



Nuovo impianto per la produzione di
energia da fonte eolica nei comuni di
Siurgus Donigala e Selegas (SU)

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA

Rev. 0.0

Data: 12 Marzo 2021

WIND004.REL003d



Cosima Atzori

Committente:

Siurgus S.r.l.

Via Michelangelo Buonarroti 39,

20145 Milano

C. F. e P. IVA: 11189260968

PEC: siurgus@pec.it

Incaricato:

Queequeg Renewables, Ltd

Unit 3.21, 1110 Great West Road

TW80GP London (UK)

Company number: 111780524

email: mail@quenter.co.uk

SOMMARIO

1 Premessa e finalità dello studio	5
2 Normativa di riferimento	5
3 Studi ed indagini di riferimento.....	5
4 Inquadramento geografico generale	6
5 Caratteristiche di progetto dell'opera.....	15
6 Inquadramento geologico.....	18
6.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....	18
7 Analisi delle condizioni geostruttrali generali	21
Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso	23
8 Inquadramento geomorfologico.....	32
8.1 Lineamenti geomorfologici dell'area di studio.....	33
8. 2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	35
9 Inquadramento idrologico e idrogeologico.....	40
9.1 Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea	40
9.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee	45
10 Inquadramento pedologico.....	51
11 Uso del Suolo	51
12 Analisi dei vincoli gravanti sui terreni.....	52
12.1 Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.)	52
12.2 Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I.	55
12.3 Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).....	55
12.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	57
13 Modellazione geologica	58
13.1 Caratterizzazione geostruttrale degli ammassi rocciosi.....	58

13.2 Modello Geologico di sito	70
Modello Geologico 01 – ARENARIE DI SAN VITO – WTG001, WTG002, WTG003, WTG004, WTG005	71
Modello Geologico 02 – Form. PALAMANNA – WTG006, WTG007, WTG008, WTG009 WTG014	72
Modello Geologico 03 – ARGILLOSCISTI – WTG010, WTG011, WTG012	73
Modello Geologico 04 – PORFIROIDI – WTG11, WTG13,.....	74
13.3 Viabilità di impianto e Sottostazione.....	75
COMPATIBILITA' IDRAULICA E GEOLOGICA-GEOTECNICA	76
Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI	76
Analisi sulle variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità (Art.3 c.7 NTA PAI)	78
CONCLUSIONI	81

1 Premessa e finalità dello studio

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "*Pranu Nieddu*" dislocato nel territorio comunale di Ballao Provincia del Sud Sardegna, al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico è stata redatta la presente **Relazione di Compatibilità Idrogeologica**, secondo quanto previsto dalle NTA 2020 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 e, in relazione a quanto prescritto dalla normativa vigente in materia di rischio idrogeologico.

2 Normativa di riferimento

La presente è redatta in ottemperanza 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)
- Norme Tecniche di Attuazione PAI – aggiornamento GIUGNO 2020 allegato B Delib.G.R. n. 43/2 del 27.8.2020.

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:

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 nel foglio 548030 "Siurgus Donigala" e 548040 "Goni"

- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000, nel foglio n°226 "Mandas"
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG) nel foglio n°548 "Senorbì".
- 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 16-24/11/2020 nella zona di interesse.

4 Inquadramento geografico generale

Siurgus Donigala è un Comune della provincia del Sud Sardegna situato nella zona centro-meridionale della Sardegna, a 452 metri sul livello del mare.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: 548 sez. I "Goni".
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: 548030 "Siurgus Donigala" e 548040 "Goni".



Figura 4.1 - Panoramica dalla WTG008



Figura 4.2 -Panoramica verso la WTG007



Figura 4.3 - Panoramica da Monte Maiori verso WTG006

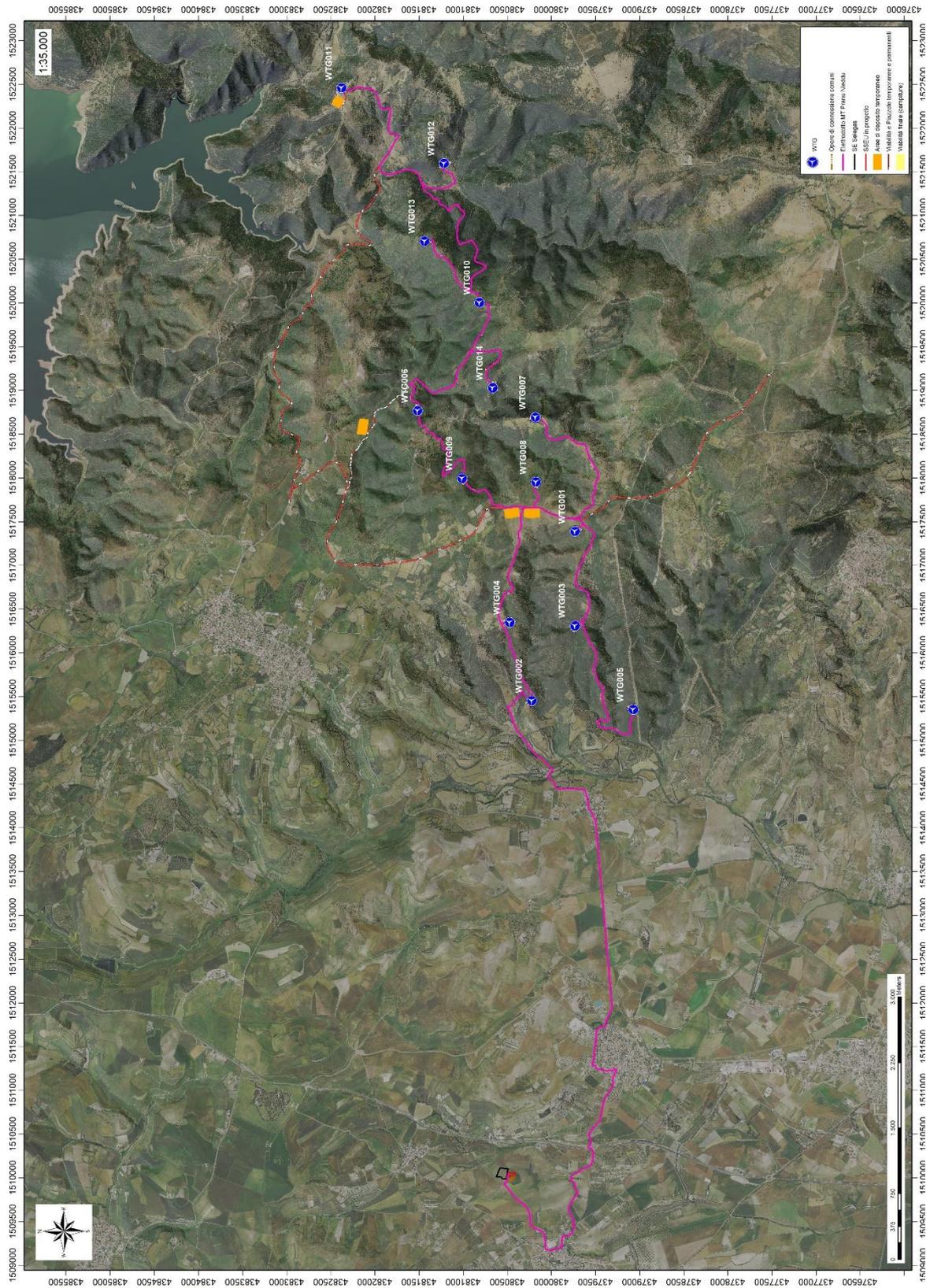


Figura 4. 4: Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

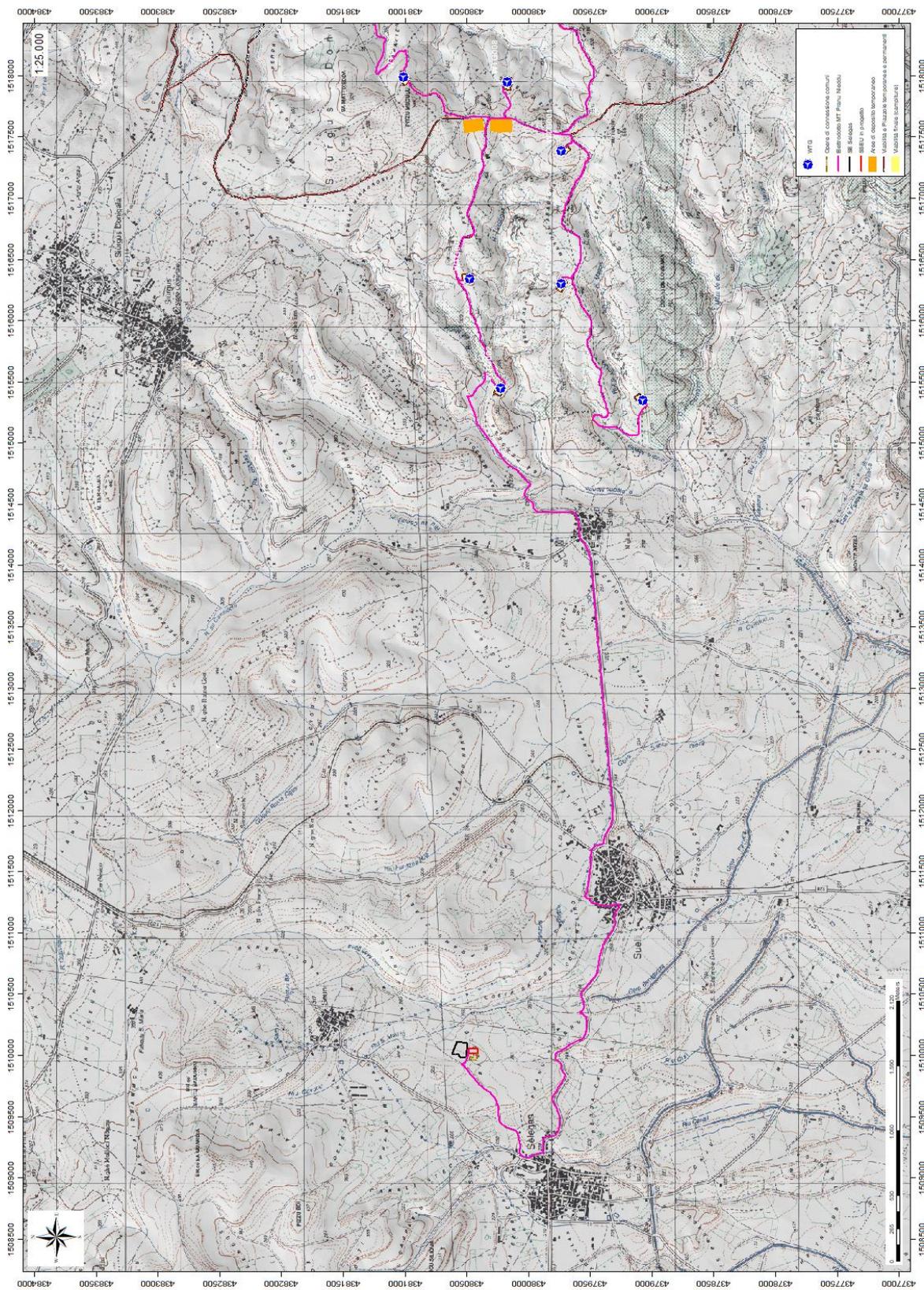


Figura 4. 5: Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000 (settore ovest)

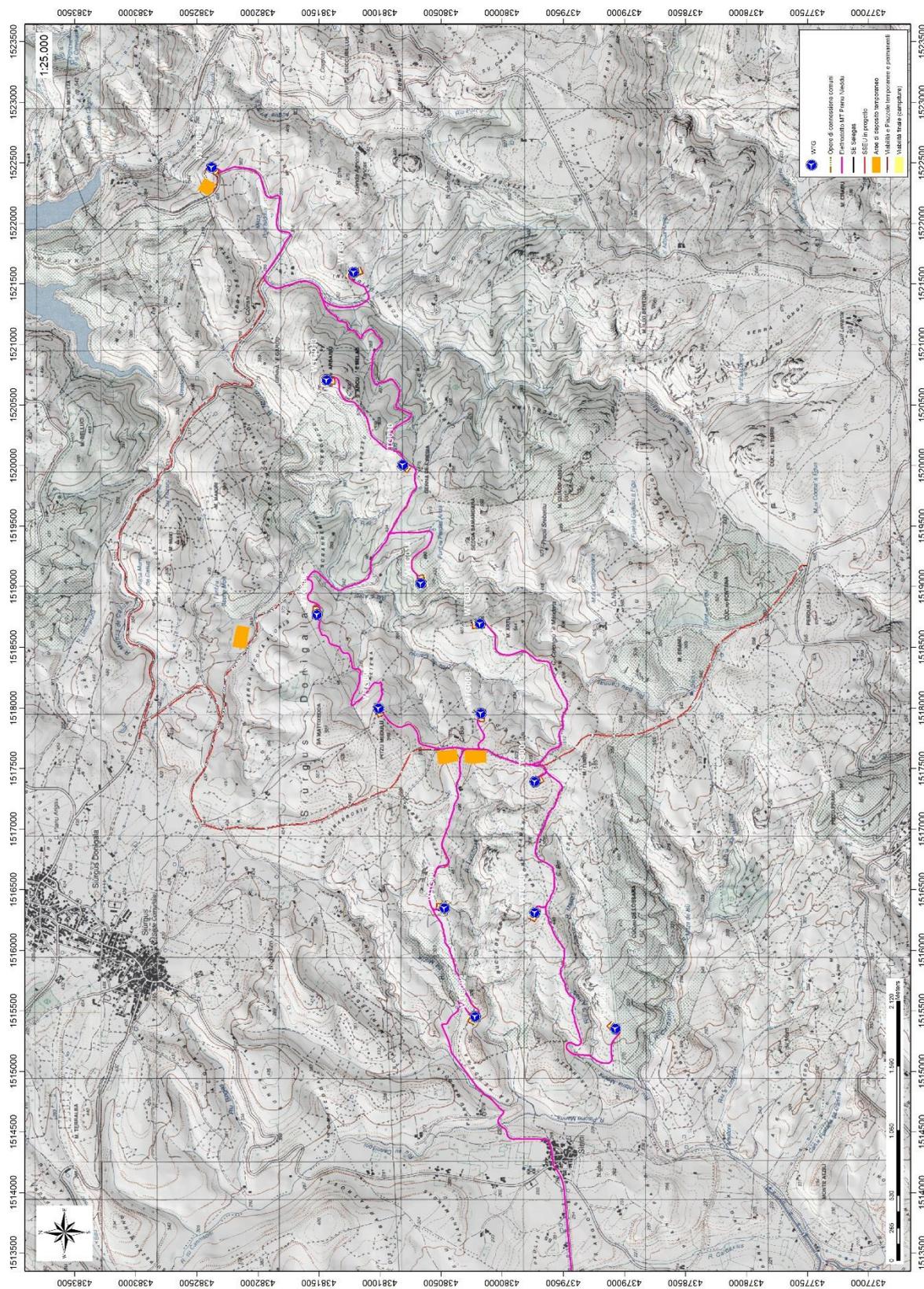


Figura 4. 6: Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000 (settore est)

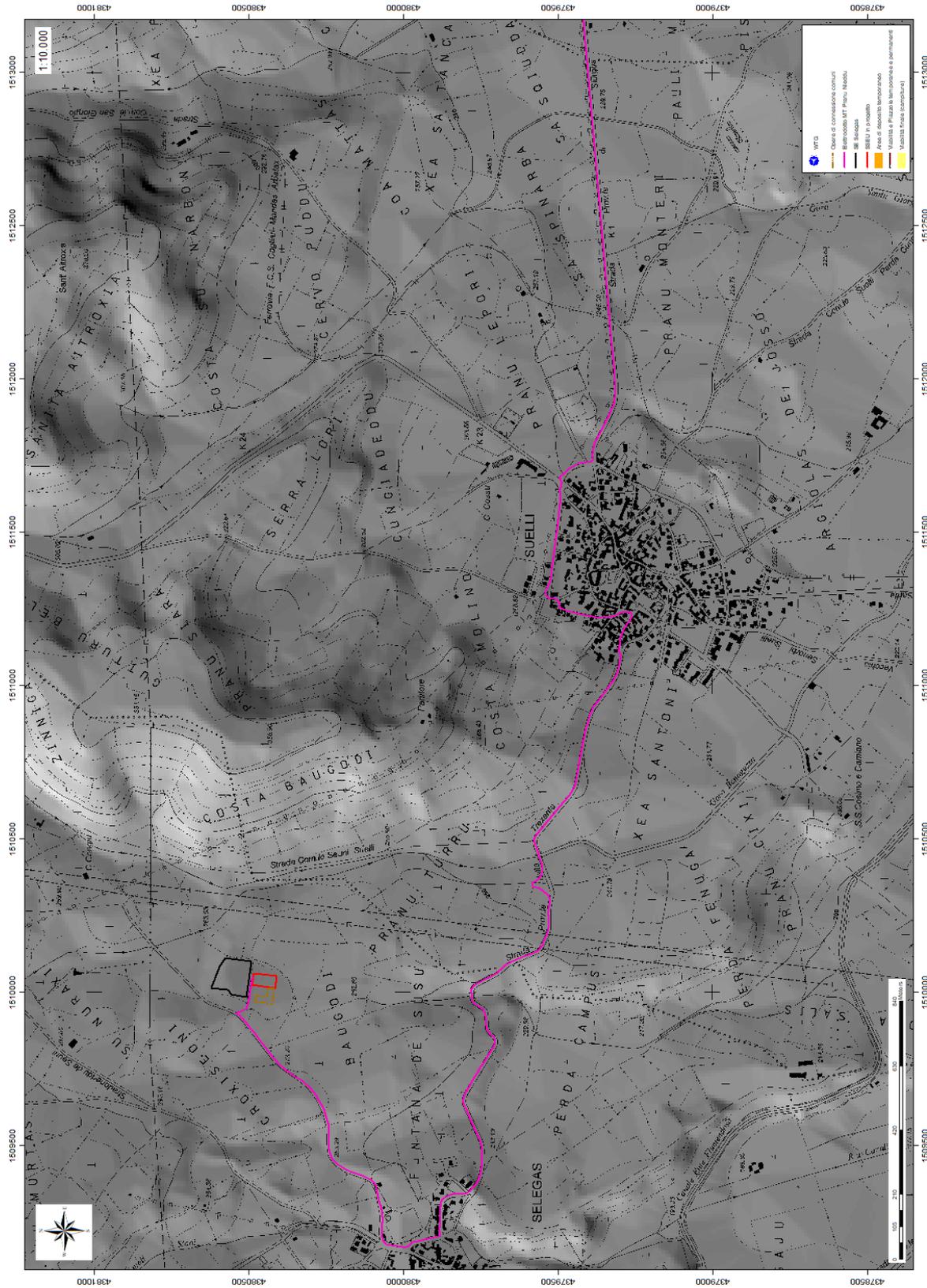


Figura 4. 7: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore ovest

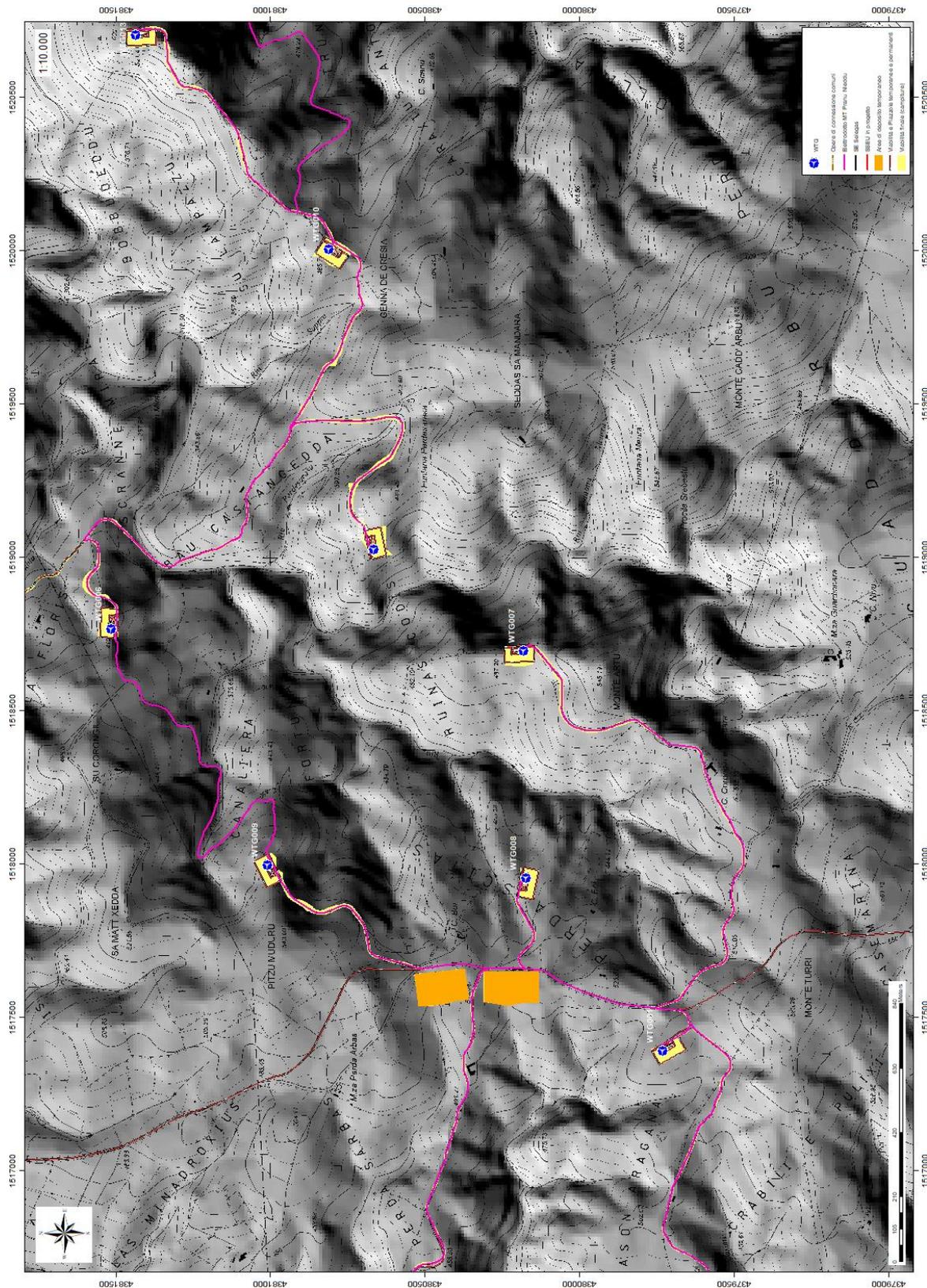


Figura 4. 9: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore settore centro-orientale

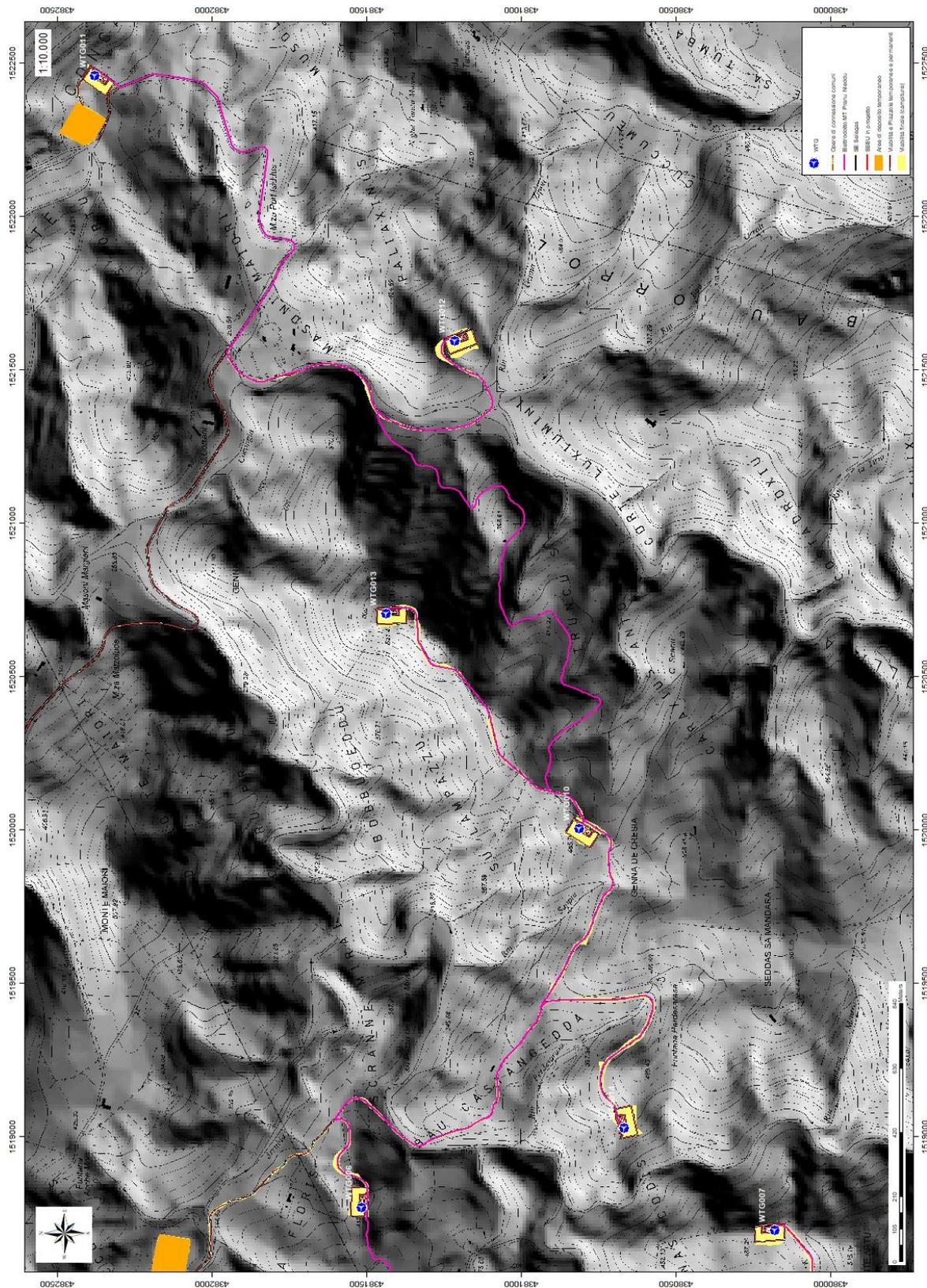


Figura 4. 10: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore est

5 Caratteristiche di progetto dell'opera

È prevista l'installazione di quattordici aerogeneratori di ultima generazione ad asse orizzontale (HAWTG, Horizontal axis wind turbine generators) di potenza pari a 6,6 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 92,4 MW, denominati in ordine crescente da WTG001 a WTG014. Gli aerogeneratori saranno montati su torri tubolari di acciaio che porteranno il mozzo del rotore a un'altezza da terra di 135 metri, e l'altezza massima dal suolo di ogni macchina sarà pertanto pari a 220 metri. È inoltre prevista l'installazione di una torre anemometrica di misura che monitorerà le condizioni di vento e ambientali della zona di impianto per tutta la vita di quest'ultimo.

Aerogeneratore	CooX	CooY
WTG001	1517391.7	4379731.565
WTG002	1515453.157	4380220.568
WTG003	1516310.778	4379732.159
WTG004	1516411.857	4380510.227
WTG005	1515352.852	4379070.653
WTG006	1518769.36	4381515.51
WTG007	1518695.773	4380179.694
WTG008	1517955.29	4380172.884
WTG009	1517996.712	4381010.066
WTG010	1520006.376	4380812.018
WTG011	1522458.964	4382373.284
WTG012	1521595.857	4381214.763
WTG013	1520707.075	4381435.689
WTG014	1519028.715	4380665.58

Gli aerogeneratori previsti sono macchine con potenza nominale pari a 6,6 MW, orientati sopravento, con controllo attivo del pitch delle pale e dello yaw della navicella. Per la progettazione di dettaglio, ai fini della valutazione dei carichi, delle dimensioni e di tutti i valori tecnici e di ingombro architettonico sono stati utilizzati gli aerogeneratori SG-170 di Siemens Gamesa. In fase realizzativa le macchine potranno però essere differenti, rimanendo nelle caratteristiche tecniche e dimensionali delle stesse.

Il rotore (rotor) del generatore è composto da tre pale ognuna di lunghezza pari a 83,33 metri. Nel complesso, il gruppo rotante ha un diametro di 170 metri, e spazza un'area pari a 22.698 metri quadrati. Il mozzo del generatore sarà collocato ad un'altezza di 135 metri (hub height), mentre l'altezza massima raggiunta da ogni generatore (tip height), inclusa l'altezza massima da terra delle pale, sarà di 220 metri.

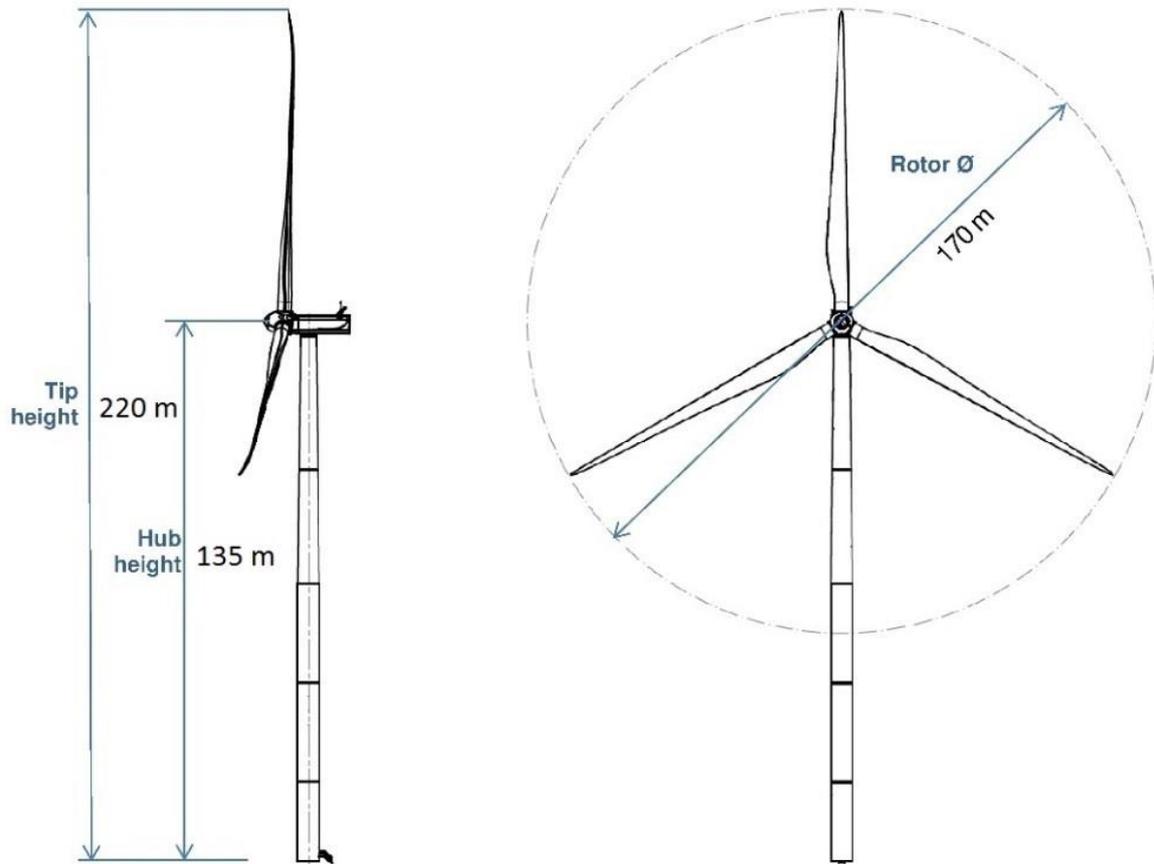


Figura 0.1 - generatore eolico ad asse orizzontale

L'energia prodotta sarà convogliata verso la stazione elettrica SE "Selegas", gestita dall'operatore Terna S.p.A., tramite un cavidotto in media tensione a 30 kV interamente interrato su strada, che raggiungerà la stazione di innalzamento della tensione di competenza del proponente collocata come da elaborati prodotti (ELB011b/c e ELB010a) attraversando la frazione Sisini del Comune di Senorbì, il comune di Suelli (SU) e quello di Selegas (SU) attraverso elettrodotto interrato su strada di proprietà pubblica.

Le strade di accesso al parco sono state previste secondo le specifiche di curva, inclinazione longitudinale e pendenza previste dal produttore delle componenti del generatore eolico, così da permettere ai mezzi pesanti che opereranno durante la fase di cantiere di manovrare e percorrere la viabilità. Un trasportatore specializzato nella movimentazione e nella posa di strutture eoliche ha supportato queste valutazioni provvedendo a una fattibilità per le soluzioni di viabilità e opere civili previste in progetto.

La viabilità dovrà sopportare un peso per asse pari a 24,5 tonnellate, una pressione massima di 2,45 kg/cm. Lo sbancamento stradale di percorrenza dovrà essere pari a 6 metri, compresi 50 centimetri per lato di fascia di

distanza. I gradienti longitudinali non dovranno superare il 15% sui rettilinei e il 10% in prossimità delle curve.

Le curve stesse dovranno avere un raggio di curvatura interna non inferiore a 32,5 metri.

Le componenti con il maggiore ingombro che percorreranno il tragitto dal porto di Oristano ai luoghi d'intervento sono le navicelle dei generatori, i tronchi delle torri di sostegno e le pale.

La viabilità di arrivo prevista è composta da Strade Statali, Provinciali e Comunali. La viabilità esistente è per lo più in condizioni idonee, e saranno necessari adeguamenti solo nell'ultimo tratto di accesso al sito di progetto, limitando gli interventi a modifiche temporanee del tracciato per permettere il transito in sicurezza delle componenti e dei mezzi.

In dettaglio i mezzi di trasporto caricheranno dalla parte del porto di Oristano dedicata al transito commerciale, e attraverseranno le zone di smistamento mezzi onde poi immettersi sulla Strada Provinciale 97.

Il Campo Ovest è attraversato da due viabilità oggetto di adeguamento: la prima che collega le WTG002 e WTG004 alla viabilità per il Comune di Sisini (SU) e la Strada Comunale che collega San Basilio (SU) a Siurgus Donigala (SU). La seconda, parallela alla prima e collegata alla medesima viabilità pubblica, serve le WTG001, WTG003 e WTG005.

Il Campo Centrale ha una viabilità d'accesso dedicata per le WTG006, WTG008, WTG007 e WTG009 che sbocca direttamente sulla Strada Comunale Goni-Siurgus Donigala.

Il Campo Est infine collega la WTG011 e la WTG012 direttamente sulla viabilità comunale per Goni, e la WTG010 e la WTG013 con un collegamento diretto con il Campo Centrale.

Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.

6 Inquadramento geologico

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installata l'asta anemometrica e il relativo sistema di tiranti di ancoraggio e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del substrato roccioso di fondazione, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione del sistema di ancoraggio 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 Gipeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia. Successivamente, nel Cambriano, la messa in posto dei batoliti granitici ercinici ha prodotto metamorfismo termico e di alta pressione delle rocce esistenti.

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

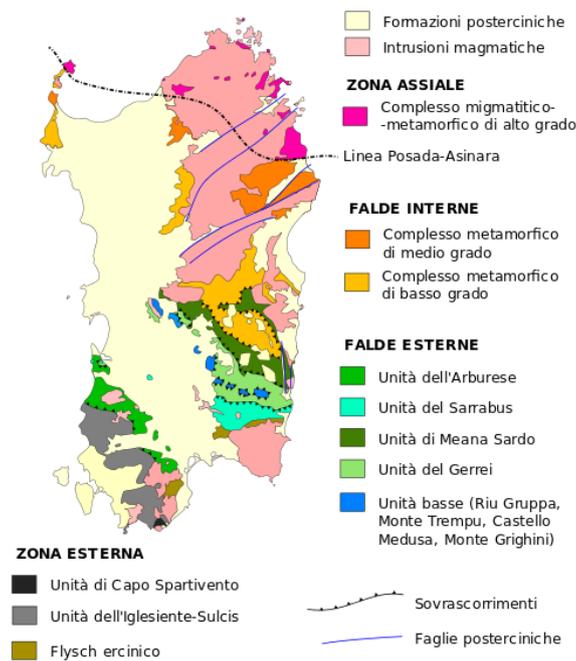


Figura 6.1 – Schema tettonico-strutturale della Sardegna

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

L'area di studio ricade nella zona a Falde Esterne del basamento varisco sardo; principalmente è costituita dalle metamorfite di basso grado, appartenenti all'Unità Tettonica del Gerrei, dalle metamorfite dell'Unità tettonica di Meana Sardo e da quelle dell'unità di Riu Gruppa, dalle coperture sedimentarie eoceniche, dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari. Le Unità Tettoniche affioranti sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore.

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

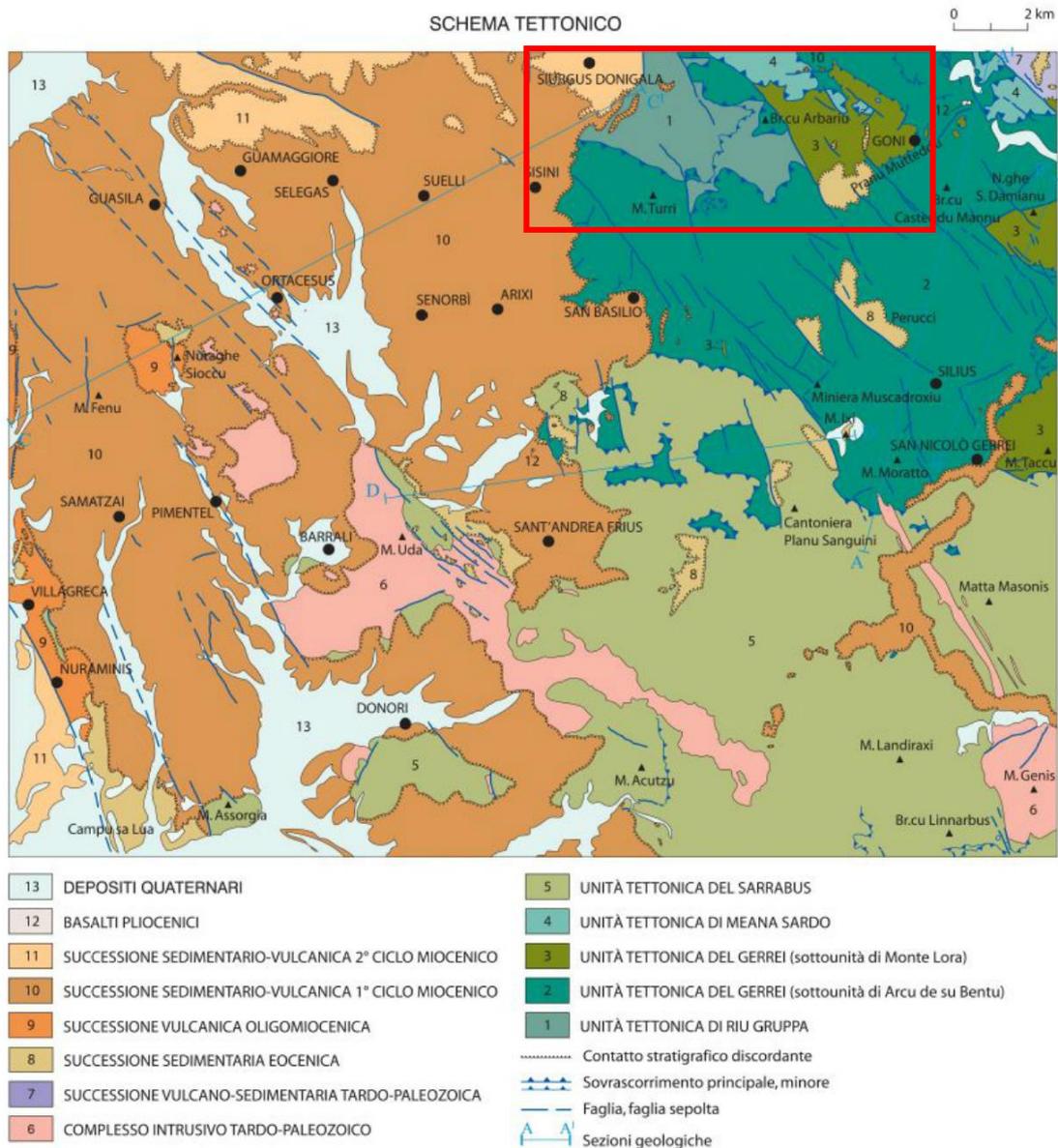


Figura 6. 2: Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2014 Note Illustrative Foglio CARG Senorbi)

L'Unità tettonica del Gerrei è divisa in due sottounità: la Sottounità di Arcu de su Bentu e la Sottounità di M. Lora. Le due sottounità si caratterizzano per la presenza dei Porfiroidi nella sottounità di Arcu de su Bentu e delle Vulcaniti di Monte Santa Vittoria in quella di Monte Lora. Le unità tettoniche sono interessate da una serie di fasi plicative compressive, tardo compressive e distensive che generano sistemi di pieghe e una foliazione pervasiva di piano assiale. Tra le strutture plicative maggiori che interessano il settore di studio vi è l'Antiforme del Flumendosa al cui nucleo affiora l'unità tettonica di Riu Grappa.

Il basamento varisico è stato interessato da più fasi di emersione a partire dal Permiano; nel Cretaceo si ha nuovamente emersione, che sembra aver interessato tutta l'isola, la lacuna comprende quasi tutto il Paleocene; depositi trasgressivi dell'Eocene inferiore sono ben rappresentati nell'area di studio rappresentati dalla Formazione di Monte Cardiga che rappresenta la successione più potente e completa della Sardegna orientale.

Seguono le coperture dei depositi quaternari costituiti da depositi di versante coltri eluvio colluviali e depositi alluvionali.

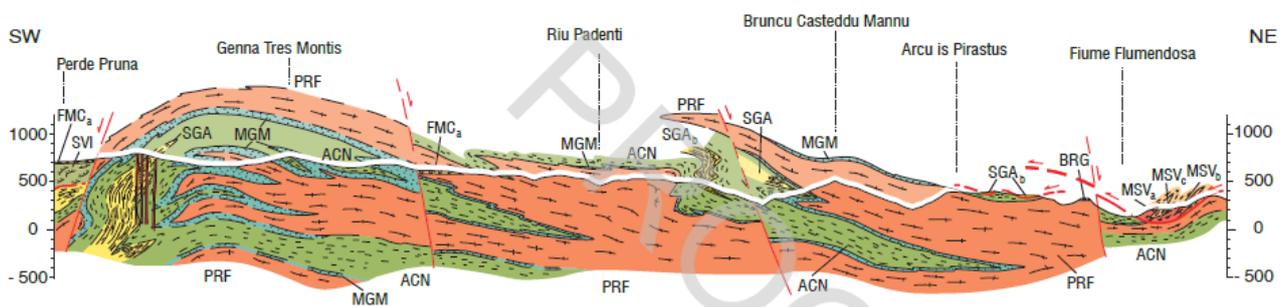


Figura 6. 3: Schema tettonico e sezione geologica SW-NE rappresentativa dell'area vasta ad est di Goni (Funedda et al., 2014).

7 Analisi delle condizioni geostrutturali generali

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento del basamento metamorfico varisico costituito dalle successioni metamorfiche appartenenti alle unità tettoniche di Riu Grappa, di Meana Sardo e del Gerrei (Sottounità di Arcu Su Bentu e sottounità di Monte Lora), e dalle coperture sedimentarie della successione Terziaria, e dai depositi quaternari.

Le metamorfiti sono costituite da diverse facies composizionali che vanno dai termini filladici, alle metarenarie, dai metaconglomerati, alle vulcaniti (Porfiroidi). Le coperture terziarie invece sono costituite da arenarie grossolane, conglomerati basali, e marne, argille e calcari bioclastici. I depositi quaternari sono principalmente costituiti da coltri eluvio-colluviali di spessore molto modesto e depositi di versante.

L'area vasta è caratterizzata da faglie con direzione principale WNW – ESE, talora normali, e da sovrascorrimenti, e piegamenti sovrapposti nella zona sud-orientale dell'area di interesse.

Di queste strutture tettoniche presenti, le faglie sono quelle che determinano il controllo tettonico delle principali valli incise. La giacitura dei piani è variabile. Nei diversi siti di installazione la dinamica metamorfica e geostrutturale ha creato piani di scistosità e fratturazione a diversa scala. I movimenti tettonici hanno

ripiegato i materiali più coesivi (metapeliti e metargilliti) e fratturato quelli più coerenti (metasiltiti, metarenarie, metaconglomerati).

Tutte le stazioni eoliche sono posizionate nel basamento paleozoico, sebbene su differenti rocce metamorfiche appartenenti alle unità tettoniche riconosciute nell'area.

Le stazioni WTG001, WTG002, WTG003 e WTG004 sono posizionate sulle rocce metamorfiche della formazione di San Vito dell'unità tettonica del Gerrei (sottounità di Arcu de su Bentu), così come la stazione WTG005 che ricade nella medesima sottounità, ma nella formazione dei Metaconglomerati di Muravera.

Le stazioni WTG006, WTG007, WTG008, WTG009 e WTG014 ricadono sulle rocce metamorfiche della formazione di Pala Manna dell'Unità di Riu Gruppa, e di queste la WTG006 e WTG014 sono posizionate al contatto tra due litofacies differenti della suddetta formazione (PMN e PMNa). La stazione WTG010 ricade anch'essa nell'Unità Tettonica di Riu Gruppa, ma nella formazione degli Scisti a Graptoliti.

Le stazioni WTG011 e WTG013 ricadono, rispettivamente, nella formazione degli Argilloscisti di Rio Canoni e nella formazione dei Porfiroidi (litofacies a grandi fenocristalli), entrambe comprese nell'unità tettonica del Gerrei (sottounità di Arcu de su Bentu). La stazione WTG012 ricade invece nella formazione degli Scisti a Graptoliti (litofacies SGA b "Scisti a tentaculiti").

Le Arenarie di San Vito presentano una foliazione pervasiva di piano assiale visibile alla scala dell'affioramento, la S0 è difficilmente identificabile perché probabilmente trasposta in S1. L'ammasso roccioso presenta discontinuità primarie (scistosità) e secondarie (fratturazione), talora riempite con quarzo; la fratturazione è molto irregolare e più o meno spaziata, è possibile individuare più famiglie di discontinuità principali.

I Metaconglomerati di Muravera (MRV) presentano una struttura scistosa, con gli elementi del conglomerato orientati secondo la direzione della foliazione.

I Porfiroidi presentano una struttura massiva con una foliazione pervasiva di piano assiale visibile alla scala dell'affioramento (S1); la direzione di immersione è variabile così come l'inclinazione. Nei porfiroidi è possibile individuare l'allungamento dei minerali principali.

Gli Argilloscisti di Rio Canoni (ACN) presentano un aspetto fratturato e scistoso.

Tra le rocce metamorfiche nell'area d'intervento affiorano anche gli Scisti a Graptoliti (SGAa e SGA b); si presentano molto foliate e deformate con una foliazione pervasiva di piano assiale molto evidente, la fratturazione è presente con più sistemi di discontinuità.

La direzione di immersione della scistosità varia relativamente spesso essendo ripiegata da più fasi plicative; la direzione di immersione prevalente è orientata NNE-SSW.

La Formazione di Pala Manna (PMN) presenta struttura fratturata con evidente foliazione di piano assiale. La porzione carbonatica (dv) si presenta in ammassi irregolari, e scistososi. Le superfici di discontinuità sono spesso riempite con calcite.

Il cavidotto in progetto andrà a interessare il basamento metamorfico varisico costituito dalla successione metamorfica appartenente all'Unità Tettonica del Gerrei (Sottounità di Arcu Su Bentu), quella di Meana Sardo, dalle coperture sedimentarie della successione eocenica e dai depositi quaternari. Da Bruncu e Sa Niada (Settore Nord) fino a Sa Frontera-Costa dei Is Crabus (Settore Sud), attraversa le formazioni del basamento Paleozoico (Arenarie di San Vito, Porfiroidi e gli Scisti a Graptoliti), le coperture eoceniche (Formazione di Monte Cardiga) e i depositi quaternari (coltri eluvio-colluviali). Nel settore Sud attraversa le formazioni di Pala Manna, Argilloscisti di Rio Cannoni, Scisiti a Graptoliti (tutte appartenenti al basamento Paleozoico) e presso il Flumendosa i depositi alluvionali terrazzati pleistocenici e recenti (depositi quaternari).

Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso

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

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

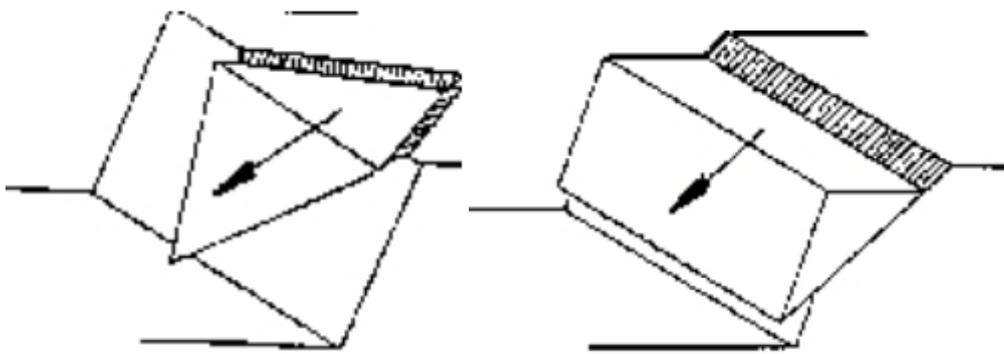


Figura 7.1 – tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

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

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

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

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

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

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

Per quanto concerne gli ammassi rocciosi di natura effusiva (porfiroidi), che nel contesto progettuale sono limitati alla porzione est le dinamiche di alterazione legate alla fratturazione sono diverse per genesi.

La fratturazione dei porfiroidi, in origine plateau di ceneri e lapilli, ha infatti tre origini differenti:

1) Fratturazione da raffreddamento: la colata raffreddandosi, dopo la sua messa in posto, si frattura: tale fratturazione in genere interessa la parte più superficiale (da pochi m a diverse decine) dell'ammasso roccioso;

2) Fratturazione legata alla fase distensiva dell'orogene: sono fratture profonde spesso riempite da fluidi idrotermali a chimismo sia basico che acido.

3) Fratturazione legata a movimenti di tipo tettonico successivi alla sua messa in posto e che hanno direzioni definite dall'assetto delle forze orogenetiche.

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.

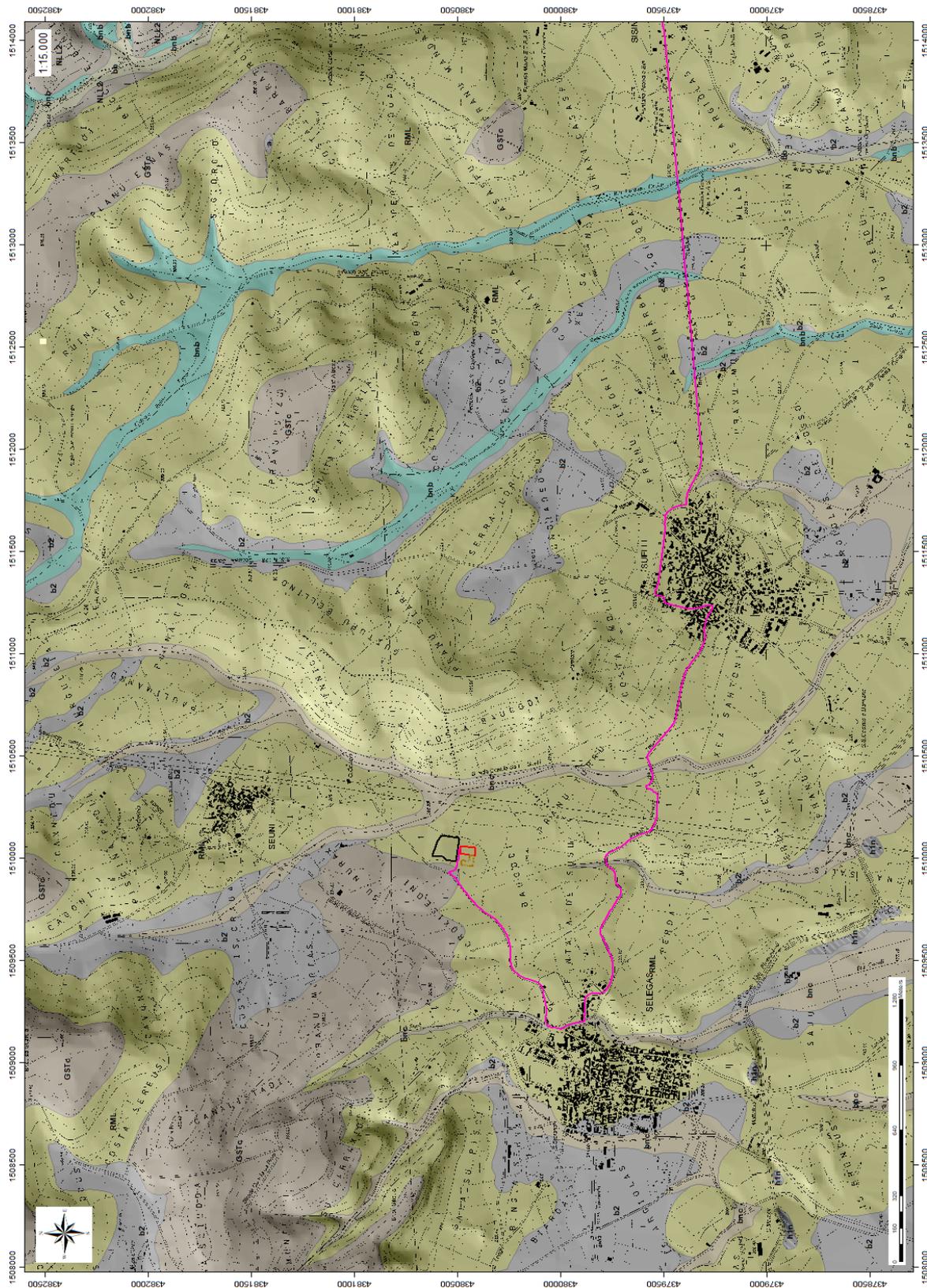


Figura 7.2: Carta Geologica dell'area di studio (Settore PranuNieddu_INQ_10k_Ovest).

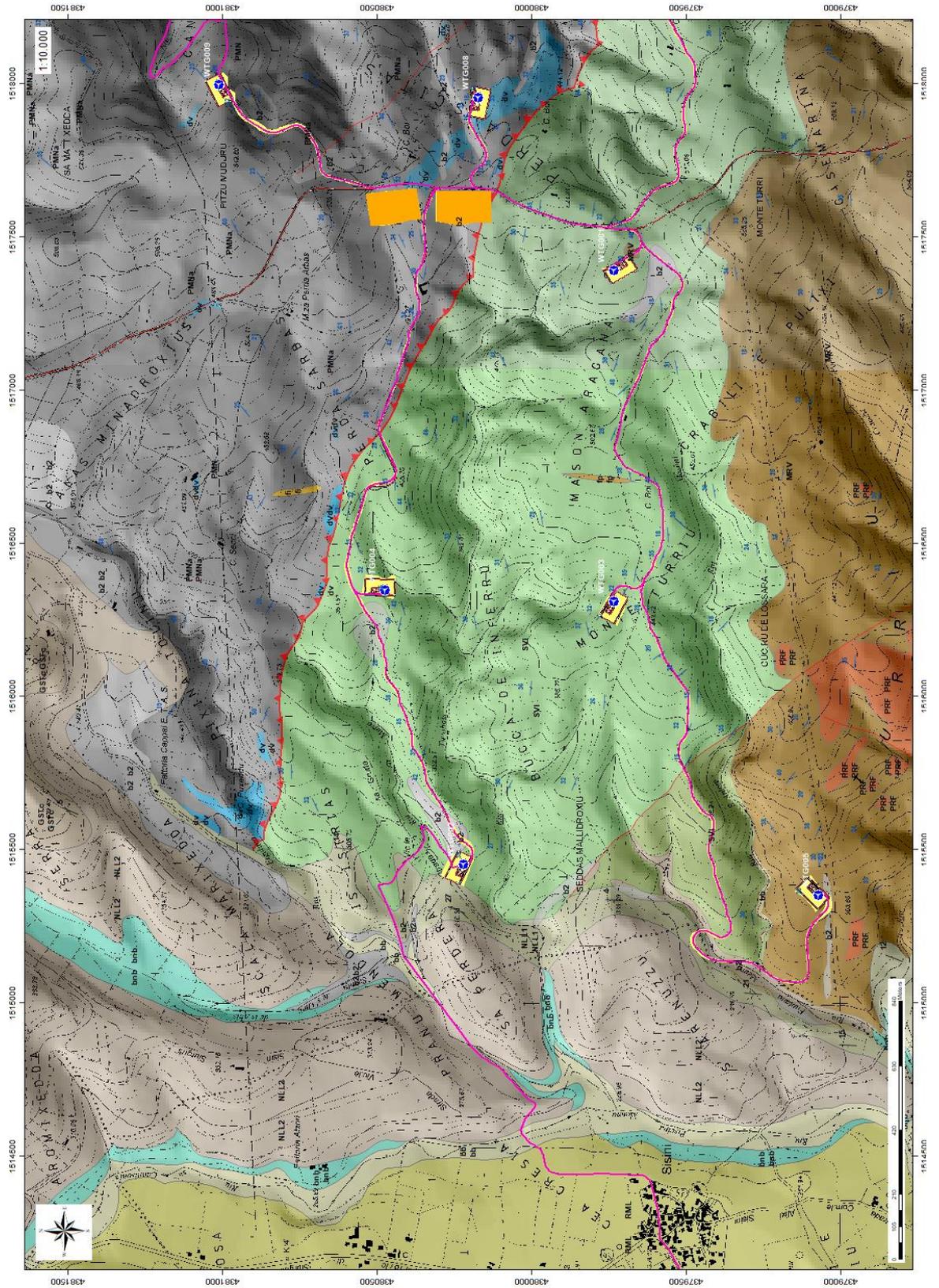


Figura 7.3: Carta Geologica dell'area di studio (Settore PranuNieddu_INQ_10k_Centro-occidentale).

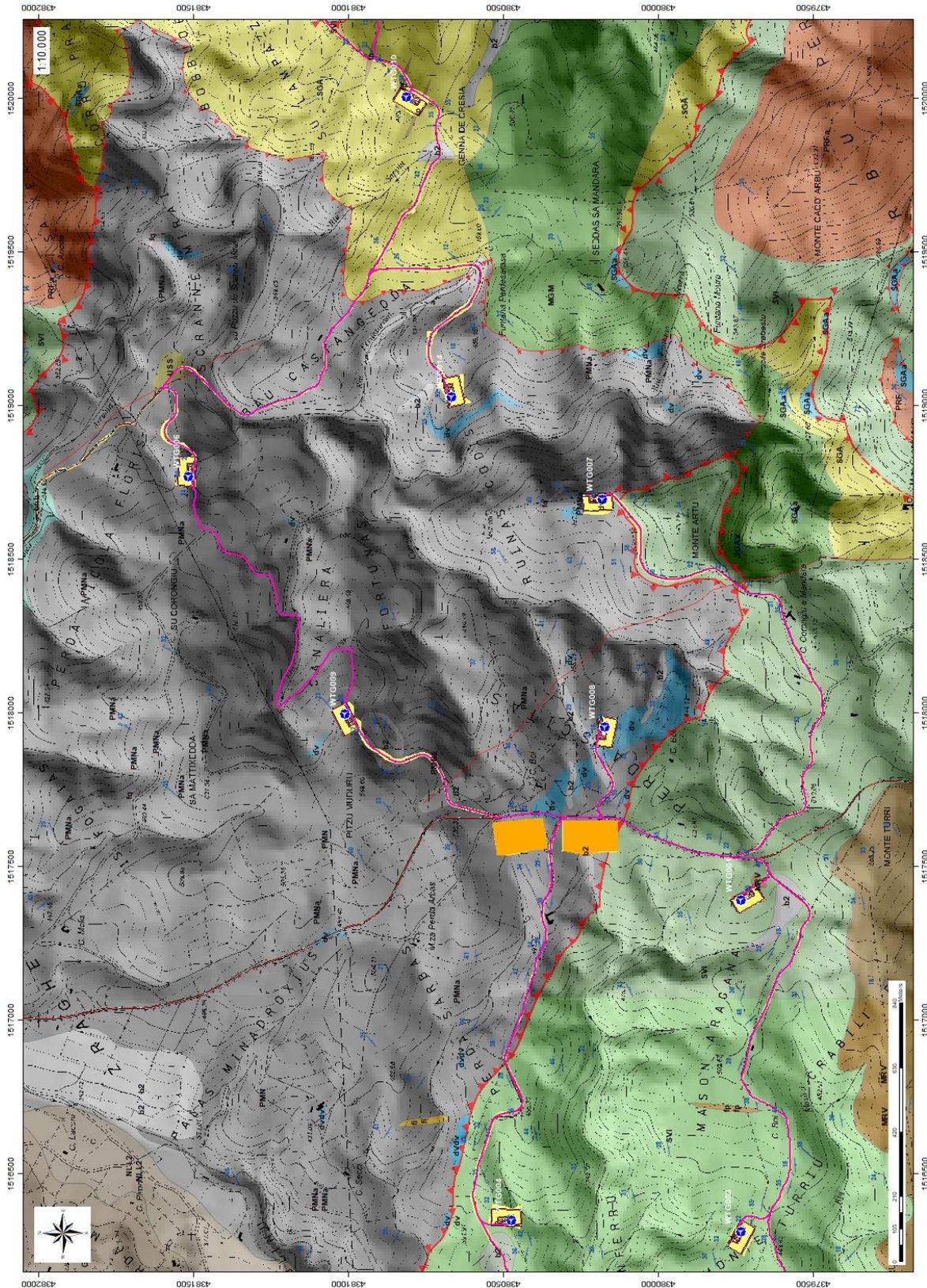


Figura 7.4: Carta Geologica dell'area di studio (Settore PranuNieddu_INQ_10k_Centro-orientale)

Legenda

Simbologia

-  Stratificazione
-  Scistosità
-  Faglia Certa
-  Faglia Diretta Certa
-  Faglia Diretta Presunta
-  Sovrascorrimento Principale Certo
-  Sovrascorrimento Principale Presunto
-  Sovrascorrimento Secondario Certo
-  Sovrascorrimento Secondario Presunto

Depositi Quaternari

-  L Lago
-  a Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE
-  b2 Coltri eluvio-colluviali. Detriti in mersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE
-  bb Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE
-  bna Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
-  bnb Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
-  GSTc Litofacies nelle MARNE DI GESTURI. Generalmente alla base della formazione, arenarie grossolane e conglomerati. BURDIGALIANO SUP. - LANGHIANO MEDIO

Successione Vulcano-Sedimentaria Terziaria

-  RML FORMAZIONE DELLA MARMILLA. Marne siltose alternate a livelli arenacei da medio a grossolani a fini, talvolta con materiale vulcanico rimangiato. AQUITANIANO - BURDIGALIANO INF.
-  NLL1 Conglomerato di Duidduru (FORMAZIONE DI NURALLAO). Conglomerati poligenici eterometrici e sabbie con locali livelli di biocalcarenti, talvolta con componente vulcanica. OLIGOCENE SUP. - BURDIGALIANO?
-  NLL2 Arenarie di Serra Longa (FORMAZIONE DI NURALLAO). Arenarie da grossolane a micro-conglomeratiche, con intercalazioni di arenarie siltose. OLIGOCENE SUP. - BURDIGALIANO?
-  USS FORMAZIONE DI USSANA. Conglomerati e breccie, grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligoceniche; livelli argilloso-arenacei rossastri talora prevalenti nella base; OLIGOCENE MEDIO - MIOCENE MEDIO
-  FMCa Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE CARDIGA. Arenarie e puddinghe: arenarie grossolane conglomerati poligenici con prevalenti clasti del basamento cristallino paleozoico, raramente argilliti con resti di piante con ostrie e coralli. EOCENE INF.

BA SAMENTO VARISCO

Corteo Filoniano

-  fi Filoni intermedio-basici a composizione andesitica o basaltica, a volte porfirici, con fenocristalli di Am, generalmente molto alterati, in massa di fondo da africana a microcristallina. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  fp Porfidi granitici, di colore prevalentemente rosato e rossastro, a struttura da africana a porfirica per fenocristalli di Qtz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; in giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  fq Filoni idrotermali a prevalente quarzo, spesso mineralizzati a barite e fluorite, talora anche con solfuri metallici (Pb, Zn, Cu, Fe, etc). CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

Figura 7.5-a): Legenda Carta geologica dell'area di studio.

Unità Tettonica di Menana Sardo

-  ORR_c Litofacies nella FORMAZIONE DI ORROELEDU. Intercalazioni di m etacalcari talora silicizzati. ORDOVICIANO SUP
-  ORR_a Litofacies nella FORMAZIONE DI ORROELEDU. Alternanze di livelli di m etarose e m etagrovacche arcose, quarziti e metaconglomerati quarzosi, in grossi banchi o massivi. ORDOVICIANO SUP
-  ORR FORMAZIONE DI ORROELEDU. Alternanze irregolari di m etarenarie, m etarenarie quarzose talora grossolane, filladi e m etasiltiti talora fossilifere, con intercalazioni di m etaconglomerati minuti in strati decimetrici. ORDOVICIANO SUP
-  MSV_b Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metagrovacche vulcaniche e m etavulcaniti; probabili originarie piroclastiti a chimismo intermedio-basico ("formazione di Serra Tonna" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDIO
-  MSV_a Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metaepiclastiti; m etaeiclastiti a matrice vulcanica, m etaquarzo-grovacche e m etarenarie, m etaconglomerati prevalenti con toni di vulcaniti acide ("formazione di Manixeddu" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDIO

Unità Tettonica del Gerrei

-  SGAA Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Livelli di m etacalcari grigi. SILURIANO – DEVONIANO MEDIO
-  SGAB Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. "Scisti a Tentaculiti" Auct.: Alternanza centimetrica regolare di m etasiltiti e m etacalcari grigi. SILURIANO - DEVONIANO MEDIO
-  SGA SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metapeliti carboniose e m etasiltiti con graptoliti, con intercalati livelli di diaspri neri (lidi). SILURIANO DEVONIANO MEDIO
-  ACN ARGILLOSCISTI DI RIO CANONI. Metapeliti grigio-verdastre, m etasiltiti carbonatiche fossilifere, rare intercalazioni di m etacalcari e di m etavulcaniti basiche. ORDOVICIANO SUP
-  MGM METARCOSE DI GENNA MESA. Metarose e metagrovacche arcose, m etaquarzoareniti e m etaconglomerati quarzosi, in grossi banchi o massivi. ORDOVICIANO SUP
-  PRFa Litofacies nei PORFIROIDI AUCT. Porfiroidi a grossi fenocristalli: m etarioliti e m etariodaciti con fenocristalli di feldspato potassico di taglia fino a 12-14 cm. ORDOVICIANO ?MEDIO
-  PRF PORFIROIDI AUCT. Metarioliti e m etariodaciti con struttura occhiadina, m etaeiclastiti. ORDOVICIANO ?MEDIO
-  MRV METACONGLOMERATI DI MURAVERA. Metaconglomerati eterometrici poligenici, grossolani, con clasti arrotondati di quarzoareniti e di arenarie listate, in matrice filladica, alternati a m etasiltiti e m etarenarie di colore verde, talora grigio scuro. ORDOVICIANO MEDIO
-  SVI ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze irregolari di m etaquarzoareniti, m etarenarie micacee e m etapeliti. Livelli di m etaconglomerati minuti quarzosi e rari livelli carbonatici intercalati nella parte alta. CAMBRIANO MEDIO ORDOVICIANO INF.

Unità Tettonica di Riu Gruppa

-  dv Litofacies nella FORMAZIONE DI PALA MANNA. Olistoliti di m etacalcari. CARBONIFERO ?INF.
-  PMNa Litofacies nella FORMAZIONE DI PALA MANNA. Metaconglomerati e m etabrecce a lidi. CARBONIFERO ?INF.
-  PMN FORMAZIONE DI PALA MANNA. Alternanze di m etasiltiti e m etarenarie micacee, m etaquarzoareniti. CARBONIFERO ?INF.
-  SGAA Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Livelli di m etacalcari grigi. SILURIANO – DEVONIANO MEDIO
-  SGA SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metapeliti carboniose e m etasiltiti con graptoliti, con intercalati livelli di diaspri neri (lidi). SILURIANO DEVONIANO MEDIO
-  MGM METARCOSE DI GENNA MESA. Metarose e metagrovacche arcose, m etaquarzoareniti e m etaconglomerati quarzosi, in grossi banchi o massivi. ORDOVICIANO SUP.
-  MSV_c Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metavulcaniti di colore bianco-giallastro, spesso afanitiche, con foliazione tettonica pervasiva, talvolta porfiriche per fenocristalli di Qtz e Pl, a chimismo o riodacitico. ORDOVICIANO ?MEDIO
-  MSV_b Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metagrovacche vulcaniche e m etavulcaniti; probabili originarie piroclastiti a chimismo intermedio-basico ("formazione di Serra Tonna" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDIO

Figura 7.5-b): Legenda Carta Geologica dell'area di studio.

8 Inquadramento geomorfologico

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi arrotondati e dislivelli dell'ordine di 250 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 "penepiano 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.

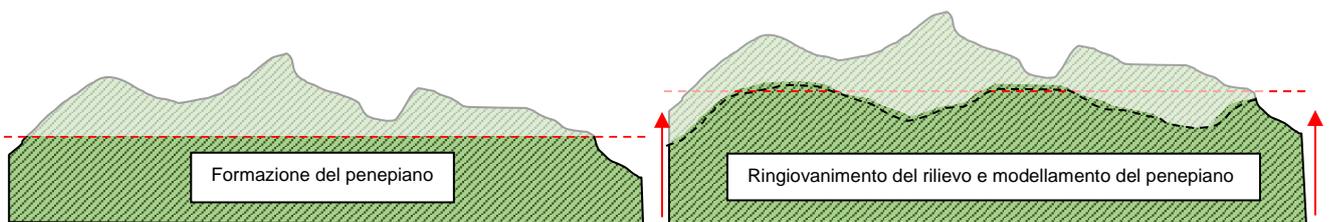


Figura 8.1 - Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

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.

8.1 Lineamenti geomorfologici dell'area di studio

I tratti geomorfologici del settore di studio sono dati da estese superfici sub-orizzontali e collinari del basamento paleozoico, incise dai corsi d'acqua principali e dai loro affluenti. I corsi d'acqua incidono il basamento paleozoico, formando valli con versanti poco acclivi. Il basamento paleozoico che affiora nell'area di studio appare inciso da un reticolo idrografico impostato sui principali lineamenti strutturali, tale aspetto è fortemente connesso con l'evoluzione tettonica dell'intero settore e in particolar modo con l'evoluzione oligo-miocenica e plio-quadernaria.

Le superfici morfologiche principali sono rappresentate da modesti rilievi sub arrotondati e dai resti di un altipiano profondamente disseccato dai processi erosivi lineari. L'originale superficie di spianamento è conservata solo per alcuni tratti mentre nella maggior parte dell'area è riconoscibile solo da rilievi di uguale altezza. I rilievi principali hanno altezze intorno ai 500-600 metri (Monte Quadd'Arbu 633 m, Monte Turri 585 m, Bruncu Arbariu 520 m).

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

Nell'area di studio sono presenti numerosi picchi e creste rocciose costituiti dai litotipi più resistenti del basamento paleozoico (porfioridi, metacalcari, arenarie, quarziti, filoni); spesso gli affioramenti rocciosi influenzano la morfologia generando orli di scarpata influenzati dalla struttura. Sono presenti nelle parti più impervie anche falde di detrito e canali con scariche di detrito, mentre nelle litologie più tenere e nei depositi quadernari si osservano morfologie erosive come superfici con solchi di ruscellamento e di dilavamento concentrato.

Nella parte nordorientale dell'area l'uomo ha modificato notevolmente il paesaggio tramite l'apertura di numerose cave di prestito e di inerti con numerose superfici di spianamento artificiali.



Figura 8.2 - Morfologia del paesaggio nei pressi dell'area di Studio.



Figura 8.3 - Superfici sub-strutturali sulle coperture eoceniche

8.2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa

La predisposizione naturale di un territorio a fenomeni di instabilità legata alle dinamiche geomorfologiche deriva in generale dall'interazione di diversi fattori come natura geologica dei terreni, loro assetto sia deposizionale che geostrutturale, circolazione delle acque superficiali e sotterranee con la morfologia, cioè la geometria del territorio.

L'area oggetto di intervento, in base delle caratteristiche suddette **non presenta allo stato attuale evidenze di dissesto di natura geologico-geomorfologica in atto**, mentre, potenziali fenomeni di dissesto potrebbero presentarsi con la naturale evoluzione del pendio.

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.

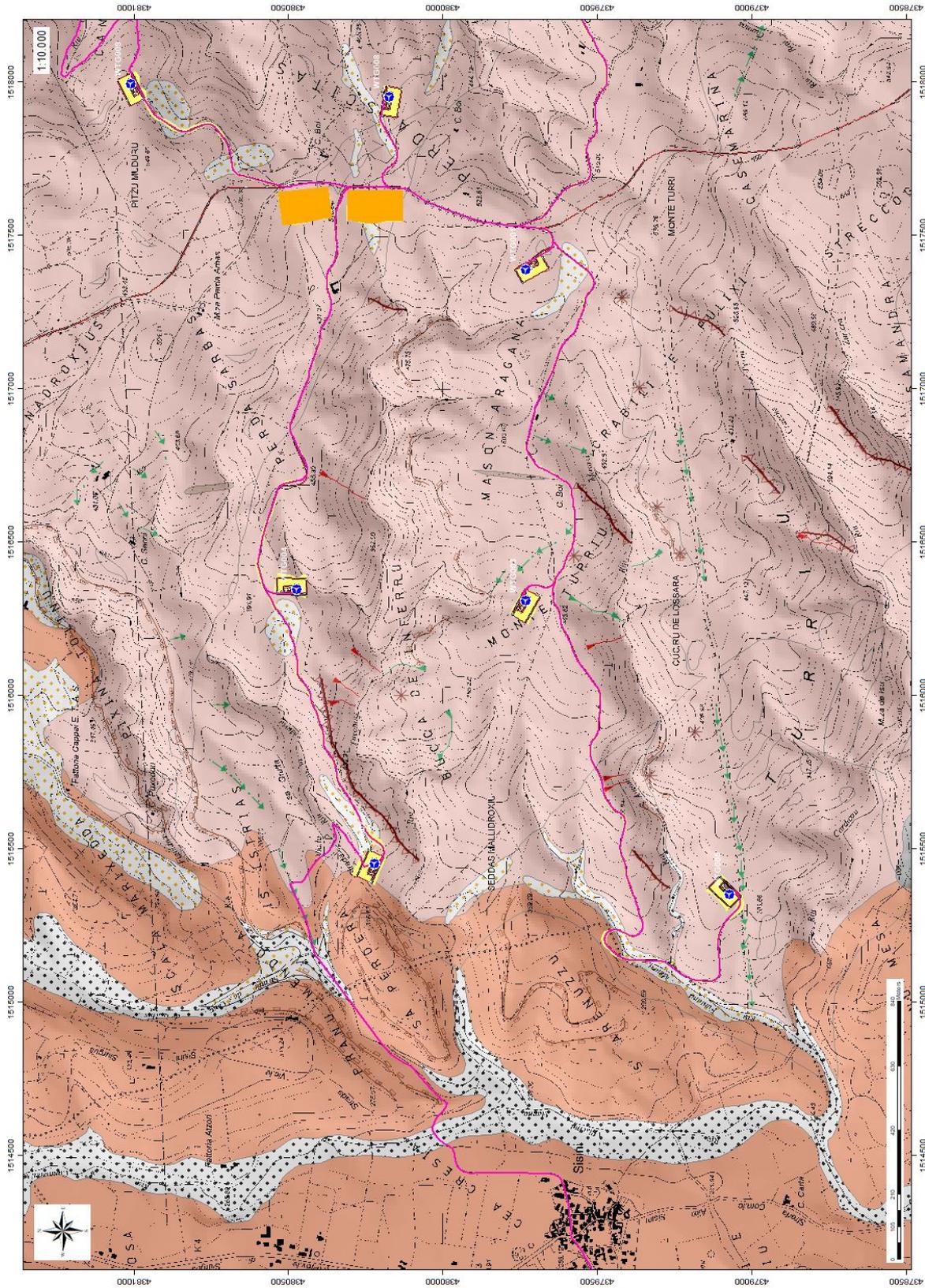


Figura 8. 4: Carta geomorfologica - Settore OVEST

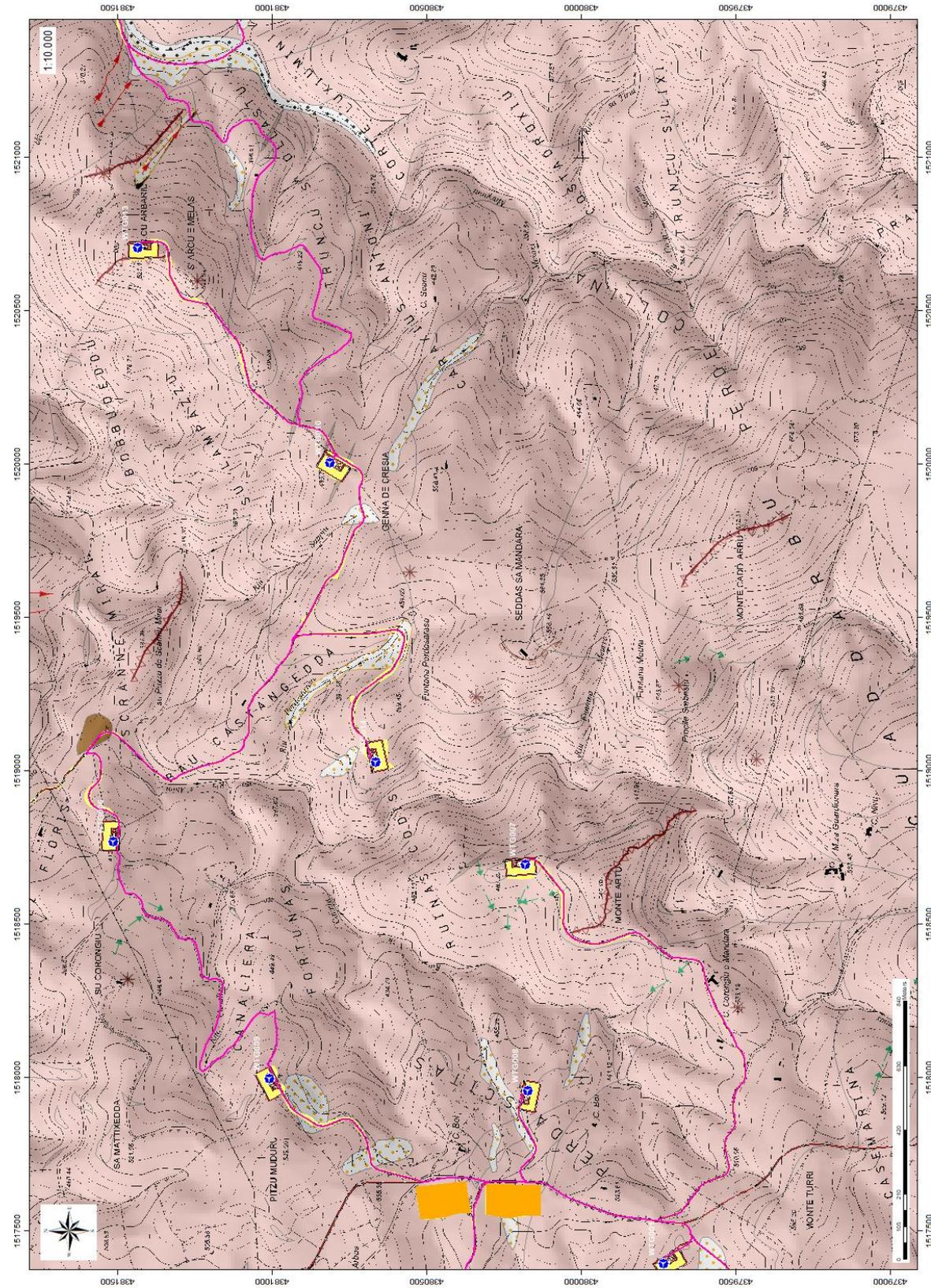


Figura 8.5: Carta geomorfologica - Settore CENTRO

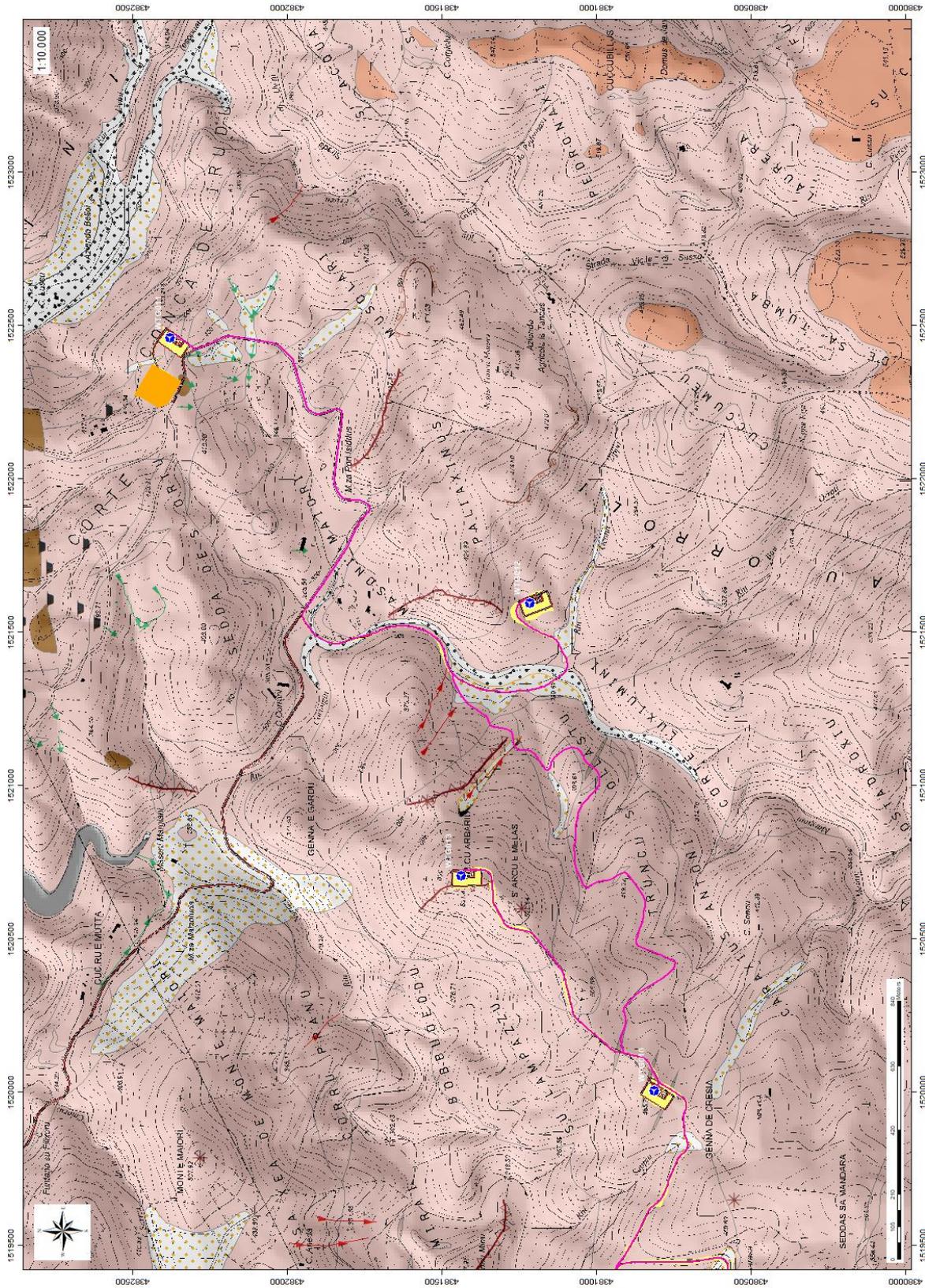


Figura 8. 6: Carta Geomorfológica Settore EST

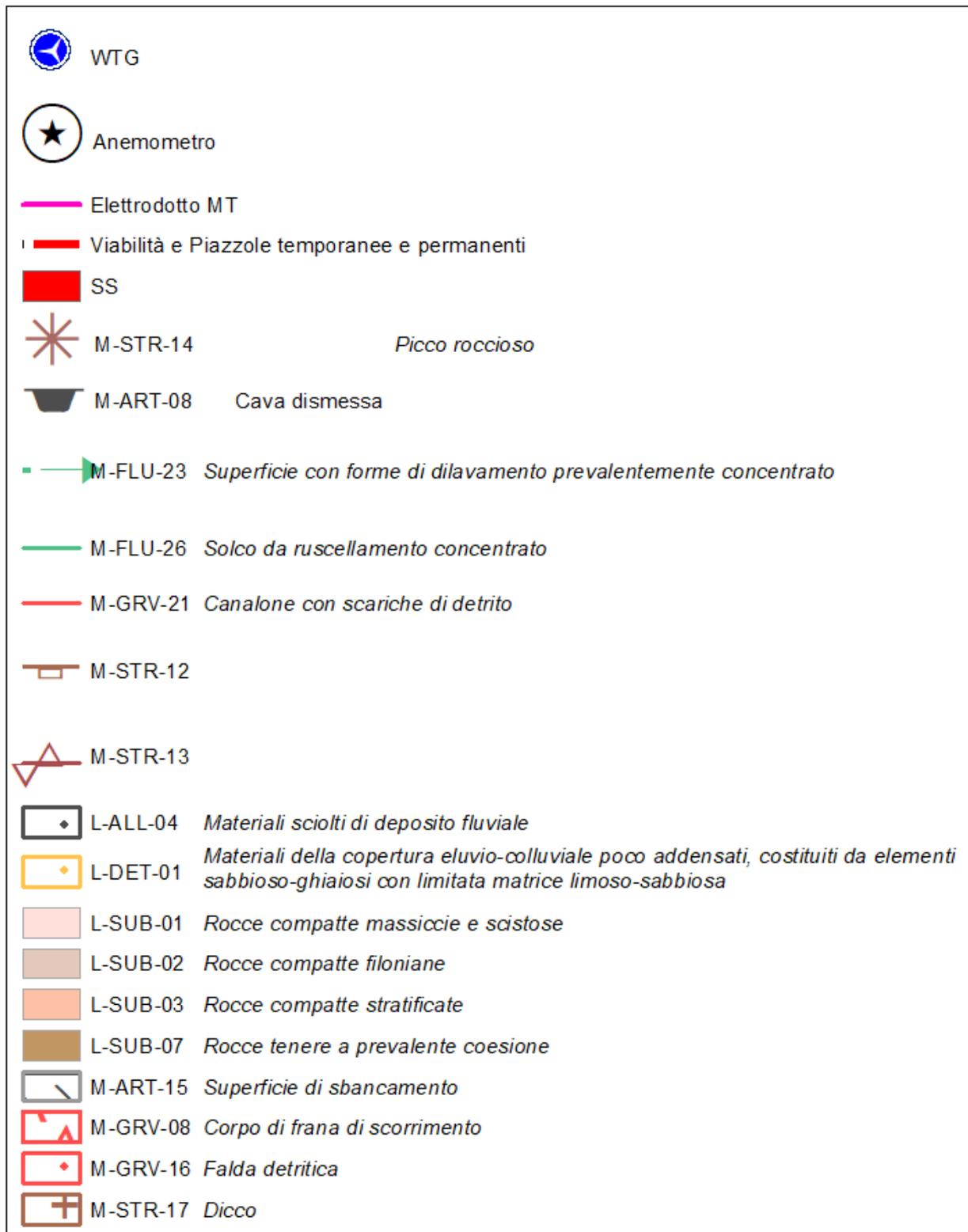


Figura 8.7 - Legenda della Carta Geomorfologica

9 Inquadramento idrologico e idrogeologico

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

Il reticolo idrografico su queste litologie è impostato su un sistema di valli e compluvi, spesso delimitati da scarpate rocciose originatesi a seguito di processi di dilavamento e scalzamento al piede non più attivi nelle condizioni attuali.



9.1 Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea

Il reticolo idrografico sulle litologie affioranti è impostato su un sistema di valli e compluvi, ed è caratterizzato da una ramificazione ben sviluppata in tutta l'area vasta che include le zone di interesse per il progetto. Sono presenti diversi corsi d'acqua lungo tutta l'area di interesse, e i relativi affluenti: il Riu Corongiu nella parte orientale, il Riu Norizzi in quella centrale, mentre nella parte occidentale il Riu Cardaxius e il Riu Funtana Meura che, insieme al Riu Cannisoni, vanno ad alimentare il Riu Flumini Mannu di San Sperate.

Lo sviluppo del reticolo idrografico è strettamente connesso alle caratteristiche chimico-fisiche delle rocce costituenti il substrato, e al controllo tettonico che si manifesta molto evidente su alcune linee di deflusso, come per la valle del Fossu Canea Arrubia e del Riu Bau Orroli, rispettivamente nella parte settentrionale e sud-occidentale dell'area vasta.

Il Riu Corongiu, il Riu Norizzi e il Riu Bau Cannas, e i relativi affluenti scorrono verso il Lago Mulargia a nord, il Riu Cannisoni, il Riu Cardaxius e il Riu Funtana Meura, e relativi affluenti, scorrono invece verso ovest per confluire nel Riu Mannu di San Sperate. Verso questi corsi d'acqua confluiscono le acque incanalate da piccoli affluenti che si ramificano verso monte.

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.

In dettaglio, il Riu Corongiu scorre a ovest dei rilievi su cui verranno installate le turbine WTG011 e WTG012, e ad est di quelli su cui sorgeranno le turbine WTG010 e WTG013, nella porzione orientale della zona di interesse. Il Riu Norizzi e i suoi affluenti scorrono tra i versanti in cui verranno installate le turbine WTG007 e WTG014, e quelli dedicati alle turbine WTG001, WTG006, WTG008, WTG009 nella porzione centrale dell'area di interesse. Il Riu Cannisoni e i suoi affluenti, e il Riu Cardaxius e Riu Funtana Meura, coi rispettivi affluenti, scorrono nelle valli delimitate dai rilievi su cui verranno installate le turbine WTG002, WTG003, WTG004 e WTG005 nella porzione occidentale dell'area indagata.

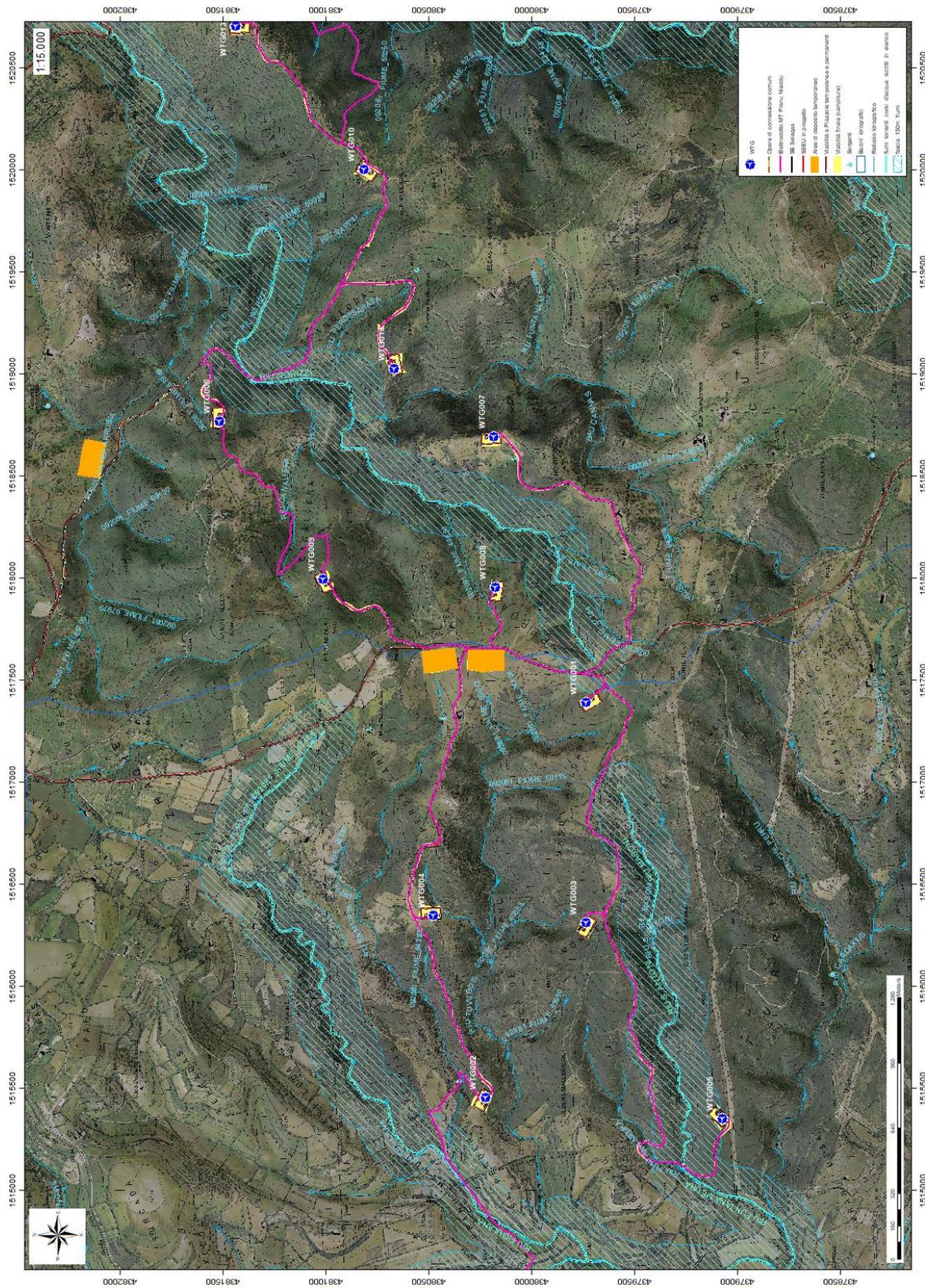


Figura 9. 2: Reticolo Idrografico - settore CENTRALE

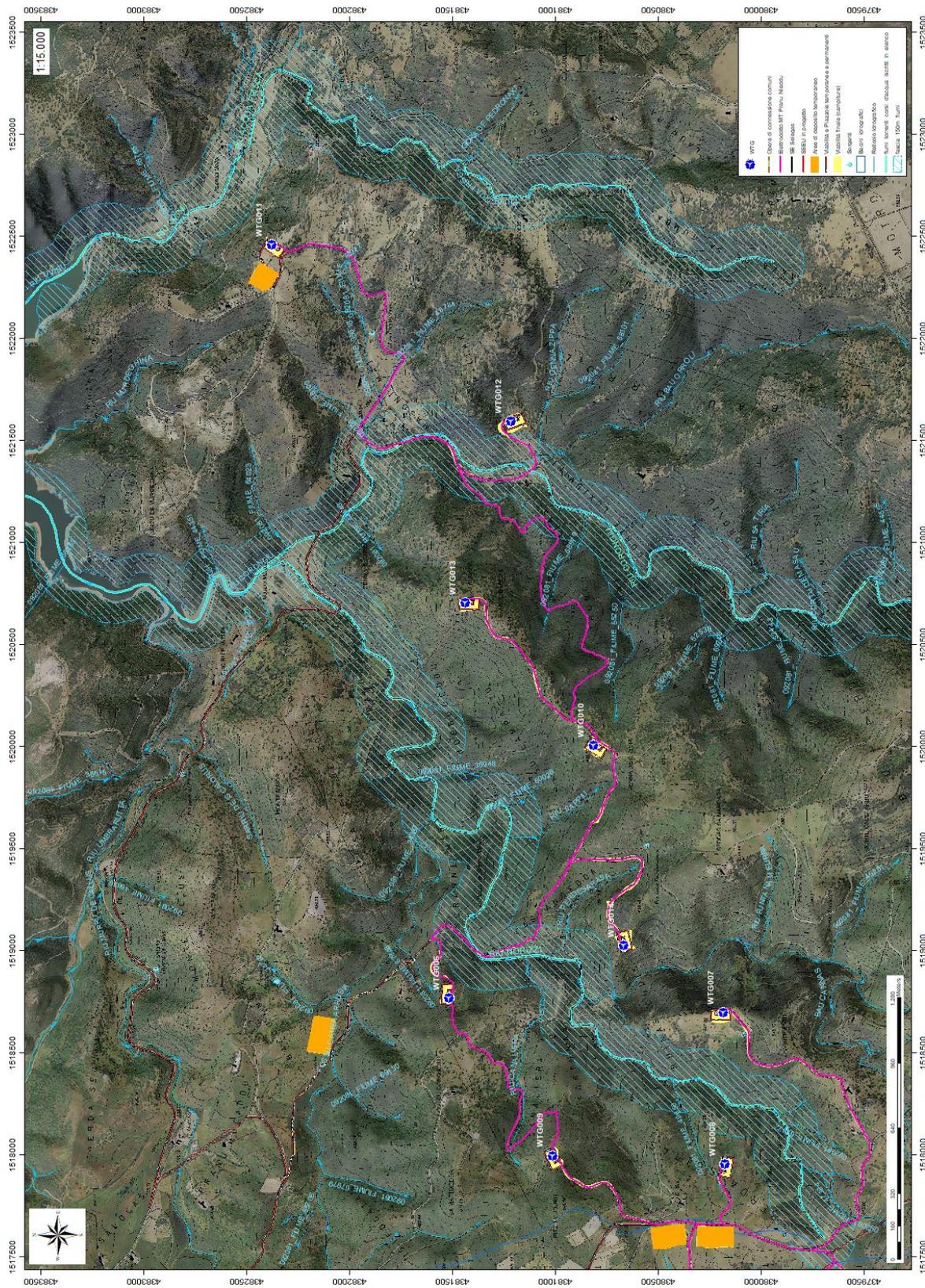


Figura 9.3: Reticolo Idrografico - settore EST

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

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

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

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

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

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

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

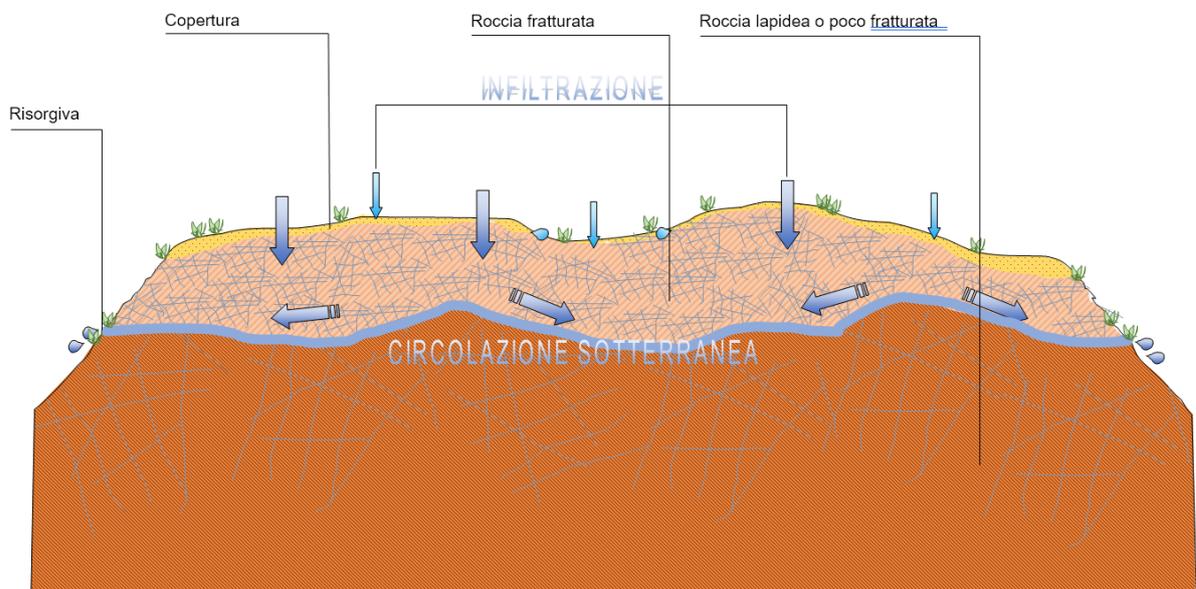


Figura 9. 4: Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

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

- Basamento Paleozoico. È costituito da rocce massive e scistose semipermeabili per fratturazione (porfiroidi, porfidi, quarziti, metarenarie,), da rocce impermeabili (filladi, metapeliti), e da rocce permeabili (calcari e calcari marnosi). Complessivamente la permeabilità del basamento metamorfico è scarsa, con Coefficienti di Permeabilità variabili tra 10^{-7} e 10^{-9} .
- Coperture eoceniche e oligo-mioceniche. Tali coperture sono costituite da litotipi a permeabilità medio-alta dovuta sia alla porosità delle arenarie e dei conglomerati che alla permeabilità per fratturazione e carsismo delle rocce carbonatiche intercalate nelle successioni.

- Depositi quaternari. I depositi quaternari occupano aree molto limitate e raggiungono spessori poco significativi, la permeabilità è di tipo medio-alta per porosità. Le alluvioni terrazzate recenti hanno permeabilità medio-alta e sono di solito sede di una falda freatica di subalveo. I depositi di versante invece 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.

Dalla carta della permeabilità dei suoli, resa disponibile Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna, si evince che l'area di studio presenta, nel complesso, una **permeabilità bassa per fratturazione**, eccetto che per le aree in cui affiorano le litologie carbonatiche come, ad esempio, la facies carbonatica della formazione di Pala Manna, che presentano permeabilità medio-alta per carsismo e fratturazione.

Rispetto ai punti di installazione delle turbine, è possibile distinguere tra zone che ricadono nelle aree a permeabilità bassa per fratturazione (WTG001, WTG003, WTG005, WTG006, WTG009, WTG010, WTG011, WTG012, WTG013, WTG014), e zone al limite tra le precedenti e quelle a permeabilità medio-alta per carsismo e fratturazione (WTG007, WTG008). Altre turbine invece, pur ricadendo in zone a permeabilità bassa per fratturazione, si trovano molto vicine ad aree a permeabilità medio alta o per via di particolari situazioni strutturali (piegamenti, sovrascorrimenti) o stratigrafiche. Questo è il caso della WTG002 che, pur ricadendo in aree a permeabilità bassa per fratturazione, si trova prossima a depositi eluvio colluviali che presentano permeabilità alta per porosità, e della turbina WTG004 che si trova invece vicina ad un importante sovrascorrimento che mette a contatto l'unità tettonica del Gerrei con quella di Riu Gruppa.

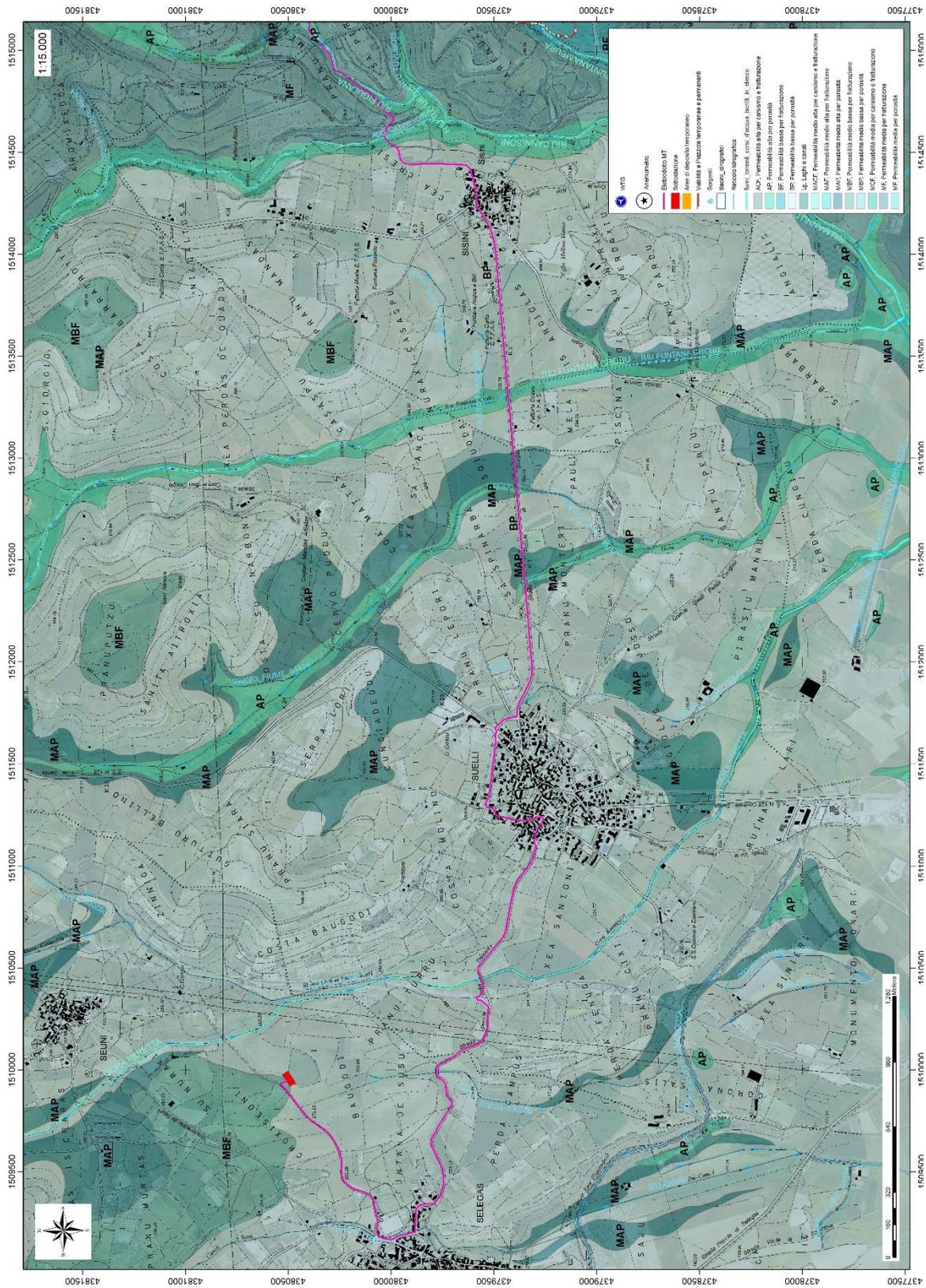


Figura 9.5: Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli - settore Ovest (Fonte RAS)



Figura 9.7: Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli - settore Est (Fonte RAS)

10 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 ricade nei paesaggi su "calcari, dolomie e calcari dolomitici del Paleozoico e del Mesozoico e relativi depositi di versante", cui sono associati suoli dell'unità A2, e paesaggi su "metamorfiti (scisti, scisti arenacei, argilloscisti, ecc...) del Paleozoico e relativi depositi di versante", associati a suoli dell'unità B2.

Nell'area di progetto dove verranno installate le turbine WTG001, WTG002, WTG003, WTG004, WTG005, WTG006, WTG007, WTG008, WTG009, WTG010, WTG013, e WTG014 sono presenti suoli dell'unità B2 della Carta dei Suoli della Sardegna - 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.

Le turbine WTG011, WTG012, invece, verrà installata su suoli dell'unità A2 della suddetta Carta dei Suoli – Profili A-R, A-Bt-R e A-Bw-R e roccia affiorante, da poco profondi a profondi, da franco sabbioso argillosi ad argillosi, da mediamente a poco permeabili, neutri, saturi.

La porzione di viabilità collegata alla turbina WTG012 ricade nei paesaggi a "argille, arenarie e conglomerati (formazioni del Cixerri e di Ussana) dell'Eocene, Oligocene e Miocene", associati a suoli dell'unità H1, con Profili – A-C, A-Bw-C, A-Bk-C, da poco profondi a profondi, da franco sabbiosi a franco sabbioso argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, da neutri a subalcalini, saturi.

La porzione di viabilità collegata alla turbina WTG002 ricade nei paesaggi a "marne, arenarie e calcari marnosi del Miocene e relativi depositi colluviali", associati ai suoli dell'unità G1 con Profili – A-C, roccia affiorante e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, permeabili, subalcalini, saturi.

11 Uso del Suolo

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

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

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

- ricadono nel livello **3232**, classificato come "**Gariga**", i punti di installazione delle turbine WTG001 (al limite con il livello 321), WTG002 WTG003, e WTG005;
- nel livello **321**, classificato come "**Aree a pascolo naturale**", i punti di installazione delle turbine WTG004, WTG007, WTG008, WTG009, WTG011, WTG012, e WTG013;
- nel livello **2413**, classificato come "**Colture temporanee associate ad altre colture permanenti**", il punto della turbina WTG006;
- e al limite tra il livello **3242**, classificato come "**Aree a ricolonizzazione artificiale**" e il livello 3111 classificato come "**Bosco di latifoglie**", il punto di installazione della turbina WTG014.

12 Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

12.1 Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.)

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

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

Il comune di Siurgus Donigala non ha ancora prodotto lo studio di dettaglio ex art.8 comma 2 delle Norme tecniche di Attuazione del PAI pertanto sono ancora in vigore le perimetrazioni precedentemente approvate.

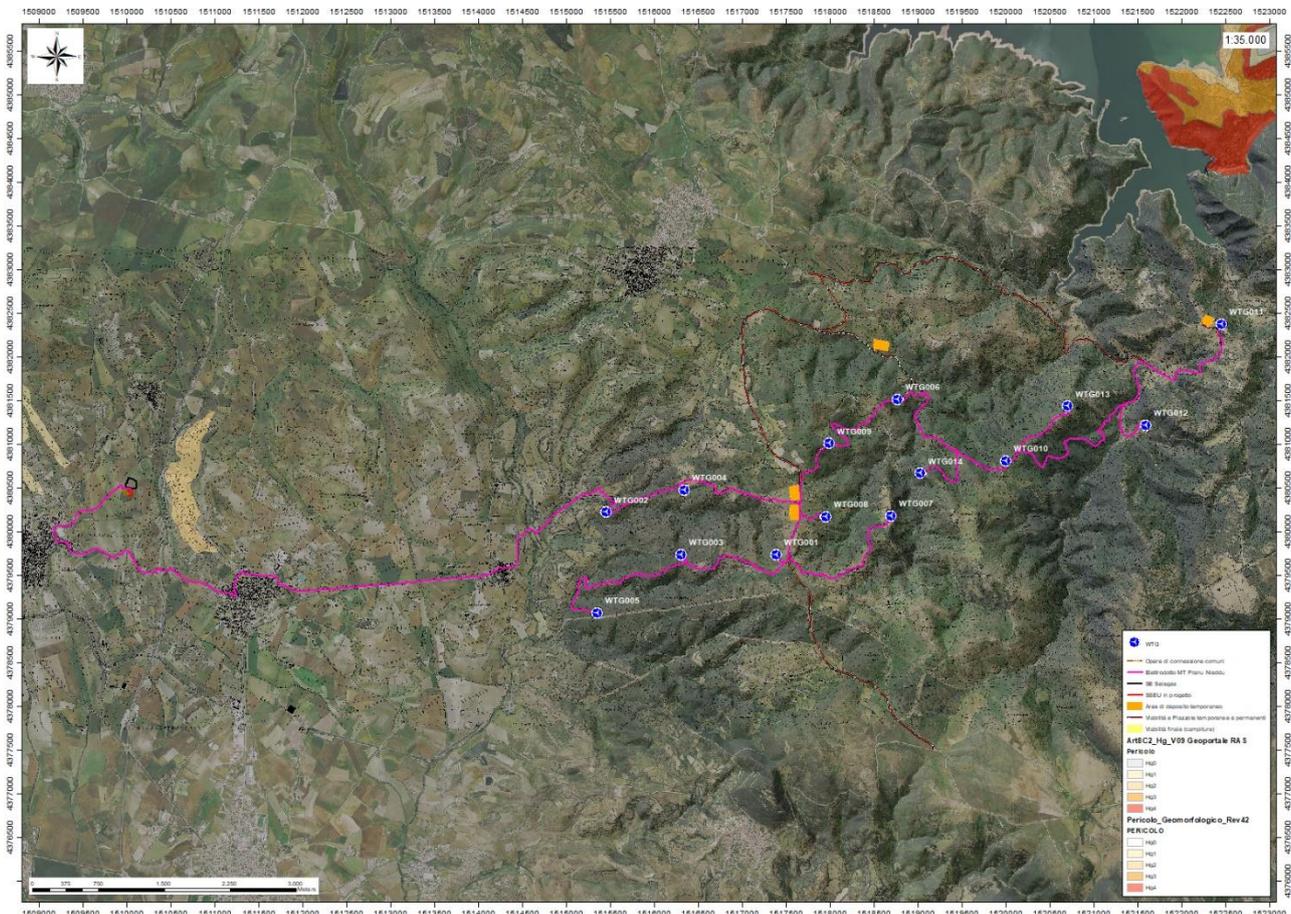


Figura 12.1 - Pericolosità da frana PAI

Nello specifico del progetto, le turbine sono state posizionate in aree con pendenze minori o uguali al 15%. Generalmente tutto il complesso rappresentato da turbina, piazzola temporanea e permanente occupano aree subpianeggianti sufficientemente ampie 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.

Anche il percorso del cavidotto risulta non compreso in aree perimetrato a pericolosità da frana.

L'area di progetto è compresa nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica del PAI (Art. 8).

Nello specifico del progetto, le turbine WTG001, WTG002, WTG005 e WTG009, con relative piazzole, sono localizzate in una perimetrazione di pericolosità Hg2 - 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

Tutte le turbine e la relativa piazzole, siano esse temporanee o permanenti, sono posizionate in aree subpianeggianti sufficientemente ampie da garantire la non influenza dell'opera con la dinamica di versante. Dai sopralluoghi effettuati in sito e sulla base delle informazioni ricavate dalle indagini, non si ha evidenza per quest'area di fenomeni franosi in atto o potenziali. La dinamica geomorfologica di versante è naturalmente presente, ma senza manifestazioni importanti.

L'intensa fratturazione degli ammassi rocciosi porta comunque a considerare un grado di attenzione particolare che dovrà esplicarsi in fase esecutiva con uno studio di dettaglio sulle aree direttamente interessate dagli scavi, con particolare riferimento alle turbine il cui terreno di sedime è costituito dagli argilloscisti (WTG10, WTG011, WTG012, WTG013).

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità idraulica resa disponibile dalla RAS, risulta che nel territorio comunale di Siurgus Donigala è presente un settore con diverso grado di pericolosità legata a fenomeni idraulici o aree interessate da fenomeni di esondazione naturali.

In particolare, la porzione periferica sud-occidentale del centro abitato presenta tutti i gradi di pericolosità idraulica H1, H2, H3 e H4 relativi ai 4 tempi di ritorno, e tutti i gradi rischio Ri1, Ri2, Ri3 e Ri4 relativi al pericolo alluvioni.

Tuttavia, l'area dove verrà realizzato il progetto si trova distante da tale zona, così come risulta distante dal Flumendosa che scorre nella periferia nord-orientale del limite amministrativo del comune di Siurgus Donigala.

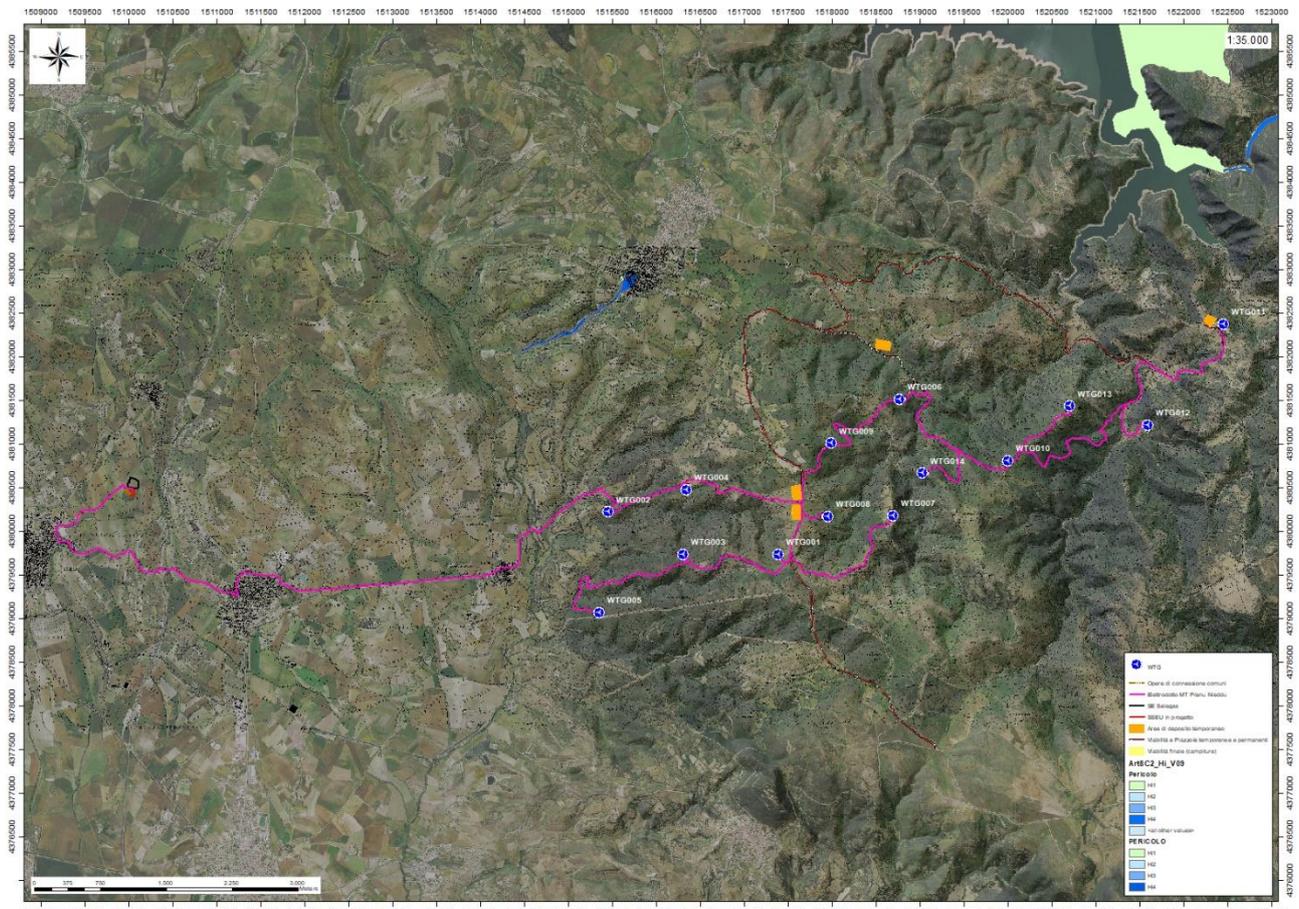


Figura 12.2 - Pericolosità idraulica PAI

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

12.2 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 del comune di Siurgus Donigala.

12.3 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.

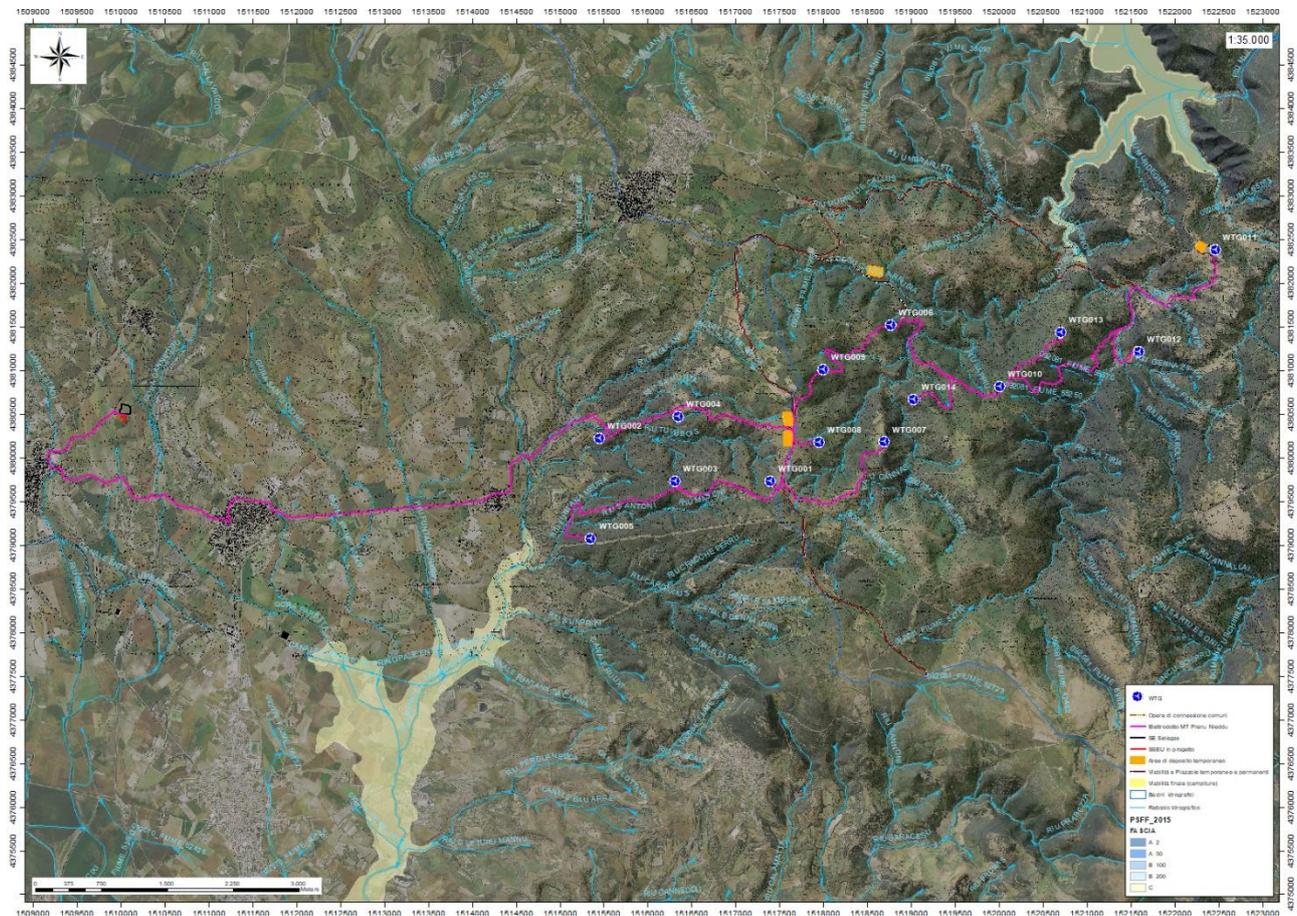


Figura 12.3 - Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF

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 comunale di Siurgus Donigala sono presenti due aree di fascia C (Fascia Geomorfológica) individuabili

nella parte settentrionale del territorio in corrispondenza delle sponde del Lago Mulargia, e nella parte sud-occidentale lungo l'alveo del Riu Cannisoni verso la confluenza col Riu Mannu di San Sperate. Le aree descritte sono localizzate fuori dall'area oggetto di studio.

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

12.4 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).

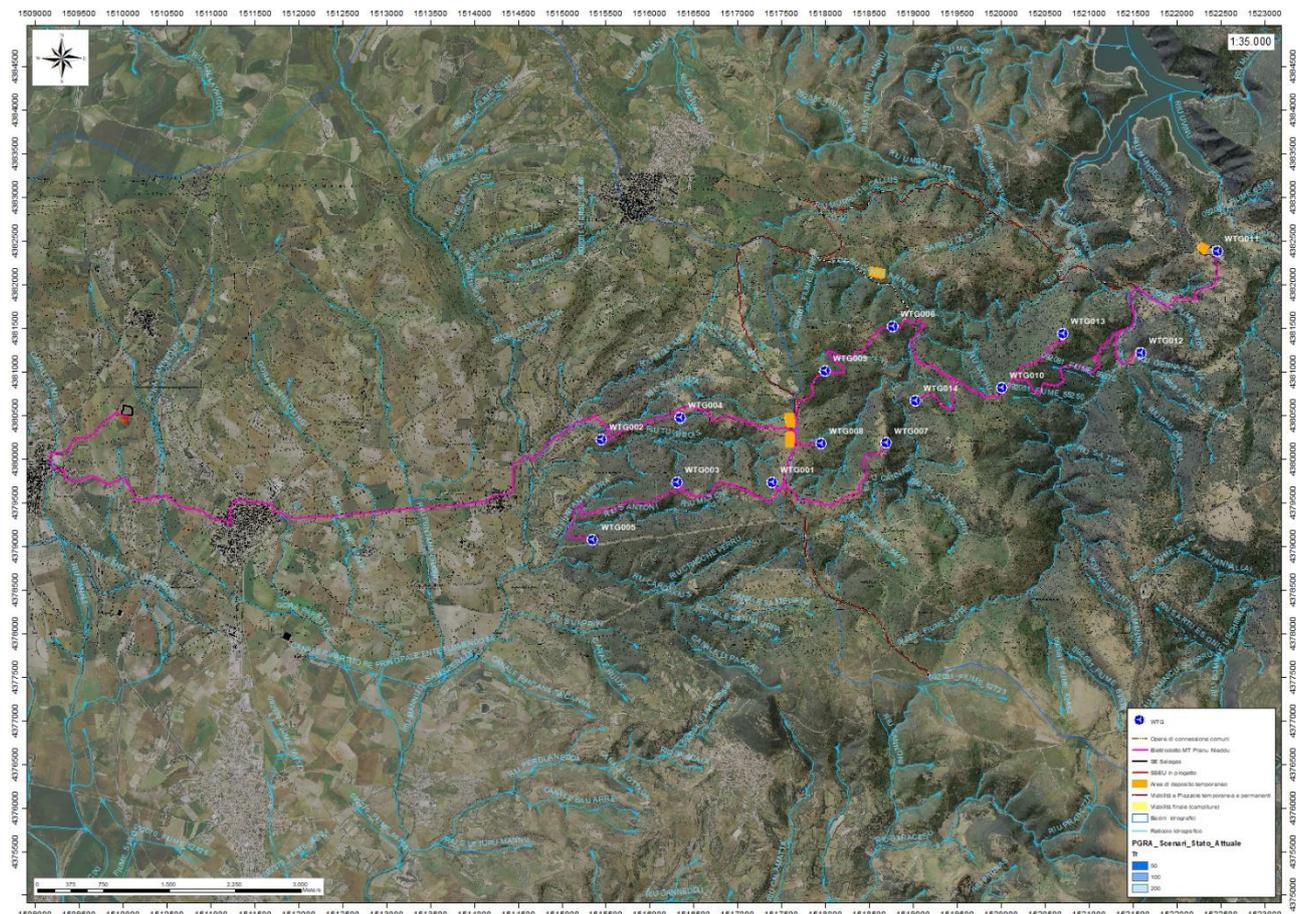


Figura 12.4 - Stralcio perimetrazione PGRA

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.

13 Modellazione geologica

13.1 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)*: quando è stato possibile effettuare misure sclerometriche, è stato utilizzato tale valore come rappresentativo del parametro IUCS.
- *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. 15.2) o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski.
- *Determinazione della costante m_i (Funzione del tipo di roccia)*: i valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_c e m_i) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig. 15.3, che riassume i valori della costante m_i per diversi tipi di roccia.

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

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

Figura 13. 1: Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

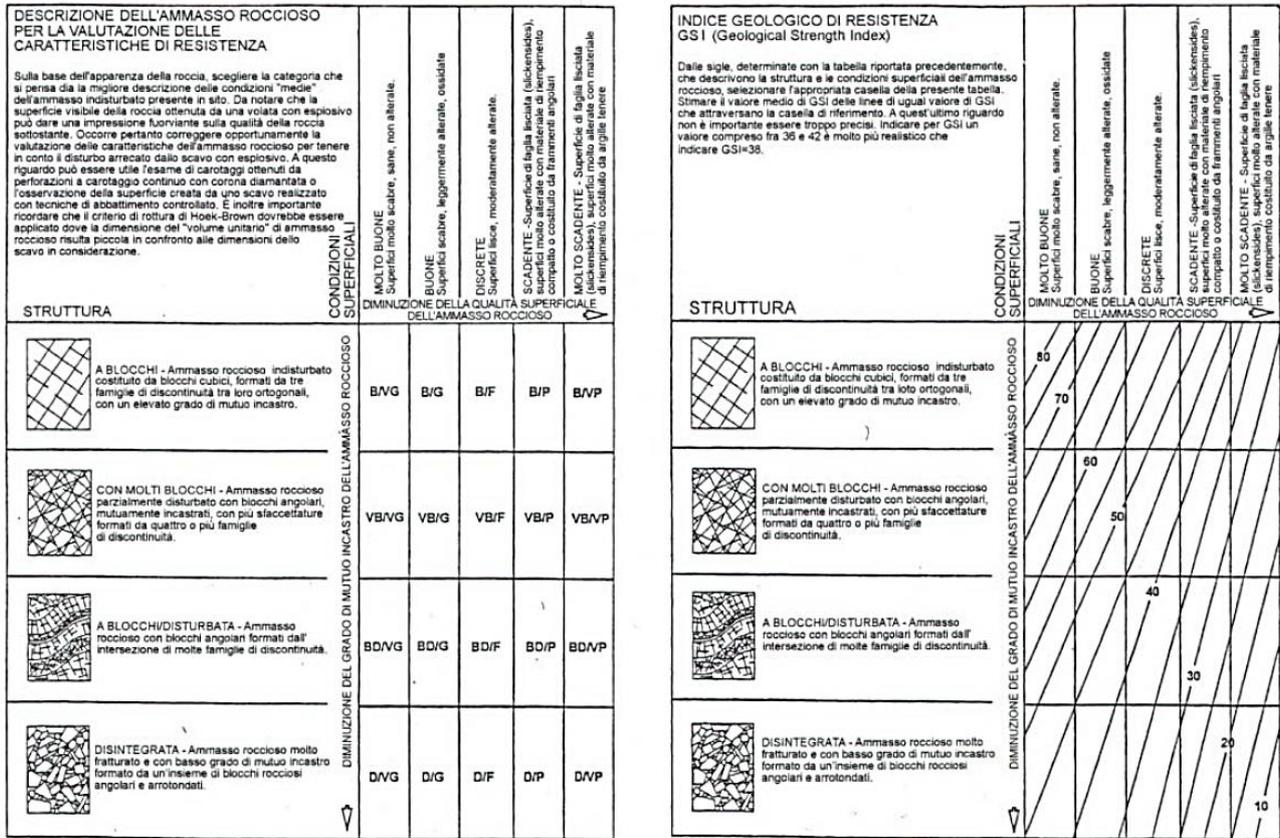


Figura 13. 2: Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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 riportato nella Fig. 15.4.

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

Figura 13. 3: Valori della costante m_i per diversi tipi di roccia

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso ha portato alla classificazione di nr.5 tipologie tra le litologie che caratterizzano le formazioni presenti ovvero Porfiroidi Auct., Formazione di San Vito e Formazione del Monte Cardiga.

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.3.013 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>ROCCIE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO</p> <p>Dolomite, calcare e marmo.</p>	<p>ROCCIE ARGILLOSE LITIFICATE</p> <p>Argille, siltite, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</p>	<p>ROCCIE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE</p> <p>Arenarie e quarzite</p>	<p>ROCCIE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE</p> <p>Andesite, dolerite, diabase e riolite</p>	<p>ROCCIE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCIE CRISTALLINE METAMORFICHE</p> <p>Amfibolite, 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 0.062	5.14 0.082	5.82 0.082	8.56 0.062
<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 13. 4: Correlazione fra valori di mi, 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 delle Arenarie di San Vito Facies METARGILLITI

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

Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm

RQD =41%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,05 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

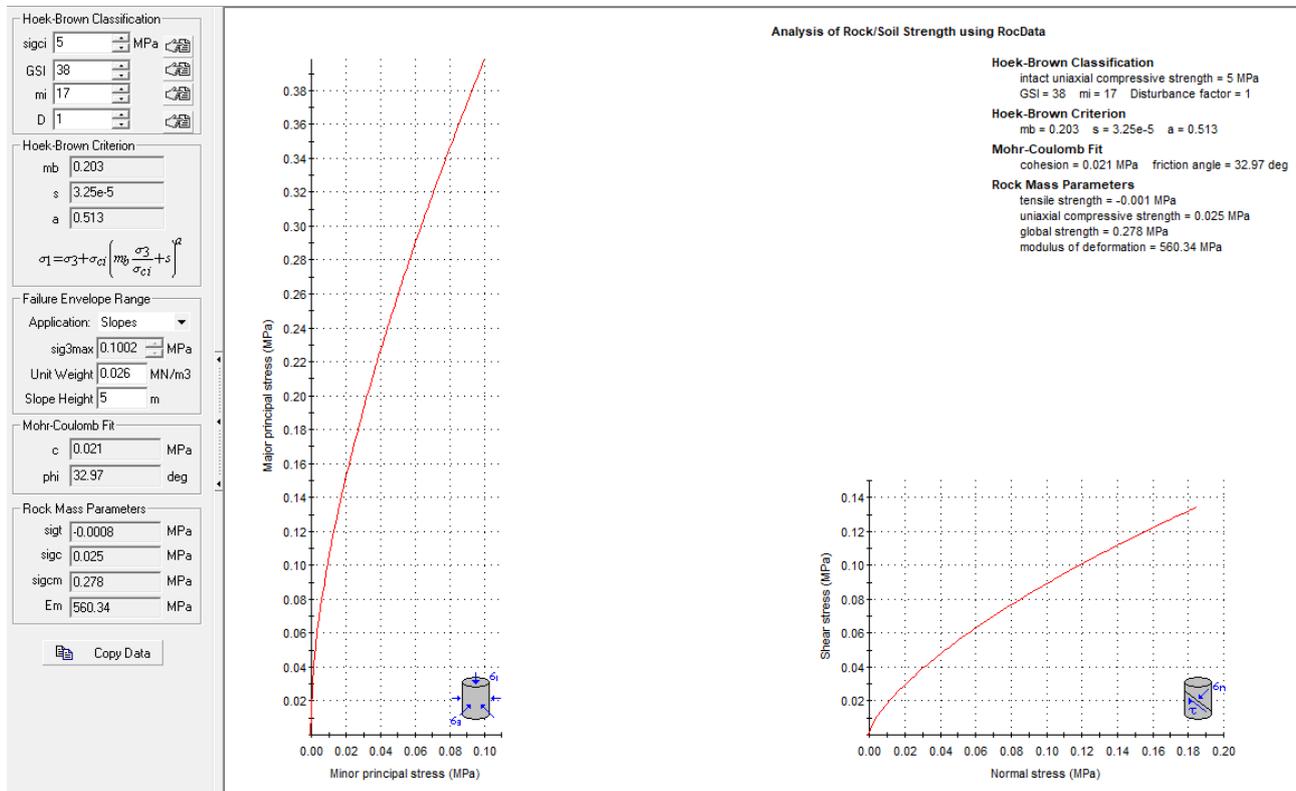
Apertura del giunto = 0,0 - 2 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate/alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm – compatto >5mm

Roccia – asciutta



Formazione delle Arenarie di San Vito Facies METARENARIE

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

Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm

RQD =-85%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,05 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

Apertura del giunto = 0,0 - 2 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate/alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm – compatto >5mm

Roccia – asciutta

Hoek-Brown Classification

sigci 5 MPa
 GSI 53
 mi 17
 D 1

Hoek-Brown Criterion

mb 0.592
 s 0.0004
 a 0.505

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(mb \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Failure Envelope Range

Application: Slopes
 sig3max 0.1058 MPa
 Unit Weight 0.026 MN/m³
 Slope Height 5 m

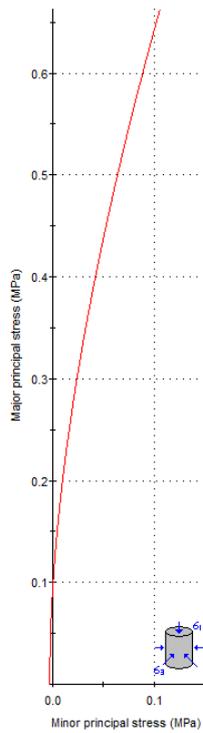
Mohr-Coulomb Fit

c 0.035 MPa
 phi 42.24 deg

Rock Mass Parameters

sigt -0.0033 MPa
 sigc 0.096 MPa
 sigcm 0.506 MPa
 Em 1328.79 MPa

Copy Data



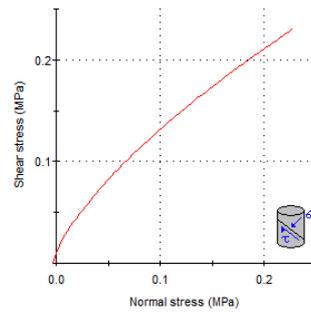
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 5 MPa
 GSI = 53 mi = 17 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.592 s = 0.0004 a = 0.505

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.035 MPa friction angle = 42.24 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.003 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.096 MPa
 global strength = 0.506 MPa
 modulus of deformation = 1328.79 MPa



Formazione di PALAMANNA facies più alterata/fratturata– dati desunti da rilievo in sito e prospezione geofisica PN_SISM03

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

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,03 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta

Hoek-Brown Classification

sigci 5 MPa

GSI 35

mi 12

D 1

Hoek-Brown Criterion

mb 0.116

s 1.97e-5

a 0.516

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Failure Envelope Range

Application: Slopes

sig3max 0.0975 MPa

Unit Weight 0.026 MN/m3

Slope Height 5 m

Mohr-Coulomb Fit

c 0.017 MPa

phi 28.14 deg

Rock Mass Parameters

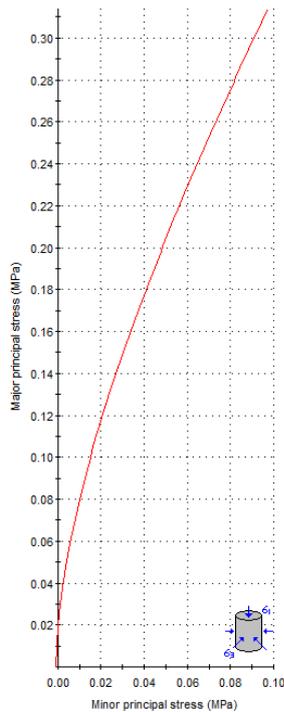
sigt -0.0009 MPa

sigc 0.019 MPa

sigcm 0.204 MPa

Em 471.47 MPa

Copy Data



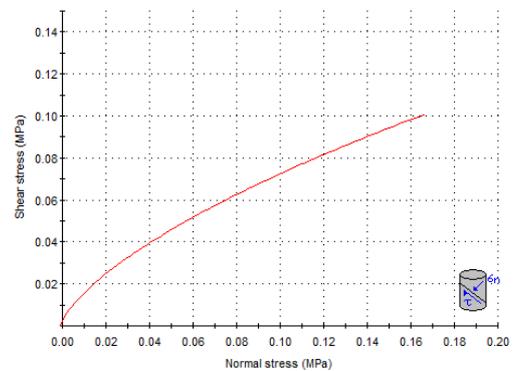
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 5 MPa
 GSI = 35 mi = 12 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.116 s = 1.97e-5 a = 0.516

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.017 MPa friction angle = 28.14 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.001 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.019 MPa
 global strength = 0.204 MPa
 modulus of deformation = 471.47 MPa



Formazione di PALAMANNA– dati desunti da rilievo in sito e prospezione geofisica PN_SISM03

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

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,03 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

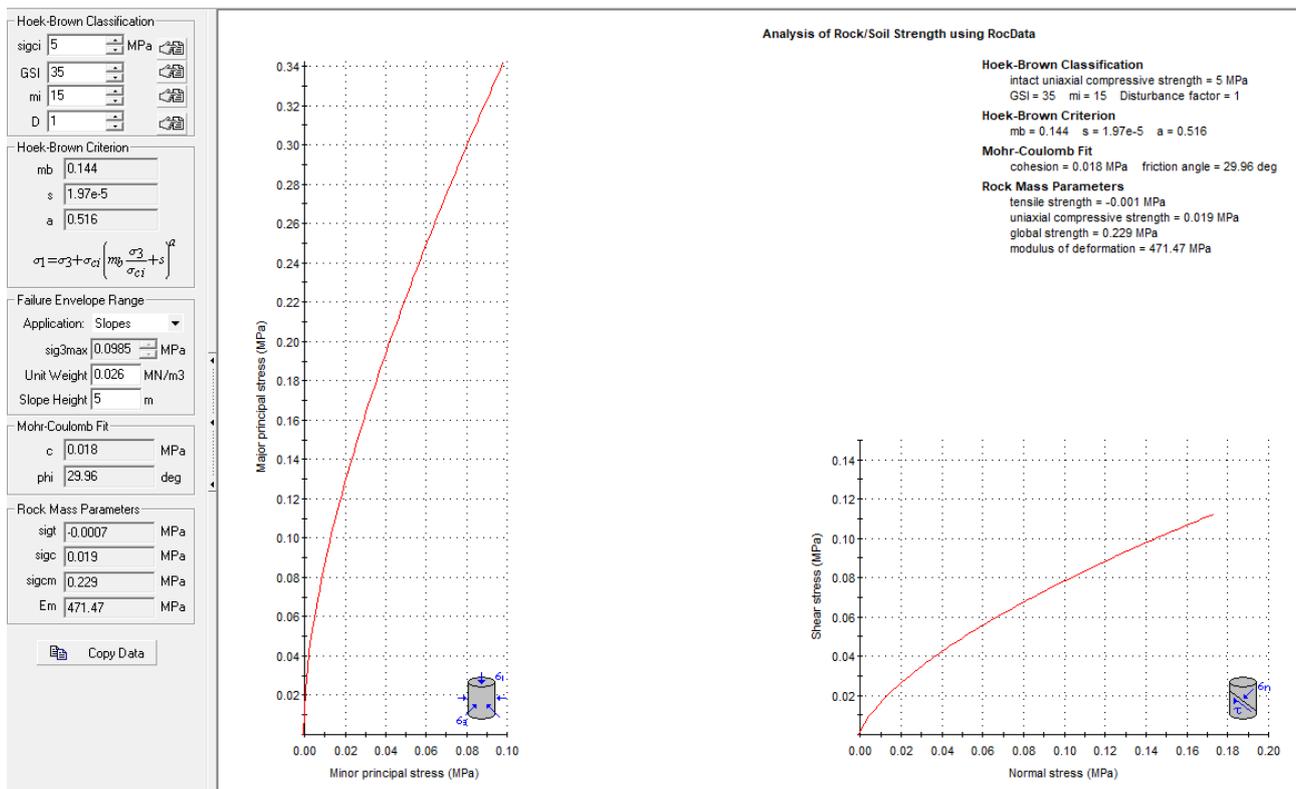
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta



Formazione degli ARGILLOSCISTI facies molto alterata

Standard ISRM = Un campione Si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani

Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm

RQD =7%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,03 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

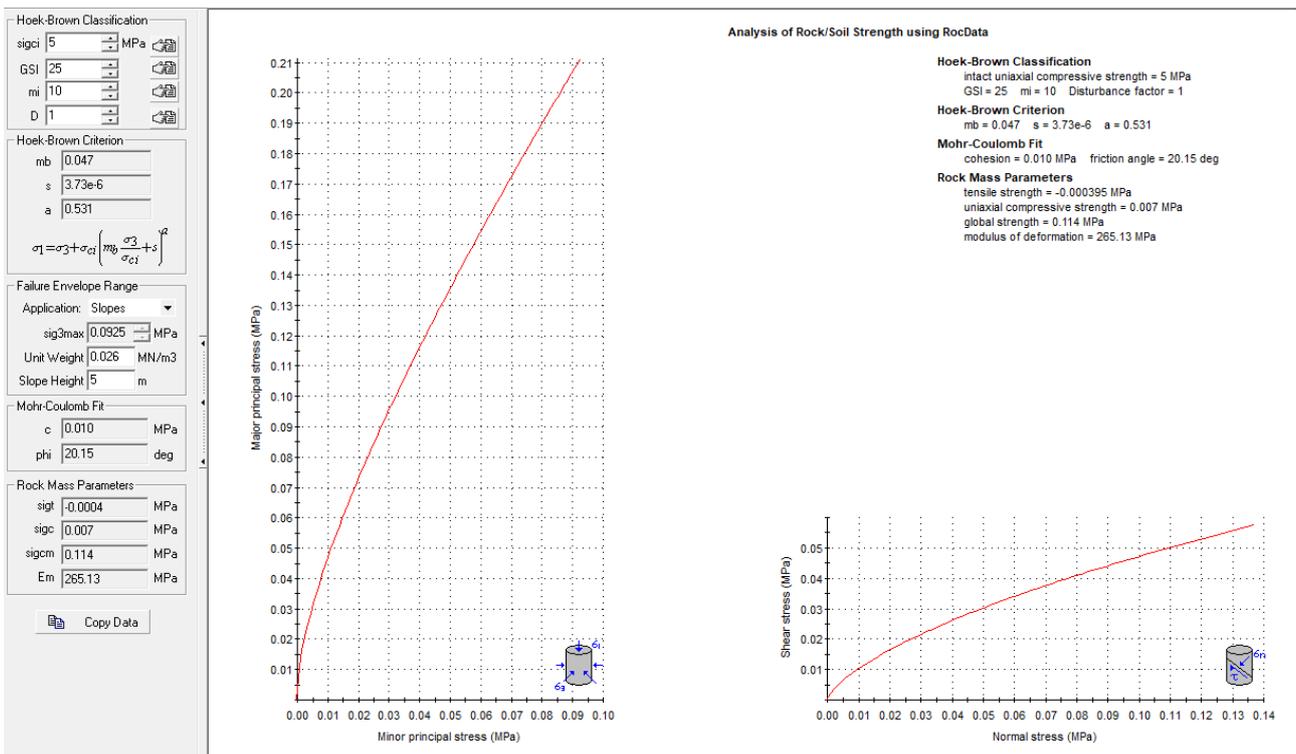
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta



Formazione degli ARGILLOSCITI

Standard ISRM = Un campione Si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani

Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm

RQD =25%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,03 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

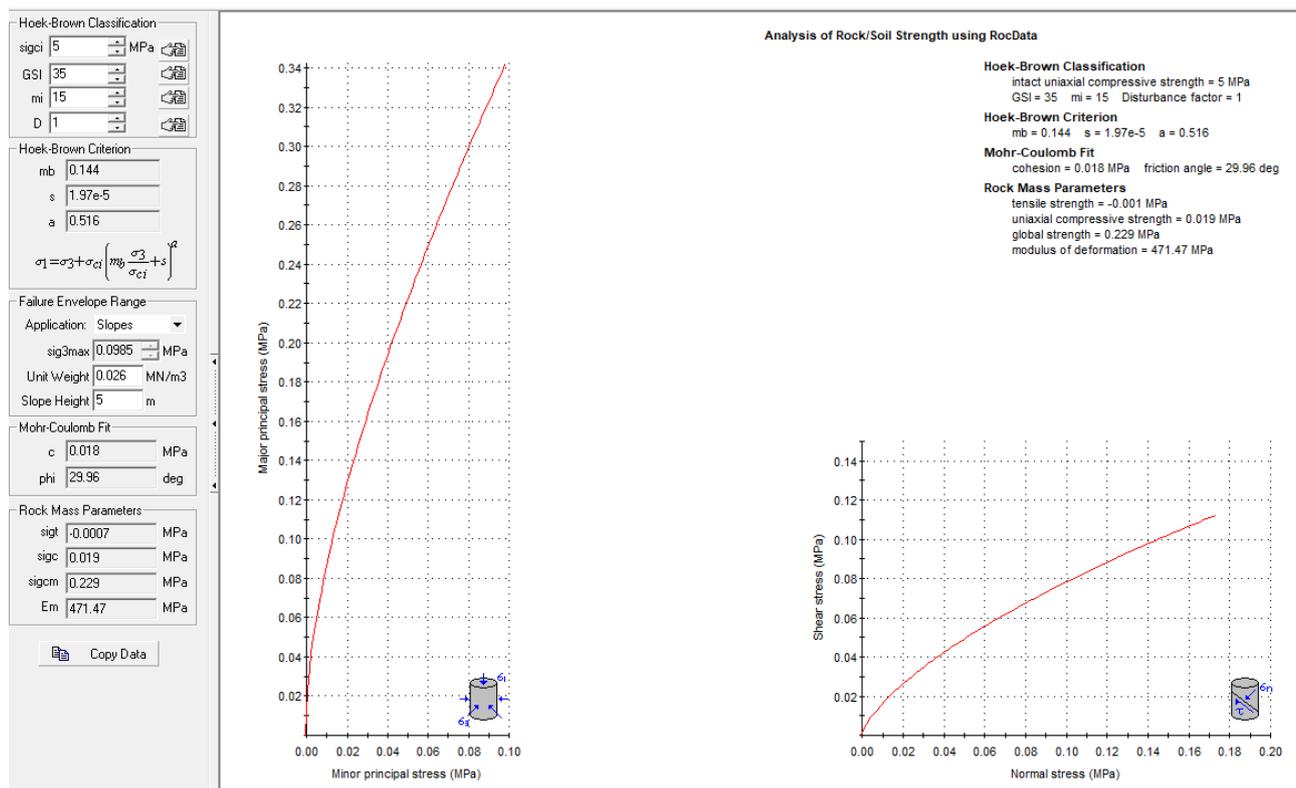
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta



PORFIROIDI Auct.¹

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

Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm

RQD =25%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,05 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

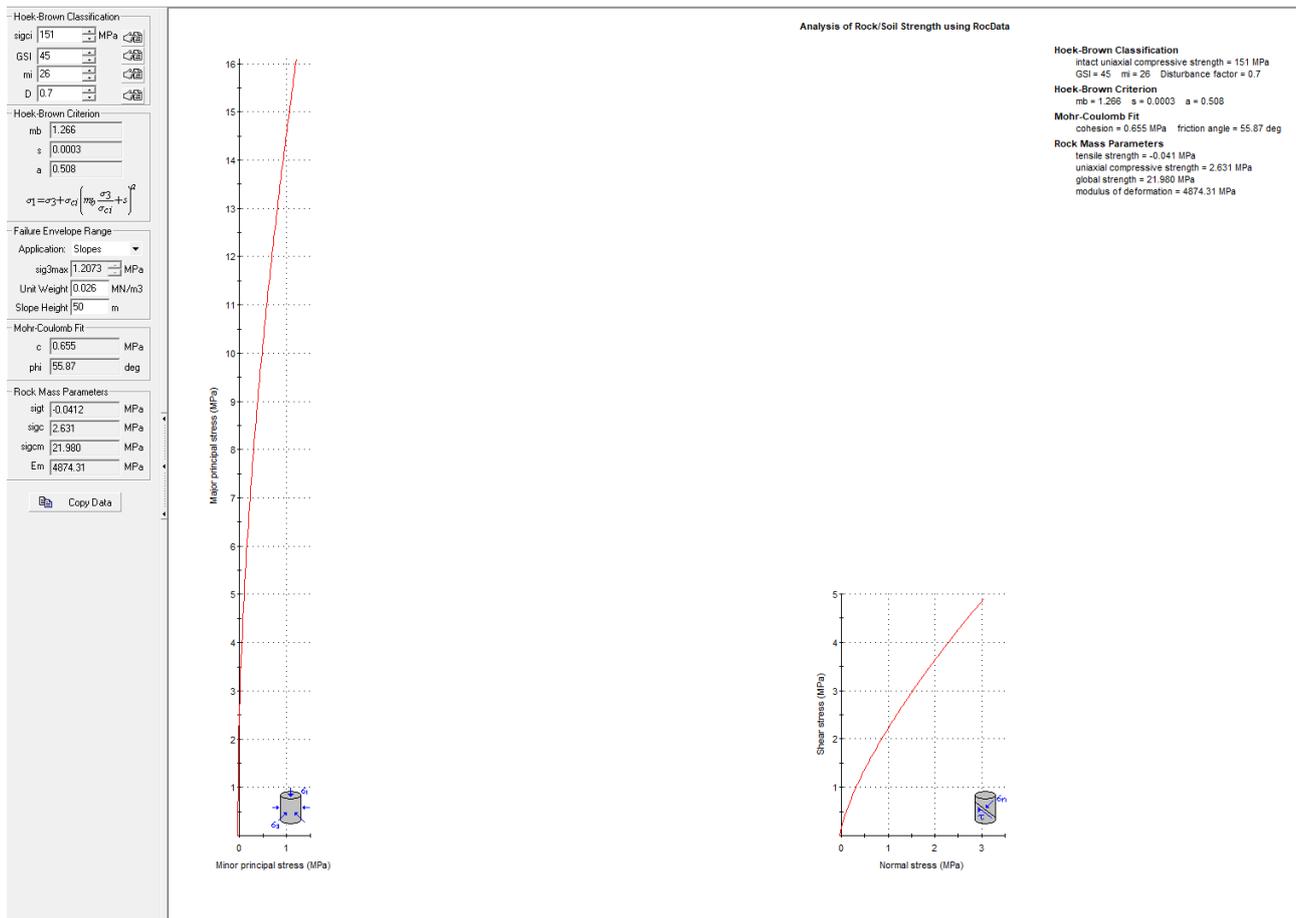
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate/alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm – compatto >5mm

Roccia – asciutta



¹ Per i dati geotecnici si è fatto riferimento ad indagine geofisica realizzata dalla società scrivente su stessa litologia e ambito geostrutturale nei pressi di Ballao – da confermare in sede di progettazione esecutiva

13.2 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 alla maggiore componente fine presente (metargilliti carboniose piuttosto che metarenarie) sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio. La profonda deformazione che le metamorfiti e i porfiroidi 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 delle coltri di alterazione di arenarie eoceniche e metamorfiti. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito che viene di seguito riassunto. In particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, sono stati individuati nr___ modelli geologici rappresentativi descritti di seguito:

Modello Geologico 01 – ARENARIE DI SAN VITO – WTG001, WTG002, WTG003, WTG004, WTG005

Il sondaggio di riferimento è il **PN_S01**; il profilo sismico di riferimento è il **PN-SISM-01_M1**. Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici.

Per i dati geotecnici si è fatto riferimento ad indagine geofisica realizzata dalla scrivente su stessa litologia e ambito geostrutturale nei pressi di Ballao

0,00m – 0,30m – suolo/materiale di riporto.

0,30m – 1,50m – Basamento scistoso alterato, fratturazione con presenza di ossidi di Fe, secco

1,50m – 3,50m – Metargilliti e metasiltiti mediamente fratturate, presenza di livelli millimetrici a Ossidi di Fe e livelli millimetrici carboniosi,

da 3,50m in poi – Metarenarie da mediamente a molto fratturate, presenza di livelli di 1-2cm ossidati color bordeaux, presenza di livelli di Quarzo pluricentimetrici, fino a fondo indagine (12,00m da p.c).

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 e sulla base delle analisi effettuate in laboratorio di seguito vengono indicati i parametri geotecnici caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

Sito		Pranu Nieddu - MODELLO GEOLOGICO 01 (WTG001, WTG002, WTG003, WTG004, WTG005)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 - metargilliti	S3 - metarenarie	
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	2679	2617	
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2000	2946*	2879	
Angolo di attrito interno	[°]	25	32.97	42.24	
Coesione	[kg/cm ²]	0	0,21	0.36	
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cm ²]	14500	22596	44704	
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	
Modulo di taglio (G)	[kg/cm ²]	5496	8504	16805	
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	530	530	930	

* Ricavato ipotizzando un aumento del 10%

Modello Geologico 02 – Form. PALAMANNA – WTG006, WTG007, WTG008, WTG009 WTG014

Il profilo sismico di riferimento è il **PN-SISM-03_M3**. Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici.

0,00m – 0,30m – suolo/materiale di riporto.

0,30m – 3,90m – Basamento scistoso metacalcareo vo metasilicatico alterato, molto fratturato

3,90m in poi – Basamento scistoso metacalcareo vo metasilicatico da mediamente a molto fratturato,

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 e sulla base delle analisi effettuate in laboratorio di seguito vengono indicati i parametri geotecnici caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

Sito		Pranu Nieddu - MODELLO GEOLOGICO 02 (WTG006, WTG007, WTG008, WTG009 WTG014)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 – molto fratturato	S3 – mediamente fratturato	
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1800	1900	
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2000*	1900*	2000*	
Angolo di attrito interno	[°]	25	28.14	29.96	
Coesione	[kg/cm ^q]	0	0.17	0.18	
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cm ^q]	7403	7403	15897	
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	
Modulo di taglio (G)	[kg/cm ^q]	2804	2804	5996	
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	340	340	700	

* Ricavato ipotizzando un aumento del 10%

Modello Geologico 03 – ARGILLOSCISTI – WTG010, WTG011, WTG012

Il sondaggio di riferimento è il **PN_S02, PN_S04 e PN_S05**. Il profilo sismico di riferimento è il **PN-SISM-02_M2**.

Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici.

0,00m – 0,30m – suolo/materiale di riporto.

0,30m – 1,50m – deposito di versante o basamento scistoso molto alterato, secco

1,50m – in poi – Scisti neri carboniosi o metasiltiti fini, con locali livelli di metarose. Intensamente fratturato, fino a fondo indagine (13,00m da p.c).

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 e sulla base delle analisi effettuate in laboratorio di seguito vengono indicati i parametri geotecnici caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

Sito		Pranu Nieddu - MODELLO GEOLOGICO 03 (WTG010, WTG011, WTG012)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 – basamento molto alterato	S3 – scisti neri carboniosi	
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	2670	2513**	
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2000	2940*	2764*	
Angolo di attrito interno	[°]	25	0.10	0.18	
Coesione	[kg/cm ²]	0	20.15	29.29	
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cm ²]	9299	9299	16498	
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	
Modulo di taglio (G)	[kg/cm ²]	3497	3497	16498	
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	435	435	580	

* Ricavato ipotizzando un aumento del 10%

** Ricavato come media tra i campioni

Modello Geologico 04² – PORFIROIDI – WTG11, WTG13,

Il sondaggio di riferimento è il **BN_S04** (riportato negli allegati); Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici.

0,00m – 0,50m – suolo/materiale di riporto.

0,50m – 1,00m – argilla localmente sabbiosa da debolmente compatta a compatta con elementi litici.

da 1,00m in poi – roccia metamorfica fratturata per uno spessore di circa 2-3m poi massiva fino a fondo indagine (7,70m da p.c).

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 e sulla base delle analisi effettuate in laboratorio di seguito vengono indicati i parametri geotecnici caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

Sito		Pranu Nieddu - MODELLO GEOLOGICO 04 (WTG013)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 - argilla	S3 - porfiroidi	
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1800	2687	
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2000	2000	2687	
Angolo di attrito interno	[°]	25	25	55,87	
Coesione	[kg/cmq]	0	0,2	6,67	
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cmq]	8820	8820	18538	
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	
Modulo di taglio (G)	[kg/cmq]	16447	16447	23198	
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	900	900	1040	

² Per i dati geotecnici si è fatto riferimento ad indagine geofisica realizzata dalla società scrivente su stessa litologia e ambito geostrutturale nei pressi di Ballao – da confermare in sede di progettazione esecutiva

13.3 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 24,5 tonnellate, una pressione massima di 2,45 kg/cm. Lo sbancamento stradale di percorrenza dovrà essere pari a 6 metri, compresi 50 centimetri per lato di fascia di distanza. I gradienti longitudinali non superano il 15% sui rettilinei e il 10% in prossimità delle curve. Le curve stesse hanno a progetto un raggio di curvatura interna non inferiore a 32,5 metri.

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 2,00m.

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

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

Il tracciato del cavidotto si snoda lungo aree pianeggianti e tracciati stradali esistenti. Interesserà per buona parte terreni costituiti da marne siltose alternate a livelli arenacei da mediamente grossolani a fini (Formazione della Marmilla).

Anche la sottostazione sorgerà su tale formazione marnosa. 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.

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 aeree 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.*

Nello specifico verrà valutata in fase esecutiva la possibilità di attraversare i corsi d'acqua interrando il cavidotto ad una profondità idonea o alternativamente con una soluzione subaerea.



Figura 13.5 - fiumi e torrenti interessati dal tracciato del cavidotto

Inoltre, con riferimento alle misure di prima salvaguardia di cui all'articolo 30 ter delle NTA PAI mediante l'istituzione di fasce di pericolosità Hi4, nelle more della realizzazione di uno studio di dettaglio del territorio comunale ex art.8 c.2 NTA PAI, gli interventi ammissibili ascrivibili a quelli di progetto con particolare riferimento alla viabilità, alle piazzole di servizio e al cavidotto di connessione sono comunque previsti all'art.27 NTA PAI al comma 3 alle seguenti:

lettera a. gli interventi di manutenzione ordinaria;

lettera b. gli interventi di manutenzione straordinaria;

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

Le opere in progetto non ricadono in parte in aree perimetrate con pericolosità da frana tuttavia gli interventi in progetto trovano ammissibilità secondo quanto prescritto dal PAI negli articoli seguenti:

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

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

comma 2. In materia di patrimonio edilizio pubblico e privato nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

lettera l. la realizzazione e l'integrazione di impianti privati di depurazione, di apparecchiature tecnologiche, di impianti per l'impiego di fonti energetiche rinnovabili e per il contenimento dei consumi energetici, unitamente alla **realizzazione dei connessi volumi tecnici**, a condizione che si tratti di interventi a servizio di singoli edifici residenziali, conformi agli strumenti urbanistici e valutati indispensabili per la funzionalità degli edifici o vantaggiosi dall'autorità competente per la concessione o l'autorizzazione.

comma 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:

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

lettera 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 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 incidono in maniera poco significativa sull'assetto esistente andando a intervenire su reti stradali esistenti e operando un adeguamento all'esigenze operative di realizzazione e di esercizio. 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 previsti ad una profondità massima di 5m dall'attuale piano di campagna **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 ad 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.

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 aeree pianeggianti interessate da un reticolo idrografico ben definito, non è 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.*

Nello specifico verrà valutata in fase esecutiva la possibilità di attraversare l'alveo interrando il cavidotto ad una profondità idonea o alternativamente con una soluzione subaerea.

Inoltre, con riferimento **alle misure di prima salvaguardia di cui all'articolo 30 ter delle NTA PAI** mediante **l'istituzione di fasce di pericolosità Hi4**, nelle more della realizzazione di uno studio di dettaglio del territorio comunale ex art.8 c.2 NTA PAI, gli interventi ammissibili ascrivibili a quelli di progetto con particolare riferimento alla viabilità, alle piazzole di servizio e al cavidotto di connessione sono comunque previsti **all'art.27 NTA PAI al comma 3** alle seguenti:

***lettera a.** gli interventi di manutenzione ordinaria;*

***lettera b.** gli interventi di manutenzione straordinaria;*

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

Le opere in progetto non ricadono in parte in aree perimetrare con pericolosità da frana tuttavia gli interventi in progetto trovano ammissibilità secondo quanto prescritto dal PAI negli articoli seguenti:

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

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

comma 2. In materia di patrimonio edilizio pubblico e privato nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

***lettera l.** la realizzazione e l'integrazione di impianti privati di depurazione, di apparecchiature tecnologiche, di **impianti per l'impiego di fonti energetiche rinnovabili** e per il contenimento dei consumi energetici, unitamente alla **realizzazione dei connessi volumi tecnici**, a condizione che si tratti di interventi a servizio di singoli edifici residenziali, conformi agli strumenti urbanistici e valutati indispensabili per la funzionalità degli edifici o vantaggiosi dall'autorità competente per la concessione o l'autorizzazione.*

comma 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:

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

lettera 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.