



PROGETTO: Progetto Definitivo per il parco eolico da 48,0 MW
"Energia Is Coris" costituito da n.9 aerogeneratori

Elaborato:

Studio di Compatibilità Idrogeologica

Codice Elaborato

PD - R17

Scala

Formato elaborato

A4

PROPONENTE

 **Fred. Olsen Renewables**

Timbro e firma



Timbro e firma

REDATTORI

Dott. Ing. Bruno Manca

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

COORDINAMENTO

BIA s.r.l.

Piazza dell'Annunziata 7
Cagliari (CA) - 09123
P.IVA 03983480926
energhiabia@pec.it



Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato
02					
01					
00	06/2022	Emissione per validazione			

SOMMARIO

SOMMARIO.....	2
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	11
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	12
6.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	12
7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI	17
7.1 Campagna di raccolta dati geostutturali su affioramento.....	19
7.1.1 Rilievo geostutturale GNN2.....	20
7.1.2 Rilievo geostutturale GNN1	21
7.1.3 Rilievo geostutturale Neb1	23
7.1.4 Rilievo geostutturale NEB2.....	25
8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO	26
9. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	28
9.1 Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	30
9.2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	33
10. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	36
10.1 Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.....	36
10.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee	37
10.3 Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi	39
11. CAVITÀ DI INTERESSE SPELEOLOGICO	40
12. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	41
13. USO DEL SUOLO	42
14. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI	42
14.1 Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.)	42
14.2 Inventario dei Fenomeni Fransi – Progetto I.F.F.I.	45
14.3 Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).....	45
14.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	46
14.5 ART.30TER NTA PAI	47
15. MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	49
16.1 Caratterizzazione geostutturale degli ammassi rocciosi.....	49
16.2 Modello Geologico di sito.....	55
Modello Geologico 01 – T01, T02, T08, T09.....	56
Modello Geologico 02 – T05, T06, T07.	57

Modello Geologico 03 – T03, T04 e Viabilità	58
16.3 Viabilità di impianto e Sottostazione	59
16. COMPATIBILITA' IDRAULICA E GEOLOGICA-GEOTECNICA	60
Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI.....	60
Analisi sulle variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità (Art.3 c.7 NTA PAI)	61
17. CONCLUSIONI	62

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Localizzazione del progetto	6
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.....	7
Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000	8
Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore W	9
Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore E.....	10
Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	13
Figura 8 Schema geologico-strutturale del basamento varisco del Sulcis-Iglesiente (Carnignani et al., 1982a; Funedda et al., 2009).....	14
Figura 9 Stralcio carta geologica (Fonte RAS).....	15
Figura 10 Membro della dolomia rigata affiorante (GNN1).....	16
Figura 11 Particolare di dolomia (GNN) nel quale è possibile notare la fratturazione riempita da calcite ricristallizzata.....	16
Figura 12 Particolare della stratificazione (giallo) subverticale rivolta a Sud e della scistosità (verde) appartenente alla Nebida Fm.....	18
Figura 13 Ammasso roccioso fratturato appartenente alla Gonnese Fm.....	19
Figura 14 rilievo geostrutturale GNN2, in rosso il probabile piano di stratificazione.	20
Figura 15 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento GNN2.....	21
Figura 16 rilievo geostrutturale GNN1 con superfici di fratturazione in evidenza.	22
Figura 17 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento GNN1.....	23
Figura 18 Affioramento NEB1, in evidenza i piani di scistosità	24
Figura 19 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento NEB1	24
Figura 20 rilievo geostrutturale NEB2, in bianco i piani di scistosità.	25
Figura 21 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento NEB2.....	26
Figura 22 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione	26
Figura 23 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)	28
Figura 24 Versante settentrionale del rilievo, sulla destra.	29
Figura 25 Lato orientale del parco	29
Figura 26 Foto scattata dal lato orientale del parco rivolta a W	29
Figura 27 Roccia affiorante (GNN1) nei pressi della piazzola della Turbina1	30
Figura 28 Piazzola Turbina 2.....	30

Figura 29 Piazzola Turbina 3.....	31
Figura 30 Posizione Turbina 4.....	31
Figura 31 Foto scattata da posizione Turbina 5.....	31
Figura 32 Pressi Turbina 6.....	31
Figura 33 Posizione Turbina 7.....	32
Figura 34 Piazzola T7, foto rivolta a Ovest.....	32
Figura 35 Scannellature superficiali (o Lapies).....	33
Figura 36 Campo carreggiato nei pressi della turbina 9.....	33
Figura 37 Cavità carsica nei pressi della turbina 9.....	34
Figura 38 Carta Geomorfologica.....	35
Figura 39 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS).....	37
Figura 40 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo.....	38
Figura 41 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS).....	39
Figura 48 Carta dei Suoli (Fonte RAS).....	41
Figura 49 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).....	42
Figura 50 Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31.01.2018.....	43
Figura 51 Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31/01/2018.....	44
Figura 52 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento.....	45
Figura 53 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF.....	46
Figura 54 Stralcio perimetrazione PGRA.....	47
Figura 63 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia.....	50
Figura 64 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.....	50
Figura 65 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia.....	51
Figura 66 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.....	52

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del procedimento di Valutazione d'Impatto Ambientale ai sensi del Decreto Legislativo numero 152 del 2006, e di Autorizzazione Unica Regionale ai sensi dell'articolo 12 del Decreto Legislativo numero 387 del 2003 e del D. G. R. 3/15 del 23 Gennaio 2018.

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo che prevede la realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica, denominato "**Energia Is Coris**" e dislocato nel territorio comunale di **Villamassargia** e **Narcao** nella Provincia di Sud Sardegna, è stata redatta la presente **Relazione di Compatibilità Idrogeologica**, secondo quanto previsto dalle NTA 2022 del Piano d'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna (PAI) in supporto al progetto, con l'obiettivo di valutare la compatibilità idraulica e geologico-geotecnica dell'intervento, in relazione a quanto prescritto dalla normativa vigente in materia di rischio idrogeologico.

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 Tecniche di Attuazione PAI – aggiornamento Agg.2022 Allegato 2 alla Delib.G.R. n. 2/8 del 20.1.2022

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 in data 28/01/2022 nella zona di interesse.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Villamassargia è un Comune italiano di 3 490 abitanti della provincia del Sud Sardegna, situato nella sub-provincia del Sulcis-Iglesiente, nel bordo meridionale del bacino del Cixerri, a Sud rispetto a Domusnovas (situata al bordo settentrionale dello stesso bacino) e a SE rispetto a Iglesias.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 –Fogli: 555 "Villamassargia" sez. II, 556 "Monte Rosas" sez. III.
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 sezione 555160 "Terraseo", 555150 "Barbusi", 556130 "Monte Rosas" e 555120 "Villamassargia".

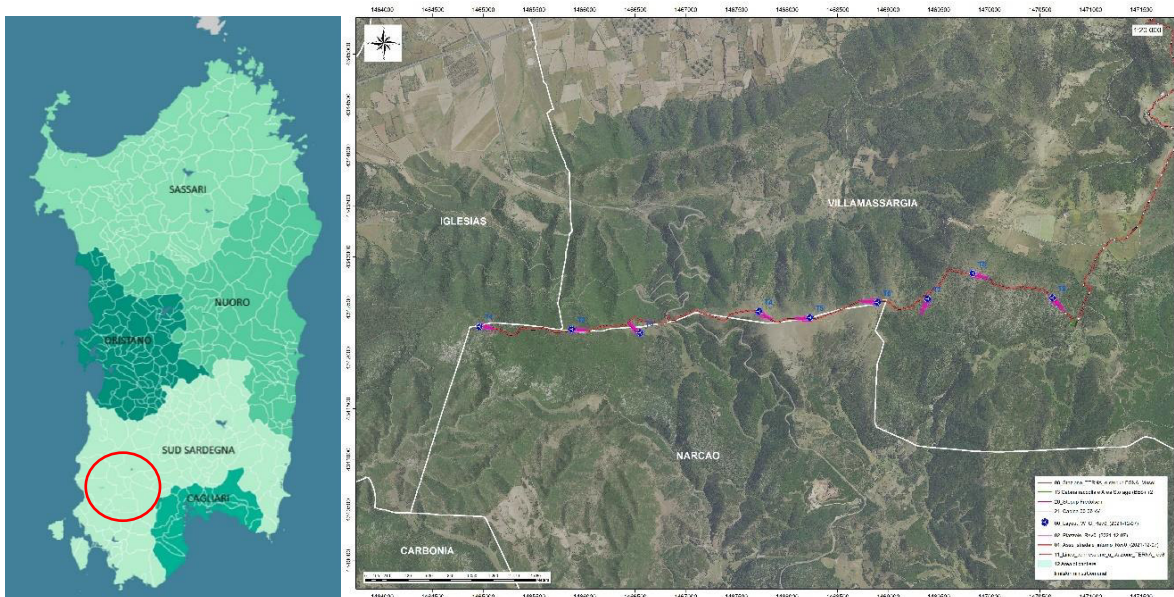


Figura 1 Localizzazione del progetto



Figura 2 Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio

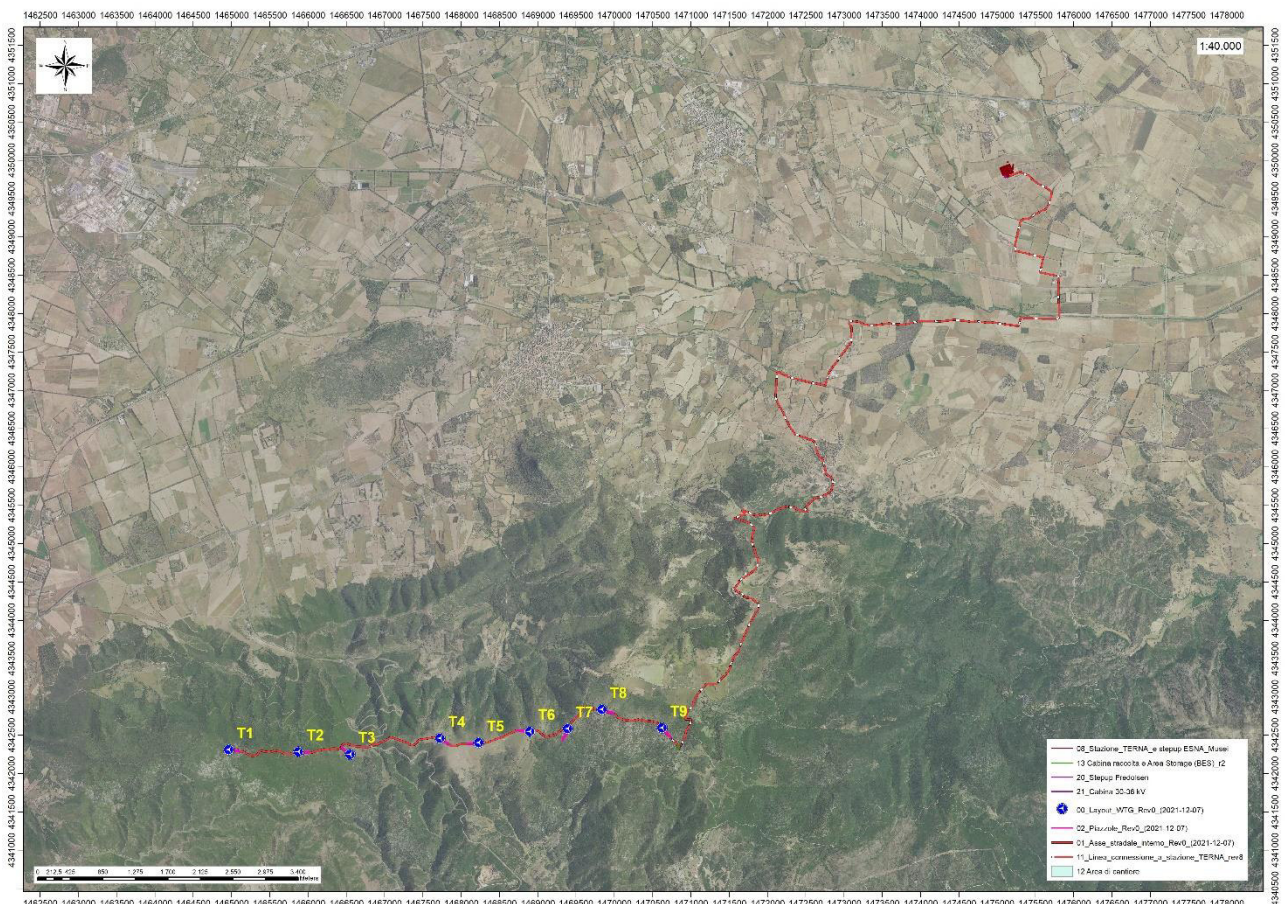


Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, cavidotto e sottostazione.

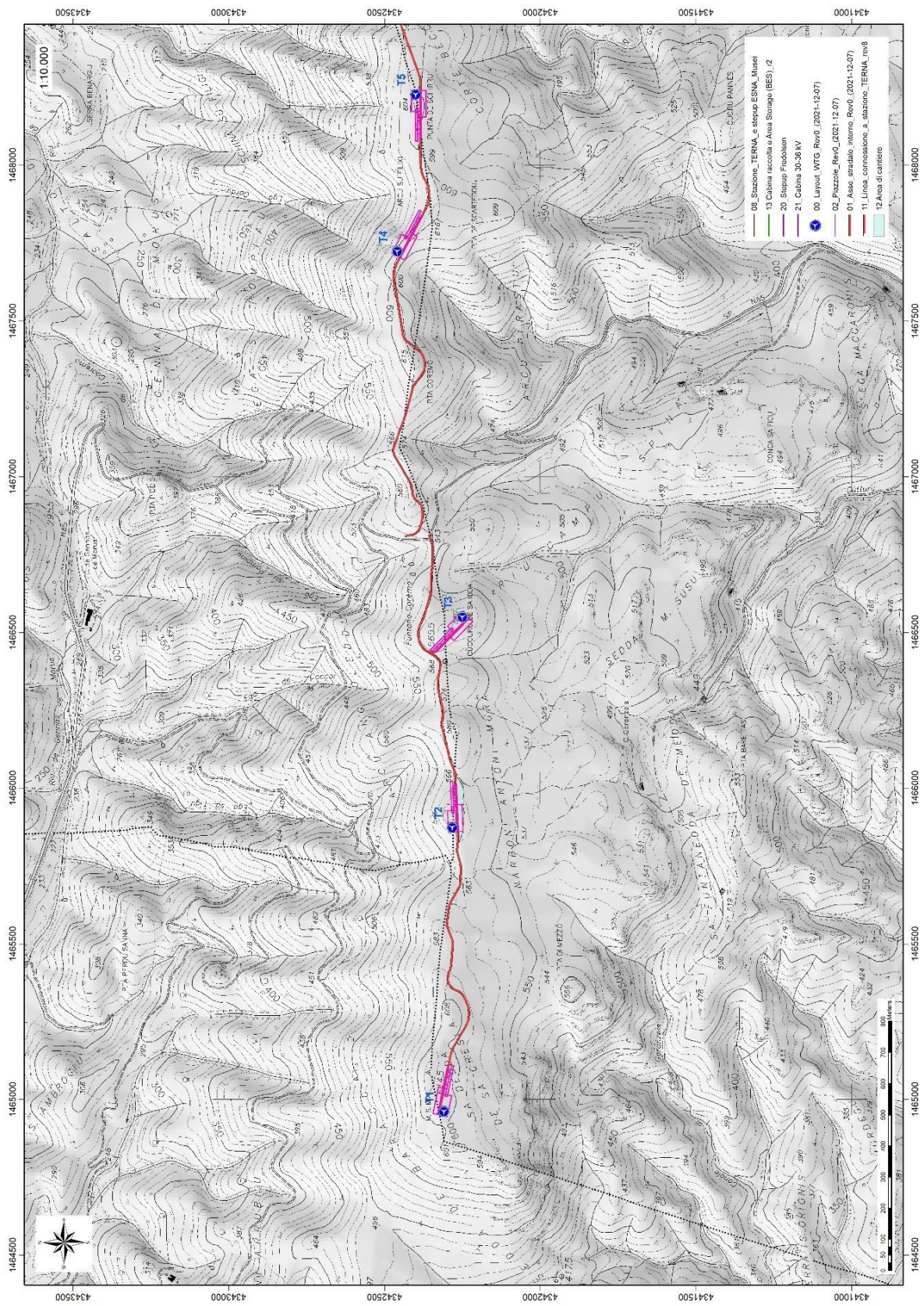


Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore W

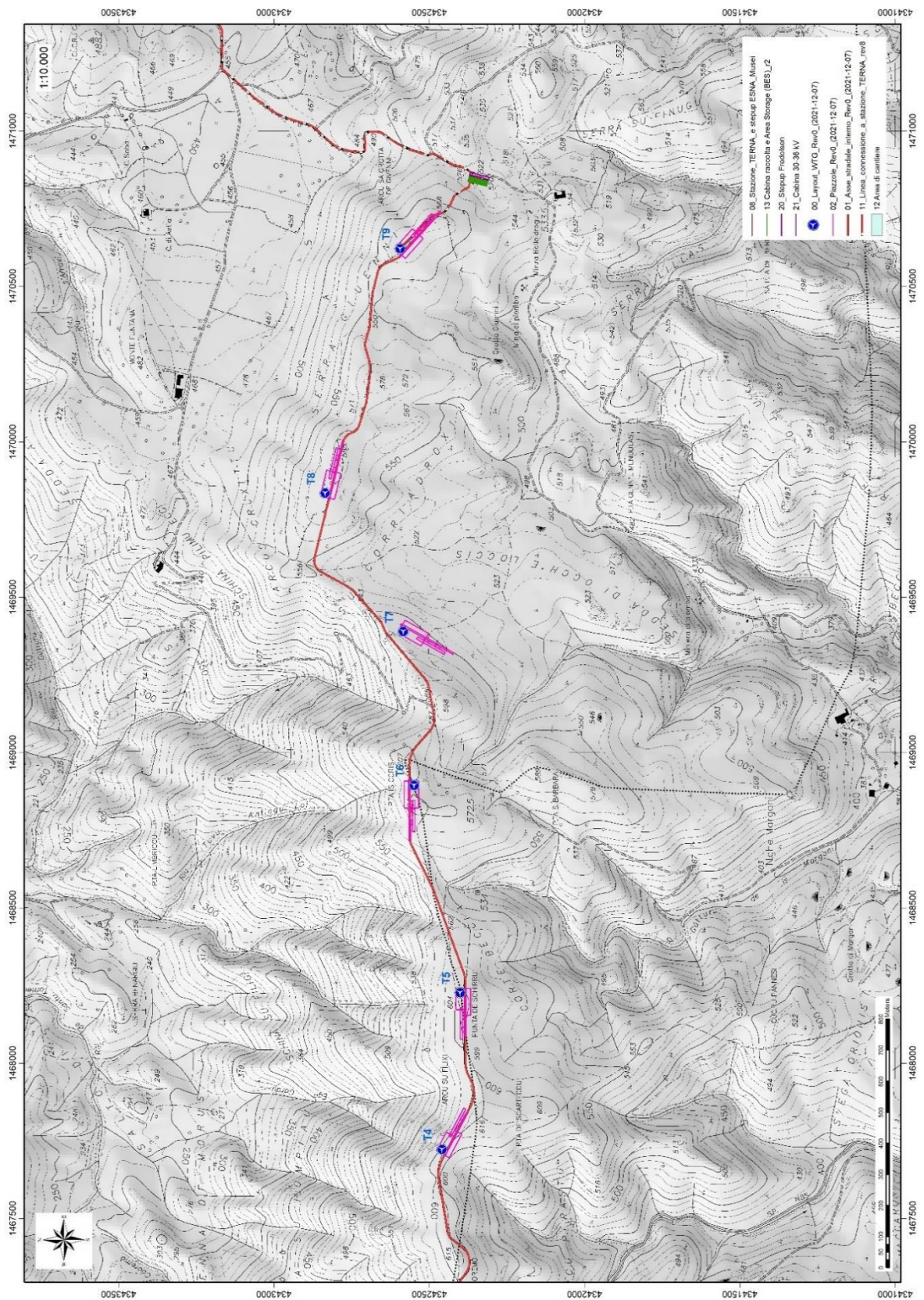


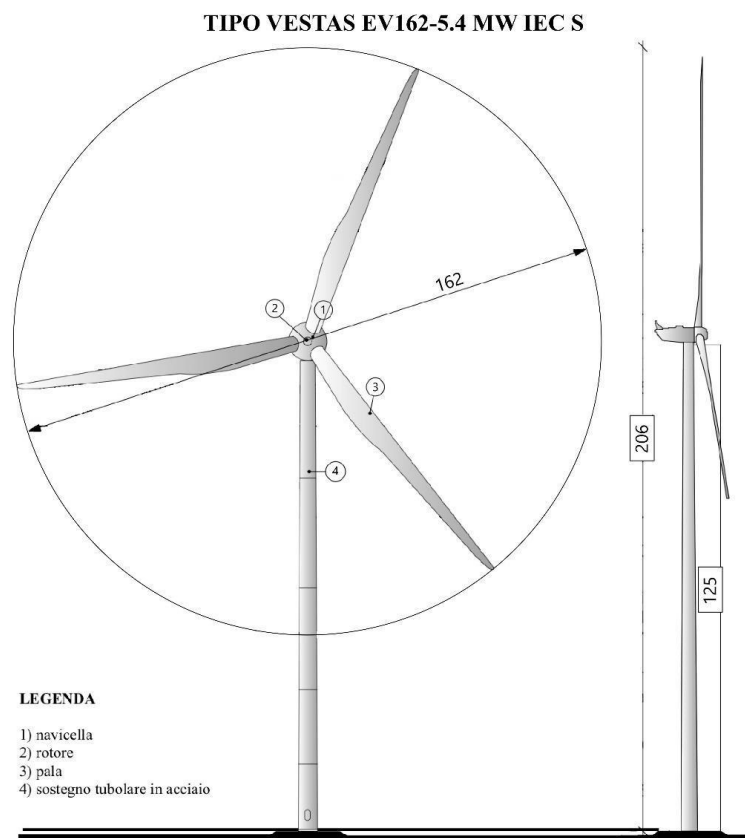
Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore E

5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica, di potenza nominale pari a 48'000kW, da localizzarsi su terreni ricadenti nel Comune di Villamassargia, Narcao e Musei (SU).

L'impianto sarà costituito da n. 9 aerogeneratori tripala, ad asse orizzontale, aventi ciascuno una potenza nominale di 5,4 MW per una potenza complessiva di 48,6 MW.

Le dimensioni degli aerogeneratori prevedono un'altezza al mozzo di 125 metri, diametro del rotore di 162 metri, ed un'altezza complessiva massima, fuori terra, di 206 metri, con un'area spazzata di 20612 m². La fondazione di tipo diretto (superficiale), costituita da un plinto in calcestruzzo, viene calcolata per sopportare, oltre al carico dell'aerogeneratore (torre, cabina di trasformazione e rotore) anche le sollecitazioni prodotte delle pale in movimento.



L'impianto sarà del tipo grid-connected e l'energia elettrica prodotta sarà riversata completamente in rete, salvo gli autoconsumi di centrale. La connessione alla rete di trasmissione in Alta Tensione a 150 kV avverrà mediante cabina di trasformazione MT/AT (cabina di "step-up" o Sottostazione Elettrica Utente) di competenza del proponente, collegata in antenna alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "Iglesias 2 – Siliqua", previo potenziamento/rifacimento della linea RTN 150 kV "Villacidro – Serramanna".

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

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

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

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

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

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

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvencono 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 Hercinica (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'avanzata 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 si inquadra in un contesto geologico complesso, caratterizzato dalla presenza di successioni sedimentarie di età paleozoica di basso grado metamorfico dove i caratteri petrografici e sedimentologici dei protoliti sono quasi sempre ben riconoscibili. Queste metamorfiti sono intruse da rocce granitoidi permocarbonifere, alle quali seguono successioni sedimentarie, di età compresa tra il Permo-Carbonifero e l'OligoMiocene e depositi vulcanici oligo-miocenici. Sono variamente diffuse le coperture quaternarie antiche e recenti, con depositi alluvionali, marini ed eolici sabbiosi in cui sono stati trovati resti di cervidi e di elefante nano. Il basamento metamorfico dell'Iglesiente in cui ricade il **Parco Eolico** appartiene alla "zona esterna" del segmento sardo della catena varisica. La successione metamorfica paleozoica è divisa da una discordanza angolare di età ordoviciana media ("discordanza sarda") ed inizia con sedimenti prevalentemente arenacei di età cambriana inferiore (fm. di Nebida), seguiti da depositi carbonatici (fm. di Gonnese, "Metallifero" Auct.), carbonatico-terrigeni (fm. di Campo Pisano) e da depositi silico-clastici di età Cambriano medio-Ordoviciano inferiore (fm. di Cabitza). Al di sopra della discordanza ordoviciana poggia una successione trasgressiva composta da depositi di ambiente continentale (fm. di M. Argentu, "Puddinga" Auct.), transizionale e marino di età compresa tra l'Ordoviciano medio-superiore ed il Devoniano (f.ni di M.te Orri, Portixeddu, Domusnovas, Genna Muxerru, Fluminimaggiore).

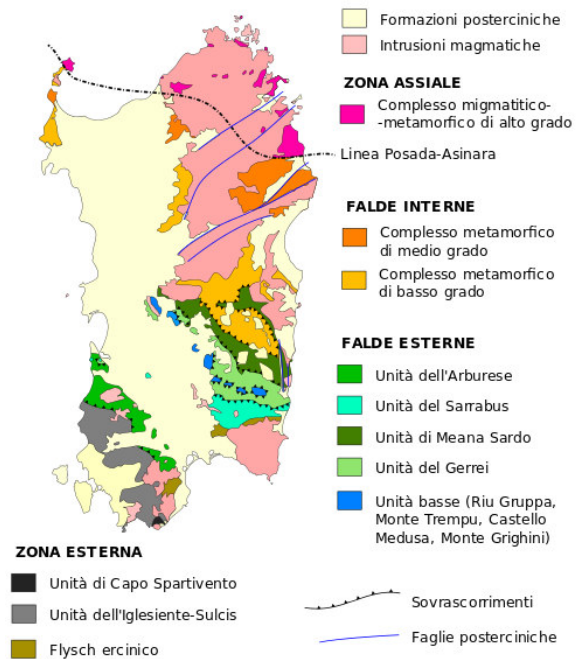


Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

6.2. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA DELL'AREA DI INTERVENTO

Le litologie sulle quali poggeranno le turbine appartengono alla successione sedimentaria pre-discordanza Sarda. Il termine più antico della Successione è costituito dal Membro di Mattoppa della Formazione di Nebida. Si tratta di metaquarzoareniti, metarose a grana fine, metagrovacche, con intercalazioni di metasiltiti grigio-chiare, in strati decimetrici e metrici. Verso l'alto il grado di maturità diminuisce progressivamente e le intercalazioni arenacee divengono più frequenti e di maggiore potenza, fino a passare a metarenarie quarzoso-micacee e metagrovacche con matrice carbonatica. La parte alta della successione del Membro di Mattoppa è caratterizzata dalla presenza di livelli e lenti di calcari ad archeociati (NEB1a). Il Membro di Mattoppa è poi ricoperto in concordanza dal Membro di Punta Manna (NEB2), che inizia con un orizzonte pressochè continuo di calcari oolitici (NEB2a).

A seguire verso l'alto stratigrafico è poi presente la Formazione di Gonnese, questa si divide a sua volta in "Dolomia Rigata" alla base e "Calcere Ceroide" al tetto, in quest'ultimo si distinguono poi due litofacies, ovvero quella delle "Dolomie Grigie" e quella delle "Dolomie Gialle".

Il membro della Dolomia rigata (GNN1) è costituito da dolomie primarie grigio chiaro ben stratificate e laminate, stromatoliti laminate con pseudomorfi su gesso o anidrite e pisoliti vadose e/o breccie di disseccamento. Il membro di Calcere Ceroide (GNN2) è costituito da calcari massivi di colore grigio, quasi puri, generalmente mal stratificati, spesso intensamente dolomitizzati. Questo membro è localmente interessato da un'intensa dolomitizzazione diagenetica tardiva che dà origine alla cosiddetta "Dolomia grigia" (GNN2a); è poi presente una varietà gialla (Dolomia gialla GNN2b), in questa l'andamento della dolomitizzazione, la sua genesi e l'età non sono completamente chiare.

UNITA' DELL'IGLESIENTE-SULCIS

Successione sedimentaria pre-Discordanza Sarda

GNN2 - Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Calcari grigi massivi, talora nerastri, spesso dolomitizzati. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO)

GNN2a - Litofacies nel Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie e calcari dolomitici di colore da giallastro a bruno, massivi (Dolomia grigia" Auct.). CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO MEDIO)

GNN1 - Membro della Dolomia rigata (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie grigio chiare ben stratificate e laminate, spesso con laminazioni stromatolitiche, con noduli e livelli di selce scura alla base. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP.-LENIANO)

NEB2- Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie quarzose e siltiti, con laminazioni incrociate e piano-parallele, verso l'alto alternanze di calcari, talvolta ricchi in archeociati, e dolomie con bioturbazioni, spesso silicizzate. CAMBRIANO INF

NEB2a - Litofacies nel Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Alla base calcari oolitici e oncolitici con subordinate intercalazioni di metarenarie e metasiltiti. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO)

NEB1 - Membro di Matoppa (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie e metasiltiti, con laminazioni piano-parallele, alternate a bancate decimetriche di metarenarie quarzose, con rari livelli carbonatici. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO)

DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

b- Depositi alluvionali. OLOCENE

b2- Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE

In particolare le turbine T1, T2, T7, T8 e T9 ricadono nelle litologie GNN1-GNN2; la turbina T3 ricade nella NEB2 e le turbine T4, T5 e T6 ricadono nella NEB1.

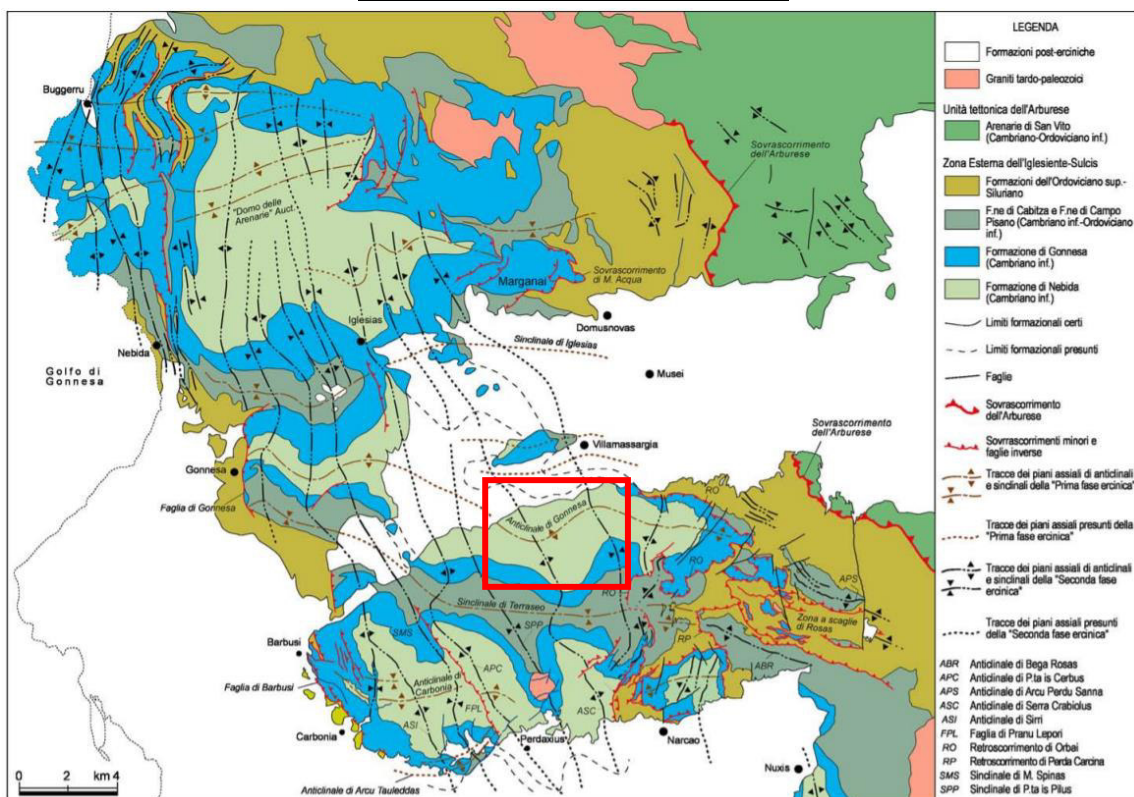


Figura 8 Schema geologico-strutturale del basamento varisco del Sulcis-Iglesiente (Carnignani et al., 1982a; Funedda et al., 2009).

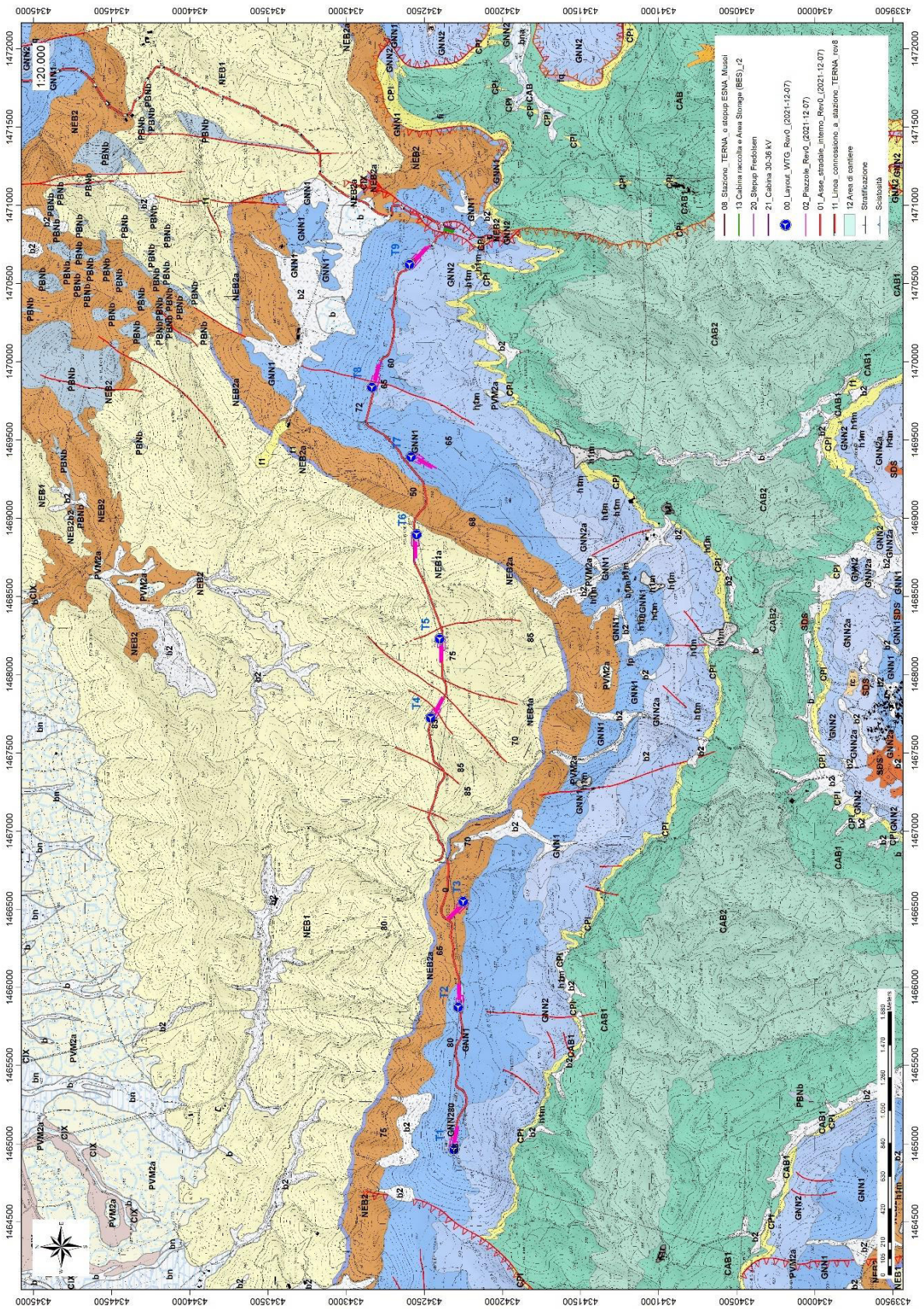


Figura 9 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)



Figura 10 Membro della dolomia rigata affiorante (GNN1).



Figura 11 Particolare di dolomia (GNN) nel quale è possibile notare la fratturazione riempita da calcite ricristallizzata.

7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento del basamento paleozoico ricadente nella "Zona esterna" costituito, a partire dai termini più antichi, da depositi clastici con intercalazioni di rocce carbonatiche (Nebida Fm.) ai quali seguono sedimenti carbonatici (Gonnesa Fm.), carbonatico-terrigeni (Cabitza Fm.). Il metamorfismo regionale che ha interessato questa successione è di grado molto basso, ovvero al limite tra l'anchizona e facies a scisti verdi inferiore). Nelle rocce pelitiche è sempre presente una foliazione metamorfica con una debole ricristallizzazione di sericite.

La distribuzione delle pale nel parco segue una linea orientata W-E, lungo un'anticlinale situata tra la sinclinale del Cixerri a Nord e la sinclinale di Narcao a Sud, le turbine poggiano sui rilievi il cui inviluppo descrive una paleosuperficie blandamente piegata. Con orientazione Nord-Sud e circa in corrispondenza della Turbina **T5**, è presente un'anticlinale probabilmente dovuta alla seconda Fase Ercinica. L'intersezione di queste pieghe sub-perpendicolari tra loro ha creato delle strutture a "domi e bacini". La stratificazione della GNN2 immerge sia Sud nei pressi della **T1**, mentre immerge a Nord la stratificazione rovesciata nella GNN1 e NEB2 in corrispondenza della **T2** e **T3**. Nei pressi della **T4**, **T5**, **T6** e **T7** la stratificazione risulta normale e immergente a Sud a W dell'anticlinale, mentre risulta rovesciata e immergente a NE a E della stessa. In corrispondenza della **T8** la stratificazione immerge a Est mentre nei pressi della **T9** immerge a Sud. Le inclinazioni delle immersioni hanno in tutta l'area valori di 70° di media.

Alla scala dell'affioramento gli ammassi rocciosi presentano nette discontinuità subverticali dovute alla stratificazione nei termini terrigeni (Nebida Fm.), mentre si presentano più massivi nei termini carbonatici (Gonnesa Fm.).



Figura 12 Particolare della stratificazione (giallo) subverticale rivolta a Sud e della scistosità (verde) appartenente alla Nebida Fm.



Figura 13 Ammasso roccioso fratturato appartenente alla Gonnesa Fm.

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 e talora nulle.

Dai rilievi geologici è emerso che nel territorio in esame sul quale verranno installate le turbine è possibile suddividere, in base al comportamento geomeccanico, due litologie principali, una siltoso-arenacea appartenente alla Formazione di Nebida, e una carbonatica appartenente alla Formazione di Gonnesa.

Per la determinazione dei parametri geomeccanici delle suddette litologie, sono stati presi in considerazione n° 4 affioramenti rocciosi, quelli caratteristici della prima litologia sono situati tra la Turbina2 e la Turbina3 (**scanline2-NEB1**) e nei pressi della Turbina6 (**scanline4-NEB2**), mentre quelli caratteristici della seconda litologia sono situati nei pressi della Turbina1 (**scanline1-GNN1**) e nei pressi della Turbina7 (**scanline3-GNN2**). Tali affioramenti sono stati utilizzati come punti di stazione, nei quali sono state rilevate le caratteristiche delle discontinuità. Gli ammassi rocciosi analizzati presentano discontinuità primarie (stratificazione) e discontinuità secondarie (fratturazione); la fratturazione risulta più o meno regolare nelle litologie appartenenti alla Formazione di Nebida e irregolare nelle litologie appartenenti alla Formazione di Gonnesa (dolomie), la spaziatura in entrambi i casi è risultata variabile, è stato in ogni caso possibile individuare più famiglie di discontinuità principali.

Gli affioramenti individuati, ubicati vicino ai siti dove verranno installate le turbine, 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 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" (vers. 10.2.9) di R. Allmendinger.

7.1.1 RILIEVO GEOSTRUTTURALE GNN2

Il rilievo GNN2 è stato fatto lungo una linea di 6m orientata NW-SE (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**4), nei pressi della pala T7 in *Su Corriadroxiu*. L'ammasso roccioso ha l'aspetto massivo e struttura massiccia. Le superfici riconoscibili sono imputabili alla fratturazione, più raramente alla stratificazione. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva, e, per quanto resistente, è debolmente affetta da alterazione fisica. La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 1 m, la minima è 0,1m, mentre la media è di circa 40 cm. Come nel caso dell'affioramento GNN1 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.



Figura 14 rilievo geostrutturale GNN2, in rosso il probabile piano di stratificazione.

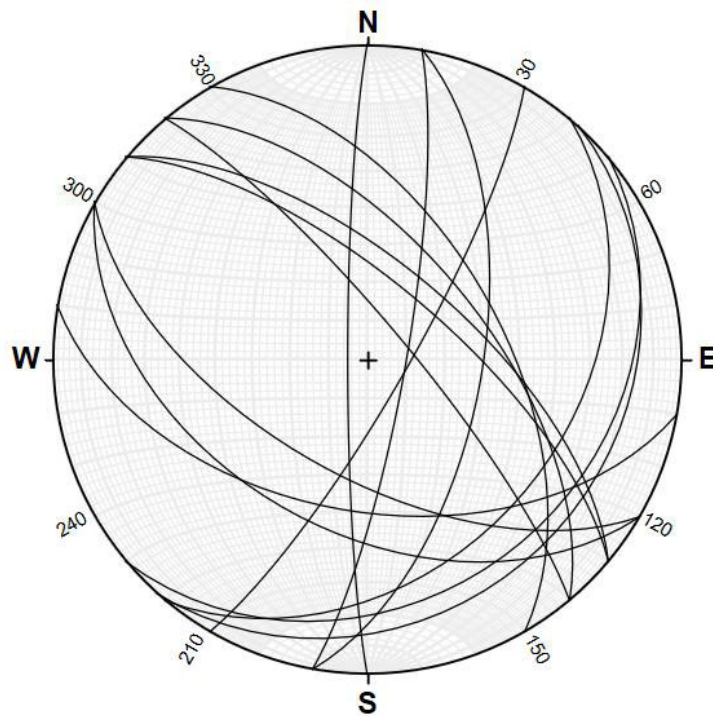


Figura 15 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento GNN2.

7.1.2 RILIEVO GEOSTRUTTURALE GNN1

Il rilievo GNN1 è stato fatto lungo una linea di 6,10 m orientata WNW-ESE, situata 120m a Est della vetta del M.S.MIAI (nel quale poggerà la Turbina1). L'ammasso roccioso ha l'aspetto massivo e struttura massiccia. Le superfici riconoscibili sono imputabili alla fratturazione, più raramente alla stratificazione. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva, e, per quanto resistente, è debolmente affetta da alterazione fisica. La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 1 m, la minima è 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.

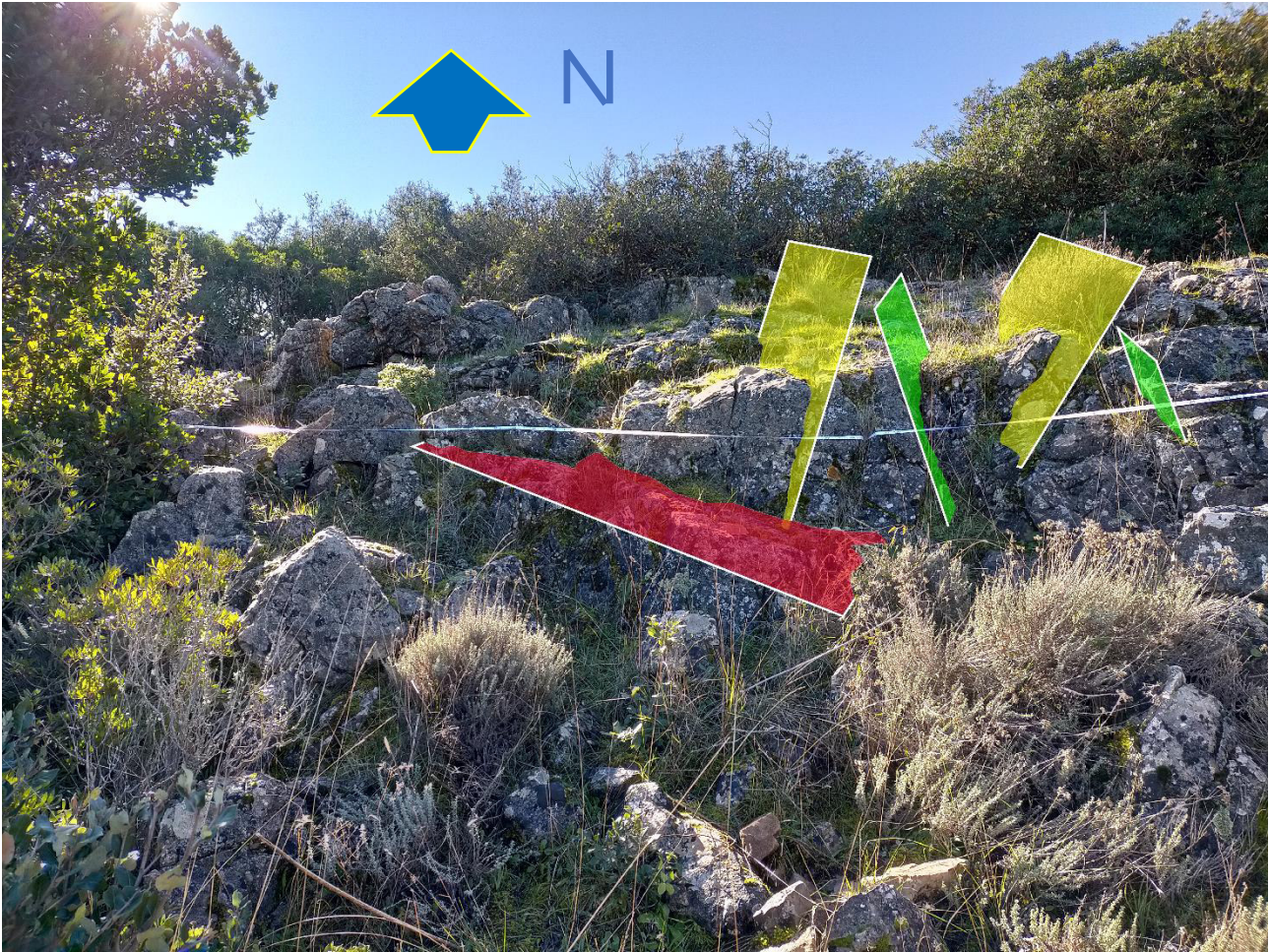


Figura 16 rilievo geostrutturale GNN1 con superfici di fratturazione in evidenza.

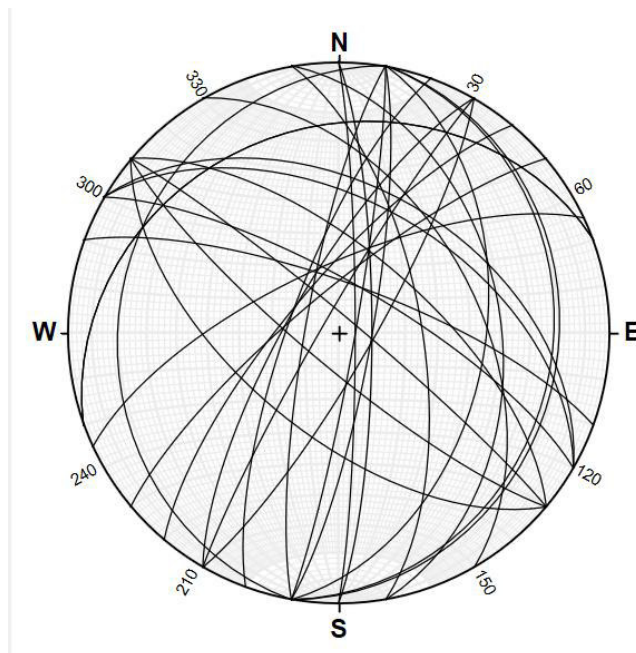


Figura 17 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento GNN1.

Le giaciture più frequentemente rilevate risultano avere valori tra i 190N e i 220N con inclinazioni oltre i 75° e valori tra i 290N e i 330N con inclinazioni di circa 50°.

7.1.3 RILIEVO GEOSTRUTTURALE NEB1

Il rilievo NEB1 è stato fatto lungo una linea di 6,90m orientata W-E (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), e situato 340m a W di *Cuccuru De Sa Idda* lungo la cresta nella zona occidentale. L'affioramento è ubicato lungo una parete alta 2,5 m, ad aspetto massivo e moderatamente alterato, l'alterazione è di tipo chimico per processi di argillificazione lungo alcune discontinuità, nelle superfici meno alterate la rugosità, stimata a vista con il supporto degli schemi Barton, si presenta comunque mediamente (JRC sempre compreso tra 5 e 10).

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta poco resistente (si frantuma con un colpo di martello). La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,2 m, la minima è 0,05m. Sono riconoscibili almeno 2 famiglie di giunti, le discontinuità più fitte sono però date dalla scistosità (giace con orientazione N30) che, unitamente ai giunti, tende a dividere l'ammasso in frammenti tabulari; sono poi frequenti zone nel parco nei quali si intersecano più famiglie di giunti subortogonali tra loro frantumando l'ammasso in piccoli frammenti allungati.

Riportando i dati giacitureali delle suddette superfici nella proiezione stereografica (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) è possibile rappresentare l'andamento dei giunti di fratturazione.

Anche in questo caso è possibile riconoscere almeno 3 famiglie di giunti:

- La scistosità che giace a N30, con piani da molto inclinati a sub-verticali;
- Una famiglia che giace a circa 290N con piani inclinati circa 70°;
- Una famiglia che giace con orientazione circa N200 con piani da molto inclinati a sub-verticali (oltre i 70°).
- Una famiglia che giace con orientazione circa N200 con piani da molto inclinati a sub-verticali (oltre i 70°).

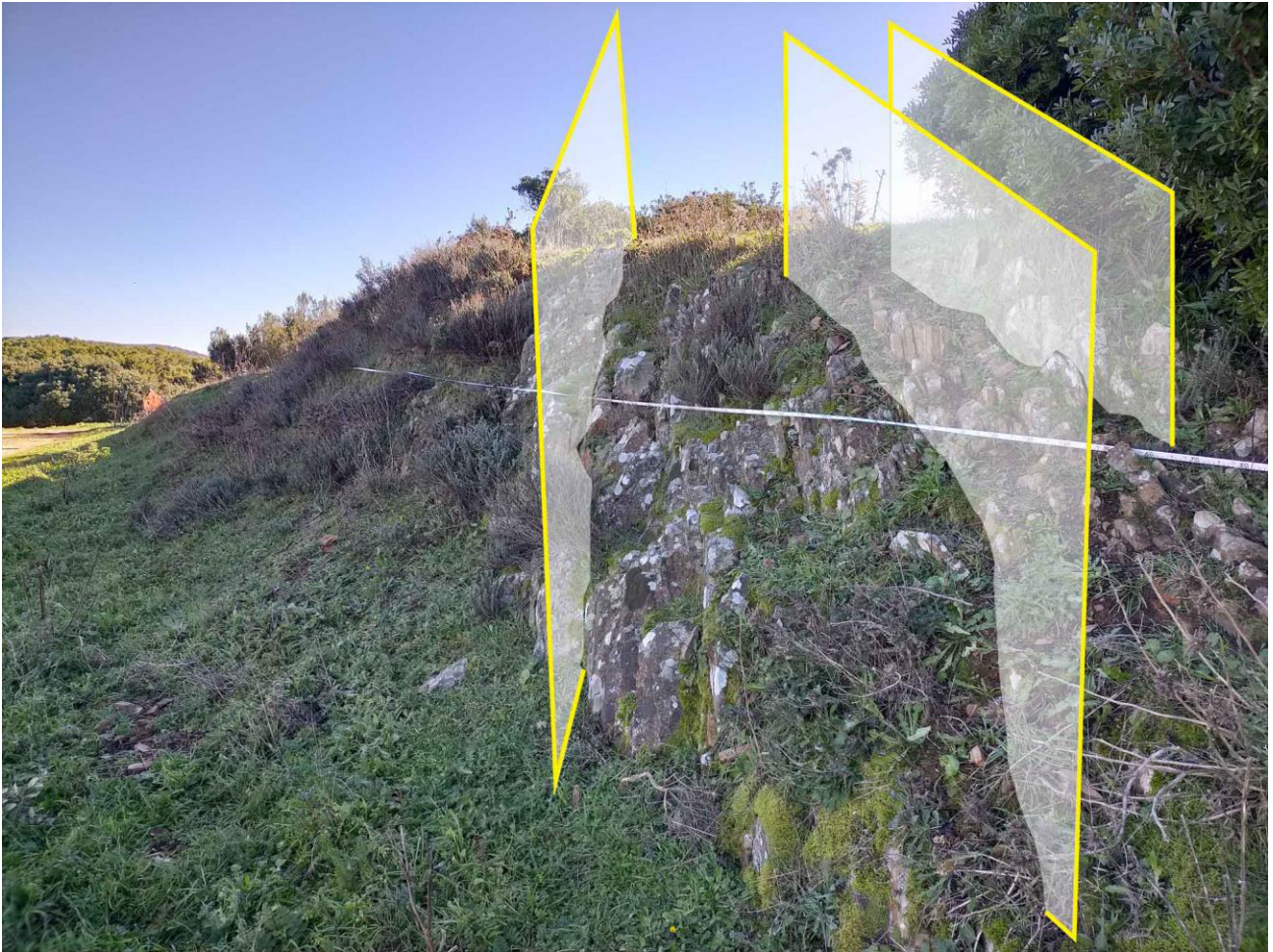


Figura 18 Affioramento NEB1, in evidenza i piani di scistosità

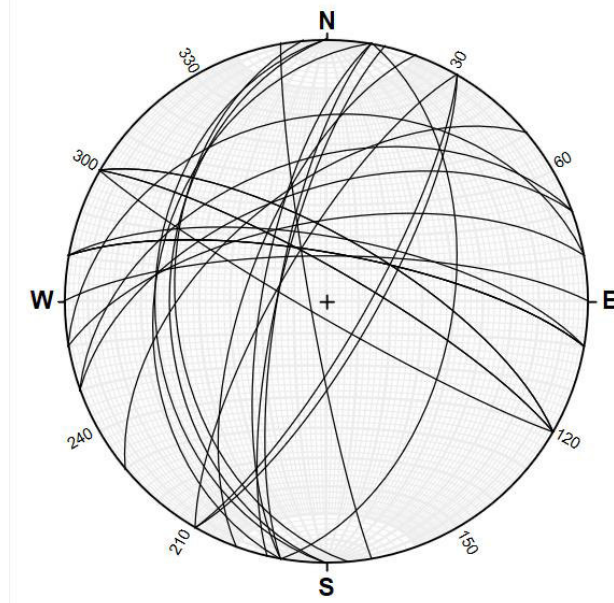


Figura 19 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento NEB1.

7.1.4 RILIEVO GEOSTRUTTURALE NEB2

Il rilievo NEB2 è stato fatto su una linea di 7m orientata N020 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**0) nei pressi di Punta Is Coris, ovvero dove poggierà la T6. L'affioramento è ubicato lungo una piccola scarpata di roccia affiorante lunga 8m e alta 2m nel quale si riconosce nettamente la presenza discontinuità date da scistosità. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta poco resistente, affetta da alterazione chimica per processi di argillificazione lungo alcune discontinuità. La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,2 m, la minima è 0,05m. Sono riconoscibili almeno 2 famiglie di giunti, le discontinuità più fitte sono però date dalla scistosità (giace con orientazione N285) che, unitamente ai giunti, tende a dividere l'ammasso in frammenti tabulari.

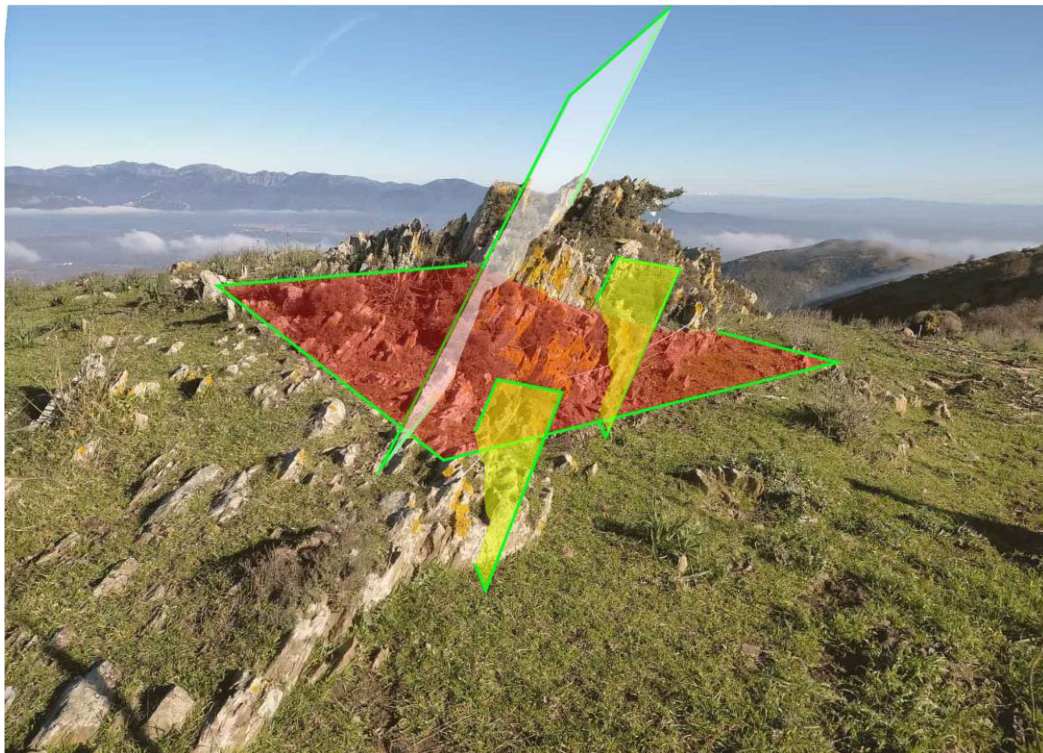


Figura 20 rilievo geostrutturale NEB2, in bianco i piani di scistosità.

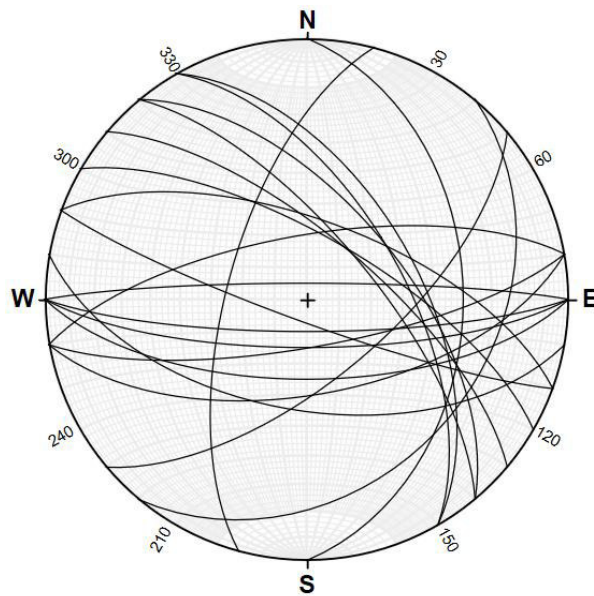


Figura 21 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento NEB2.

8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO

L'intensa fratturazione e la presenza di scistosità 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):

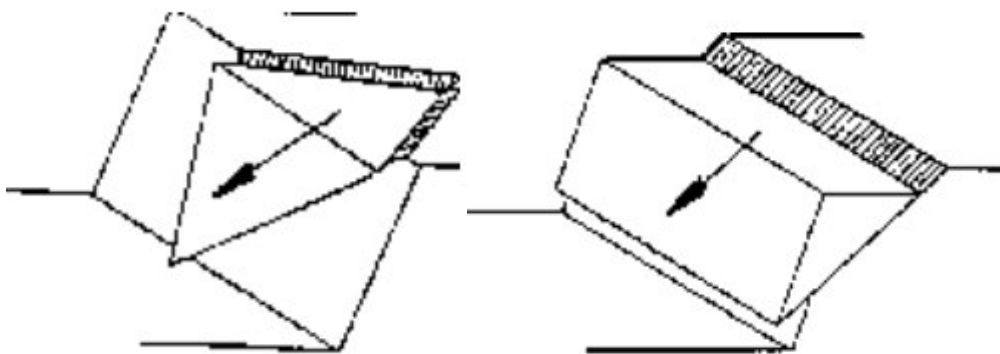


Figura 22 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

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 siltoso-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 appartenenti alla **Formazione di Gonnese** la presenza di famiglie di giunti con maggiori spaziature e con assetto geometrico più regolare determina la formazione di blocchi più grandi, nell'ordine del metro cubo e più.

A scala media infatti, le spaziature nella stessa famiglia sono maggiori, anche oltre 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. Sono presenti famiglie di giunti semiaperti quasi ortogonali tra loro a formare isolati blocchi pseudo cubici delle dimensioni variabili fino al metro cubo. I fenomeni di instabilità sono per lo più legati al crollo di codesti blocchi quando il piano di appoggio si trova a inclinazione maggiore di quella del pendio.

9. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi subarrotondati e dislivelli dell'ordine di 400 m circa 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.

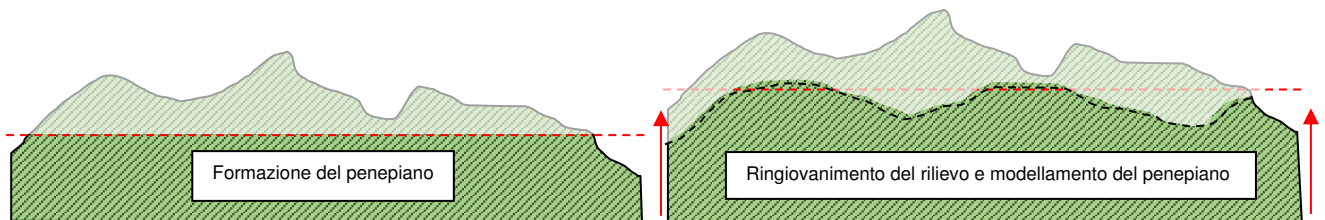


Figura 23 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

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.

Il rilievo sul quale poggierà il parco eolico, vedasi tavola geomorfologica di Fig.38, è costituito da una blanda anticlinale orientata da Est a Ovest situata tra la sinclinale del Cixerri a Nord e la sinclinale di Narcao a Sud, partendo da Monte S. Miai (615m), Cuccuru De Sa Idda (580m), Punta de Schirru (604m), Punta Is Coris (607m) fino a Serra Giuenni (585m, 568m). Il profilo del colle tagliato da Nord a Sud è asimmetrico, il versante settentrionale ha una pendenza media del 35% circa mentre quello meridionale del 20% circa.

Le numerose incisioni che solcano i versanti si presentano incassate, spesso colmate, nei tratti meno acclivi, da scariche detritiche riconducibili all'azione dei processi gravitativi. A scala locale si osservano alcune valli più o meno profonde dal profilo simmetrico marcatamente a V, con frequenti meandri incassati, segno di un recente ringiovanimento con tendenza all'approfondimento degli alvei. I depositi alluvionali presentano spessori molto modesti e relegati nel fondo valle spesso costituiti da blocchi di grosse dimensioni che indicano trasporti di massa considerevoli. I corsi d'acqua presentano un regime esclusivamente torrentizio e sono caratterizzati da scarsa permeabilità del substrato, ridotta sezione idraulica ed elevata pendenza media delle aste.

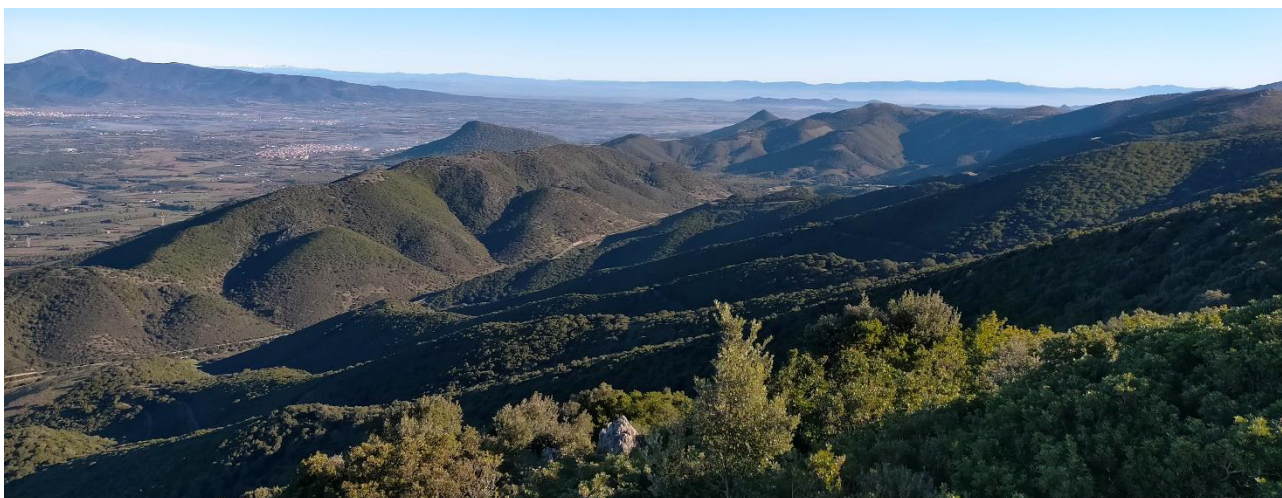


Figura 24 Versante settentrionale del rilievo, sulla destra.



Figura 25 Lato orientale del parco



Figura 26 Foto scattata dal lato orientale del parco rivolta a W

9.1 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

Le turbine T1 e T2 poggeranno in litologie appartenenti alle dolomie della Formazione di Gonnesa, sono segnalati nel catasto speleologico grotte e cavità carsiche, in corrispondenza delle piazzole non sono però stati rilevati vuoti nella roccia, le insenature risultano riempite da coltri eluvio-colluviali.



Figura 27 Roccia affiorante (GNN1) nei pressi della piazzola della Turbina 1



Figura 28 Piazzola Turbina 2

La Turbina numero 3 poggia nella Formazione di Nebida, la giacitura delle principali discontinuità è subverticale, non sono stati rilevati ammassi rocciosi affioranti, la sommità del colle è ampia e dolce, raggiunge una quota di circa 508mslm. La

morfologia è simile per quanto riguarda le piazzole delle T4,T5 e T6, in prossimità di quest'ultima è però possibile osservare costolature di roccia affiorante con giacitura quasi verticale delimitando piccole aree dalla superficie più aspra.



Figura 29 Piazzola Turbina 3



Figura 30 Posizione Turbina 4



Figura 31 Foto scattata da posizione Turbina 5



Figura 32 Pressi Turbina 6

In corrispondenza della posizione della Turbina numero 7 la roccia affiora in buona parte della superficie, il resto risulta coperto da coltri eluvio-colluviali e vegetazione, non sono stati segnalati durante l'attività di rilevamento in campo grotte

o cavità carsiche, il basamento roccioso risulta poco alterato mediamente fratturato. Nelle piazzole in cui poggeranno le Turbine 8-9 la superficie di esposizione del basamento roccioso è inferiore, si ritiene in ogni caso che gli spessori di coltre siano esigui, poiché piccoli affioramenti di roccia in posto risultano sparsi omogeneamente in tutta la sommità del colle.



Figura 33 Posizione Turbina 7



Figura 34 Piazzola T7, foto rivolta a Ovest

Nella piazzola della Turbina 9 sono state rilevate morfologie tipiche delle litologie carbonatiche, come i Lapies e i Karren,

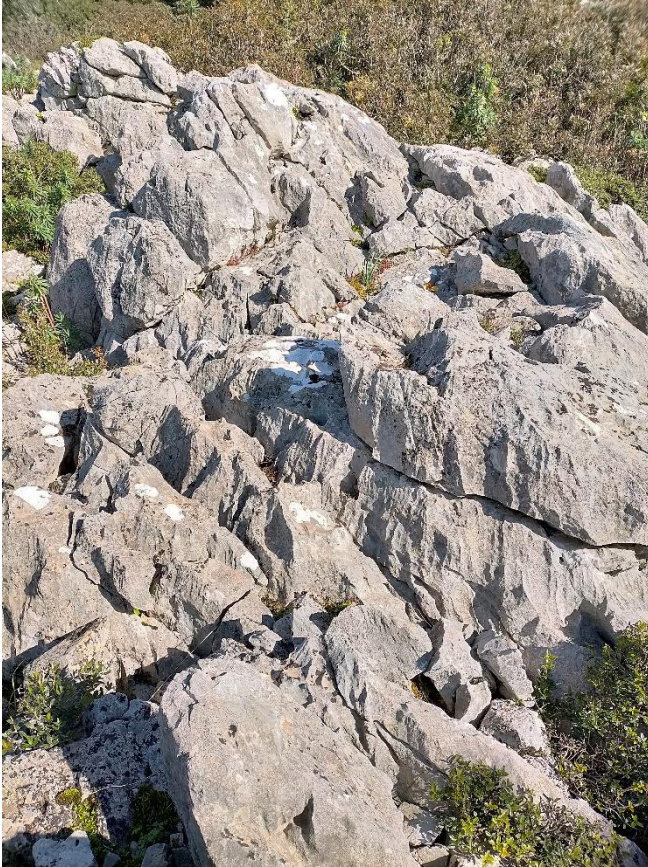


Figura 35 Scannellature superficiali (o Lapies)

si tratta di morfologie carsiche superficiali, dovute alla dissoluzione del Carbonato di Calcio ad opera delle acque meteoriche. In seguito al testo, in una fotografia scattata poco a SE nella Turbina 9 è possibile notare scannellature nella superficie della dolomia affiorante, e in una foto successiva, come l'unione di più Karren tenda a formare un "campo carreggiato", il parallelismo dei diversi solchi è probabilmente dovuto alla stratificazione, le cui discontinuità sono state accentuate dall'incisione dell'acqua piovana.

Oltre alle cavità carsiche segnalate nel catasto speleologico è stata rilevata circa 200m a SE rispetto alla Turbina 9 una cavità affiorante con andamento subverticale, come si può notare nell'immagine nella pagina seguente.

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. Per quanto

riguarda le caratteristiche geomorfologiche dei fenomeni franosi nell'area di studio non sono stati segnalati processi gravitativi di particolare rilevanza; sono state rilevate talvolta frane di crollo per scivolamento di elementi tabulari o ribaltamento di piccoli blocchi dalle dimensioni decimetriche accompagnati da più frequenti rilasci detritici formati da ciottoli in matrice sabbioso-ghiaiosa. Questi ultimi si accumulano entro i compluvi alla base delle pareti rocciose e alla base dei versanti, formando ampie pietraie soggette a locale rimobilizzazione secondaria, in corrispondenza di eventi pluviometrici intensi. 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, in particolare il carsismo.

Il carsismo si sviluppa principalmente a seguito della dissoluzione chimica delle



Figura 36 Campo carreggiato nei pressi della turbina 9



Figura 37 Cavità carsica nei pressi della turbina 9 superficiali che scorrono sul basamento paleozoico impermeabile.

rocce carbonatiche. Il processo carsico rientra nel grande insieme delle azioni di disaggregazione compiute dagli agenti esogeni a spese delle rocce affioranti sulla crosta terrestre. La corrosione avviene per opera delle acque meteoriche che, oltre a contenere una certa quantità di anidride carbonica atmosferica disciolta al loro interno, scorrendo sulla superficie del suolo ed attraversando lo strato superficiale del suolo si arricchiscono ulteriormente di CO₂. Queste acque reagiscono con la roccia calcarea intaccandola lentamente, sia in superficie sia infiltrandosi nel reticolo, fino a dar luogo nell'arco del tempo a veri e propri condotti di dimensioni variabili, che costituiscono i classici acquiferi tipici delle rocce carbonatiche. Infatti le acque ricche di anidride carbonica sono particolarmente aggressive nei confronti del carbonato di calcio.

La geomorfologia di quest'area è quindi prevalentemente interessata dall'azione geochimica che l'acqua esercitata sulle rocce carbonatiche e dall'azione fisica sulle metapeliti fratturate, la quale, assieme al clima locale caratterizzato dall'imponenza del maestrale e alle importanti escursioni termiche giornaliere, ha smussato e modellato il territorio; le profonde valli a "V" sono poi dovute all'azione delle acque

10. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il rilievo dalla forma allungata con orientazione Ovest-Est sul quale poggeranno le turbine divide lungo la sua cresta a



Nord il Sub-bacino n.7 del Flumendosa-Campidano-Cixerri e a Sud il Sub-bacino n.1 del Sulcis. Le acque del primo confluiranno dal versante Nord con le acque del Cixerri, di lunghezza totale pari a circa 42 km, questo fiume nasce poco a sud di Iglesias e percorre l'omonima valle in direzione W-E, con un andamento a tratti monocursale artificializzato; confluisce nella piana del Campidano dopo aver oltrepassato la soglia di Siliqua sfociando nello Stagno di Santa Gilla. L'asta del Cixerri si sviluppa all'interno di un dominio prevalentemente alluvionale in una valle ampia (depressione di origine tettonica), debolmente incisa, delimitata da bordi netti e ripidi con un alveo a debole pendenza caratterizzato da un ridotto trasporto solido.

Le acque che defluiscono nel versante meridionale invece confluiranno a Sud-Ovest con il Riu Palmas. La rete idrografica del bacino in generale è costituita da un reticolo ad andamento radiale centrifugo. A partire dai rilievi centrali, le valli seguono alcune direzioni preferenziali (NNW-SSE, NNE-SSW e talvolta E-W) determinate dalla tettonica ercinica e alpina e si presentano inizialmente assai strette e profondamente incise, con un andamento meandriforme, per poi allargarsi in corrispondenza dello sbocco nelle zone pedemontane e pianeggianti. I corsi d'acqua presentano carattere torrentizio e le portate, dove non regolate dai bacini di ritenuta, risultano in stretta correlazione

con il regime climatico, diminuendo sensibilmente durante il periodo estivo fino ad annullarsi.

10.1 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

Il parco eolico è quindi attraversato nella parte Settentrionale da Sud a Nord, dal *Riu Tuvu Antiogu Loi che unitamente al FIUME_27019* confluiranno poi nel *Riu Gutturu Su Tuvu Mannu* nei pressi della pala T6, dall'*Ega Gardu* e dall'*Ega Cooremò* che confluiranno nel *Riu de Santu Tomeu* nei pressi della T4. Invece in prossimità delle pale T1, T2 e T3 a Nord scorrono i torrenti *Ega su Pampinu*, *Ega de Coccoi* ed *Ega sa Figu* a confluire affluire nel *Riu de Gennas de Morus*.

Nel versante meridionale invece scorrono a sud della vetta del M.S.Miai verso SW il Canale Garanzeis, a sud dellturbine T4 e T4 scorre il *Gutturu Xeraxius* che confluisce a s'Ega de Margani nei pressi di Terraseo. A sud della Turbina 5 scorre il *Gutturu de is Argani* tra Cuccuru Pannasi e Punta Santa Barbara; a sud della Turbina 9 scorre poi il *Riu s'Ega sa Gascia* tra Serra Lillas e Serra Su Finugu.

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.

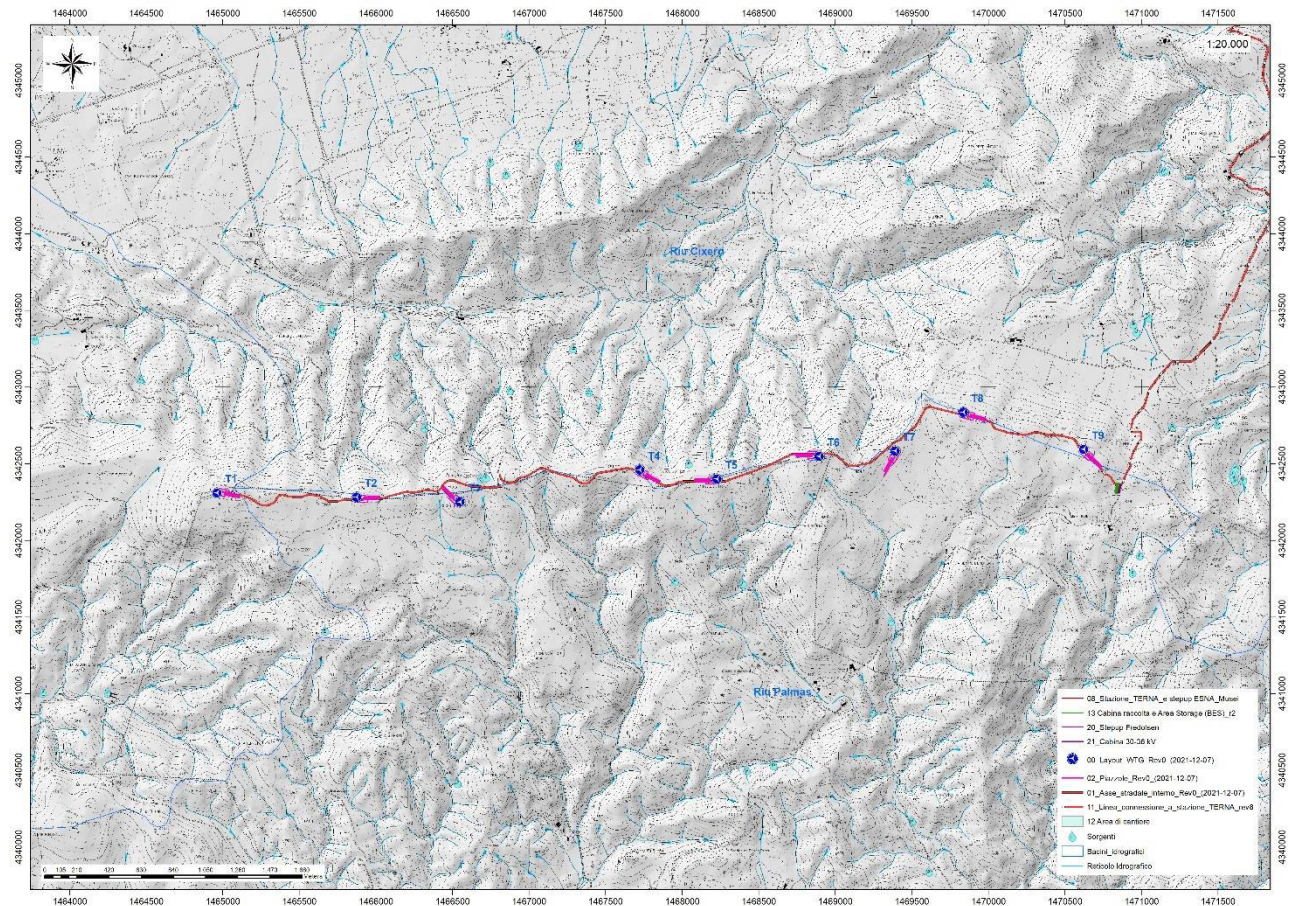


Figura 39 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

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.

Tale proprietà può essere 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 analoga misura sia le litologie metamorfiche che quelle intrusive nella porzione sommitale e di interesse alle opere del parco eolico.

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

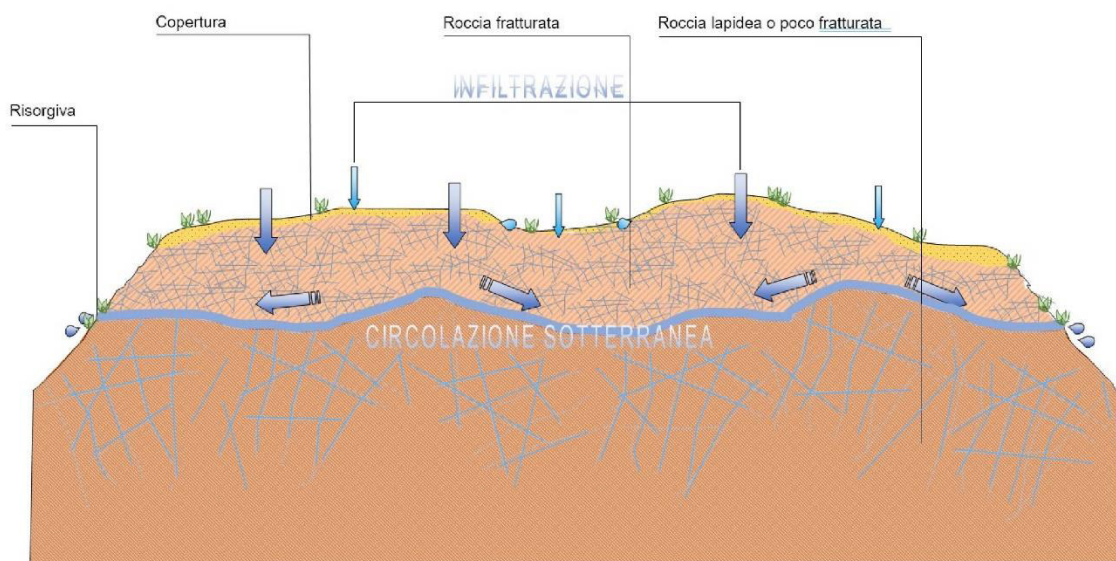


Figura 40 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Da un punto di vista idrogeologico le formazioni dell'area di studio possono essere divise in tre gruppi principali:

- Dolomie della Formazione di Gonnese. Interessa le Turbine T1, T2, T7, T8 e T9 nelle quali la permeabilità è **Alta per carsismo e Fratturazione**.
- Metapeliti e metarenarie della Formazione di Nebida. Interessa le Turbine T3, T4, T5 e T6, ed è costituito da metarenarie e metapeliti caratterizzate da una **Permeabilità Bassa per Fratturazione**.
- Depositi quaternari. I depositi quaternari occupano aree molto limitate distribuite nell'area di interesse raggiungendo spessori poco significativi, con una permeabilità alta per porosità. I depositi di versante essendo in gran parte costituiti da una struttura clasto-sostenuta e scarsa matrice (falde di detrito), presentano una

permeabilità molto elevata, in ogni caso i loro spessori esigui non garantiscono una potenza sufficiente per generare acquiferi significativi.

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.

Altre 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.

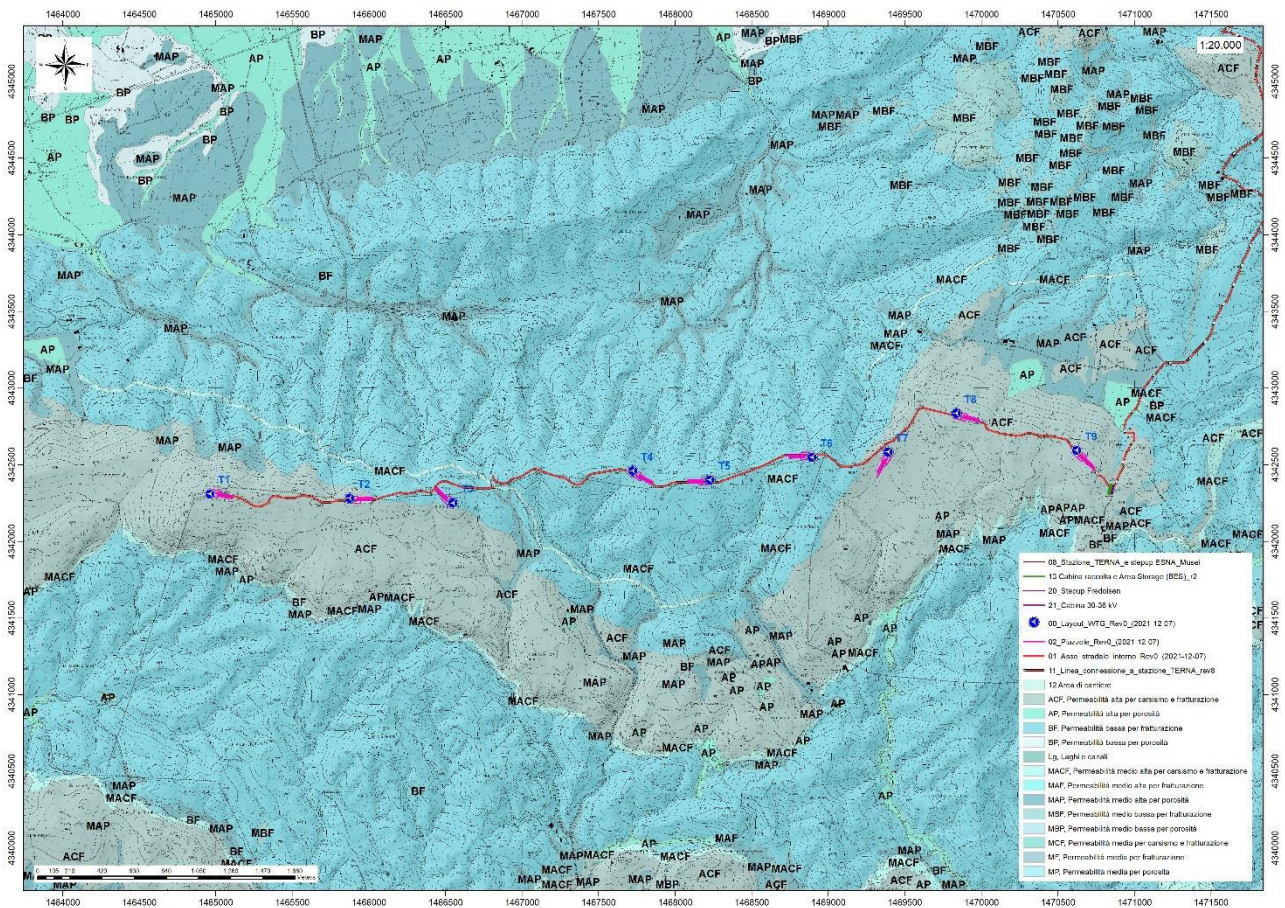


Figura 41 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)

11. CAVITÀ DI INTERESSE SPELEOLOGICO

Nel Catasto Speleologico Regionale è possibile individuare la presenza di alcune cavità di interesse speleologico localizzate nell'area di interesse. Queste ultime sono impostate nelle rocce carbonatiche e dolomitiche delle formazioni di Monte Uccari e di Monte Nurra.

Nel dettaglio, nel limite occidentale del rilievo sono presenti diverse cavità registrate al C.S.R. e localizzate nelle Dolomie della Formazione di Gonnese, tra le quali:

-2225 "Grutta 'e su Confinu", a quota 595m s.l.m., internamente presenta un dislivello di 14 metri dal p.c. ed uno sviluppo spaziale di 102 m.

-2381 "Grotta la Casa dei Ragni", a quota 590m s.l.m., internamente presenta un dislivello di 13 metri dal p.c. ed uno sviluppo spaziale di 18 m.

-2380 "Grutta Is Crabbitus", a quota 585m s.l.m., internamente presenta un dislivello di 7 metri dal p.c. ed uno sviluppo spaziale di 35 m.

-0443 "Putzu'e Santu Miai", a quota 510m s.l.m., internamente presenta un dislivello di 37 metri dal p.c. ed uno sviluppo spaziale di 56 m.

-0444 "Putzu n.2 di Santu Miai", a quota 500m s.l.m., internamente presenta un dislivello di 11 metri dal p.c. ed uno sviluppo spaziale di 15 m.

-2893 "Grutta Santu Miai", a quota 553m s.l.m., internamente presenta un dislivello di 22 metri dal p.c. ed uno sviluppo spaziale di 36 m.

Mentre nel limite orientale del rilievo è presente una cavità localizzata ugualmente nelle Dolomie della Formazione di Gonnese nominata "Grutta'e Giuenni" a quota 526m s.l.m., internamente presenta un dislivello di 3 metri dal p.c. ed uno sviluppo spaziale di 37 m.

Periodo	Coordinate Nord	Coordinate Est
Grutta 'e su Confinu	39° 13' 46,1"	8° 35' 54,5"
Grotta la Casa dei Ragni	39° 13' 42,1"	8° 35' 51,5"
Grutta Is Crabbitus	39° 13' 41,1"	8° 35' 48,5"
Putzu'e Santu Miai	39° 13' 34,1"	8° 35' 41,5"
Putzu n.2 di Santu Miai	39° 13' 32,1"	8° 35' 37,5"
Grutta Santu Miai	39° 13' 37,5"	8° 35' 37,5"
Grutta'e Giuenni	39° 13' 44,4"	8° 39' 20,9"

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.

L'area di progetto su cui verranno installate le turbine ricade nei paesaggi su "Calcarei, dolomie e calcari dolomitici del Paleozoico e del Mesozoico e relativi depositi di versante." Nel caso della T1, T2, T7 e T8 su "Metamorfiti (scisti, scisti arenacei, argilloscisti, ecc.) del Paleozoico e relativi depositi di versante" nel caso della T3, T4, T5 e T6. Al primo paesaggio viene associato il profilo **A1** con "Roccia affiorante e suoli a profondità variabile nelle anfrattuosità della roccia, con profili A-R e subordinatamente A-Bt-R, argillosi, poco permeabili, neutri, saturi"; mentre al secondo paesaggio vengono associati i profili **B1** e **B2**, rispettivamente "Roccia affiorante, suoli a profilo A-C e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, mediamente permeabili, subacidi, parzialmente desaturati" e "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".

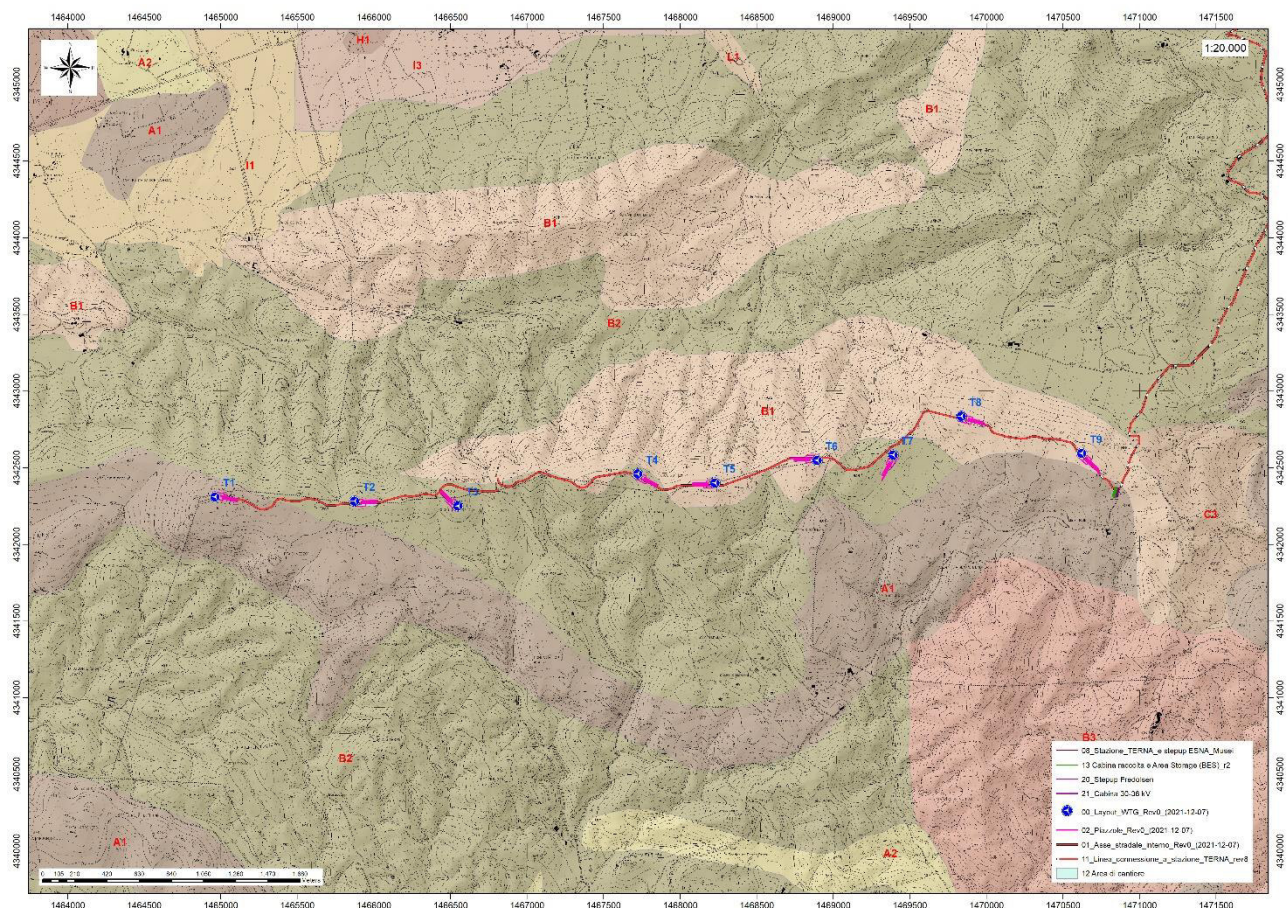


Figura 42 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

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 "Villamassargia" si inserisce in un contesto in cui il suolo ricade in vari livelli (Fig. 12.1).

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

- Ricadono nel livello "321", classificate come "Aree a pascolo naturale" le turbine T3, T4, T5, T6, T7 e T8.
- Ricadono nel livello "3232", classificate come "Gariga" le turbine T1 e T2.
- Ricadono nel livello "31122", classificate come "Sugherete" la turbina T9.

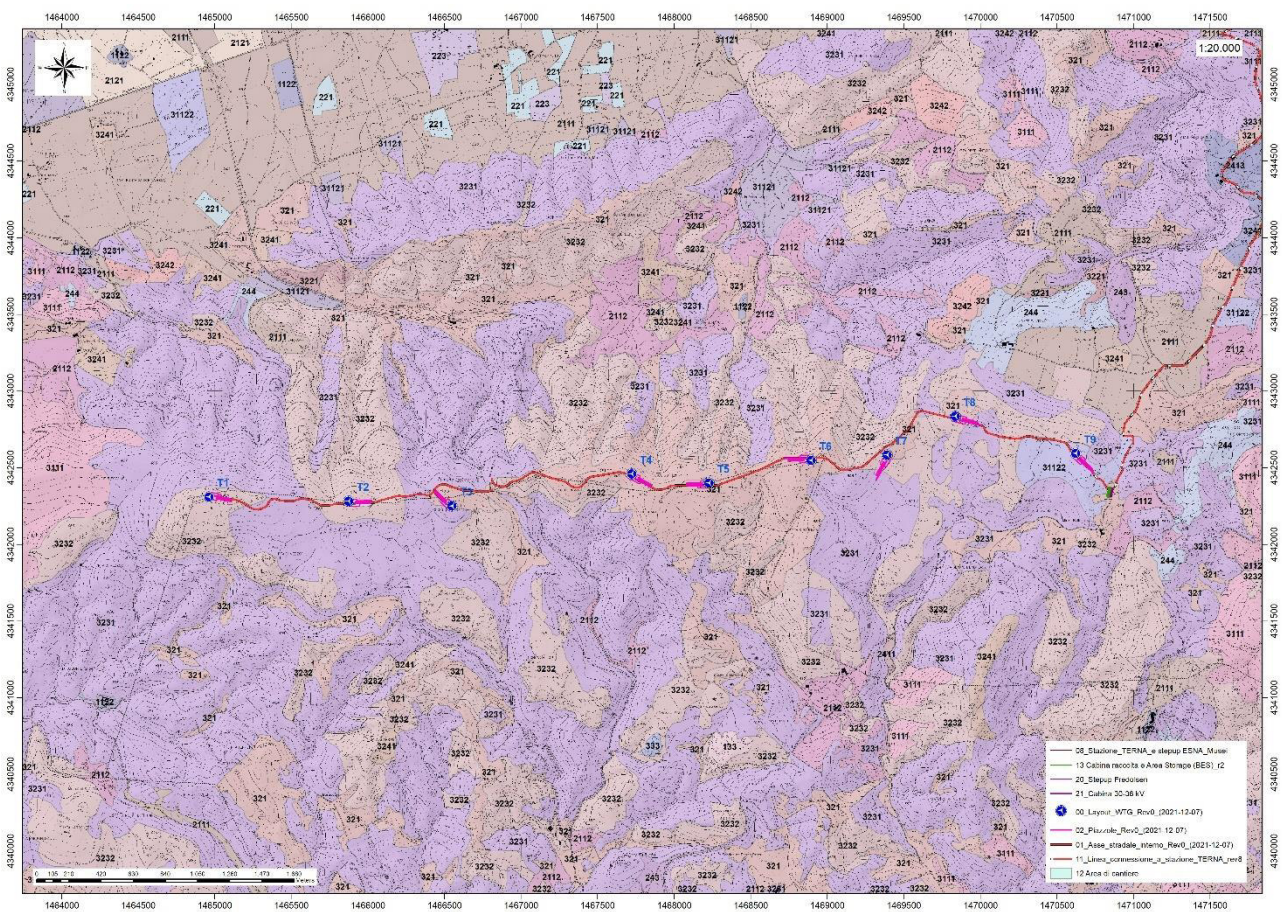


Figura 43 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

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". Le turbine sono posizionate su un pianoro sufficientemente ampio da garantire la non influenza dell'opera con la dinamica del versante attiguo.

Dai sopralluoghi effettuati in sito non si ha inoltre evidenza per quest'area di fenomeni franosi in atto o potenziali. La dinamica geomorfologica di versante è naturalmente presente ma senza manifestazioni importanti.

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

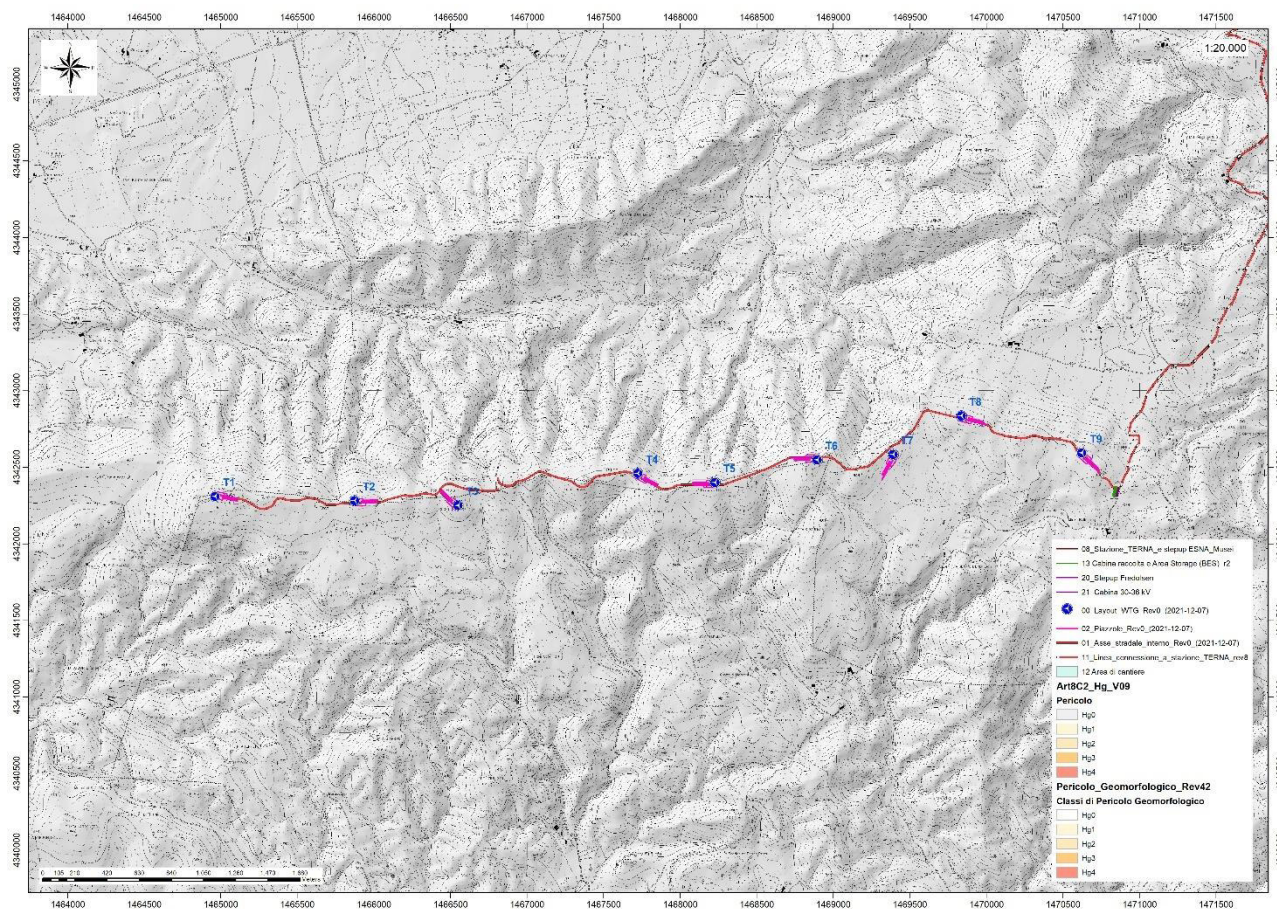


Figura 44 Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31.01.2018.

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità idraulica resa disponibile dalla RAS, risulta che sia nell'area di interesse che nel territorio circostante non sono presenti settori perimetrati da pericolosità legata a fenomeni idraulici o aree interessate da fenomeni di esondazione naturali, che si trovano distanti dal sito dove verrà realizzato il progetto.

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

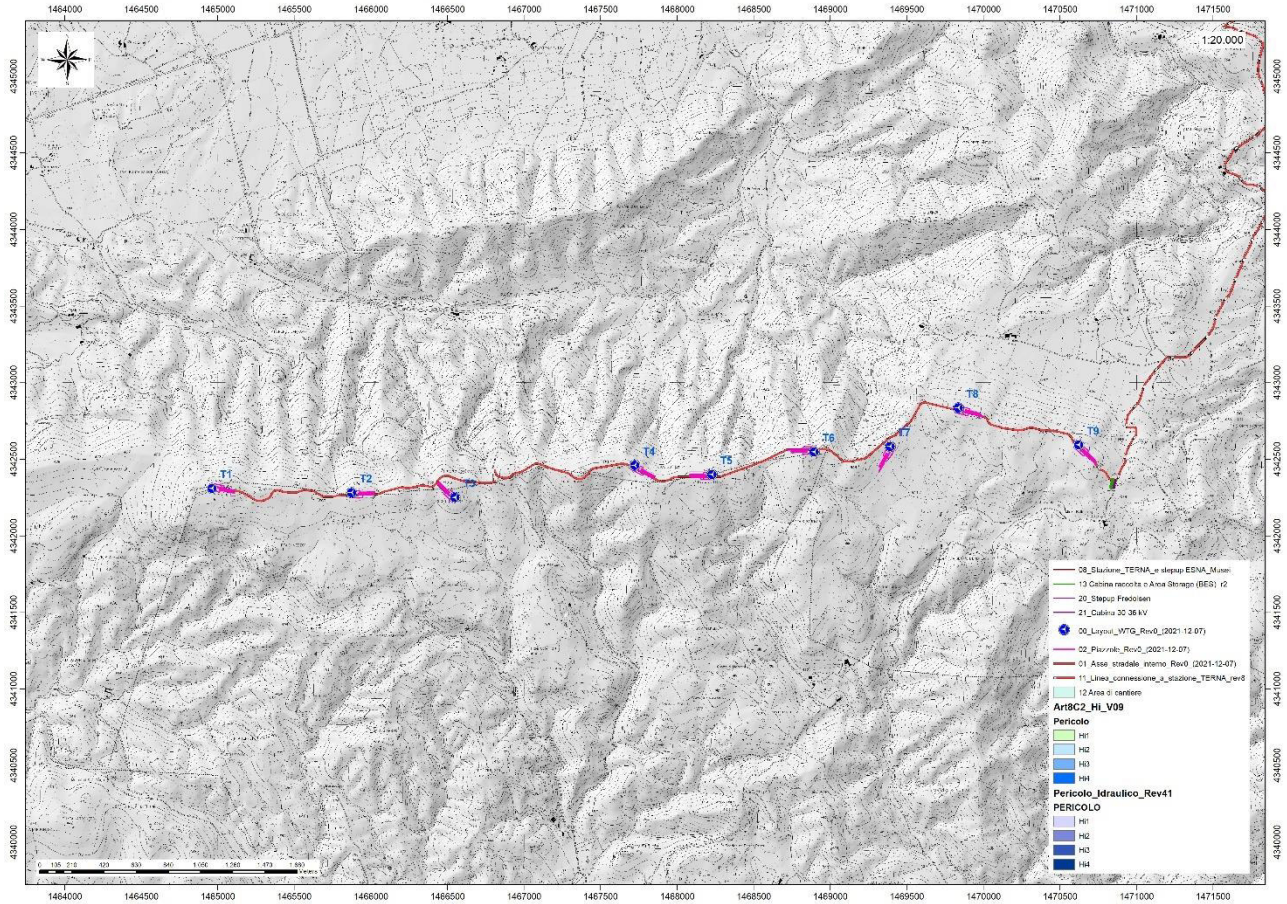


Figura 45 Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31/01/2018.

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 non sono menzionate aree che ricadono nell'ambito territoriale dell'area di interesse.

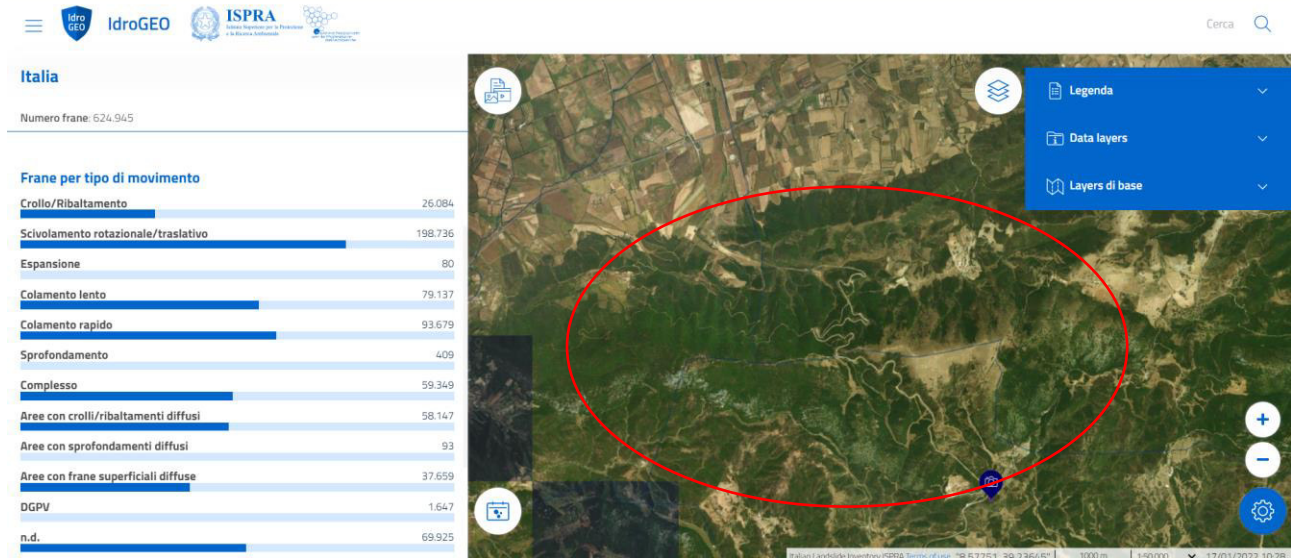


Figura 46 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

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 **Villamassargia** non sono presenti aree perimetrate dal **P.S.F.F.**

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

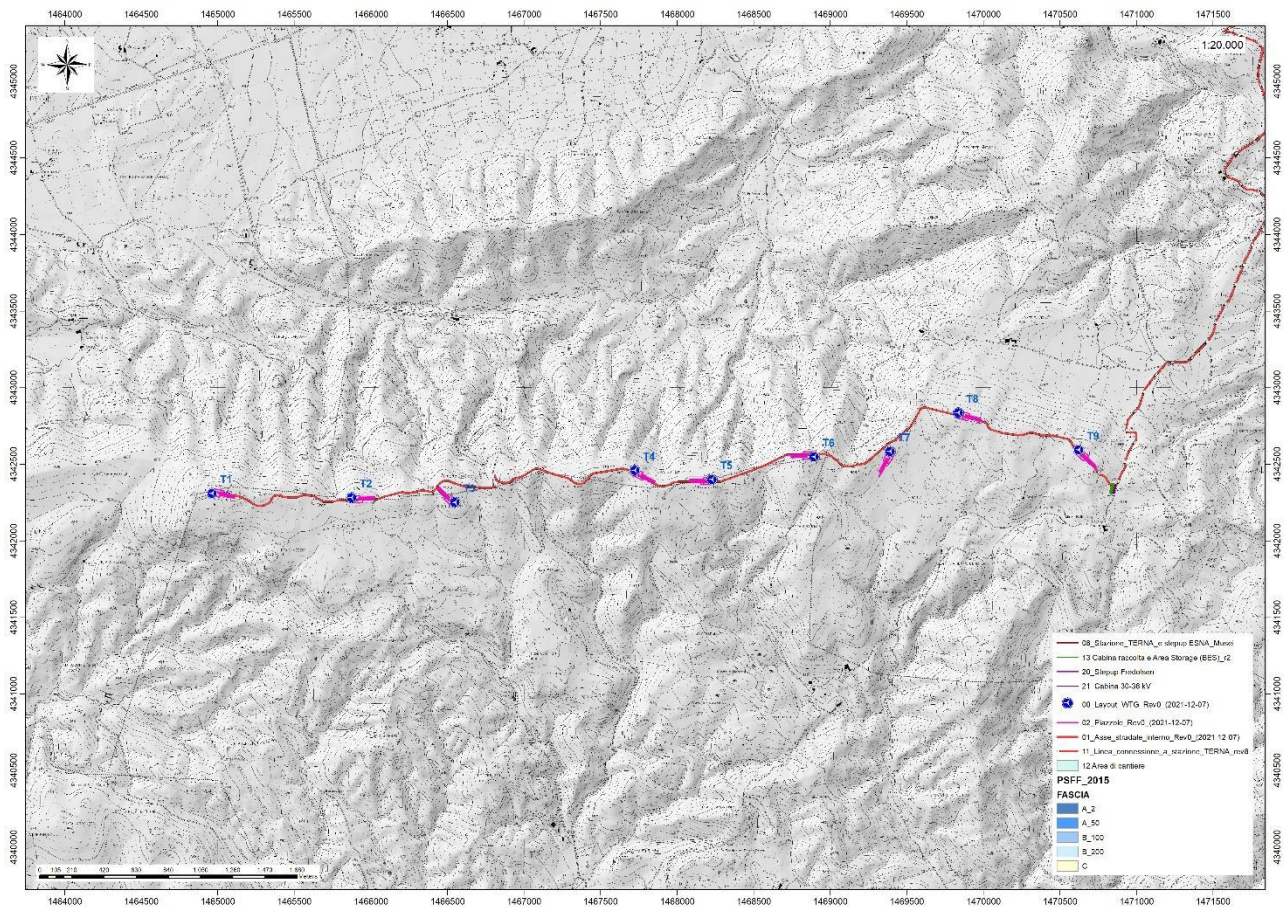


Figura 47 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF

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.

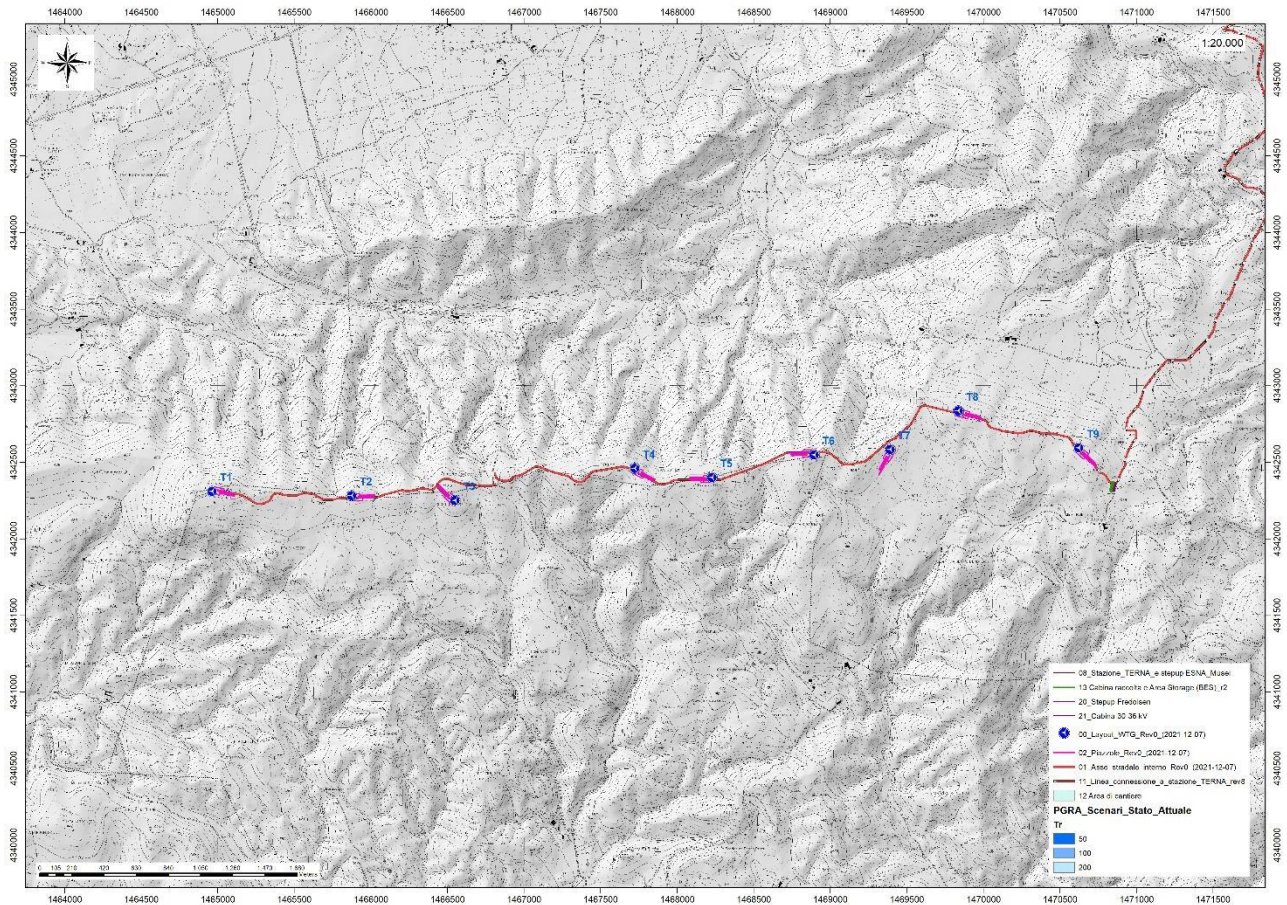
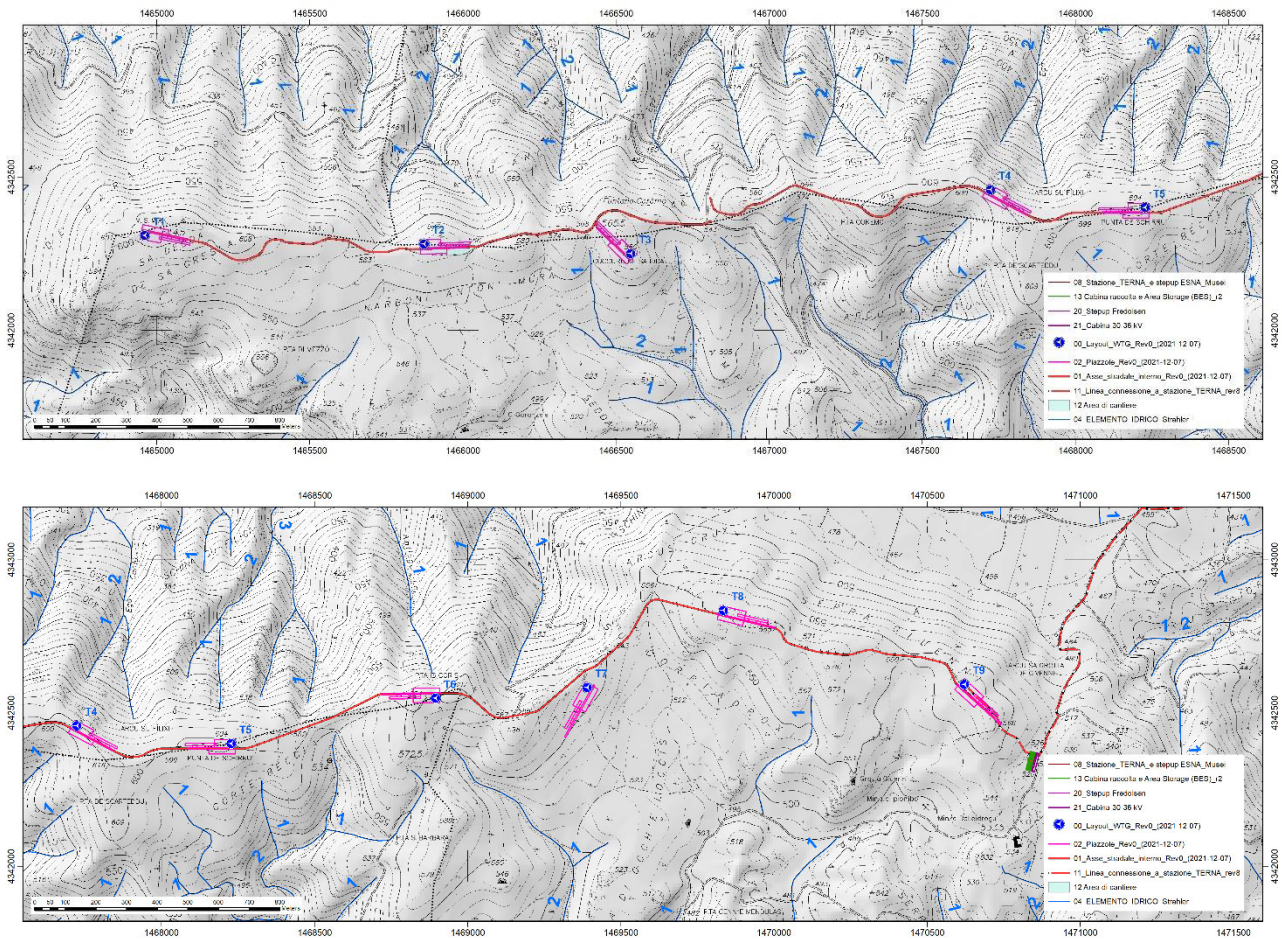


Figura 48 Stralcio perimetrazione PGRA

14.5 ART.30TER NTA PAI

Poiché il territorio comunale non è stato ancora oggetto di uno Studio di dettaglio della pericolosità idraulica così come previsto dall'art.8 comma c delle NTA PAI, nelle more della realizzazione dello stesso, vengono istituite le fasce di prima salvaguardia secondo il comma 1 dell'art.30ter di seguito riportato.

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



Nel caso specifico i corsi d'acqua che scorrono a valle allontanandosi dalla cima dei rilievi su cui poggeranno le fondazioni delle turbine sono classificati di ordine 1 secondo la gerarchia di Horton-Strahler, in ragione delle distanze di prima salvaguardia istituite con il suddetto art.30ter, i perimetri delle fondazioni stesse e le strade di nuova costruzione devono rispettare quindi una distanza di 10m dall'asse del tracciato fluviale.

Nelle tavole soprastanti sono evidenziati i tratti fluviali più prossimi alle opere in progetto e le rispettive **classi Horton-Strahler** contenute nel layer RAS, è possibile notare come le opere in progetto siano situate oltre la fascia di rispetto minima consentita.

15. MODELLAZIONE GEOLOGICA

16.1 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 mi (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_{ci} e mi) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig.58, che riassume i valori della costante mi 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, granodiorite 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, calcareuzzo, 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 bianca, salgemma
R1	Resistenza molto bassa	1-5	[**]	Si frantuma per effetto di alcuni colpi con la punta di un martello geologico, può essere spellato mediante un coltellino	Rocce estremamente alterate o alterate
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasi

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

Figura 49 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

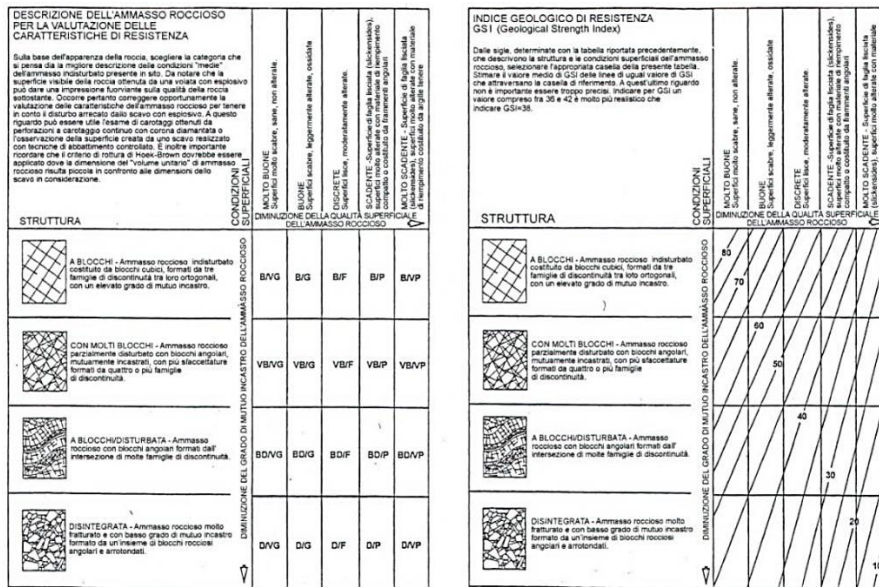


Figura 50 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

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

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

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

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

$$\sigma'1 = (2c' \cos \phi' / 1 - \sin \phi') + (1 + \sin \phi' / 1 - \sin \phi') \sigma'3$$

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	Siltite 9	Argillite 4
				Grovacche (18)		
	Non clastiche	Organogene			Calcere bianco (7)	
		Carbonatiche	Breccia(20)	Calcere Sparitico (10)	Calcere Micritico 8	
	Chimiche		Gesso 16	Anidride 13		
METAMORFICHE	Non foliate		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Leggermente foliate		Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)	
	Foliate*		Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9
IGNEE	Chiare		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
	Scure		Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
			Norite 22			
Effusive piroclastiche		Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)		
Questi valori sono validi per campioni di roccia intatta portati a rottura applicando il carico normale alla stratificazione o scistosità. Il valore di m, sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza						

Figura 51 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso ha portato alla classificazione 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	<p>ROCCE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO</p> <p>Dolomite, calcare e marmo.</p>	<p>ROCCE ARGILLOSE LITIFICATE</p> <p>Argille, silti, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</p>	<p>ROCCE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE</p> <p>Arenarie e quarzite</p>	<p>ROCCE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE</p> <p>Andesite, dolerite, diabase e norite</p>	<p>ROCCE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCE CRISTALLINE METAMORFICHE</p> <p>Amfibolette, gabbro, gneiss, norite, quarzo-diorite</p>
<p>CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA</p> <p>Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa)</p> <p>Indice CSIR: RMR = 100</p> <p>Indice NGI: Q = 500</p>	m s	7.00 1.00	10.00 1.00	15.00 1.00	17.00 1.00	25.00 1.00
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI OTTIMA QUALITÀ</p> <p>Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m</p> <p>Indice CSIR: RMR = 85</p> <p>Indice NGI: Q = 100</p>	m s	2.40 0.082	3.43 0.082	5.14 0.082	5.82 0.082	8.56 0.082
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI BUONA QUALITÀ</p> <p>Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 65</p> <p>Indice NGI: Q = 10</p>	m s	0.575 0.00293	0.821 0.00293	1.231 0.00293	1.395 0.00293	2.052 0.00293
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI DISCRETA QUALITÀ</p> <p>Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 44</p> <p>Indice NGI: Q = 1</p>	m s	0.128 0.00009	0.183 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 23</p> <p>Indice NGI: Q = 0.1</p>	m s	0.029 0.000003	0.041 0.000003	0.061 0.000003	0.069 0.000003	0.102 0.000003
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ MOLTO SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 3</p> <p>Indice NGI: Q = 0.01</p>	m s	0.007 0.0000001	0.010 0.0000001	0.015 0.0000001	0.017 0.0000001	0.025 0.0000001

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

Figura 52 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

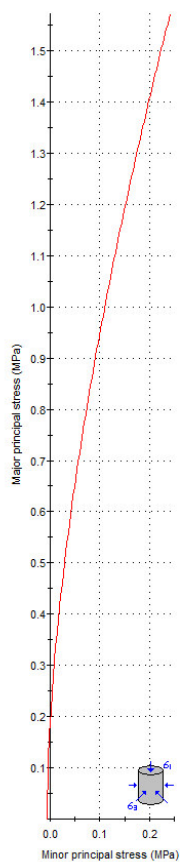
Spaziatura totale delle discontinuità (s)=0,1 m

Lunghezza media del giunto = >3 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – asciutta

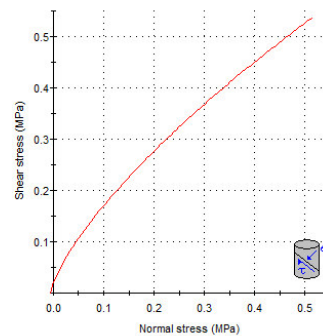


Hoek-Brown Classification
intact uniaxial compressive strength = 138 MPa
GSI = 25 m = 19 Disturbance factor = 1

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

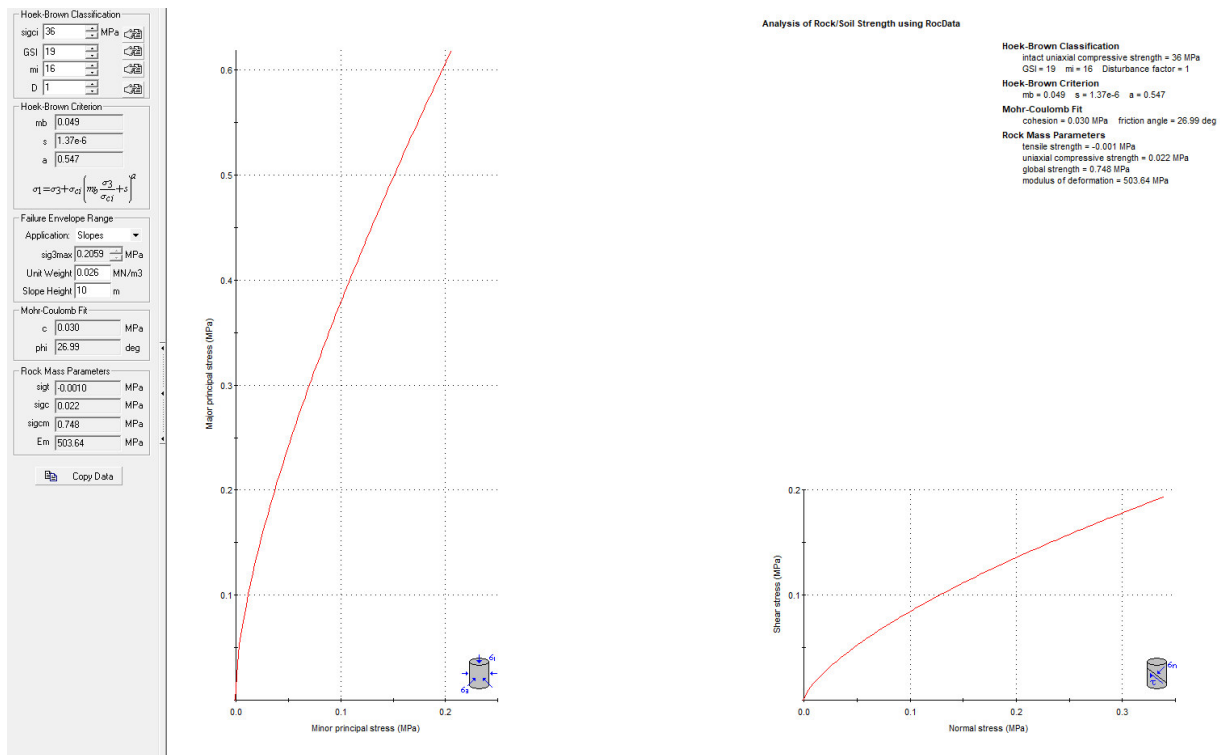
Spaziatura totale delle discontinuità (s)= >0,1 m

Lunghezza media del giunto = >3 m

Pareti – molto alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – umida



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

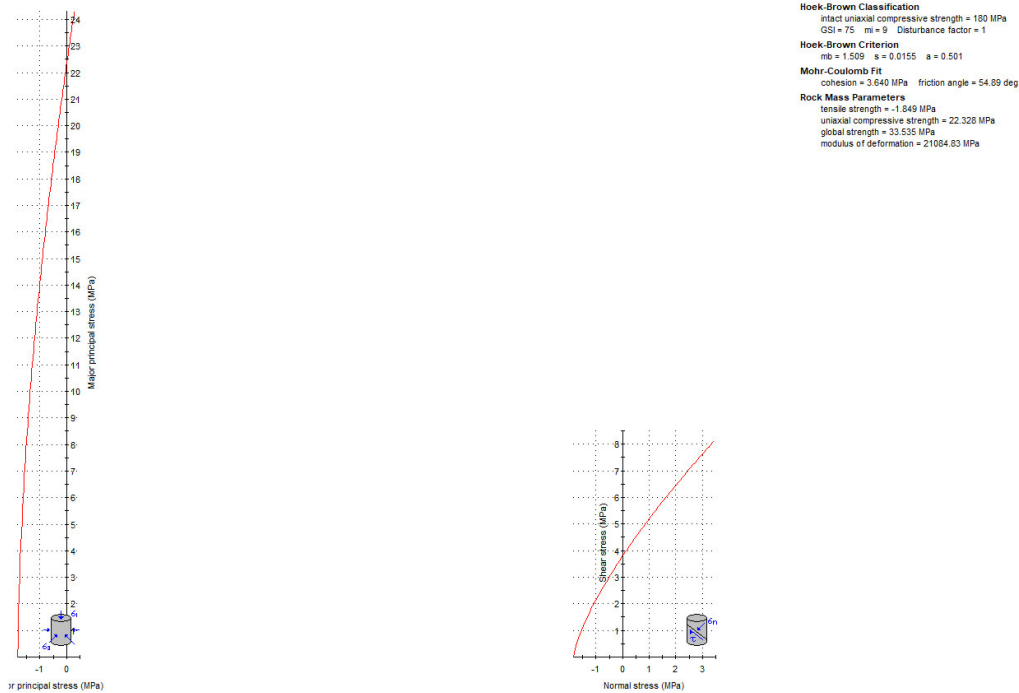
Apertura del giunto = 1 - 40mm

Giunto – rugoso ondulato classe IV

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto/ assente

Roccia – asciutta



16.2 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 metamorfite 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.

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 **3 modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito:

MODELLO GEOLOGICO 01 – T01, T02, T08, T09

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati degli stendimenti geofisici TRM-1 e TRM-2 e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-1" e "Scanline-3".

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo di circa 0,15m si incontra un livello superficiale di roccia alterata dallo spessore di circa 1m, il sottostante substrato litoide costituito da uno spessore di circa 6 m di dolomie alterate della Formazione di Gonnese.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva, e, per quanto resistente, è debolmente affetta da alterazione fisica. La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 1 m, la minima è 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.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare negli stendimenti TRM-1 e TRM-2 delle anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto al resto delle sezioni, che nel contesto in esame potrebbero essere interpretati come settori leggermente più fratturati e interessati da circolazione idrica e/o presenza di cavità di origine carsica con presenza d'acqua. Il confronto con i grafici della sismica a rifrazione in alcuni casi farebbe propendere più per la prima ipotesi, mentre in altri per la seconda.

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione esecutiva si consiglia 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).

00.00m - 1.00m	Suolo/ Dolomia fratturata e alterata
01.00m - 4.00m	Dolomia mediamente fratturata
04.00m - 17.60m	Dolomia poco fratturata.
17.60m - in poi	Dolomia sana

Villamassargia - MODELLO GEOLOGICO 01 (T01, T02, T08, T09)					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1- Suolo/ Dolomia fratturata e alterata	S2 – Dolomia mediamente fratturata	S3 – Dolomia poco fratturata	S4- Dolomia sana
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	2000	2100	2200	2300
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2100	2200	2300	2400
Angolo di attrito interno	[°]	30,66	35,09	39,2	43,21
Coesione	[Mpa]	0,016	6,825	12,823	25,453
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	4600	9100	24250	50000
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	1700	3410	9100	19500
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	930	1275	2035	2872

MODELLO GEOLOGICO 02 – T05, T06, T07.

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **RM-2** e i dati dei rilievi geomeccanici **"Scanline-2"** e **"Scanline-4"**.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo di circa 0,20m si incontra un livello superficiale di roccia alterata dallo spessore di circa 2,3m, il sottostante substrato litoide costituito da uno spessore di circa 12 m di metarenarie fratturate e alterate della Formazione di Nebida.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta stratificata, e, per quanto resistente, è da debolmente a mediamente affetta da alterazione fisica. La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,3 m, la minima è <0,1m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è alta la probabilità che l'intersezione tra queste e la stratificazione causi scivolamenti planari o a cuneo.

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione esecutiva si consiglia 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.

0.00m – 2.30m	Metarenaria molto fratturata e alterata
2.30m – 6.40m	Metarenaria fratturata e alterata
6.40m – 12.80m	Metarenaria mediamente fratturata.
12.80m – 30.00	Metarenaria poco fratturata

Villamassargia - MODELLO GEOLOGICO 02		(T05, T06, T07)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1- Metarenaria molto fratturata e alterata	S2 – Metarenaria fratturata e alterata	S3 – Metarenaria mediamente fratturata	S4- Metarenaria poco fratturata
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	2000	2100	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2100	2200	2200	2300
Angolo di attrito interno	[°]	29,65	32,48	35,25	38,42
Coazione	[Mpa]	4,377	6,439	7,295	8,688
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	4717	6296	9905	15975
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	1765	2363	3717	5992
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	940	1060	1330	1650

MODELLO GEOLOGICO 03 – T03, T04 E VIABILITÀ.

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **RM-1** e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-2" e "Scanline-4".

Questo modello rappresenta una situazione del substrato che si potrebbe incontrare durante la costruzione delle strade e durante la messa in posto dei cavidotti, laddove la roccia è più fratturata, per esempio per via del passaggio di una faglia, favorendo il passaggio dell'acqua e quindi l'alterazione chimica della roccia.

In questi casi lo spessore di suolo/terre può raggiungere i 6m, le condizioni della roccia rimangono molto sfavorevoli fino a circa 18,00m, il sottostante substrato litoide costituito da uno spessore di circa 12 m di metarenarie fratturate della Formazione di Nebida.

Per quanto riguarda l'analisi dell'ammasso roccioso affiorante nei pressi dello stendimento **RM-1**, le condizioni della roccia si presentano simili a quelle della "scanline 4", eseguita nei pressi dell'**RM-2**; la roccia è stratificata, la spaziatura massima tra le discontinuità che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,3 m, la minima è <0,1m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è alta la probabilità che l'intersezione tra queste e la stratificazione causi scivolamenti planari o a cuneo, dove l'alterazione chimica è spinta e la struttura della roccia madre è obliterata si possono verificare inoltre scivolamenti rotazionali.

Allo stesso modo come per gli altri casi, in fase di progettazione esecutiva si consiglia 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.

0.00m – 2.30m	Terre mediamente addensate
2.30m – 6.40m	Terre molto addensate e/o rocce molto fratturate
6.40m – 18.10m	Roccia intensamente fratturata.
18.10m – 30.00m	Substrato roccioso intensamente fratturato.

Villamassargia - MODELLO GEOLOGICO 03		(T03, T04, viabilità)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1- Suolo/Terre mediamente addensate	S2 – Terre molto addensate e/o rocce molto fratturate	S3 – Roccia intensamente fratturata.	S4- Substrato roccioso intensamente fratturato.
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1600	1700	1800	2000
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1700	1800	1900	2100
Angolo di attrito interno	[°]	21,60	25,45	29,00	32,00
Coesione	[Mpa]	0,020	0,027	1,699	3,528
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	422	657	1900	5335
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33

Modulo di taglio (G)	[Mpa]	157	245	710	2001
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	315	380	620	1000

16.3 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 fessurato 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. COMPATIBILITA' 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.

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Gli aerogeneratori e la viabilità di impianto non sono soggetti a pericolosità *da frana*, facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti per tali aree **l'intervento è ammesso anche in aree a pericolosità molto elevata Hg4**, 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:

- a. le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli;
- b. le opere anche temporanee e gli interventi idraulico-forestali e idraulico-agrari per la riduzione o l'eliminazione dei pericoli e dei rischi da frana nelle aree di innesco e sviluppo dei fenomeni di dissesto;

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;

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.

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 all'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, non determina variazioni sostanziali all'attuale regime di deflusso delle acque superficiali.

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.

Effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti. L'intervento è realizzato su aree sub-pianeggianti o con pendenze non superiori al 15%, dove 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 parti 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 dello scavo 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 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

Il presente studio ha permesso di verificare la compatibilità 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 è ammissibile secondo quanto disposto dall'art 23 comma 7 delle NTA PAI:

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.

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.

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Gli aerogeneratori e la viabilità di impianto non sono soggetti a pericolosità *da frana*, facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti per tali aree **l'intervento è ammesso anche in aree a pericolosità molto elevata Hg4**, 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:

a. le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli;

b. le opere anche temporanee e gli interventi idraulico-forestali e idraulico-agrari per la riduzione o l'eliminazione dei pericoli e dei rischi da frana nelle aree di innesco e sviluppo dei fenomeni di dissesto;

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;

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.

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.