carbonifero Inferiore;
- Metacalcari silicizzati del Siluriano-Devoniano (settore di San Leone);
- Depositi alluvionali dell'Eocene-?Oligocene della formazione del Cixerri.

Dalla carta della permeabilità dei suoli, resa disponibile Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna, si evince che l'area di studio presenta, nel complesso, una **permeabilità bassa per fratturazione**, eccetto che per le aree in cui affiorano le litologie granitoidi, che presentano **permeabilità medio-bassa per fratturazione**.

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

10.3 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 alle quote di realizzazione delle opere che prevedono gli scavi più profondi (fondazioni degli aerogeneratori, piazzole e aree di deposito temporaneo) e la profondità dell'acquifero così come deriva dalle informazioni geologiche è tale che quest'ultimo non venga influenzato dalle opere in progetto e con il normale deflusso delle acque sotterranee.

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.

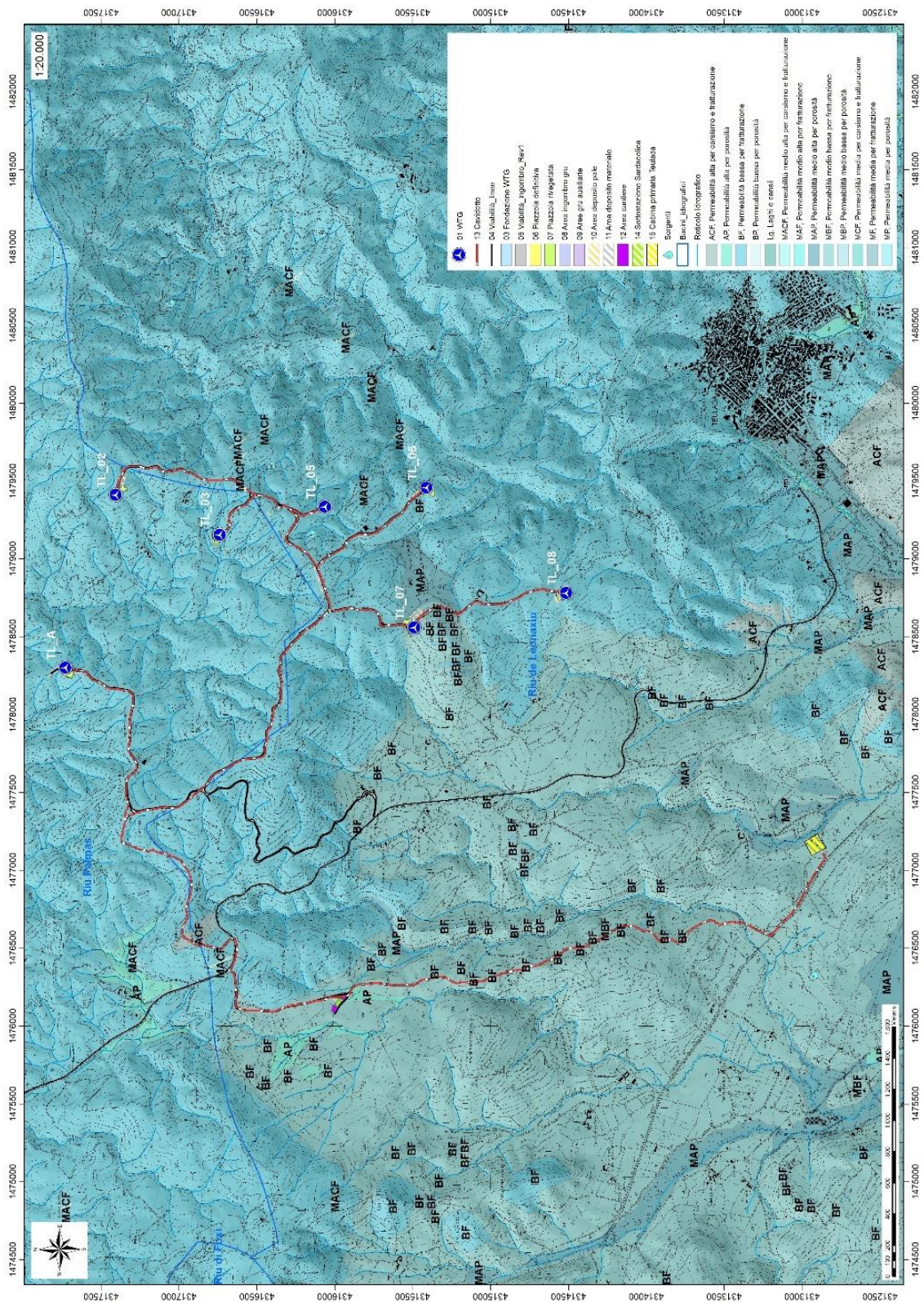


Figura 44 Carta della permeabilità del substrato (fonte RAS)

11. 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.

Tabella 1 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Teulada (anni 2011-2019-2020-2021), Domus de Maria (anno 2008) e Pula Is Cannoneris (per gli altri anni dell'intervallo considerato).

| Periodo | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic | Totale annuale |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| 2021 | 205 | 50,4 | 37,6 | 135,6 | 6,8 | 10,4 | 0 | 0,2 | 56,6 | 102,4 | 519,6 | 151,4 | 1276 |
| 2020 | 36,6 | 4 | 86,4 | 79,6 | 84,8 | 34,8 | 0 | 16 | 125,6 | 59,2 | 44,2 | 291 | 862,2 |
| 2019 | 71,1 | 23,4 | 4 | 59,1 | 77,9 | 0 | 0 | 69,4 | 11 | 42,5 | 254 | 141,4 | 753,8 |
| 2018 | 26,2 | 54,2 | 160,8 | 30,2 | 236,8 | 15 | 0,6 | 68,6 | 11 | 231,1 | 152,1 | 14,3 | 1001 |
| 2017 | 60,2 | 50,9 | 7,8 | 38,5 | 0 | 15,4 | 1,2 | 0 | 8,6 | 4,9 | 50,3 | 65,5 | 303 |
| 2016 | 77,6 | 147 | 130,8 | 12,6 | 110 | 20 | 0 | 0 | 164 | 17,4 | 116,4 | 151,2 | 947 |
| 2015 | 138,2 | 349,4 | 320,8 | 10,6 | 12,8 | 50,8 | 42,4 | 3,8 | 42,8 | 130,6 | 48,6 | 2,6 | 1153,2 |
| 2014 | 174,6 | 73 | 176,2 | 73,8 | 37 | 28,2 | 8,4 | 0,6 | 11,4 | 41,8 | 91,4 | 206,2 | 923 |
| 2013 | 144,4 | 92,6 | 147,2 | 83,8 | 34,8 | 17 | 7,8 | 29,6 | 21,8 | 15 | 194,2 | 72,4 | 860,6 |
| 2012 | 62,8 | 109,6 | 30,4 | 137 | 91,6 | 0,6 | 3,6 | 0 | 83,8 | 135,2 | 107,6 | 67,6 | 829,9 |
| 2011 | 57 | 55,2 | 74,8 | 35,8 | 17,6 | 5,6 | 8 | 0 | 26 | 15,4 | 141,2 | 44,8 | 481,4 |
| 2010 | 275,2 | 187 | 52,4 | 93 | 84,8 | 79,2 | 0 | 3,4 | 6,6 | 65,2 | 247,6 | 152,8 | 1247,2 |
| 2009 | 222 | 112,6 | 86,4 | 236,2 | 6,4 | 10,6 | 0 | 2,6 | 169,6 | 128,8 | 92,4 | 76,6 | 1144,2 |
| 2008 | 37 | 25,2 | 60 | 19 | 33,6 | 2,8 | 0,4 | 0 | 33,2 | 33,8 | 130 | 94 | 469 |

L'andamento climatico del territorio di Teulada e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Teulada, Domus de Maria, Pula Is Cannoneris localizzate rispettivamente nel raggio di 13 e 24 km dal settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio (Tab. 1) è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2021 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S. delle stazioni di Teulada (anni 2011-2019-2020-2021), Domus de Maria (anno 2008), e Pula Is Cannoneris (anni 2009-2010-2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018) così come i dati termometrici, relativi però alle stazioni di Domus de Maria (periodo 1995-2011 e anni 2013-2014-2015), e Pula Is Cannoneris (anni 2012 e periodo 2016-2021).

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.

11.1 PRECIPITAZIONI

Nella Tab.1 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2021 registrati nella stazione di Teulada (anni 2011-2019-2020-2021), Domus de Maria (anno 2008), e Pula Is Cannoneris (anni 2009-2010-2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018). Viene riportato il valore medio mensile e il totale annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2021 si osserva che i valori di precipitazioni presentano valori inferiori nei mesi autunnali e invernali, e superiori per il periodo compreso tra maggio e agosto (Tab. 2).

Nell'area studiata, la piovosità media annuale è pari a circa 875,11 mm per il periodo compreso tra il 2008 e il 2021.

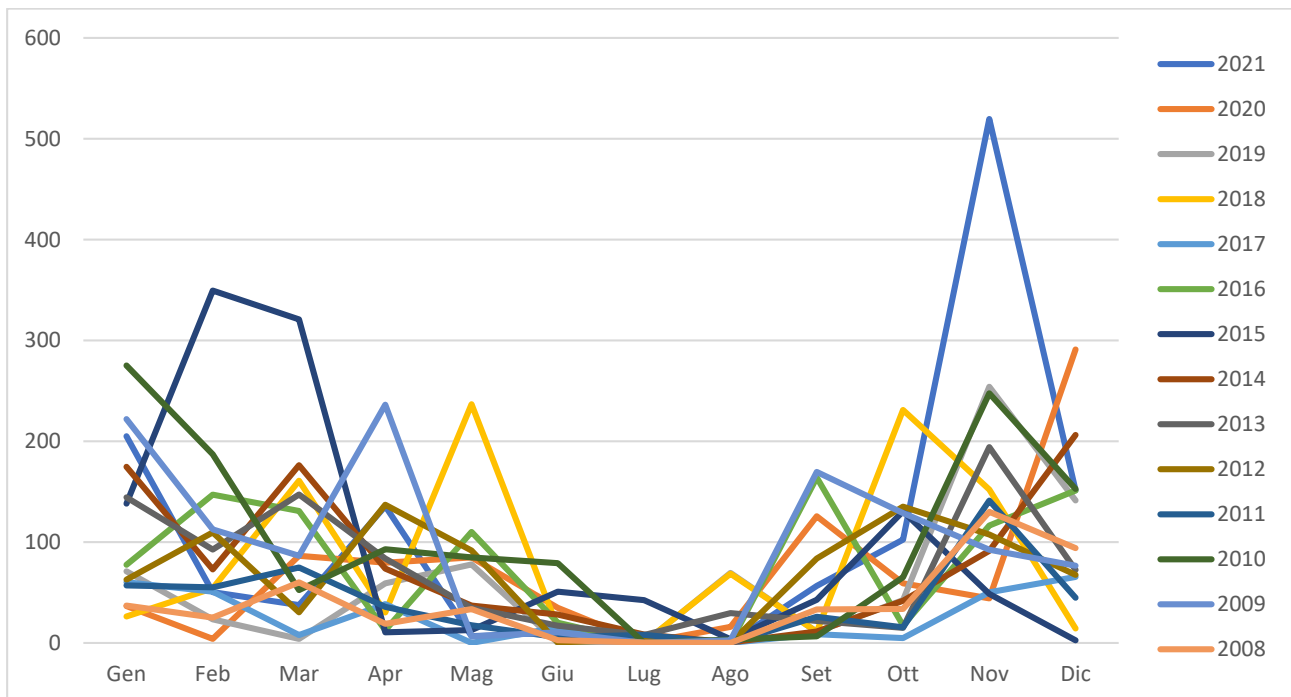


Tabella 2 - Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Teulada (anni 2011-2019-2020-2021), Domus de Maria (anno 2008), e Pula Is Cannoneris (anni 2009-2010-2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018).

L'andamento pluviometrico dell'area di Teulada 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. 2).

11.2 TEMPERATURE

I valori termometrici della stazione meteo di Teulada, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nel grafico di Tab.3 e sono relativi alla stazione di Domus de Maria (periodo 1995-2011 e anni 2013-2014-2015), e Pula Is Cannoneris (anni 2012 e periodo 2016-2021). La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2021, è di circa 16,13 °C. Il mese più freddo è Gennaio con una media di circa 8,7°C, mentre le temperature più elevate si riscontrano e Luglio e Agosto con circa 25,5 °C.

| Periodo | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2021 | 6,6 | 9,3 | 8,8 | 10,4 | 16,1 | 21,6 | 25,3 | 25,5 | 20,9 | 15 | 10,4 | 8,1 |
| 2020 | 8,1 | 9,6 | 10 | 12 | 16,5 | 18,8 | 23,8 | 24,7 | 19,2 | 13,8 | 12,4 | 7,7 |
| 2019 | 5,6 | 8,1 | 10,2 | 10,2 | 12,6 | 22,7 | 24,3 | 24,4 | 18 | 16,7 | 9,9 | 9,5 |
| 2018 | 9,1 | 5,7 | 9 | 14,1 | 14,8 | 19,5 | 24,5 | 22,4 | 20,8 | 15,9 | 11,4 | 9,3 |
| 2017 | 5,6 | 9,1 | 11,2 | 12,5 | 17,4 | 22,7 | 24,9 | 27 | 18,9 | 16,4 | 10,3 | 7 |
| 2016 | 8,3 | 8,8 | 8,7 | 14,2 | 14,7 | 20,5 | 24,4 | 23,5 | 19,6 | 17,2 | 12,1 | 9,3 |
| 2015 | 12,4 | 10,6 | 13,3 | 16,4 | 21,5 | 23,6 | 28,7 | 27,7 | 24,7 | 20,9 | 17,1 | 15,1 |
| 2014 | 13 | 13,4 | 13,1 | 16,4 | 18,7 | 24,4 | 25,5 | 26,7 | 25,3 | 22,5 | 18,5 | 13,5 |
| 2013 | 10,5 | 8,6 | 12,2 | 15 | 16,7 | 21 | 26,9 | 27,1 | 23,6 | 22,8 | 15,4 | 13,7 |
| 2012 | 6,6 | 4,1 | 10,8 | 11,6 | 15,4 | 22,9 | 24,8 | 26,7 | 19,8 | 16 | 12,2 | 7,9 |
| 1995-2011 | 10 | 10,4 | 12,1 | 14,7 | 18,6 | 22,7 | 25,5 | 25,7 | 22,2 | 19,1 | 14,6 | 11,4 |

Tabella 3 - Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Domus de Maria (periodo 1995-2011 e anni 2013-2014-2015), e Pula Is Cannoneris (anni 2012 e periodo 2016-2021).

Nel grafico di Tab.4 è illustrato l'andamento delle temperature medie mensili per il periodo 2005-2011 registrate nella stazione di Domus de Maria (periodo 1995-2011 e anni 2013-2014-2015), e Pula Is Cannoneris (anni 2012 e periodo 2016-2021).

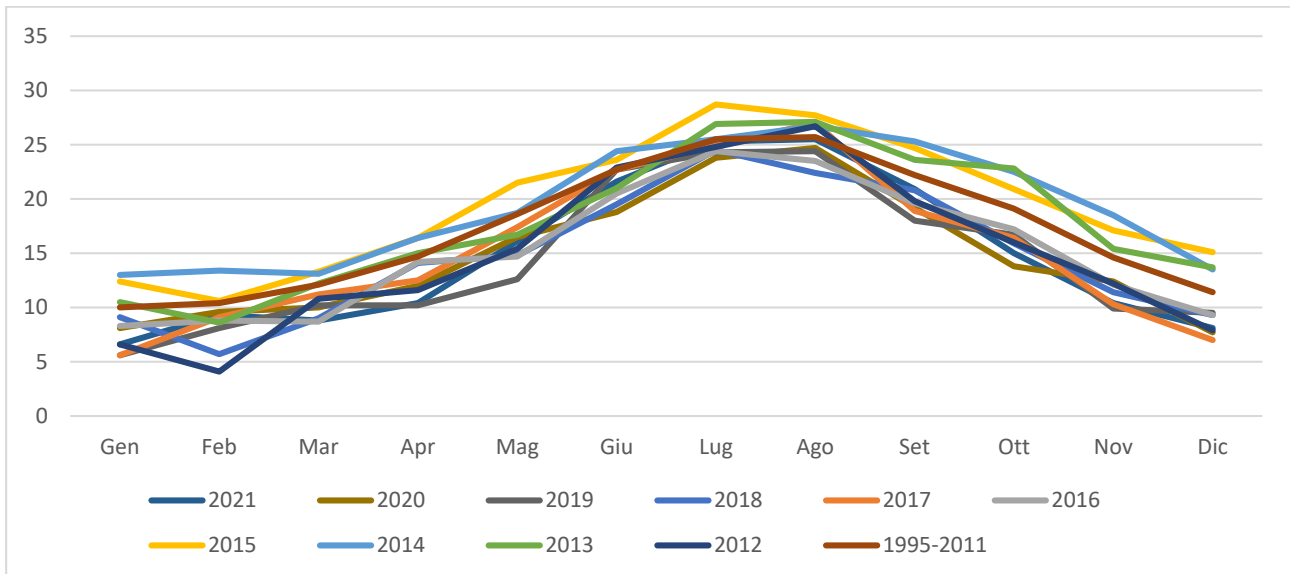


Tabella 4 - Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Domus de Maria (periodo 1995-2011 e anni 2013-2014-2015), e Pula Is Cannoneris (anni 2012 e periodo 2016-2021).

11.3. 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 42 e 43 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 (ET_o) stimata col metodo Hargreaves-Samani.

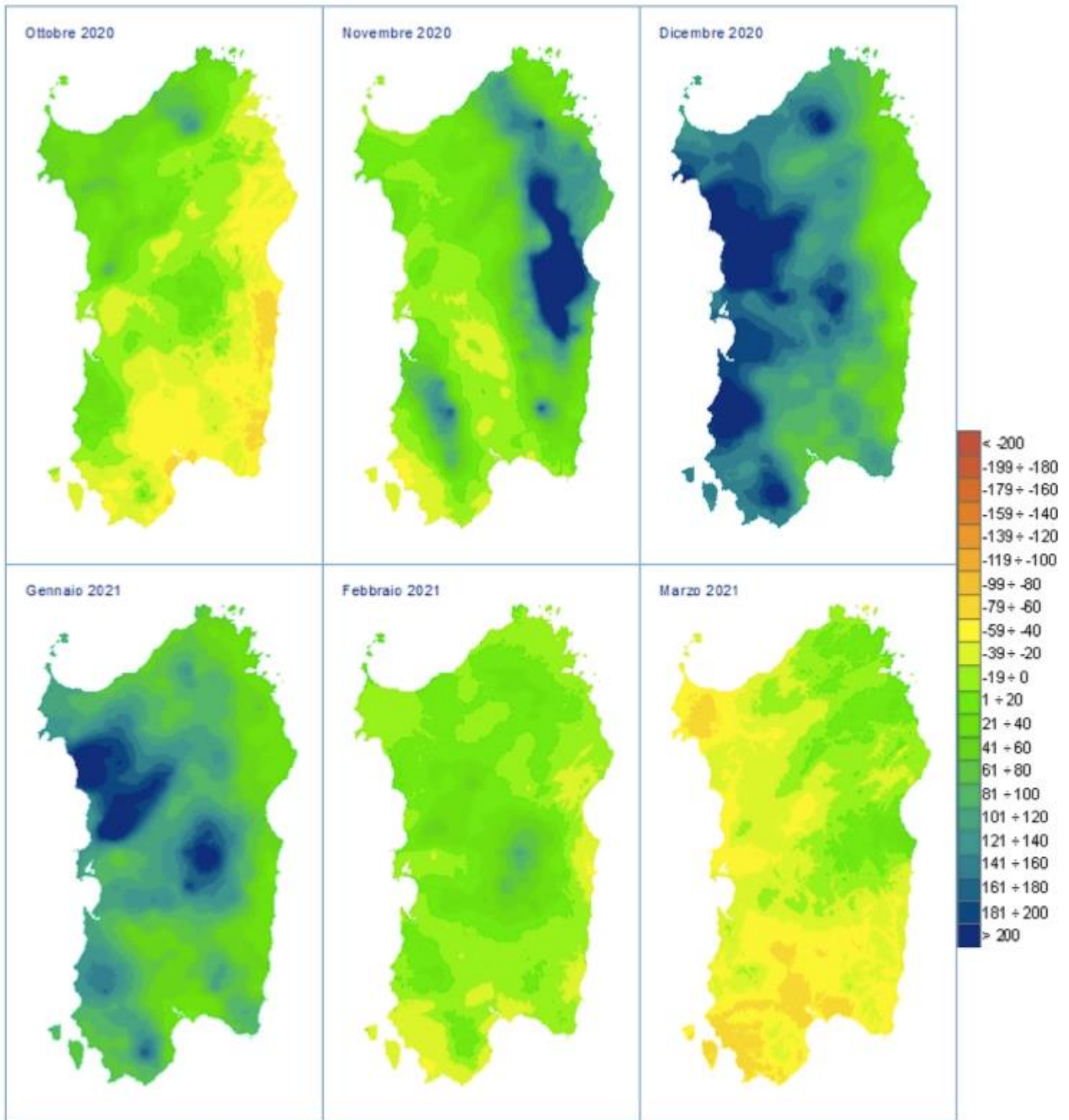


Figura 45 Bilancio idro-meteorologico per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 (espresso in mm).

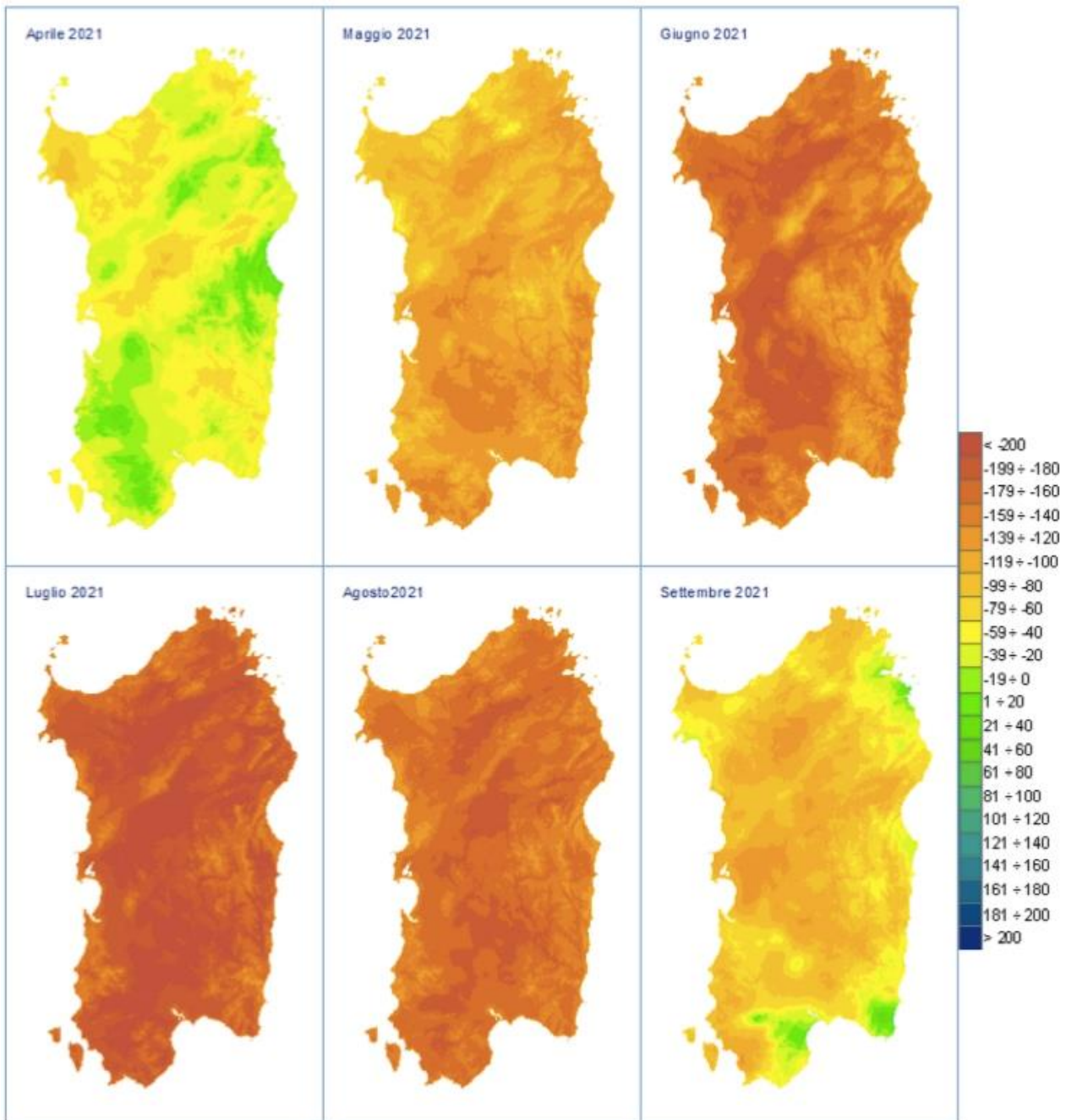


Figura 46 Bilancio idro-meteorologico per il periodo aprile 2021 – settembre 2021 (espresso in mm).

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 Febbraio e minimo a Luglio.

| Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 4,5 | 4,7 | 4,4 | 4,3 | 3,6 | 2,7 | 1,5 | 1,8 | 2,9 | 3,8 | 4,4 | 4,5 |
| coperto | coperto | coperto | coperto | coperto | coperto | sereno | sereno | sereno | coperto | coperto | coperto |

Tabella 7 - 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.

Dai Riepiloghi meteorologici reperibili presso il Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS si possono evincere le direzioni dominanti del vento nelle diverse stazioni dell'Isola, in particolare in Figura 43 è rappresentata la frequenza e la direzione del vento rilevata presso la stazione di Domus de Maria nel mese di giugno 2016.

Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, risulta che i venti provenienti dai quadranti settentrionali sono generalmente in netta dominanza, e per l'anno 2021 il più frequente è stato il maestrale, mentre dai quadranti meridionali lo scirocco (Figura 47).

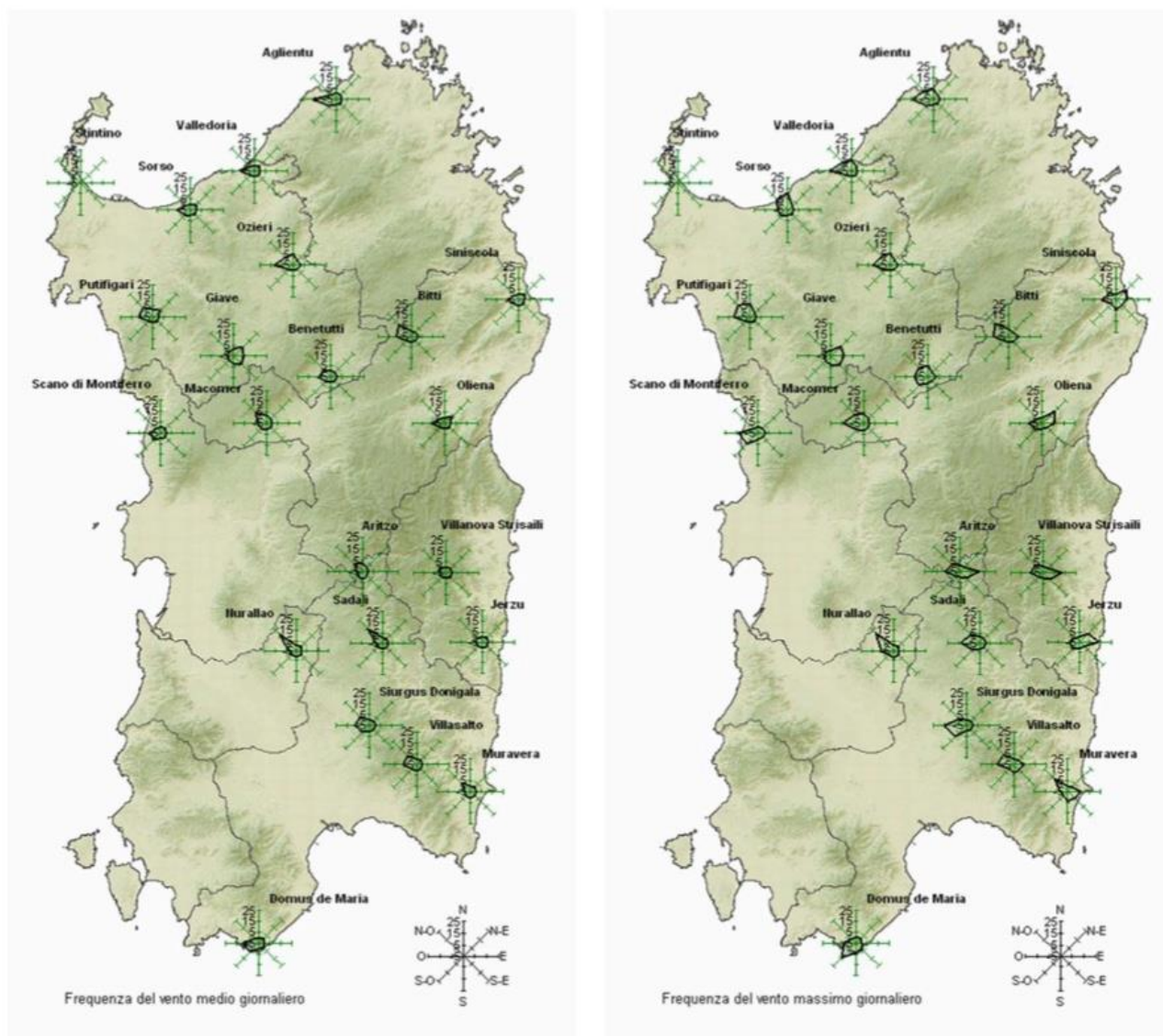


Figura 47 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata presso la stazione meteorologica di Teulada relativa nell'anno 2016 (mese giugno).

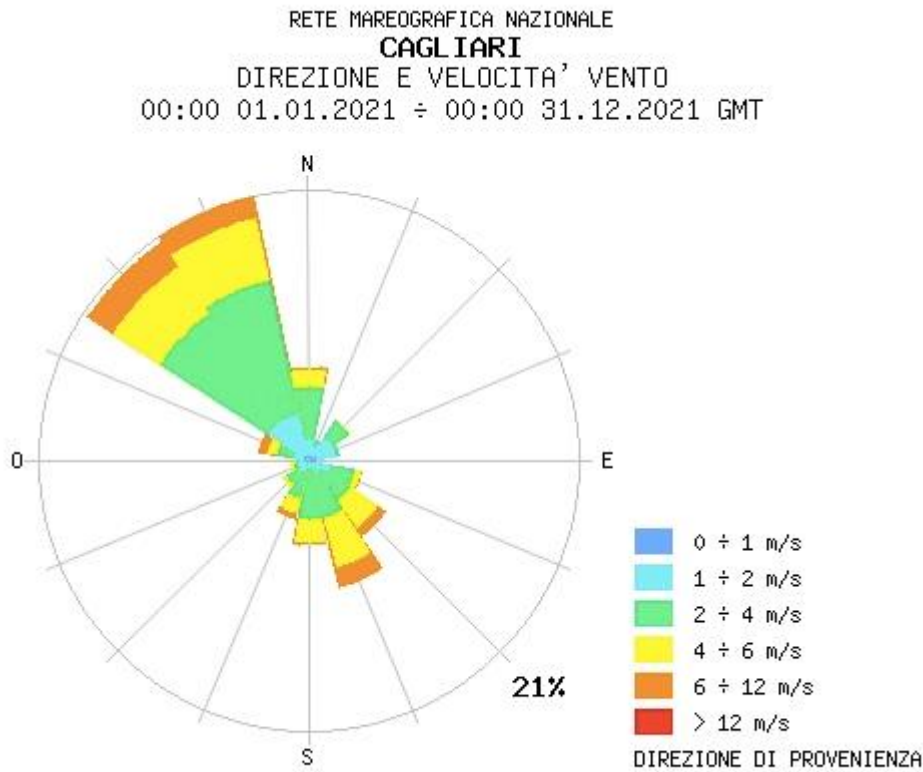


Figura 48 Ventosità media annuale per la stazione meteorologica di Cagliari relativa all'anno 2021.

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 diagramma di Figura 48, estratto dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, che riporta i valori dell'umidità relativa media mensile ed annuale della stazione di Cagliari per l'anno 2021, si nota che tale valore raggiunge valori più elevati nei mesi invernali (Ottobre-Marzo) e valori minimi nel mese di Luglio.

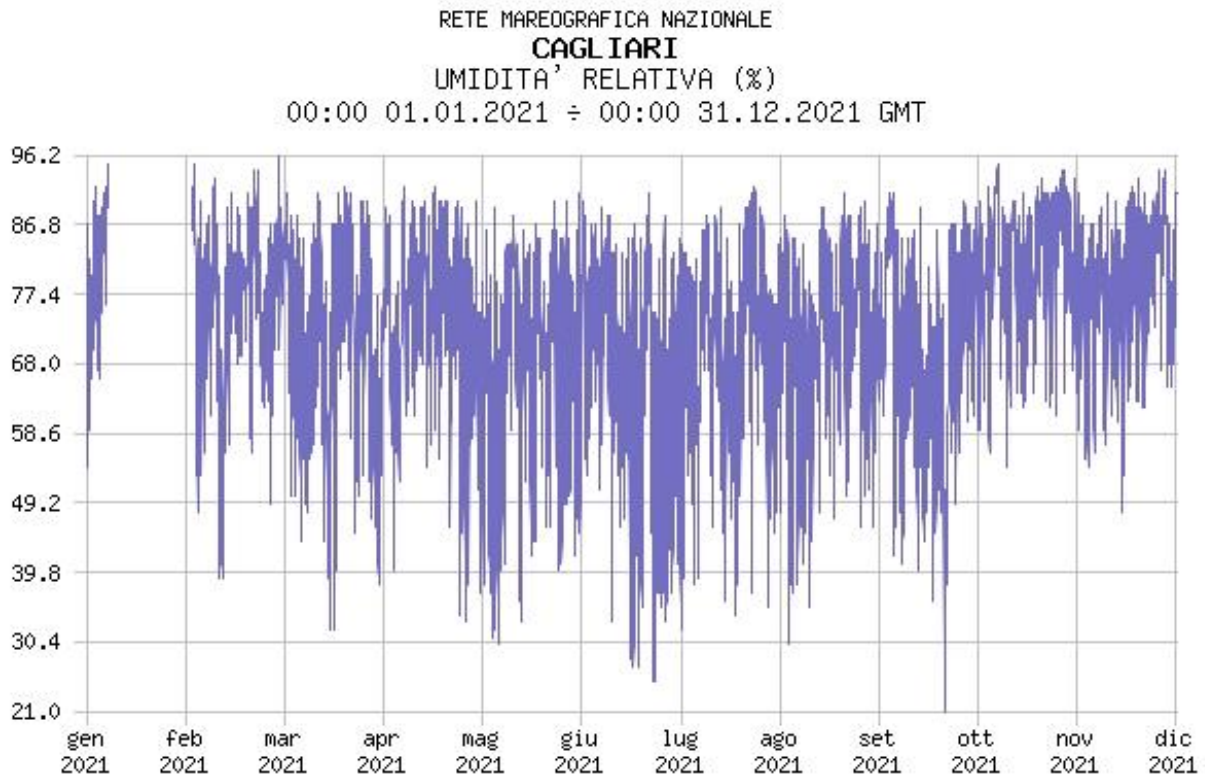


Figura 49 Umidità relativa per la stazione di Cagliari, per l'anno 2021.

Il diagramma ombrotermico elaborato per il settore di Teulada (Fig.49), 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.

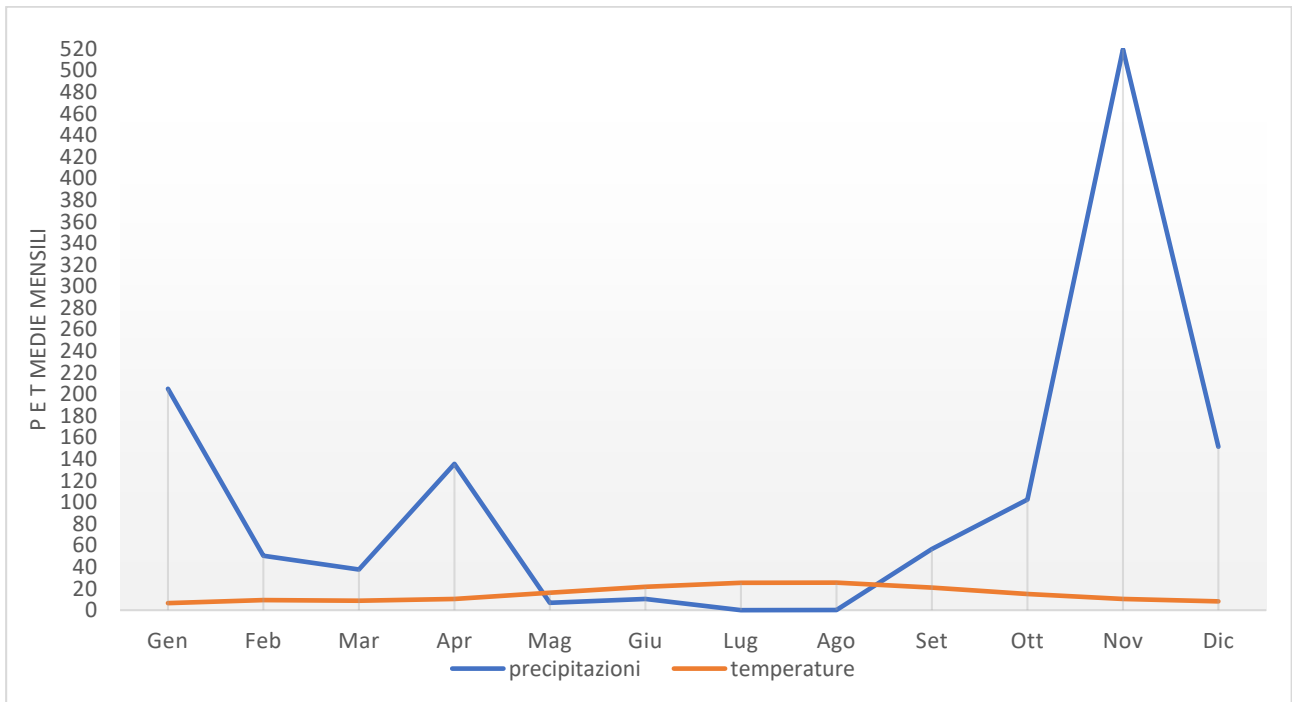


Figura 50 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Teulada (anno 2021).

Il clima è caratterizzato da un periodo caldo con scarsa piovosità e uno più freddo e piovoso. Nel grafico di Fig.50 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 Teulada come "mediterraneo con estate calda", nel quale la temperatura media annua (16 °C), per quattro mesi (Giugno-Settembre) supera i 21 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 650 mm annui.

Dal climogramma (Fig.51) realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 2012-2018 per l'area di Teulada, 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.

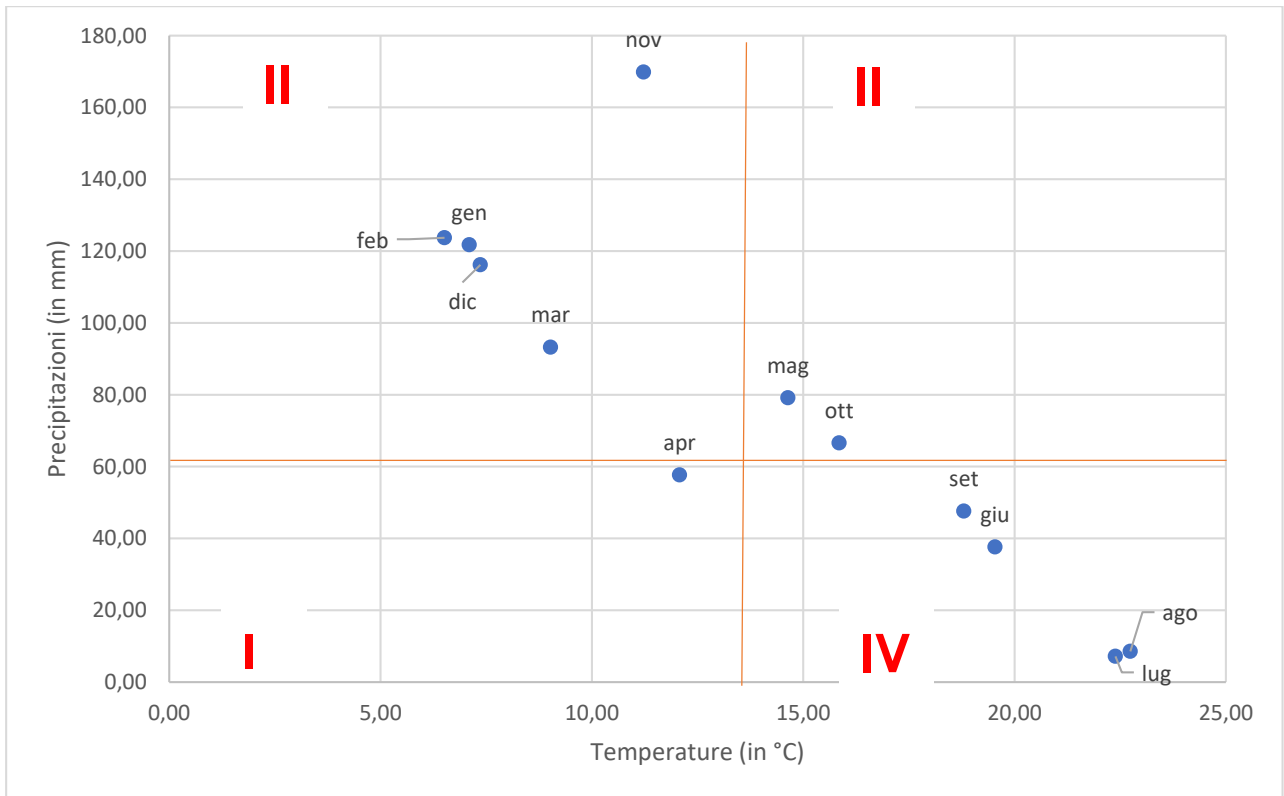


Figura 51 Climogramma relativo alla regione di Teulada.

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.

12. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

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

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

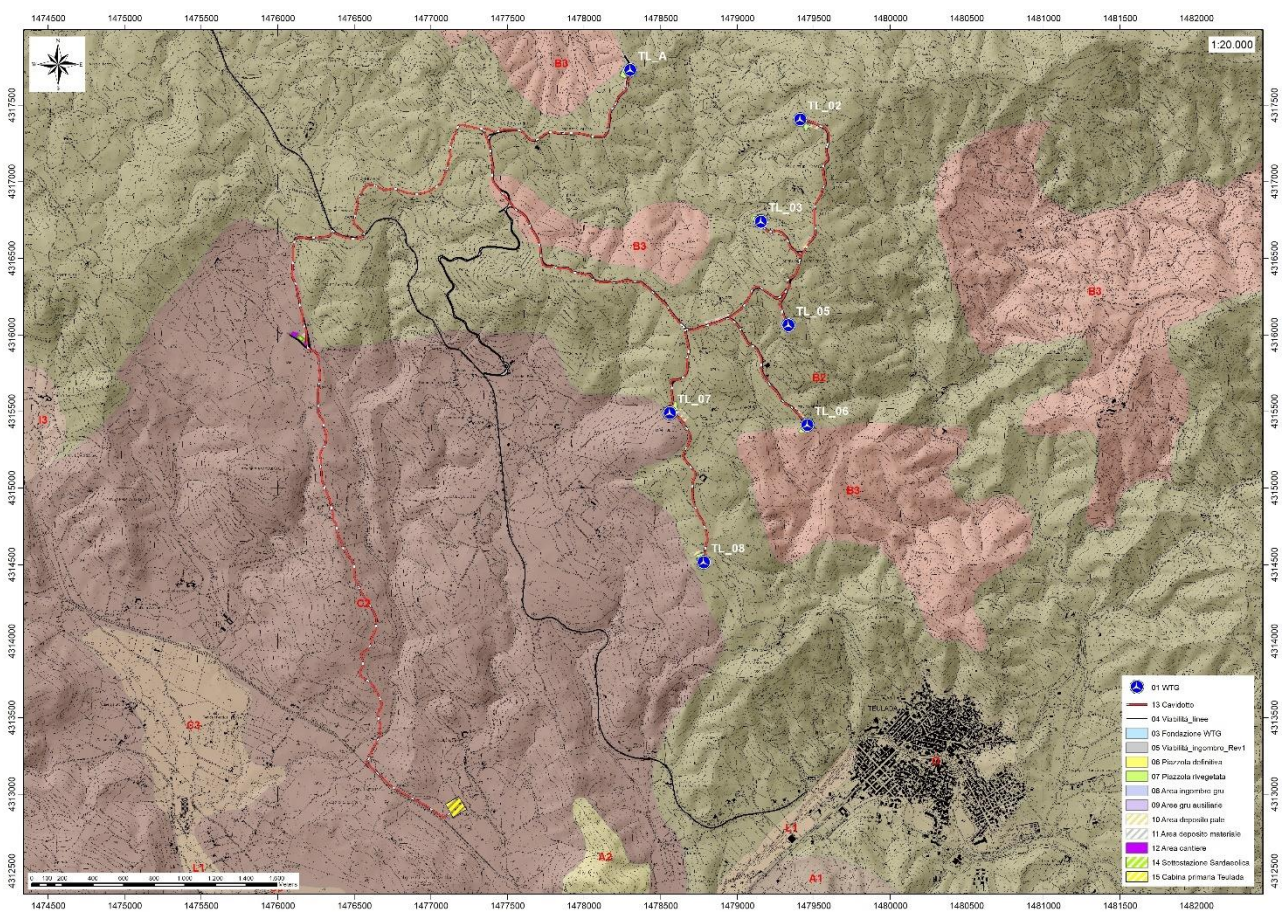


Figura 52 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

L'area di progetto su cui verranno installate le turbine ricade nei paesaggi su **"Metamorfiti (scisti, scisti arenacei, argillocisti, ecc.) del Paleozoico e relativi depositi di versante."** in **Aree con forme da aspre a subpianeggianti al di sotto degli 800-1000 m.** Tutte le turbine tranne la **TL_07** ricadono nel profilo **B2**, ovvero **"Profili A-C, A-Bw-C e subordinatamente roccia affiorante, da poco a mediamente"**

profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, subacidi, parzialmente desaturati."

La TL_07 ricade nel profilo C2, ovvero in "Profili A-C, A-Bw-C, roccia affiorante e subordinatamente suoli a profilo A-Bt-C, da poco a mediamente profondi, da sabbioso franchi a franco sabbioso argillosi, permeabili, da subacidi ad acidi, parzialmente desaturati."

13. USO DEL SUOLO

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico "Teulada" 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).

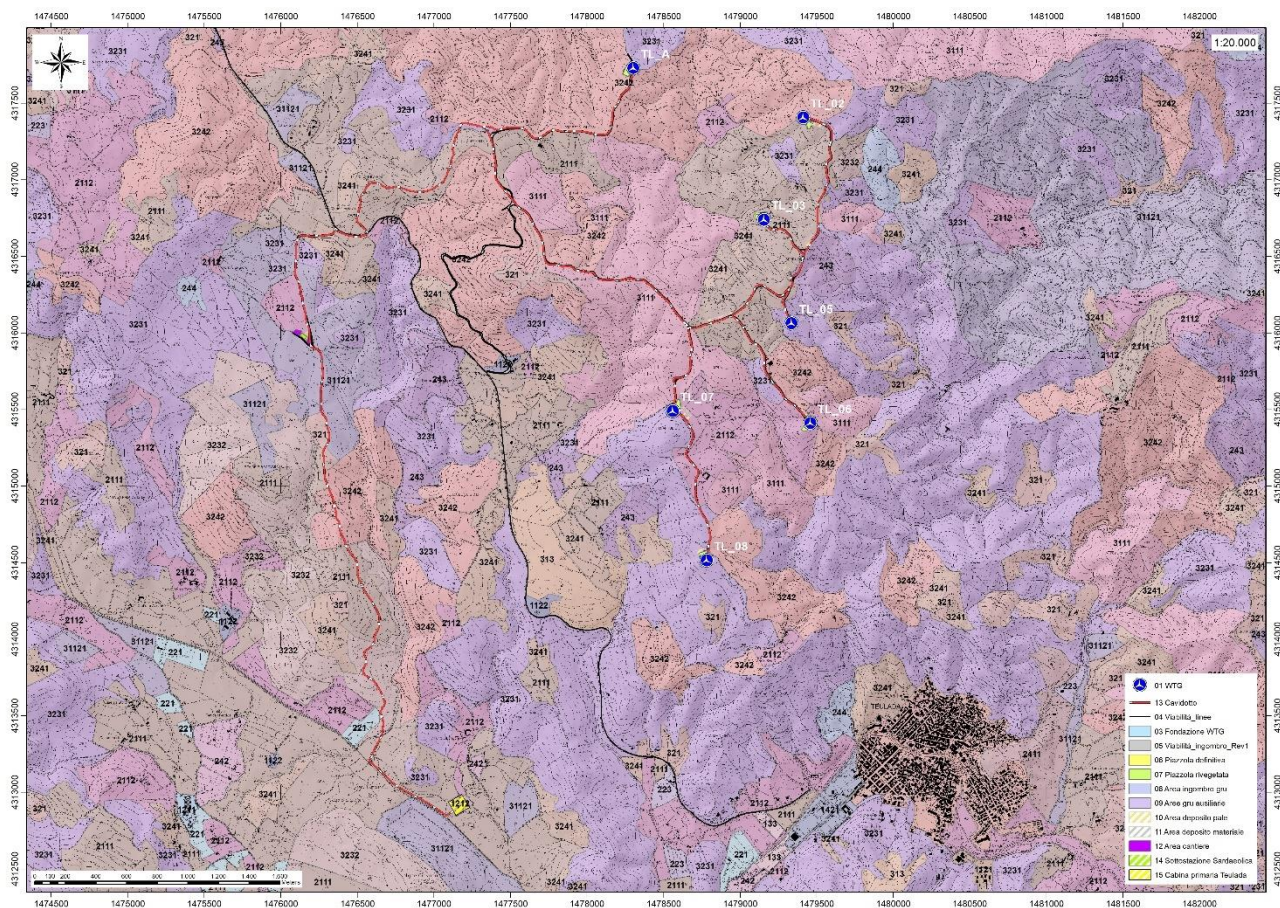


Figura 53 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

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

nel livello **3231**, classificato come "**Macchia Mediterranea**", ricadono le turbine TL_A, TL_05, TL_07, TL_08;

ricade nel livello **3242**, classificato come "**Aree a ricolonizzazione artificiale**", il punto di installazione della turbina TL_02;

ricade nel livello **2111**, classificato come "**SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE**", il punto di installazione della turbina TL_03;

ricade nel livello **2112**, classificato come "**Prati artificiali**", il punto di installazione della turbina TL_06;

14. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI

14.1 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 **Teulada**, con Deliberazione del Consiglio Comunale n. 1 del 13.02.2017, ha adottato un primo Studio di Compatibilità Idraulica del territorio comunale, eseguito ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione (NA) del PAI, così come aggiornate con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 121 del 10.11.2015, e in riferimento alla Circolare n. 1/2015, recante "Indirizzi interpretativi e procedurali relativi alle norme di attuazione del Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI)". Lo studio in questione è stato trasmesso alla Direzione generale Agenzia regionale del distretto idrografico della Sardegna (ADIS) – Servizio difesa del suolo, assetto

idrogeologico e gestione del rischio alluvione, con nota dell'Amministrazione Comunale n. 1548 del 20.02.2017, per l'approvazione a norma degli artt. 24 e 25 delle NTA del PAI.

Con nota prot. ADIS n. 8294 del 25.10.2017, l'Autorità di Bacino ha richiesto delle integrazioni emerse dall'esame istruttorio dello studio. Allo stesso tempo, con il D.P.R. n. 35 del 27.04.2018, pubblicato sul BURAS n. 23 del 03.05.2018, e con la Deliberazione di Giunta Regionale n. 13/12 del 13.03.2018, che recepisce la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 27.02.2017, sono state approvate importanti modifiche e integrazioni alle Norme di Attuazione del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico.

Pertanto, il presente studio tiene conto sia delle integrazioni richieste dall'ADIS sia degli aggiornamenti normativi alle stesse N.A del PAI (Testo Coordinato, febbraio 2018), a cui ha fatto seguito l'emanazione della nuova Circolare n. 1/2019, recante "Indirizzi interpretativi e procedurali relativi alle norme di attuazione del Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI)", approvata con Deliberazione n. 2 del 19.02.2019, che chiarisce tutte le novità normative e fornisce ulteriori e più dettagliate indicazioni metodologiche per la predisposizione degli elaborati cartografici.

L'area di progetto è compresa nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica del PAI.

In particolare:

- La TL_A ricade in aree perimetrate Hg1
- La TL_02 ricade parzialmente in aree perimetrate Hg1
- La TL_03 ricade in aree perimetrate Hg0
- La TL_05 ricade parzialmente in aree perimetrate Hg2
- La TL_06 ricade in aree perimetrate Hg2
- La TL_07 ricade in aree perimetrate Hg0
- La TL_08 ricade in aree perimetrate Hg2

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità idraulica non risulta che nel territorio comunale di Teulada siano presenti settori perimetrati da pericolosità legata a fenomeni idraulici o aree interessate da fenomeni di esondazione naturali.

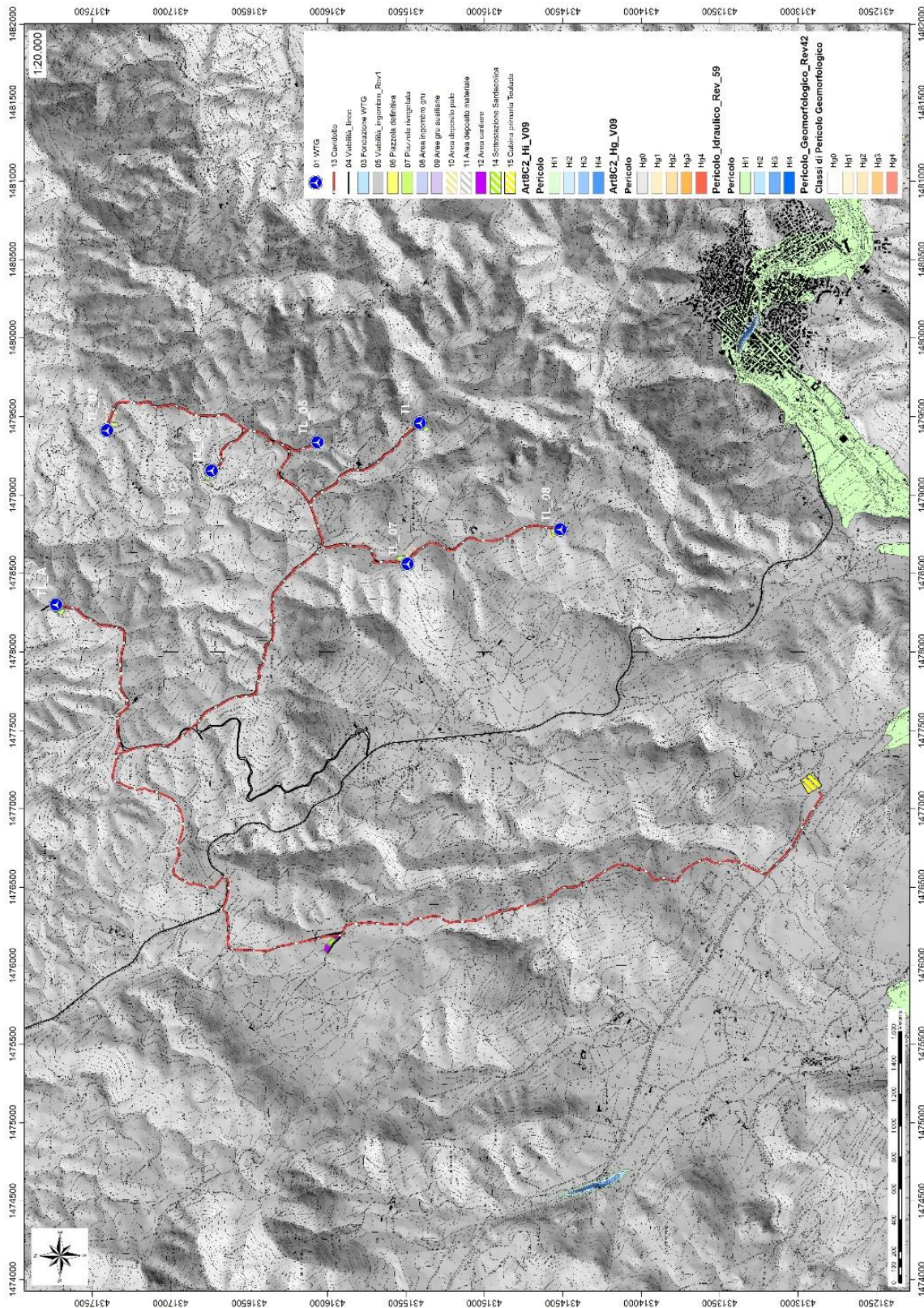


Figura 54 Pericolosità geomorfologica PAI.

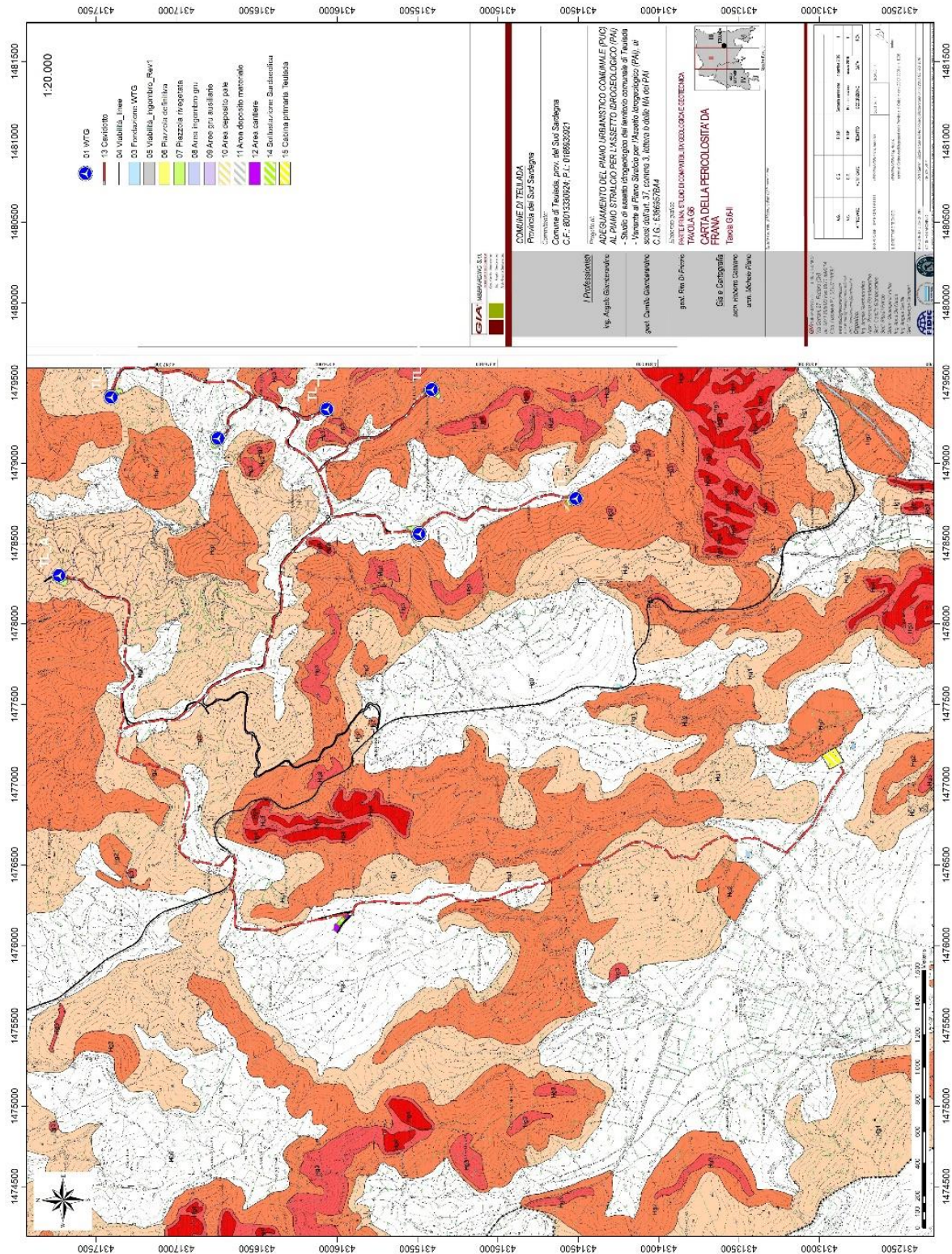


Figura 55 Pericolosità da frana PAI aggiornata al 2021

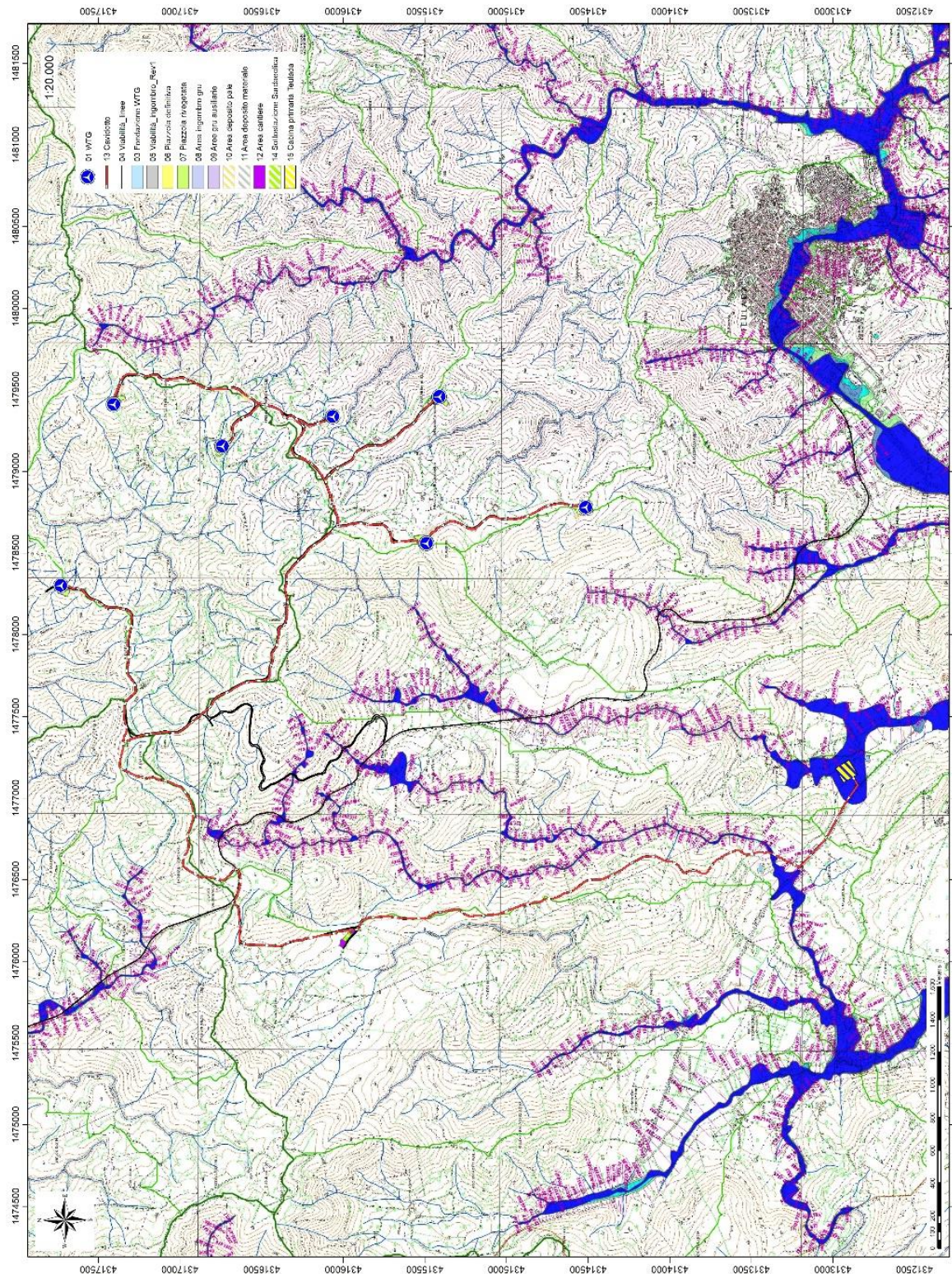


Figura 56 Pericolosità idraulica PAI aggiornata al 2021

14.2 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 nelle immediate vicinanze dell'area di interesse.

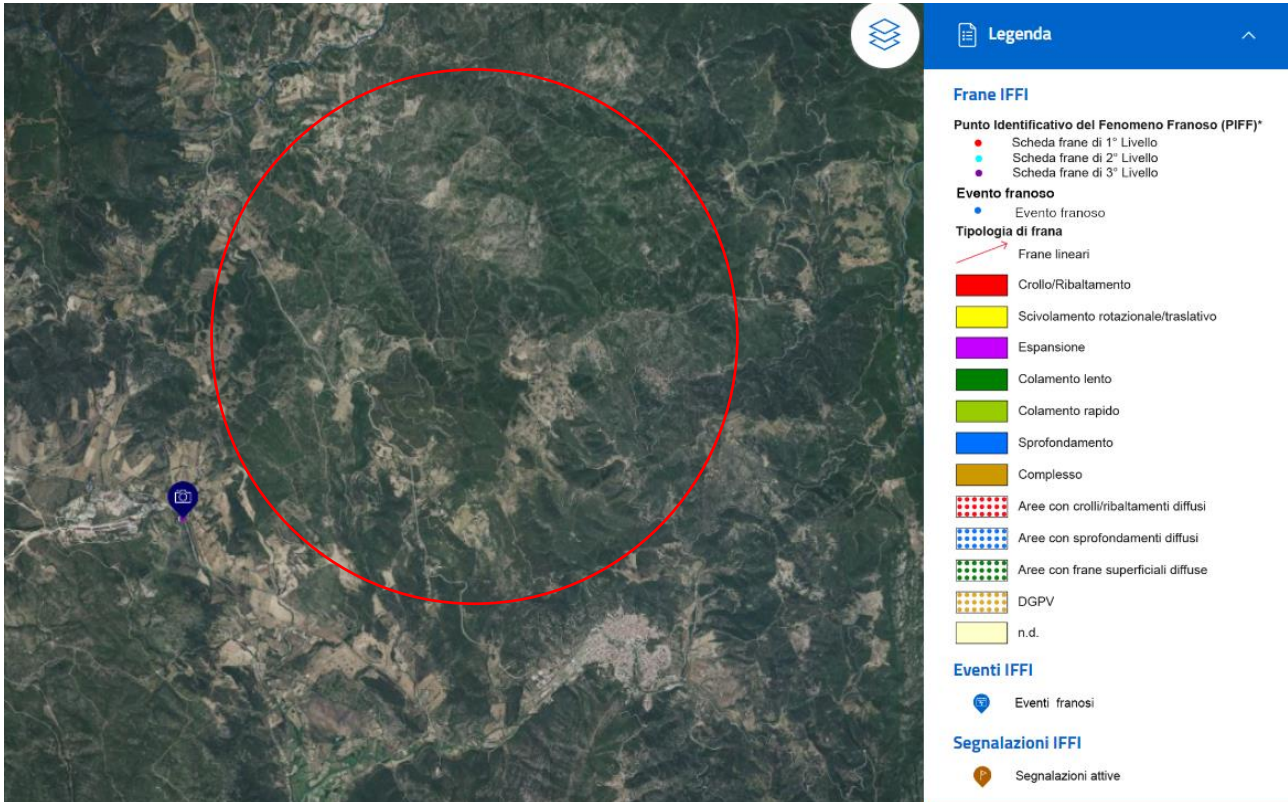


Figura 57 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

14.3 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 **Teulada** non sono presenti aree perimetrate dal **P.S.F.F.**

L'area di progetto non è compresa nelle perimetrazioni del PSFF.

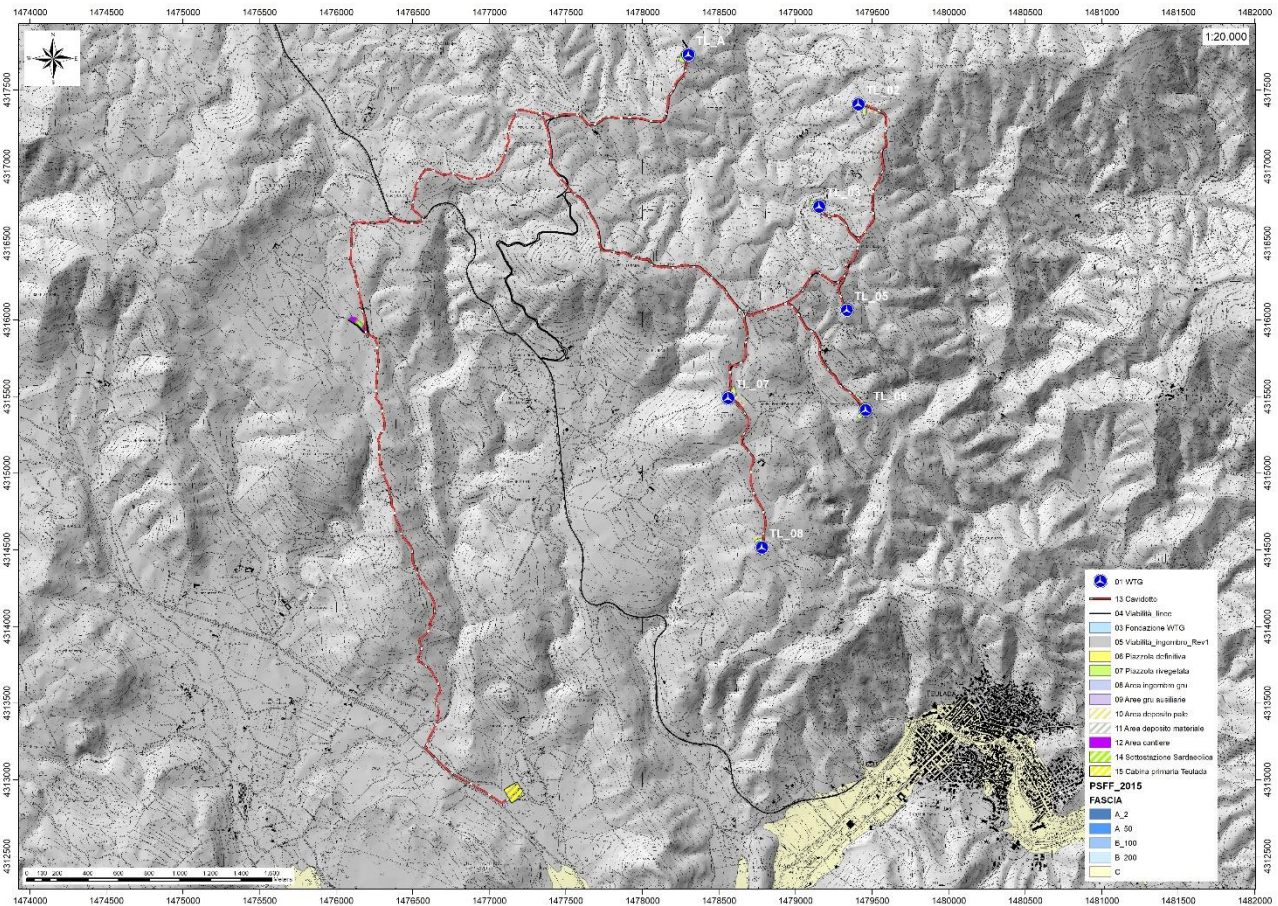


Figura 58 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF

14.4 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.

Il territorio in studio non risulta essere interessato da perimetrazioni per rischio alluvioni.

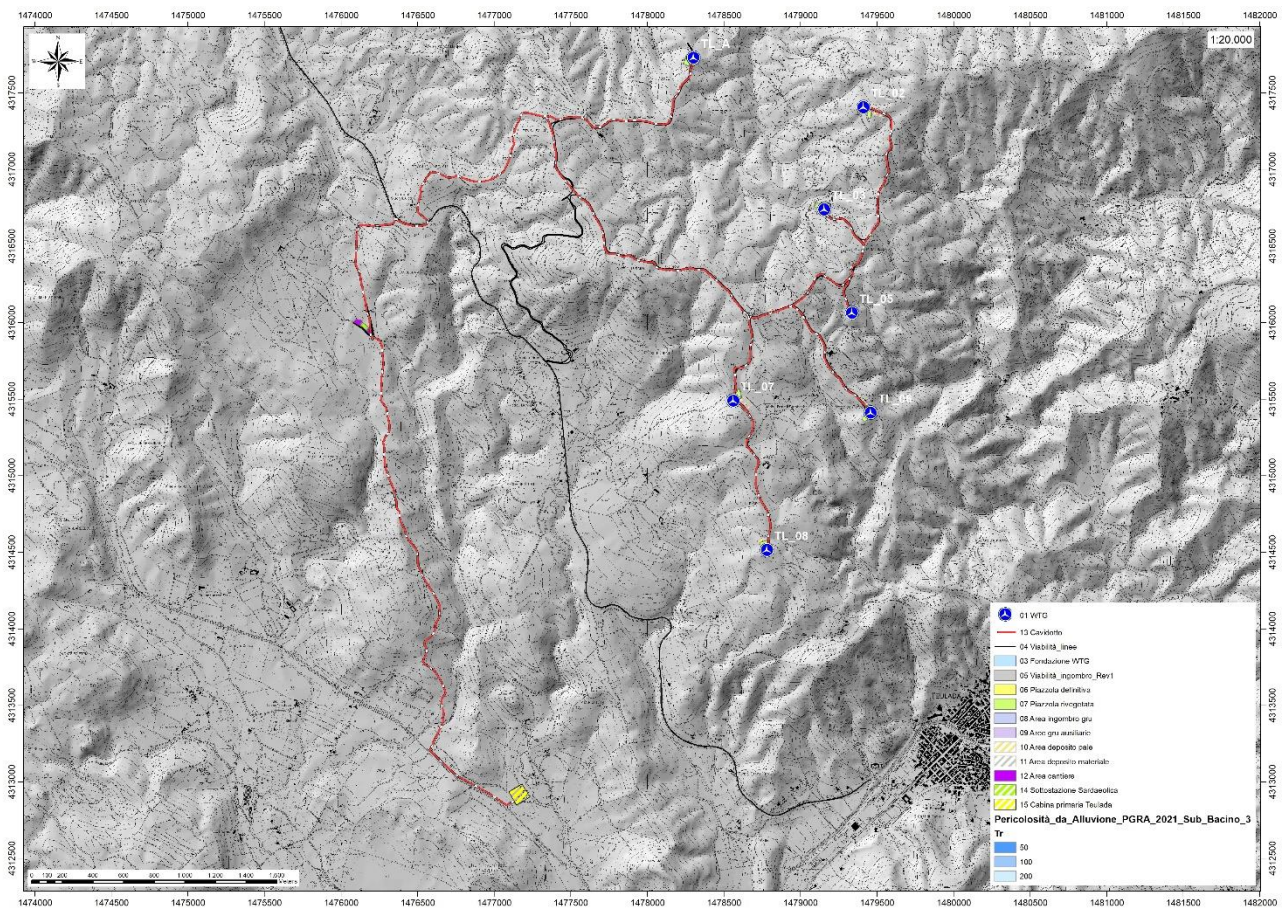


Figura 59 Stralcio perimetrazione PGRA aggiornata al 2021.

14.5 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 approvato e vigente in quanto ancora in fase di istruttoria presso l'ADIS, 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."

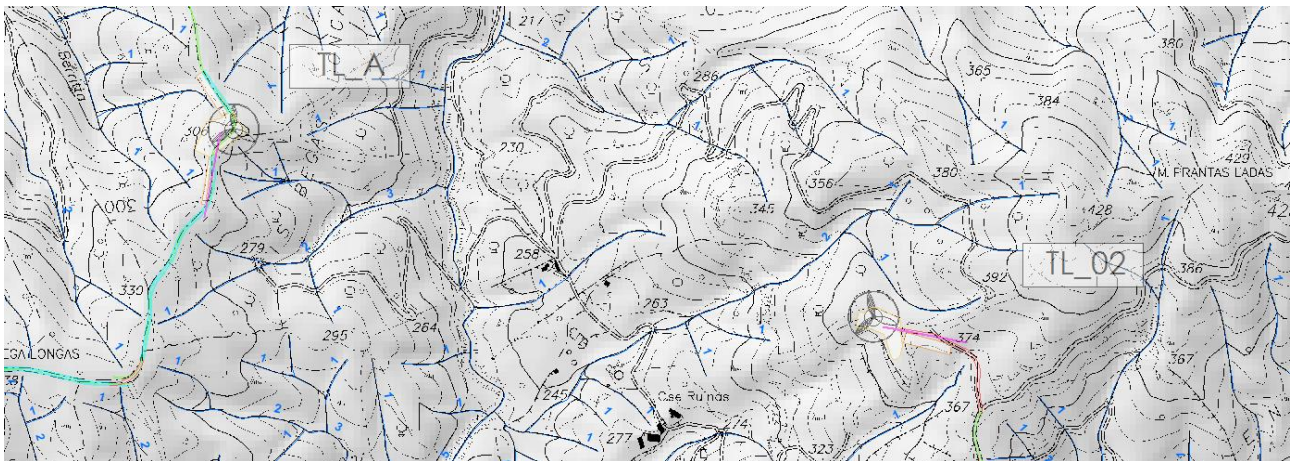


Figura 60 Stralcio corsi d'acqua numerati secondo l'ordine di Strahler in prossimità delle TL_A e TL_02

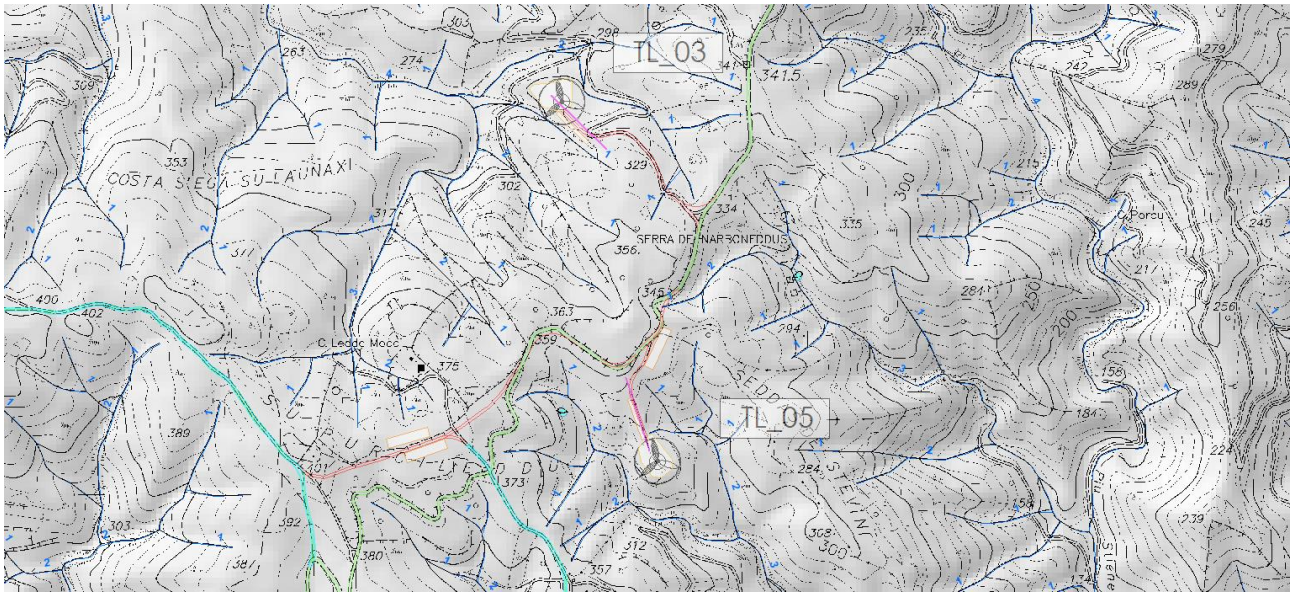


Figura 61 Stralcio corsi d'acqua numerati secondo l'ordine di Strahler in prossimità delle TL_03 e TL05

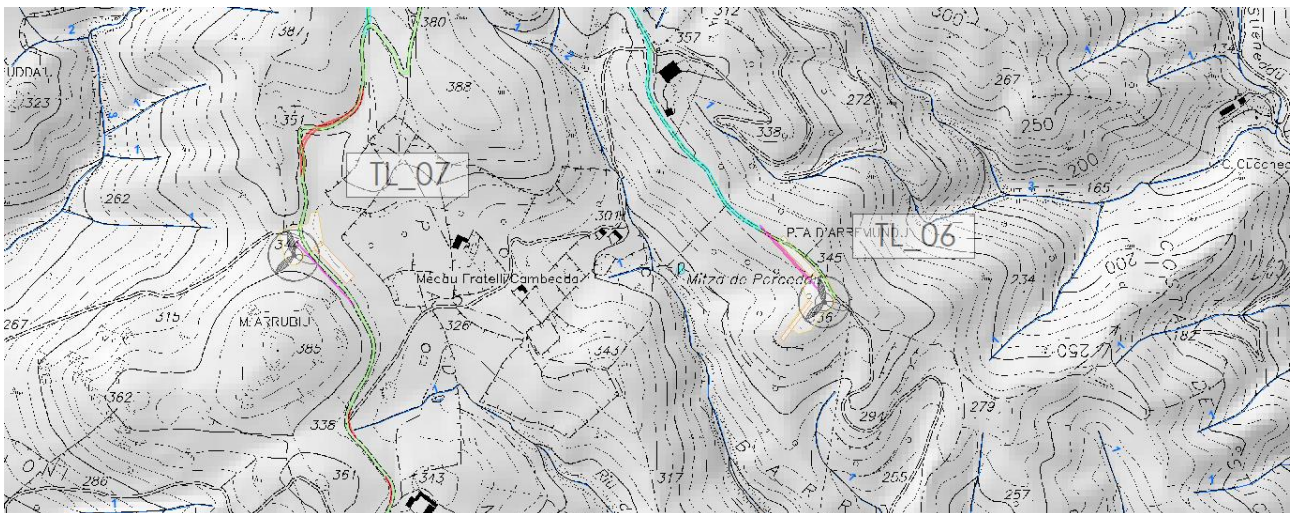


Figura 62 Stralcio corsi d'acqua numerati secondo l'ordine di Strahler in prossimità delle TL_06 e TL07

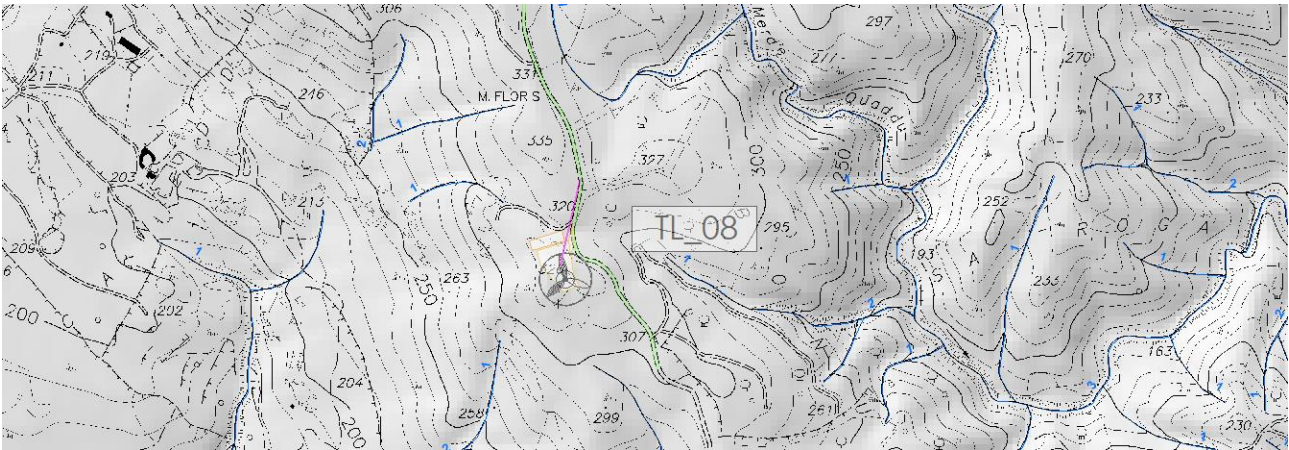


Figura 63 Stralcio corsi d'acqua numerati secondo l'ordine di Strahler in prossimità della TL_08

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** 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, in tal caso si rende necessario verificare la portata dell'impluvio e ristabilire, se necessario, la connessione a valle mediante opportuni attraversamenti.

15. MODELLAZIONE GEOLOGICA

15.1. 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, e 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:

- Resistenza a compressione monoassiale (*Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS*) stimata su base empirica (Fig.56) e su valori di Point Load.
- 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. 57) o sulla base di un controllo diretto con l'indice *RMR* della classificazione di Bieniawski.
- Determinazione della costante m_i (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_{ci} e m_i) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig.58, che riassume i valori della costante m_i per diversi tipi di roccia.

| 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, grandiorite calcare, marna riolite, tufi |
| R4 | Resistenza elevata | 50-100 | 2-4 | Un campione richiede più di un martello geologico per essere fratturato | Calcarea, 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 | Calcarea 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 64 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

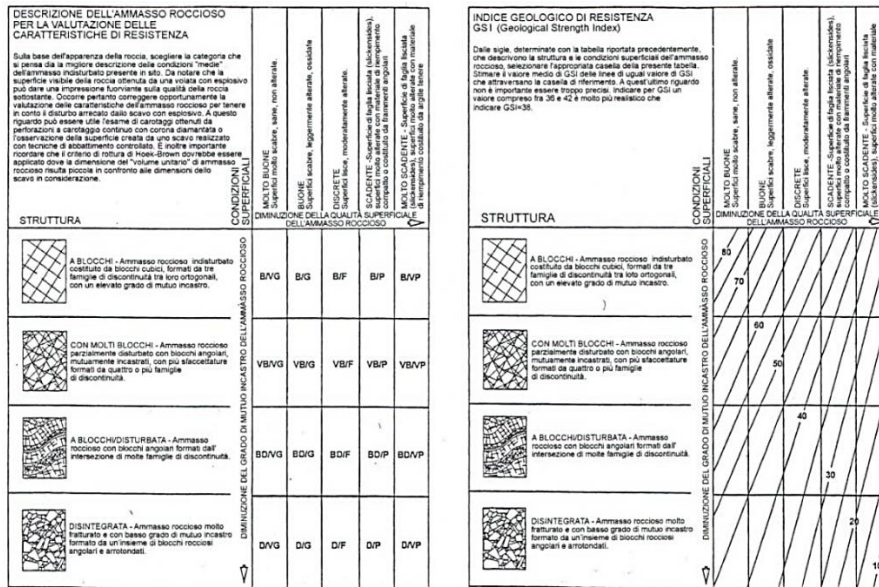


Figura 65 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

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

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

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

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

| TIPO DI ROCCIA | CLASSE | GRUPPO | TESSITURA | | | |
|------------------------|---------------------|--------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------|
| | | | GROSSOLANA | MEDIA | FINE | MOLTO FINE |
| SEDIMENTARIE | Clastiche | | Conglomerato (22) | Arenaria 19 Grovacche (18) | Siltite 9 | Argillite 4 |
| | Non clastiche | Organogene | | Calcare bianco (7) Carbone (8-21) | | |
| | | 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) |
| | Scure | | Granodiorite (30) | | Dacite (17) | |
| | | | Diorite (28) | | Andesite 19 | |
| | | | Gabbro 27 | Dolerite (19) | Basalto (17) | |
| Effusive piroclastiche | | Norite 22 | 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_i sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

Figura 66 Valori della costante m_i 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 di nr. **3 tipologie** tra le litologie che caratterizzano le formazioni presenti, due delle quali appartenenti alla **Formazione di Nebida**, e una appartenente alla **Formazione di Gonnese**.

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.

| <p>Criterio di rottura empirico</p> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{u(r)}\sigma_3 + s\sigma_{u(r)}^2}$ <p>σ_1 = tensione efficace principale massima σ_3 = tensione efficace principale minima $\sigma_{u(r)}$ = resistenza a compressione monoassiale m ed s: costanti empiriche</p> | COSTANTI DEL MATERIALE: m, s | ROCCE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO <i>Dolomite, calcare e marmo.</i> | ROCCE ARGILLOSE LITIFICATE <i>Argille, siltite, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</i> | ROCCE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE <i>Arenarie e quarzite</i> | ROCCE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE <i>Andesite, dolerite, diabase e riolite</i> | ROCCE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCE CRISTALLINE METAMORFICHE <i>Amfibolite, gabbro, gneiss, norite, quarzo-diorite</i> |
|---|------------------------------|--|--|---|--|--|
| <p>CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa) Indice CSIR: RMR = 100 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 Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m Indice CSIR: RMR = 65 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 Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m. Indice CSIR: RMR = 65 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 Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m. Indice CSIR: RMR = 44 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 Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata. Indice CSIR: RMR = 23 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 Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine. Indice CSIR: RMR = 3 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 67 Correlazione fra valori di m, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

Di seguito si riportano gli schemi di analisi degli ammassi rocciosi e i relativi diagrammi di Mohr - Coulomb:

Formazione di Nebida

Standard ISRM = R4 Un campione richiede pochi colpi di martello per essere fratturato

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= da mediamente fratturato a molto fratturato

Struttura= scistosa

Alterazione= mediamente alterata

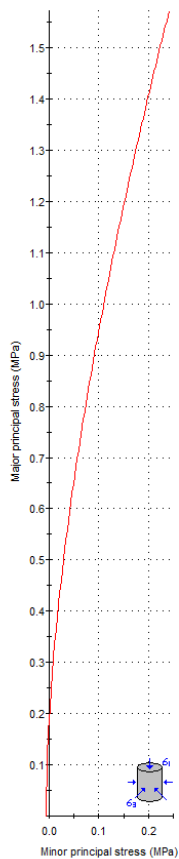
Spaziatura totale delle discontinuità (s)=0,1 m

Lunghezza media del giunto = >3 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – asciutta

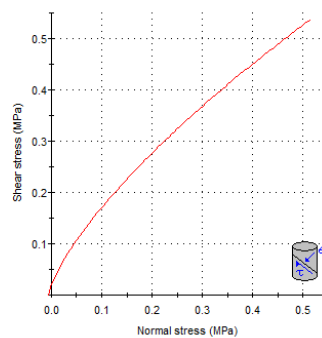


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 138 MPa
 GSI = 25 mi = 19 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.090 s = 3.73e-6 a = 0.531

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.075 MPa friction angle = 43.52 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.006 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.180 MPa
 global strength = 4.438 MPa
 modulus of deformation = 1185.69 MPa



Formazione di Nebida (alterata)

Standard ISRM = La punta lascia dei buchi, lastre sottili si rompono con forti pressioni delle mani

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= molto fratturato e alterato

Struttura= scistosa

Alterazione= spinta

Spaziatura totale delle discontinuità (s)= >0,1 m

Lunghezza media del giunto = >3 m

Pareti – molto alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – umida

Hoek-Brown Classification

sgci 36 MPa
 GSI 19
 mi 16
 D 1

Hoek-Brown Criterion

mb 0.049
 s 1.37e-6
 a 0.547

Failure Envelope Range

Application: Slopes
 sig3max 0.2059 MPa
 Unit Weight 0.026 MN/m3
 Slope Height 10 m

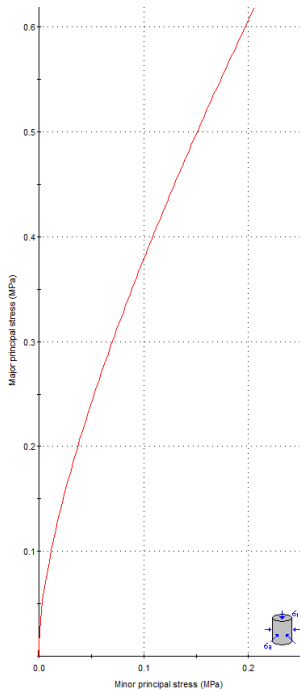
Mohr-Coulomb Fit

c 0.030 MPa
 phi 26.99 deg

Rock Mass Parameters

sigt -0.0010 MPa
 sigc 0.022 MPa
 sigcm 0.748 MPa
 Em 503.64 MPa

Copy Data



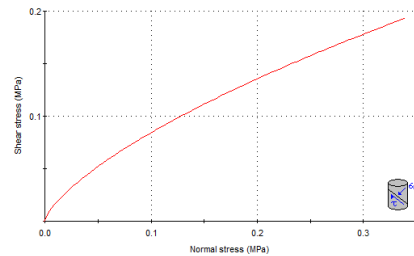
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 36 MPa
 GSI = 19 mi = 16 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.049 s = 1.37e-6 a = 0.547

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.030 MPa friction angle = 26.99 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.001 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.022 MPa
 global strength = 0.748 MPa
 modulus of deformation = 503.64 MPa



Formazione di Gonnese

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

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= irregolare

Struttura= massiccia

Alterazione= mediamente alterata

Spaziatura totale delle discontinuità (s)=0,5m

Lunghezza media del giunto = 1,0 m

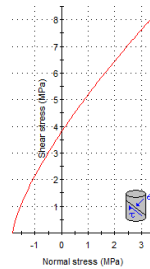
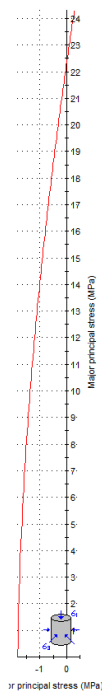
Apertura del giunto = 1 - 40mm

Giunto – rugoso ondulato classe IV

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto/ assente

Roccia – asciutta



Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 100 MPa
 GSI = 75 m = 9 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 1.509 s = 0.0155 a = 0.501

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 3.640 MPa friction angle = 54.89 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -1.849 MPa
 uniaxial compressive strength = 22.328 MPa
 global strength = 33.535 MPa
 modulus of deformation = 21084.83 MPa

15.2. 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:

15.2.1. MODELLO GEOLOGICO 01 – TL_A, TL_02, TL_03, TL_05, TL_06, TL_08

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati degli stendimenti geofisici M-1 e M-2 e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-1" e "Scanline-2".

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo di circa 2,5m si incontra un livello superficiale di roccia alterata dallo spessore di circa 1,5m, il sottostante substrato litoide costituito da uno spessore di circa 5 m di siltiti con intercalazioni di arenarie, arenarie quarzose, quarzo-areniti ed arcosi a grana fine alterate della Formazione di Nebida.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta fratturata. La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,1m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è evidente però quando queste, talvolta subortogonali tra loro, intersecandosi tendano a dividere l'ammasso in blocchi dalle dimensioni talvolta metriche.

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.

Dall'analisi giaciturale delle discontinuità, in questo caso particolare, se si dovessero preservare le condizioni dell'ammasso roccioso rilevato, si dovrebbe tener conto delle criticità elencate all'inizio del capitolo, nelle pareti poste a W e a S per quanto riguarda scivolamenti planari e crolli/ribaltamenti.

| | |
|-----------------|---|
| 00.00m - 2.50m | S1 - Terre di copertura (suolo/depositi eluvio-colluviali) |
| 02.50m - 4.00m | S2 - Alternanze di metamorfiti: Siltiti, arenarie, arenarie quarzose alterate e molto alterate |
| 04.00m - 9,00m | S3 - Alternanze di metamorfiti: Siltiti, arenarie, arenarie quarzose alterate alterate e molto fratturate |
| 09,00m - 18,00m | S4 - Substrato roccioso da debolmente a fratturato |
| 18,00m - 24,00m | S5 - Substrato roccioso da debolmente fratturato a sano |
| 24,00m - 32,00m | S6 - Substrato roccioso sano |

| Teulada - MODELLO GEOLOGICO 01 (TL_A, TL_02, TL_03, TL_05, TL_06, TL_08) | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| Dati Parametri Resistenza | | | | | | | |
| Tipo di Terreno | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
| Descrizione | | | | | | | |
| Peso di volume | [kg/mc] | 1600 | 1700 | 1800 | 1950 | 2000 | 2100 |
| Peso di volume saturo | [kg/mc] | 1700 | 1800 | 1900 | 1950 | 2000 | 2100 |
| Angolo di attrito interno* | [°] | 24 | 26 | 28 | 35 | 40 | 45 |
| Coesione* | [Mpa] | 0,016 | 0.030 | 4.52 | 6.68 | 12.30 | 16.87 |
| Dati Parametri Deformabilità | | | | | | | |
| Modulo elastico | [Mpa] | 91 | 109 | 190 | 562 | 1177 | 4587 |
| Coefficiente di Poisson | [] | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Modulo di taglio (G) | [Mpa] | 284 | 412 | 716 | 1402 | 2207 | 6884 |
| Velocità onde di taglio Vs | [m/sec] | 420 | 490 | 630 | 860 | 1050 | 1810 |

*Valori ottenuti per via empirica variando i parametri su RocData in relazione alla profondità e ai parametri misurati con l'indagine geofisica.

15.2.2. MODELLO GEOLOGICO 02 –TL_07.

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico M-3 e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-3"

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo di circa 2,7m si incontra un livello superficiale di roccia alterata dallo spessore di circa 2m, il sottostante substrato litoide costituito da leucograniti fratturati, con grado di fratturazione che diminuisce all'aumentare della profondità della Formazione di Villacidro.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta fratturata. La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,1-0.5m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è evidente però quando queste, talvolta subortogonali tra loro, intersecandosi tendano a dividere l'ammasso in blocchi dalle dimensioni talvolta metriche.

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.

Dall'analisi giaciturale delle discontinuità, in questo caso particolare, se si dovessero preservare le condizioni dell'ammasso roccioso rilevato, si dovrebbe tener conto delle criticità elencate all'inizio

del capitolo, nelle pareti poste a W e a S per quanto riguarda scivolamenti planari e crolli/ribaltamenti.

- 00.00m - 2.70m S1 - Terre di copertura (suolo/depositi eluvio-colluviali/alterazione dei graniti-sabbione)
 02.70m - 4.50m S2 - Substrato roccioso molto alterato
 04.50m - 13.00m S3 - Substrato roccioso alterato e molto fratturato
 13.00m - 18.00m S4 - Substrato roccioso da debolmente a fratturato
 18.00m - 32.00m S5 - Substrato roccioso da debolmente fratturato a sano
 24.00m - 32.00m S6 - Substrato roccioso sano

| Teulada - MODELLO GEOLOGICO 01 (TL_A, TL_02, TL_03, TL_05, TL_06, TL_08) | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|------|------|------|--------|
| Dati Parametri Resistenza | | | | | | | |
| Tipo di Terreno | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
| Descrizione | | | | | | | |
| Peso di volume | [kg/mc] | 1600 | 1700 | 1800 | 1950 | 2000 | 2100 |
| Peso di volume saturo | [kg/mc] | 1700 | 1800 | 1900 | 1950 | 2000 | 2100 |
| Angolo di attrito interno* | [°] | 24 | 26 | 28 | 40 | 45 | 50 |
| Coesione* | [Mpa] | 0,008 | 0.015 | 3.51 | 5.48 | 8.42 | 9.44 |
| Dati Parametri Deformabilità | | | | | | | |
| Modulo elastico | [Mpa] | 54 | 68 | 51 | 499 | 2181 | 7343 |
| Coefficiente di Poisson | [] | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Modulo di taglio (G) | [Mpa] | 167 | 206 | 382 | 1245 | 4089 | 11.013 |
| Velocità onde di taglio Vs | [m/sec] | 325 | 350 | 460 | 810 | 1430 | 2290 |

*Valori ottenuti per via empirica variando i parametri su RocData in relazione alla profondità e ai parametri misurati con l'indagine geofisica.

15.3. VIABILITÀ DI IMPIANTO E SOTTOSTAZIONE

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

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

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

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

La possibile presenza di alcune saccature a forte componente argillosa suggerisce di prevedere opere di smaltimento delle acque superficiali 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, in particolare nella **Formazioni di Nebida**, nella **Formazione di Gonnese**, e nella **Formazione del Monte Argentu**; ricadrà inoltre, in particolar modo nell'ultimo tratto di pianura ad arrivare alla sottostazione, nei depositi terziari e quaternari, in particolare nei depositi appartenenti alla **Formazione del Cixerri**, al **Subsistema di Portovesme**, ai depositi alluvionali e ai 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.

16. COMPATIBILITÀ IDRAULICA E GEOLOGICA-GEOTECNICA

Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI

La condizione di ammissibilità delle opere in progetto è contemplata nelle norme di attuazione del PAI ai seguenti articoli per i quali sono richiamati gli elementi essenziali:

Articolo 23 - Prescrizioni generali per gli interventi ammessi nelle aree di pericolosità idrogeologica

Comma 7. Nel caso di interventi per i quali non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica o geologica e geotecnica i proponenti garantiscono comunque che i progetti verifichino le variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità delle aree interessate alla realizzazione degli interventi, prevedendo eventuali misure compensative.

PERICOLOSITA' IDRAULICA

Gli aerogeneratori e la viabilità di impianto non sono soggetti a pericolosità idraulica per la loro posizione morfologica. Per quanto neanche il tracciato del cavidotto, che si snoda lungo aree pianeggianti interessate da un reticolo idrografico ben definito, sia interessato da perimetrazione idraulica, facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti per tali aree l'intervento è ammesso anche in aree a pericolosità molto elevata Hi4, secondo il combinato disposto:

Art. 27 - Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)

Comma 3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

lettera g. le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili; nel caso di condotte e di cavidotti, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora sia rispettata la condizione che tra piano di campagna e estradosso ci sia almeno un metro di ricoprimento, che eventuali opere connesse emergano dal piano di campagna per una altezza massima di 50 cm, che per le situazioni di parallelismo non ricadano in alveo e area golenale e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.

lettera h. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti; nel caso di condotte e di cavidotti non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme a condizione che, con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato, venga

dimostrato che gli scavi siano effettuati a profondità limitata ed a sezione ristretta, comunque compatibilmente con le situazioni locali di pericolosità idraulica e, preferibilmente, mediante uso di tecniche a basso impatto ambientale; che eventuali manufatti connessi alla gestione e al funzionamento delle condotte e dei cavidotti emergano dal piano di campagna per una altezza massima di un metro e siano di ingombro planimetrico strettamente limitato alla loro funzione; che i componenti tecnologici, quali armadi stradali prefabbricati, siano saldamente ancorati al suolo o agli edifici in modo da evitare scalzamento e trascinarsi, abbiano ridotto ingombro planimetrico e altezza massima strettamente limitata alla loro funzione tecnologica e comunque siano tali da non ostacolare in maniera significativa il deflusso delle acque; che, nelle situazioni di parallelismo, le condotte e i cavidotti non ricadano in alveo né in area golenale; che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.

Gli interventi in progetto trovano ammissibilità secondo quanto prescritto dal PAI negli articoli seguenti.

Facendo quindi riferimento ai criteri di ammissibilità previsti in aree a pericolosità geologico-geotecnica bassa Hg1 e alta Hg4, l'intervento è ammesso secondo il combinato disposto:

Art. 31 Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg4)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, in materia di interventi strutturali e non strutturali per il controllo dei dissesti - individuati dal PAI, dal programma triennale di attuazione o dalle competenti autorità regionali in osservanza di quanto stabilito dal PAI - nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

b. gli interventi di manutenzione straordinaria;

c. gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;

e. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti;

i. gli ampliamenti, le ristrutturazioni e le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici.

Art. 34 Disciplina delle aree di pericolosità moderata da frana (Hg1)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità moderata da frana compete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi.

Analisi sulle variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità (Art.3 c.7 NTA PAI)

Risposta idrologica e permeabilità. L'intervento prevede una minima occupazione di suolo dovuta all'impronta dei sostegni delle turbine e degli elementi fondanti delle stesse che non determina una sostanziale variazione al regime di deflusso idrico superficiale o sulla permeabilità relativamente alle condizioni ante intervento.

Le piazzole di cantiere previste per la realizzazione dei singoli aerogeneratori avranno un impatto temporaneo e strettamente legato al tempo di realizzazione dell'impianto, successivamente verranno rinaturalizzate ripristinando lo stato dei luoghi.

Gli interventi successivi e quelli sulla viabilità esistente incidono in maniera poco significativa sull'assetto idraulico andando ad adattare tracciati già presenti che verranno interessati da sole opere di adeguamento funzionale alle esigenze operative di realizzazione e di esercizio. Le nuove tratte di viabilità di impianto previste si snodano lungo la cresta dei rilievi. Gli interventi siffatti non interrompono o ostacolano il normale deflusso superficiale in quanto non sono previste in elevazione e non vi è sottrazione incidente di suolo, nel caso specifico già quasi del tutto assente per le caratteristiche geologiche e morfologiche del sito.

Analogamente la rete di connessione, trovandosi interrata ad una profondità non inferiore ad 1 m da p.c., non determina variazioni sostanziali all'attuale regime di deflusso delle acque superficiali.

Si riportano di seguito a titolo esemplificativo alcune sezioni tipo del cavidotto interrato.

Al fine di garantire il corretto smaltimento delle acque superficiali afferenti a quest'area, in fase di progettazione esecutiva, verrà predisposto un piano di regimazione delle acque superficiali il cui bilancio idraulico, riferito al recettore finale, rispetterà il criterio dell'invarianza idraulica richiamato all'art.47 delle NTA PAI.

Ne consegue che, in relazione ai criteri di valutazione del PAI, l'intervento è compatibile e non determina aumento del livello di pericolosità idraulica ex ante.

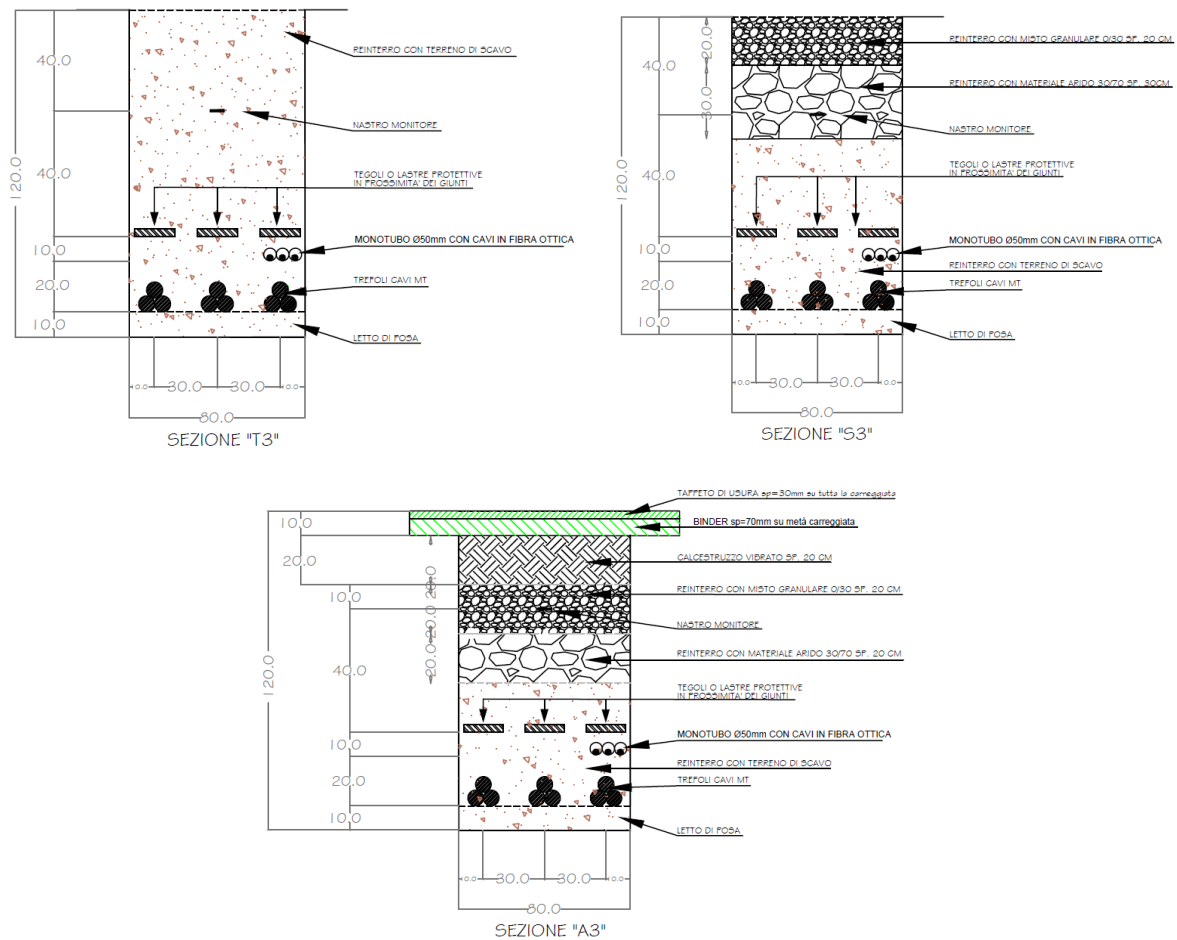


Figura 68 - Tipici posa cavidotto

Effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti. Le turbine verranno installate in aree sub pianeggianti con inclinazioni medie inferiori al 15%, la maggior parte della viabilità e dei cavidotti si sviluppa su strade già esistenti, i brevi tratti di viabilità di nuova costruzione si snoderanno su aree Hg0 e

localmente Hg2, nelle quali non sono stati rilevati in fase di progettazione evidenze di dissesto da frana né quiescenti né attivi.

La realizzazione del cavidotto prevede l'esecuzione di uno scavo temporaneo poco profondo che verrà ricoperto subito dopo il posizionamento degli strati di allettamento, la stesura del cavo e i relativi rinfianchi. Verrà eseguito per porzioni, pertanto non esiste la possibilità della permanenza di scavi aperti per lungo tempo, garantendo di fatto, il mantenimento delle condizioni di stabilità ex ante ed ex post.

Gli scavi per la realizzazione delle fondazioni delle turbine verranno eseguiti verificando di volta in volta la stabilità delle pareti di scavo in relazione agli esiti della campagna di indagine puntuale realizzata per il progetto esecutivo ed in base alla quale verranno previste opere provvisorie quali rinforzi al piede dello scavo, puntellature o palancolate o gradonature per garantire la sicurezza degli operatori ed evitare l'innescarsi di eventuali smottamenti. La stabilità dei versanti in fase di apertura dello scavo è stata studiata attraverso simulazioni in funzione dei modelli geologico-geotecnici individuati in relazione alla verifica delle opere fondanti.

I movimenti terra previsti sono sostanzialmente tutti riferibili allo scavo e successivo riutilizzo di materiale finalizzato al rinterro lungo la viabilità e al riempimento successivo alla realizzazione delle fondazioni delle turbine; pertanto, non si evidenziano condizioni di scavo esposto per lungo tempo e conseguenti fattori potenziali tali da ingenerare fenomeni di instabilità. Il materiale di rinterro/riempimento verrà steso e rullato/compattato secondo i criteri di buona regola d'arte al fine di conferire la giusta stabilità per i carichi previsti per la durata dell'impianto.

Ne consegue che, in relazione ai criteri di valutazione del PAI, l'intervento è compatibile e non determina aumento del livello di pericolosità da frana ex ante.

17. CONCLUSIONI

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 indicativa di riferimento di 3.5m 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.

Attraverso le informazioni restituite è stata verificata la compatibilità e l'ammissibilità delle opere in progetto con le prescrizioni del PAI.

Dall'analisi delle caratteristiche delle opere, della sua ubicazione e delle interazioni con lo strumento normativo del PAI, le stesse sono ammissibile secondo quanto disposto dall'art 23 comma 7 delle NTA PAI:

Art. 27 - Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)

Comma 3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

lettera g. le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili; nel caso di condotte e di cavidotti, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora sia rispettata la condizione che tra piano di campagna e estradosso ci sia almeno un metro di ricoprimento, che eventuali opere connesse emergano dal piano di campagna per una altezza massima di 50 cm, che per le situazioni di parallelismo non ricadano in alveo e area golenale e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.

lettera h. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti; nel caso di condotte e di cavidotti non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme a condizione che, con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato, venga dimostrato che gli scavi siano effettuati a profondità limitata ed a sezione ristretta, comunque compatibilmente con le situazioni locali di pericolosità idraulica e, preferibilmente, mediante uso di tecniche a basso impatto ambientale; che eventuali manufatti connessi alla gestione e al funzionamento delle condotte e dei cavidotti emergano dal piano di campagna per una altezza massima di un metro e siano di ingombro planimetrico strettamente limitato alla loro funzione; che i componenti tecnologici, quali armadi stradali prefabbricati, siano saldamente ancorati al suolo o agli edifici in modo da evitare scalzamento e trascinarsi, abbiano ridotto ingombro planimetrico e altezza massima strettamente limitata alla loro funzione tecnologica e comunque siano tali da non ostacolare in maniera significativa il deflusso delle acque; che, nelle situazioni di parallelismo, le condotte e i cavidotti non ricadano in alveo né in area golenale; che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.

Gli interventi in progetto trovano ammissibilità secondo quanto prescritto dal PAI negli articoli seguenti.

Facendo quindi riferimento ai criteri di ammissibilità previsti in aree a pericolosità geologico-geotecnica bassa Hg1 e alta Hg4, l'intervento è ammesso secondo il combinato disposto:

Art. 31 Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg4)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, in materia di interventi strutturali e non strutturali per il controllo dei dissesti - individuati dal PAI, dal programma triennale di attuazione o dalle competenti autorità regionali in osservanza di quanto stabilito dal PAI - nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

b. gli interventi di manutenzione straordinaria;

c gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;

e. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti;

i. gli ampliamenti, le ristrutturazioni e **le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili**, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici.

Art. 34 Disciplina delle aree di pericolosità moderata da frana (Hg1)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità moderata da frana compete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi.

Inoltre, secondo quanto previsto dall'**Art. 23 "Pericolosità e di rischio esistenti nelle aree di pericolosità idrogeologica – nuovi interventi sul territorio"** al **comma 9** vengono rispettate le seguenti indicazioni:

- a. migliorare in modo significativo o comunque **non peggiorare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario**, non aumentando il rischio di inondazione a valle;
- b. migliorare in modo significativo o comunque **non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli** attraverso trasformazioni del territorio non compatibili;
- c. non compromettere la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale né la sistemazione idrogeologica a regime;
- d. **non aumentare il pericolo idraulico con nuovi ostacoli** al normale deflusso delle acque o con riduzioni significative delle capacità di invaso delle aree interessate;
- e. **limitare l'impermeabilizzazione dei suoli** e creare idonee reti di regimazione e drenaggio;
- f. favorire quando possibile la formazione di nuove aree esondabili e di nuove aree permeabili;
- l. **non incrementare le condizioni di rischio specifico idraulico o da frana** degli elementi vulnerabili interessati ad eccezione dell'eventuale incremento sostenibile connesso all'intervento espressamente assentito;

- m. assumere adeguate misure di compensazione nei casi in cui sia inevitabile l'incremento sostenibile delle condizioni di rischio o di pericolo associate agli interventi consentiti;
 - n. garantire condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere, assicurando che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;
 - o. garantire coerenza con i piani di protezione civile.
- Inoltre, gli interventi previsti non producono incremento del carico insediativo.

Pertanto, alla luce delle considerazioni sopra riportate, **si attesta la compatibilità idrogeologica** tra l'opera e il territorio circostante in relazione alle prescrizioni del PAI.