



Nuovo impianto per la produzione di energia da fonte eolica nei comuni di Ballao e Armungia (SU)

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA

Rev. 0.0

Data: 09 Novembre 2020

AU-WIND001.REL003d

Committente:

Econergy Project 2 S.r.l.
via Alessandro Manzoni n. 30
20121 MILANO (MI)
C. F. e P. IVA: 10982660960
PEC: econergyproject2@legalmail.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.....	12
6 Inquadramento geologico.....	13
6.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....	14
7 Analisi delle condizioni geostruttrali generali	17
Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso	20
8 Inquadramento geomorfologico.....	28
8.1 Lineamenti geomorfologici generali	28
9 Inquadramento idrologico e idrogeologico.....	34
9.1 Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea	34
9.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee	38
11 Inquadramento pedologico.....	42
12 Uso del Suolo	42
13 Analisi dei vincoli gravanti sui terreni.....	43
13.1 Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.)	43
13.2 Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I.	45
13.3 Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).....	49
13.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGR)	51
15 Modellazione geologica	51
15.1 Caratterizzazione geostruttrale degli ammassi rocciosi.....	51
5.4 Modello Geologico di sito	61

Modello Geologico 01 – PORFIROIDI – WTG01, WTG03, WTG13, WTG14	63
Modello Geologico 02 – ARENARIE M.te Cardiga – WTG04, WTG05, WTG09, WTG011, WTG012	64
Modello Geologico 03 – ARENARIE M.te Cardiga + PORF – WTG06, WTG07, WTG08.....	65
Modello Geologico 04 – Argille + PORFIROIDI – WTG02.....	66
Modello Geologico 05 – ARENARIE M.te Cardiga – WTG10.....	67
15.4.2 Viabilità di impianto e Sottostazione.....	67
COMPATIBILITA' IDRAULICA E GEOLOGICA-GEOTECNICA	69
Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI.....	69
Analisi sulle variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità (Art.3 c.7 NTA PAI)	71
CONCLUSIONI	74

1 Premessa e finalità dello studio

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "Br.cu 'e Niada" 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:

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000, nel foglio n°226 e n°541 e 549 in scala 1:50.000 (CARG).
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000

- RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I.S.P.R.A - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguita in data 05-12/08/2020 nella zona di interesse.

4 Inquadramento geografico generale

Ballao è un Comune della provincia del Sud Sardegna situato nella zona centro-meridionale della Sardegna, a 92 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: 541 sez. III "Escalaplano", 549 sez. IV "Ballao".
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: 541130 "Escalaplano", 541140 "Salto di Quirra", 549010 "Miniera di Corti Rosas", 549020 "Monte S'Ollasteddu", 549050 "Ballao"



Figura 4. 1: Panoramica da B.cu 'e Niada

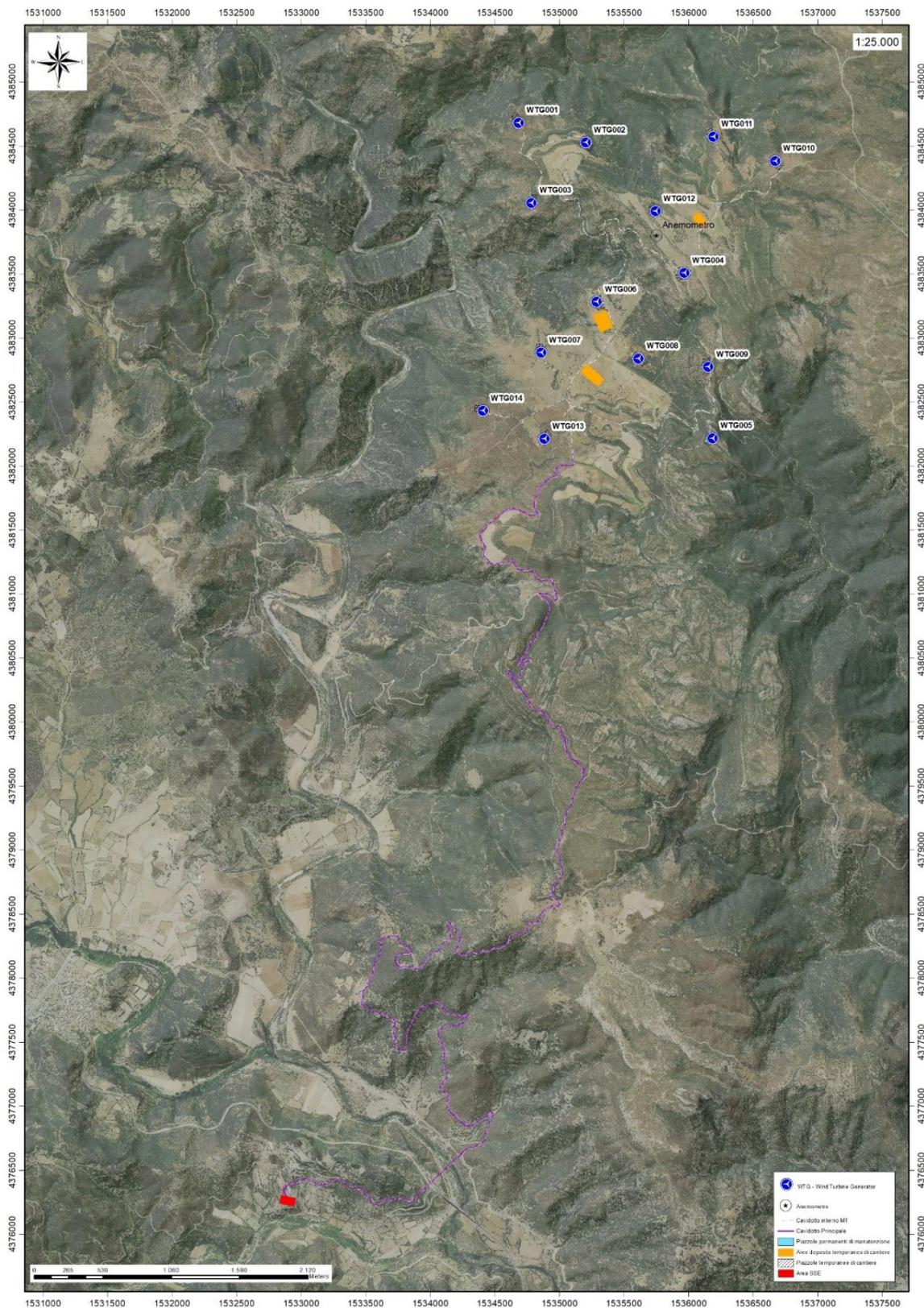


Figura 4. 2: Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

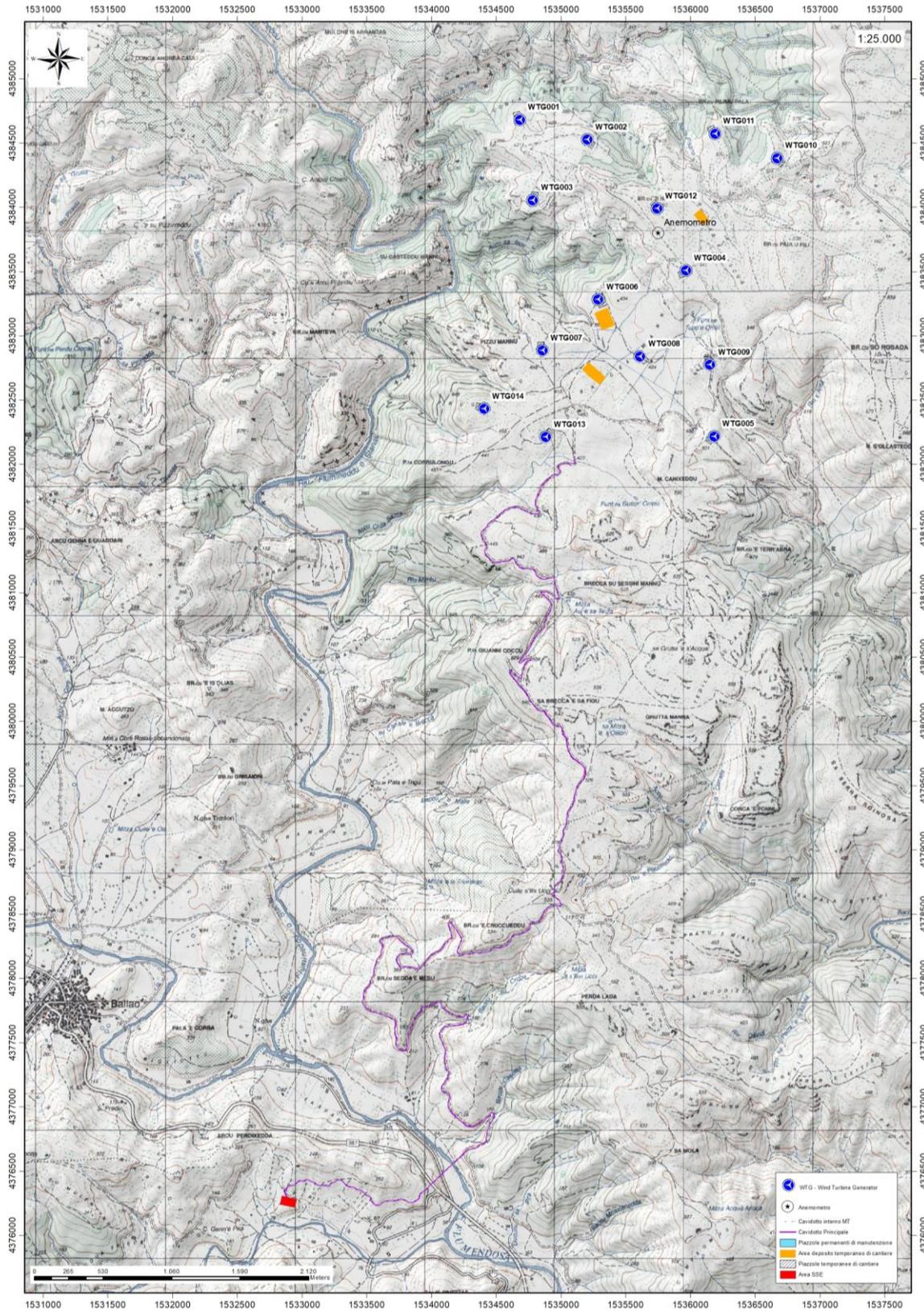


Figura 4. 3: Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

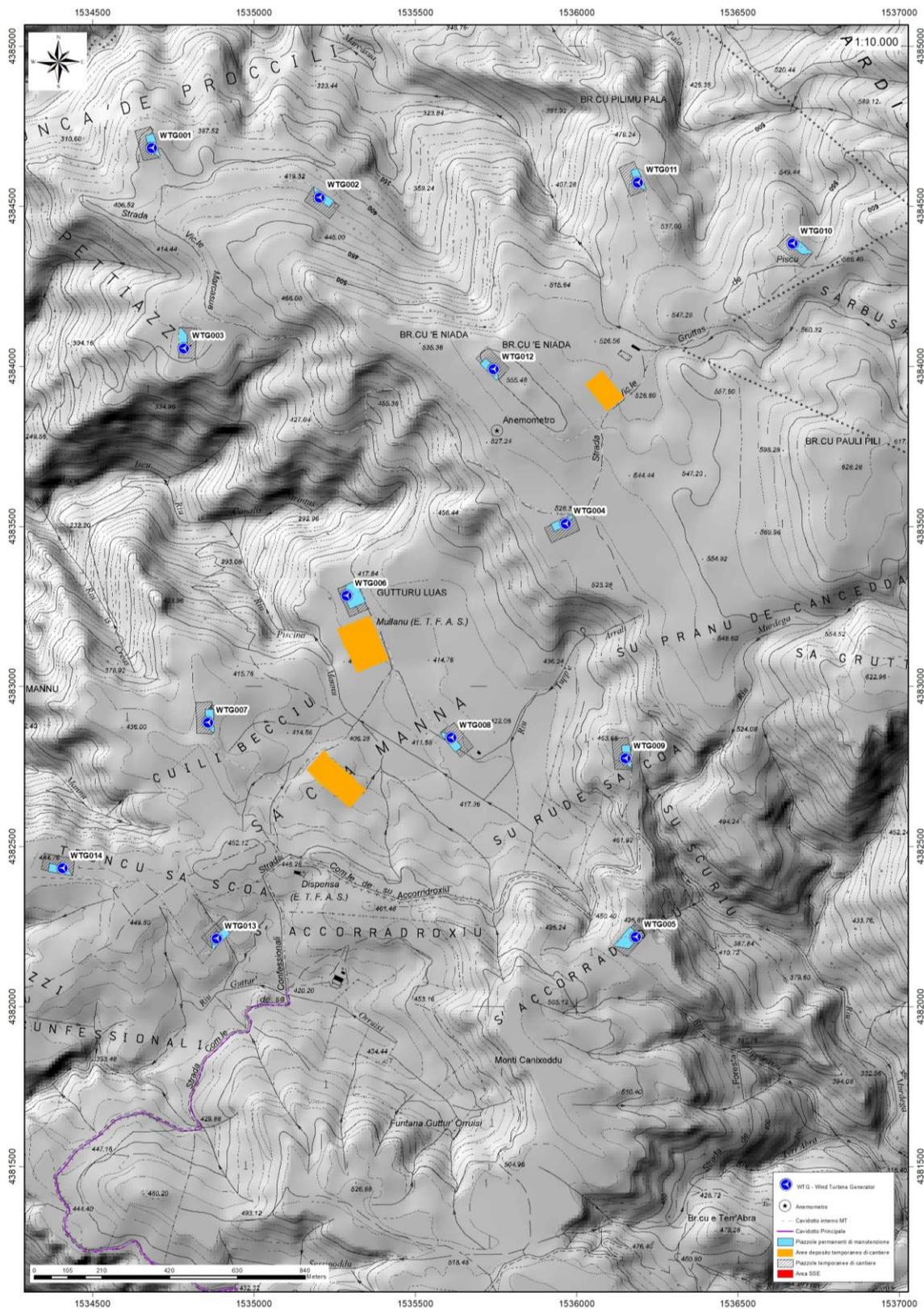


Figura 4. 4: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore nord

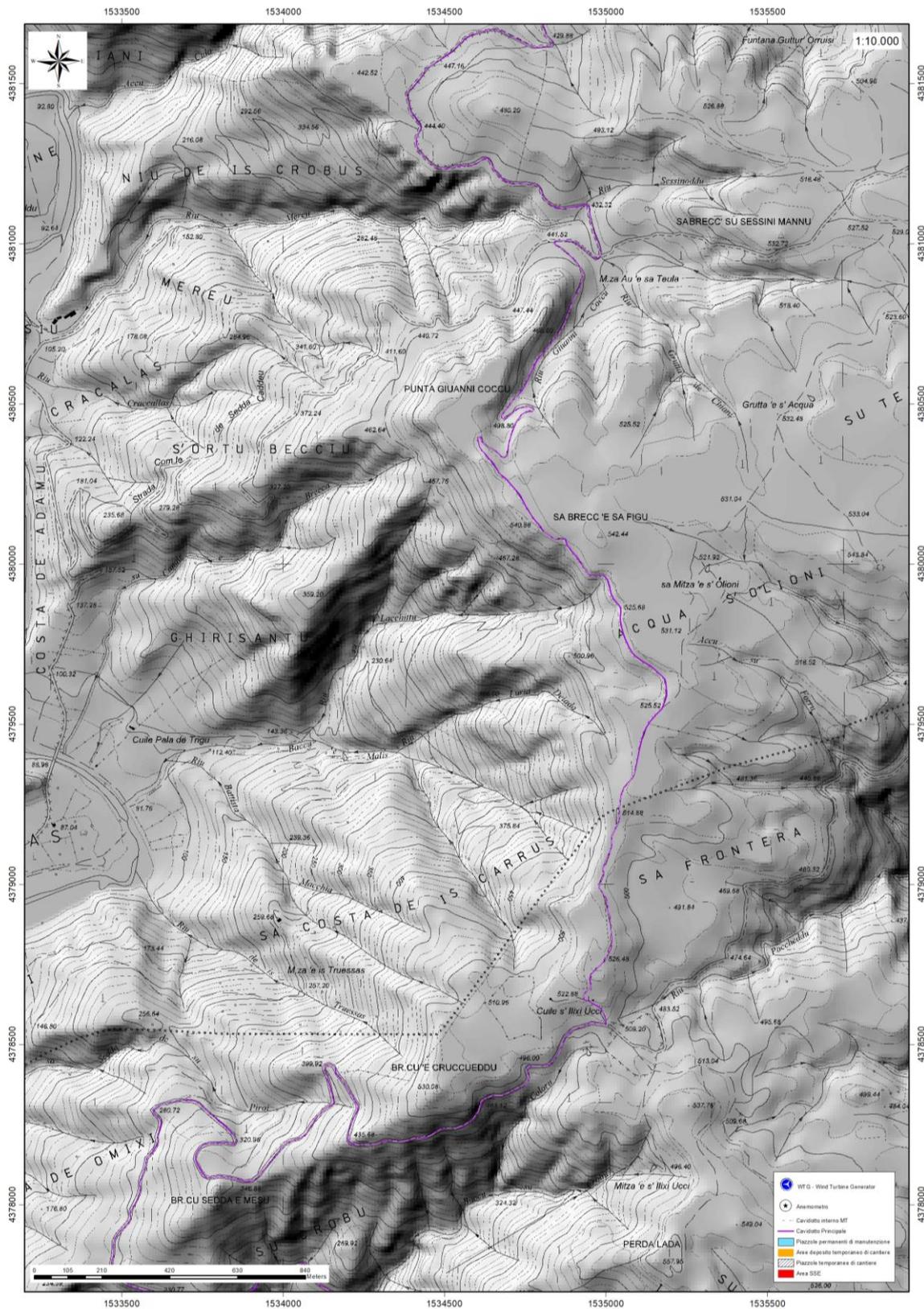


Figura 4. 5: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore centrale

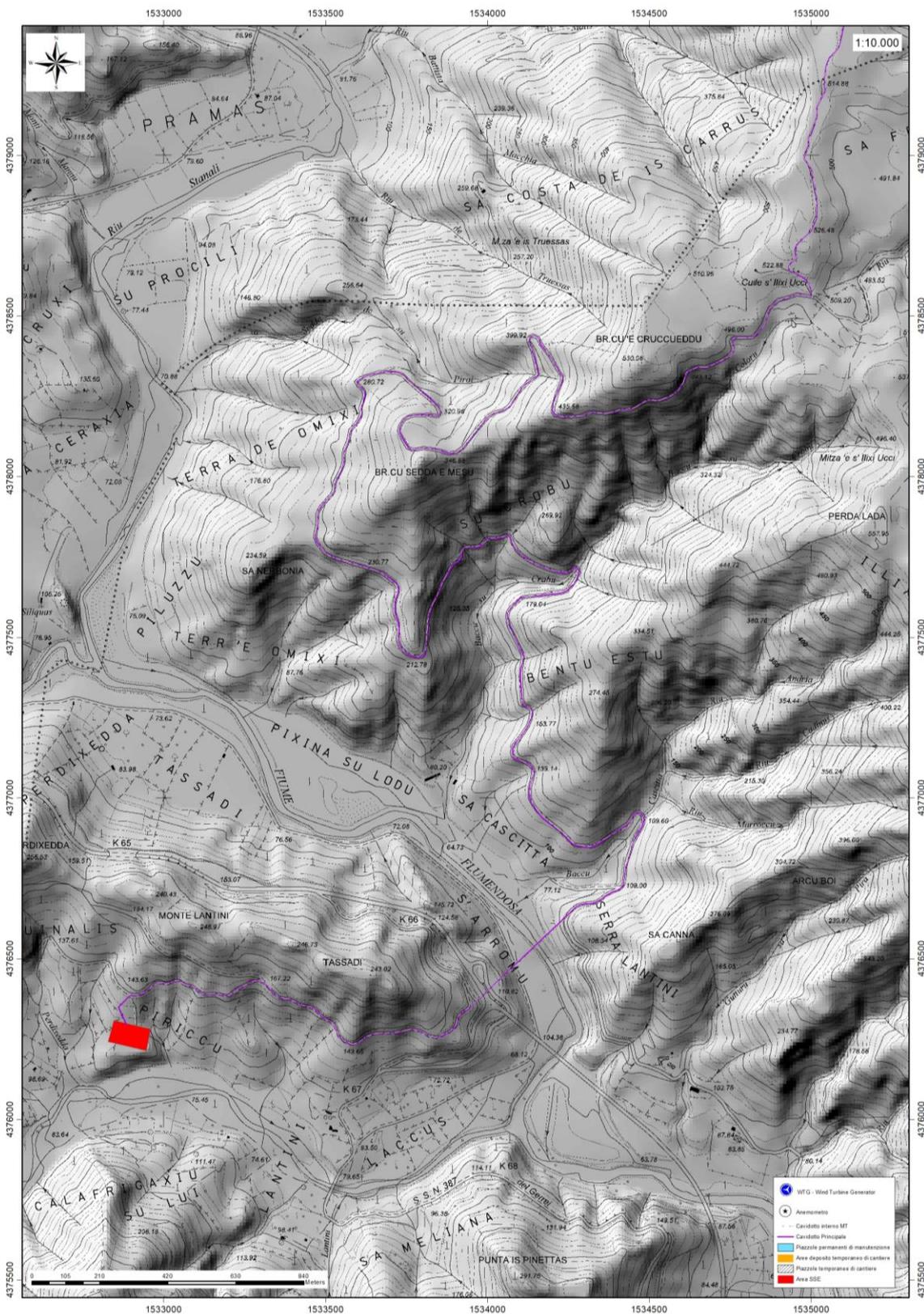


Figura 4. 6: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore sud

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	X	Y
<i>WTG001</i>	<i>1534683</i>	<i>4384682</i>
<i>WTG002</i>	<i>1535203</i>	<i>4384528</i>
<i>WTG003</i>	<i>1534783</i>	<i>4384057</i>
<i>WTG004</i>	<i>1535966</i>	<i>4383509</i>
<i>WTG005</i>	<i>1535555</i>	<i>4382071</i>
<i>WTG006</i>	<i>1535287</i>	<i>4383284</i>
<i>WTG007</i>	<i>1534858</i>	<i>4382887</i>
<i>WTG008</i>	<i>1535458</i>	<i>4382569</i>
<i>WTG009</i>	<i>1536151</i>	<i>4382776</i>
<i>WTG010</i>	<i>1536728</i>	<i>4384419</i>
<i>WTG011</i>	<i>1536190</i>	<i>4384575</i>
<i>WTG012</i>	<i>1535743</i>	<i>4383991</i>
<i>WTG013</i>	<i>1534883</i>	<i>4382213</i>
<i>WTG014</i>	<i>1534406</i>	<i>4382432</i>

L'energia prodotta sarà convogliata tramite un cavidotto in media tensione a 30 kV interamente interrato su strada, verso la stazione di innalzamento del proponente collocata come da elaborati prodotti nelle vicinanze della SE Armungia.

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 5 metri, compresi 50 centimetri per lato di fascia di distanza. I gradienti longitudinali non dovranno superare il 20% sui rettilinei e il 15% in prossimità delle curve.

Le curve stesse dovranno avere un raggio di curvatura interna non inferiore a 20 metri.

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

La viabilità di accesso al sito 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.

Sono presenti quattro viabilità principali all'interno del parco: la prima che riguarda le turbine WTG010, WTG011, WTG012 e WTG004, la seconda che riguarda gli aerogeneratori WTG001, WTG002 e WTG003, una terza che riguarda gli aerogeneratori WTG005, WTG006, WTG007, WTG008, WTG013 e WTG014, e una quarta che è dedicata esclusivamente alla WTG009. Rispetto a questi tracciati, ogni turbina avrà poi il proprio tratto di viabilità dedicato.

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 rinvengono 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.

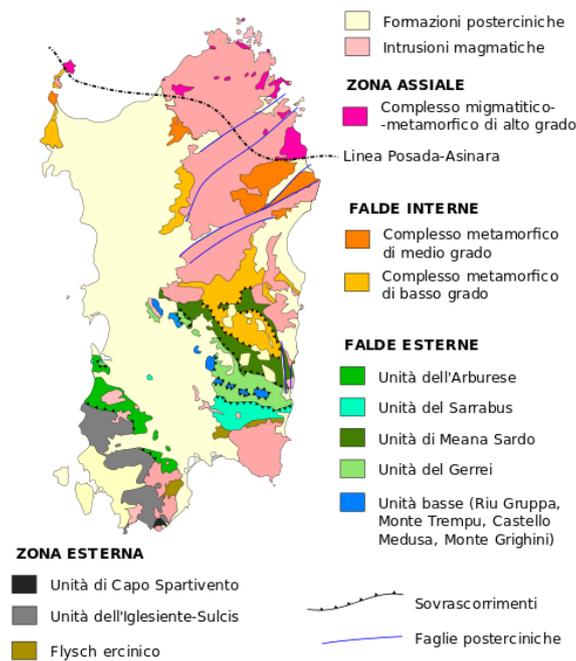


Figura 0.1 – Schema tettonico-strutturale della Sardegna

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, dalle coperture sedimentarie eoceniche, 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.

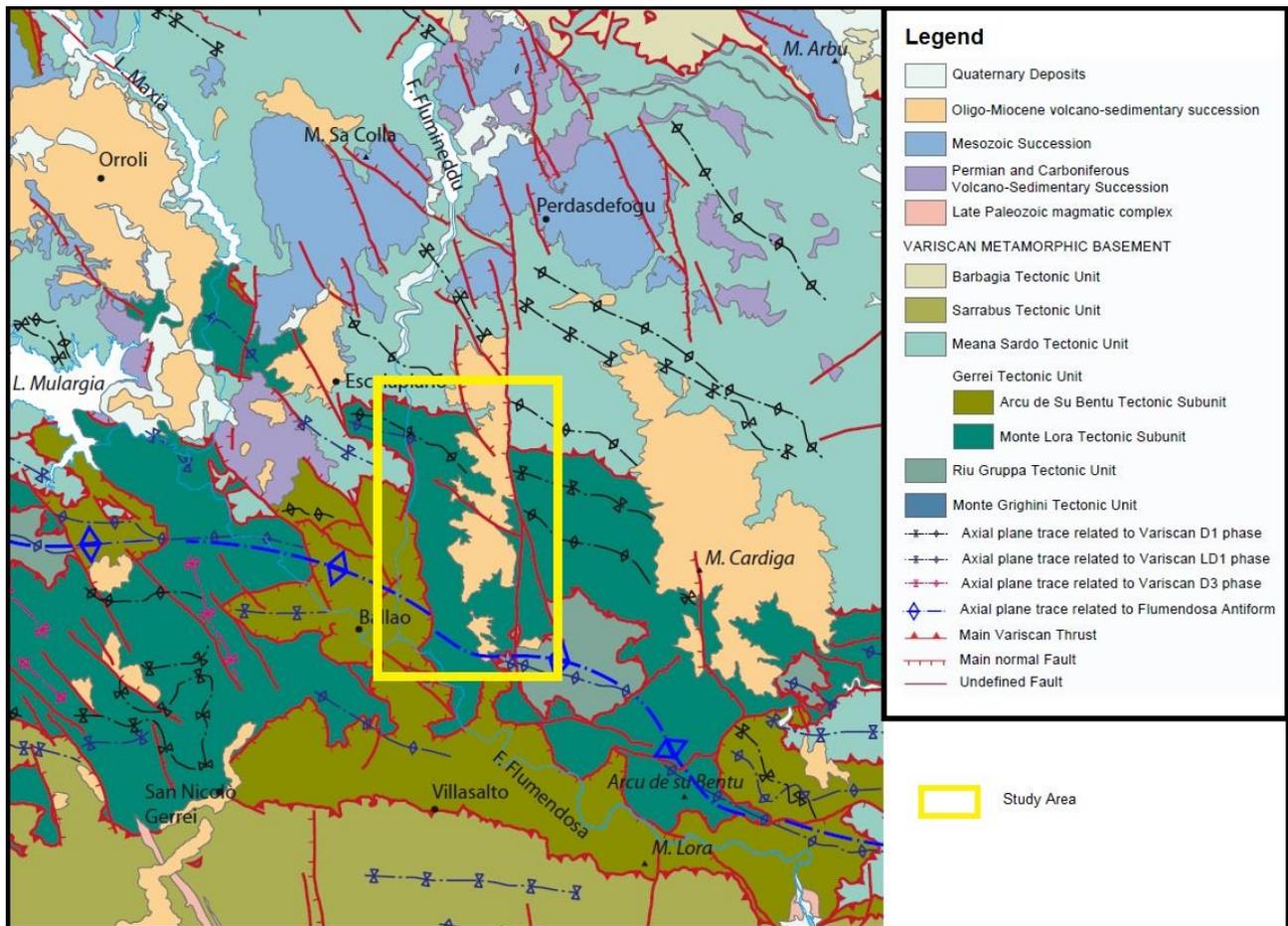


Figura 6. 1: Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2014).

L'Unità tettonica del Gerrei è divisa in due sottounità: la Sottounità di Arcu de su Bentu e la Sottounità di Monte 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 nella sottounità 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 panno assiale. Tra le strutture plicative maggiori che interessano il settore di studio vi è l'Antiforme del Flumendosa al cui nucleo affiora l'unità tettonica di Riu Gruppa.

Il basamento varisco 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.

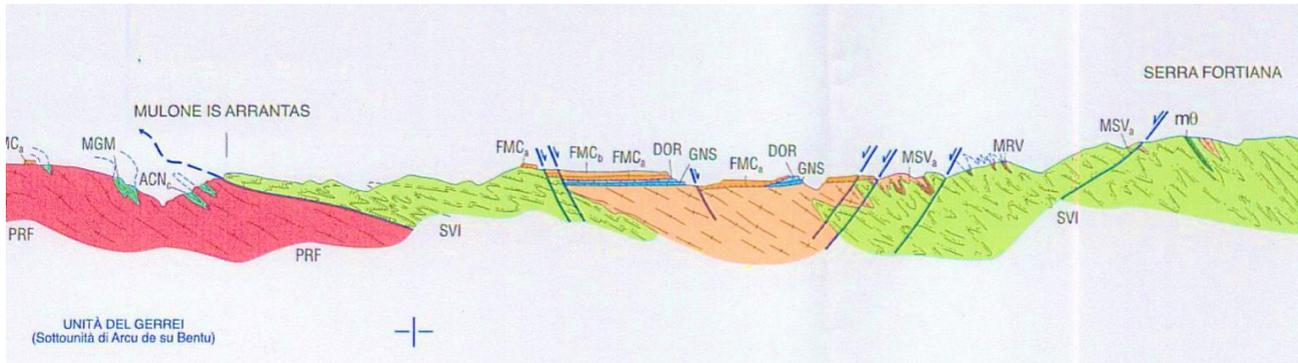


Figura 6. 2: Schema tettonico e sezione geologica C-C' rappresentativa dell'area vasta

7 Analisi delle condizioni geostrutturali generali

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento del basamento metamorfico varisico costituito dalla successione metamorfica appartenente all'Unità Tettonica del Gerrei (Sottunità di Arcu Su Bentu), quella di Meana Sardo, dalle coperture sedimentarie della successione eocenica e dai depositi quaternari.

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

Le rocce metamorfiche, affiorano nelle stazioni WTG01, WTG03, WTG010, WTG013, WTG014; si tratta principalmente di Porfiroidi (PRF) appartenenti all'Unità Tettonica del Gerrei (Sottunità di Arcu Su Bentu) eccezion fatta per la stazione WTG010 affiorante nelle Arenarie di San Vito (SVI) appartenente all'Unità Tettonica di Meana Sardo.



Figura 7. 1: Foliiazione pervasiva di piano assiale nei Porfiroidi

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. La superficie di stratificazione (S0) non è facilmente identificabile sia a causa della strutturazione massiva e sia perché probabilmente la stratificazione è stata trasposta in scistosità. Nei porfiroidi è possibile individuare l'allungamento dei minerali principali.

Le Arenarie di San Vito presentano anch'esse 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); la fratturazione è molto irregolare e più o meno spaziata, è possibile individuare più famiglie di discontinuità principali. La direzione di immersione della scistosità varia relativamente spesso, anche entro zone ristrette, tuttavia si è rilevata una certa prevalenza delle direzioni comprese tra NW e SW, con immersione variabile spesso a franapoggio rispetto al versante.

Tale caratteristica determina delle locali situazioni di instabilità morfologica, evidenziato da fenomeni di scorrimento superficiale interessanti i detriti superficiali poggianti sopra il basamento.

Tra le rocce metamorfiche nell'area d'intervento affiorano anche le Arenarie di San Vito (SVI); 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 compresa tra N e SW.



Figura 7. 2: Andamento della stratificazione nella Formazione di Monte Cardiga

La successione eocenica affiora nelle stazioni WTG04, WTG011, WTG07, WTG09, WTG05; si tratta principalmente di arenarie grossolane e conglomerati poligenici (FMCa), argilliti, marne e livelli di calcari bioclastici a macroforaminiferi (FMCb). Alla scala dell'affioramento è possibile riconoscere la stratificazione

che presenta direzioni di immersione variabili con inclinazione molto modesta (dai 5° ai 10°). L'ammasso roccioso presenta discontinuità primarie (stratificazione) e secondarie (fratturazione); la fratturazione è più o meno spaziata e regolare; è possibile individuare più famiglie di discontinuità principali.

I depositi quaternari sono rappresentati principalmente dalle coltri eluvio-colluviali (b2) che affiorano nelle stazioni WTG08, WTG06, WTG02; lo spessore di questi depositi è molto esiguo (da 0,5 a 1 m); nelle stazioni precedentemente elencate, al di sotto delle coltri eluvio colluviali (0,5-1 m) si trova la successione eocenica. Si tratta essenzialmente di detriti immersi in una matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica.

Il cavidotto in progetto andrà a interessare il basamento metamorfico varisco 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):

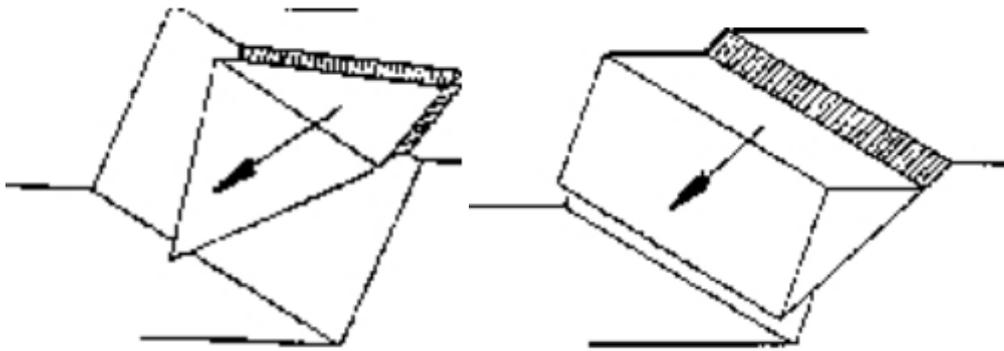


Figura 0.1 – tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

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). Nel caso invece degli ammassi rocciosi più recenti, appartenenti alla formazione del Monte Cardiga la presenza di famiglie di giunti con maggiori spaziature e con assetto geometrico più regolare determina la formazione di blocchi più grandi, nell'ordine del metro cubo e più.

A scala media difatti, 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 ha 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.

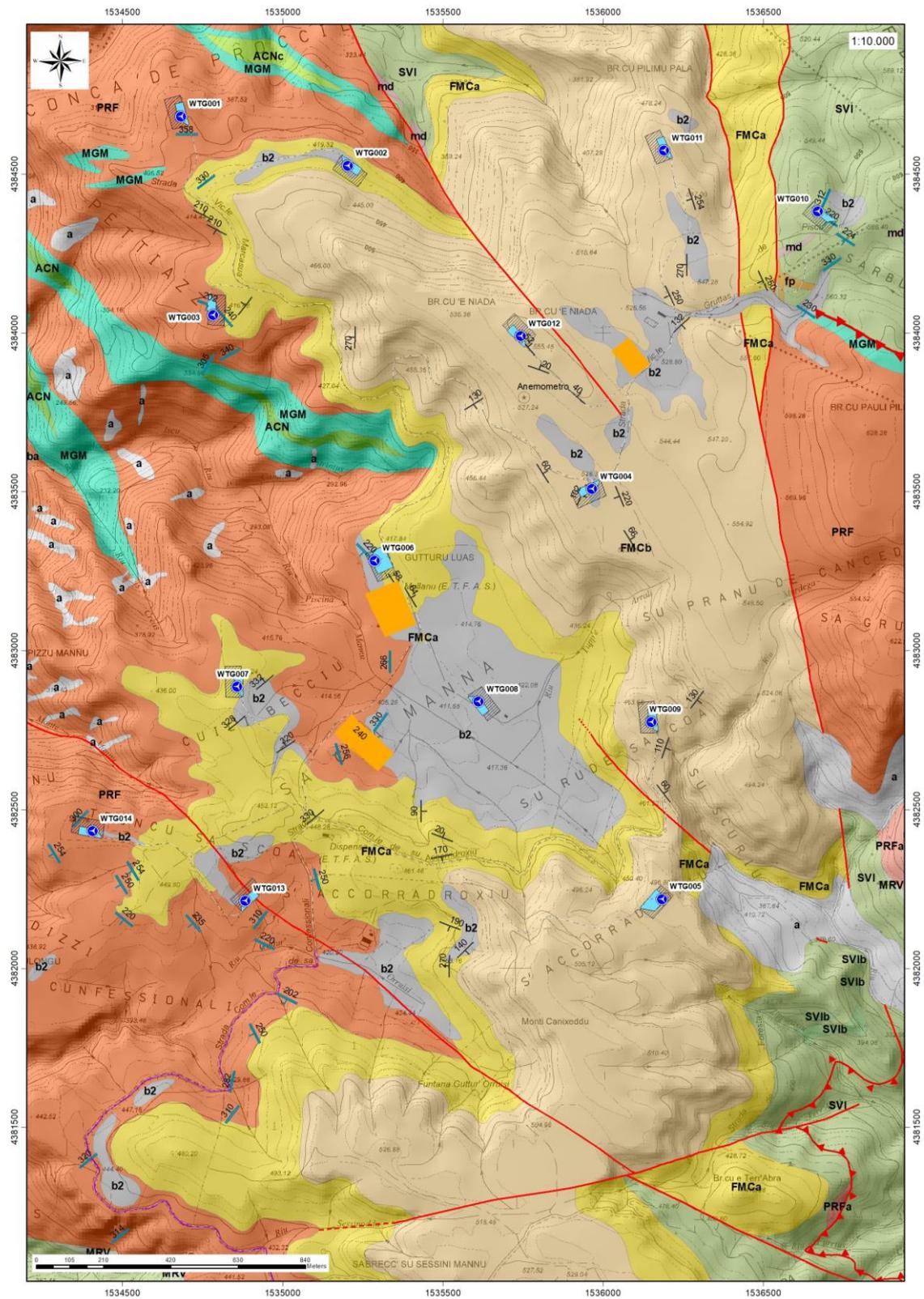


Figura 7. 3: Carta Geologica dell'area di studio (Settore BruncuSaNiada_INQ_10k_Nord).

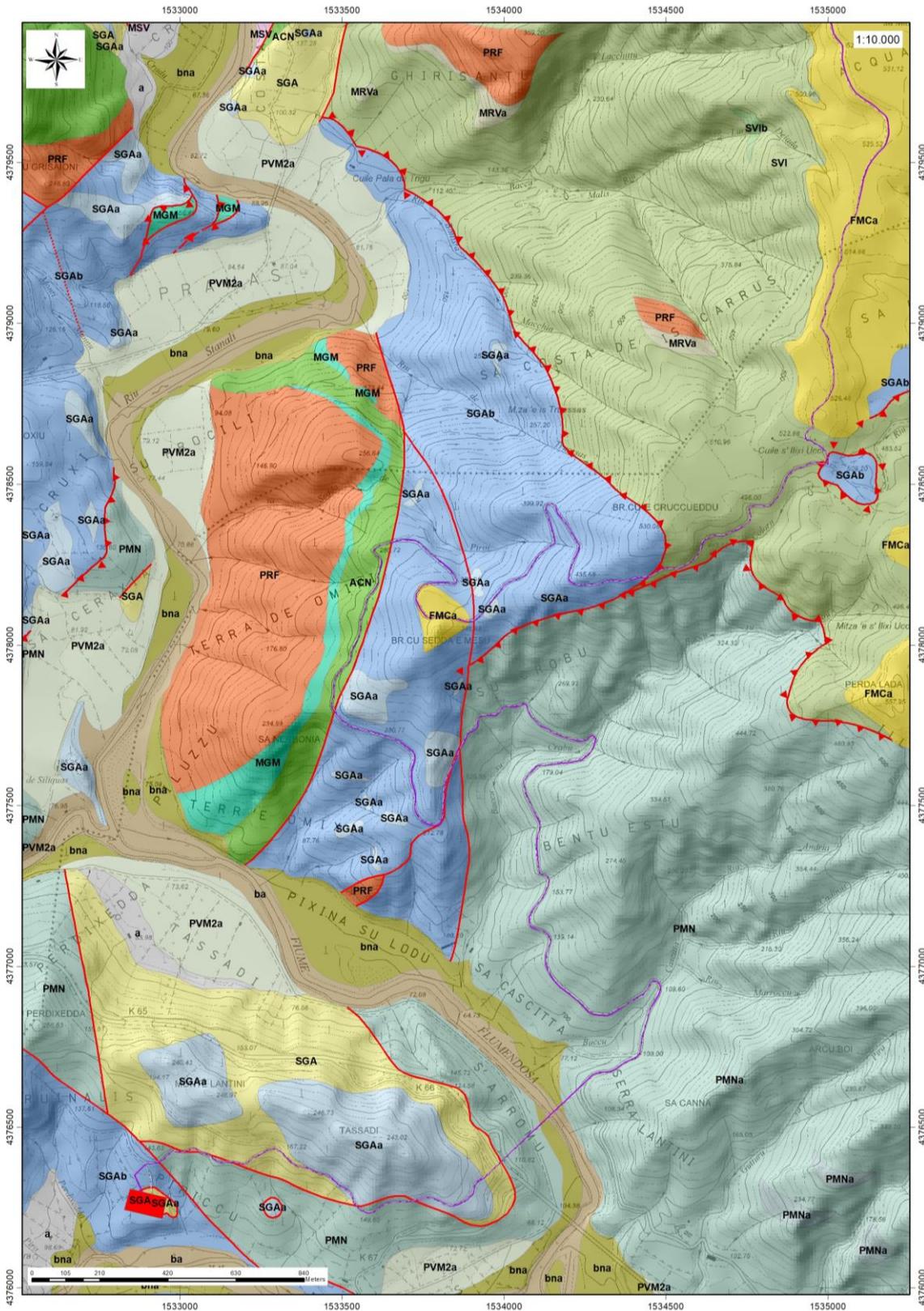


Figura 7.5: Carta Geologica dell'area di studio (Settore BruncuSaNiada_INQ_10k_Sud)

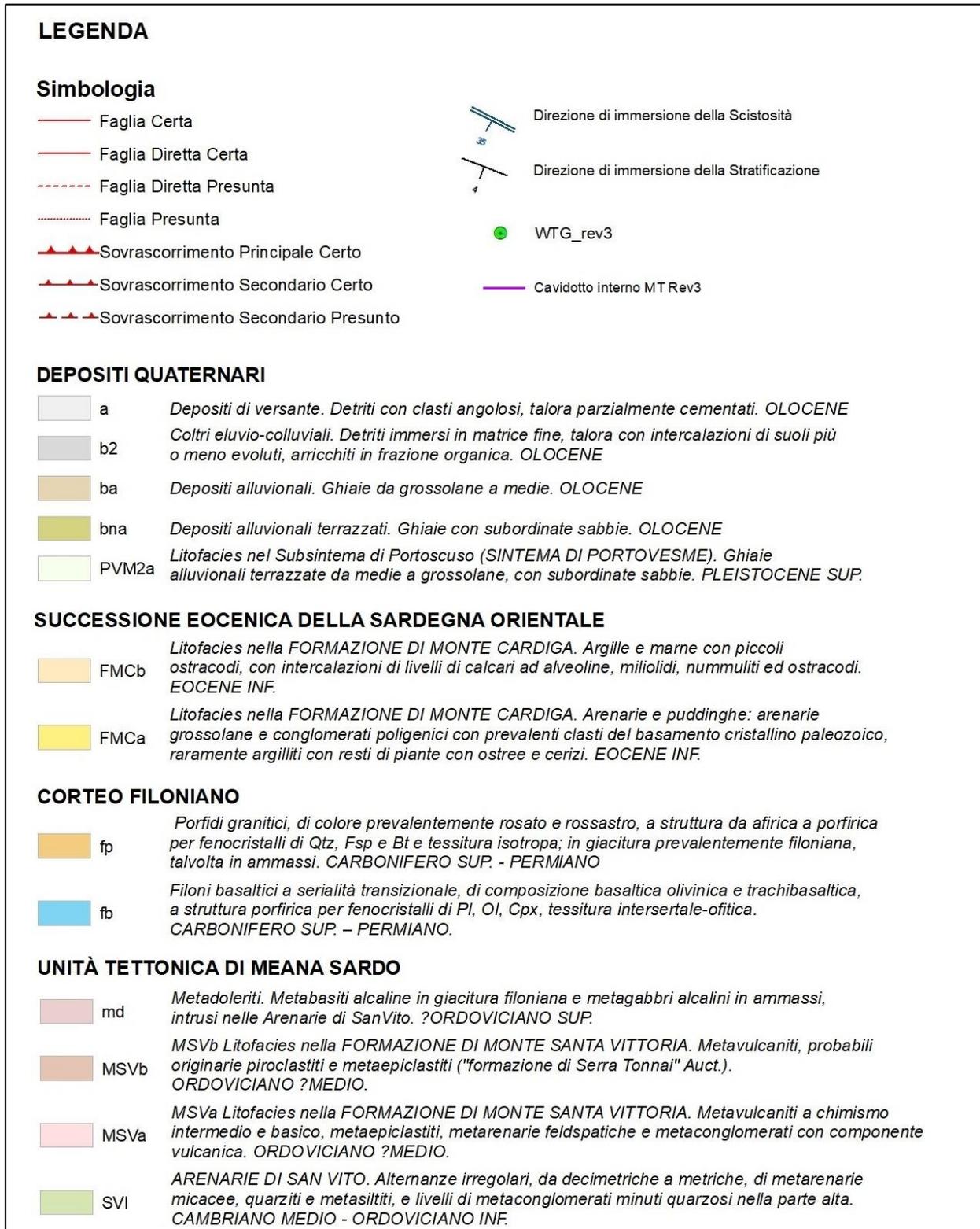


Figura 7. 6– a): Legenda Carta geologica dell'area di studio.

UNITÀ TETTONICA DEL GERRI

- | | | |
|---|------|---|
|  | PMNa | Litofacies nella FORMAZIONE DI PALA MANNA. Metaconglomerati a elementi di quarzoareniti, arenarie, liditi e rari elementi calcarei. CARBONIFERO ?INF. |
|  | PMN | FORMAZIONE DI PALA MANNA. Alternanze irregolari di metasiltiti, metarenarie e metaquarzoareniti. Olistoliti di diaspri neri (liditi). CARBONIFERO ?INF. |
|  | SGAb | Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. "Scisti a Tentaculiti" Auct.: Alternanza centimetrica regolare di metasiltiti e metacalcari grigi. SILURIANO - DEVONIANO MEDIO. |
|  | SGAa | SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metapeliti carboniose e metasiltiti con graptoliti, con intercalati livelli di diaspri neri (liditi). SILURIANO-DEVONIANO MEDIO |
|  | SGA | Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi, con abbondanti crinoidi e ortoceratidi. SILURIANO - DEVONIANO MEDIO |
|  | ACNc | ACNc Litofacies negli ARGILLOSCISTI DI RIO CANONI. Metabasiti. Derivati metamorfici di basalti alcalini e metagrovacche vulcaniche. ORDOVICIANO SUP. |
|  | ACN | ARGILLOSCISTI DI RIO CANONI. Metapeliti grigio-verdastre, metasiltiti carbonatiche fossilifere, rare intercalazioni di metacalcari e di metavulcaniti basiche. ORDOVICIANO SUP. |
|  | MGM | MGM METARCOSE DI GENNA MESA. Metarcese e metagrovacche arcose, metaquarzoareniti e metaconglomerati quarzosi, in grossi banchi o massivi. ORDOVICIANO SUP. |
|  | MRVa | Litofacies nei METACONGLOMERATI DI MURAVERA. Metaquarzoareniti e metarcese biancastre. ORDOVICIANO ?MEDIO |
|  | MRV | METACONGLOMERATI DI MURAVERA. Metaconglomerati eterometrici poligenici, grossolani, con clasti arrotondati di quarzoareniti e di arenarie listate, in matrice filladica, alternati a metasiltiti e metarenarie di colore verde, talora grigio scuro. ORDOVICIANO ?MEDIO |
|  | MUZ | METARENARIE E QUARZITI DI SU MUZZIONI. Alternanza irregolare di metarenarie grossolane micacee, metasiltiti e filladi. ORDOVICIANO ?MEDIO. |
|  | MSV | FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metavulcaniti a chimismo intermedio e basico, metaepiclastiti, metarenarie feldspatiche e metaconglomerati con componente vulcanica. ORDOVICIANO ?MEDIO |
|  | PRFa | Litofacies nei PORFIROIDI AUCT. Porfiroidi a grossi fenocristalli: metarioliti e metariodaciti con fenocristalli di feldspato potassico di taglia fino a 12-14 cm. ORDOVICIANO ?MEDIO |
|  | PRF | PORFIROIDI AUCT. Metarioliti e metariodaciti con struttura occhiadina, metaepiclastiti. ORDOVICIANO ?MEDIO |
|  | SVIb | Litofacies nelle ARENARIE DI SAN VITO. Lenti di metacalcari talvolta siltosi, fortemente ricristallizzati. CAMBRIANO MEDIO-ORDOVICIANO INF. |
|  | SVI | ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF. |

UNITÀ TETTONICA DI RIU GRUPPA

- | | | |
|---|------|---|
|  | CSAb | Litofacies nel COMPLESSO DI SA LILLA. Metarenarie e metaconglomerati. Metaquarzoareniti, metarenarie e metaconglomerati poligenici. ?SILURIANO - ? CARBONIFERO INF. |
|  | CSAa | Litofacies nel COMPLESSO DI SA LILLA. Marmi grigi e venati. Marmi, marmi dolomitici, rari calcescisti. ?SILURIANO - ?CARBONIFERO INF. |
|  | CSA | COMPLESSO DI SA LILLA. Irregolare alternanza di metapeliti e metarenarie, caratterizzate da una forte complicazione strutturale che impedisce una ricostruzione dell'originaria successione stratigrafica. ?SILURIANO - ?CARBONIFERO INF. |

Figura 7. 7 -b): Legenda Carta Geologica dell'area di studio.

8 Inquadramento geomorfologico

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da un esteso altipiano, la cui forma prevalentemente pianeggiante 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.

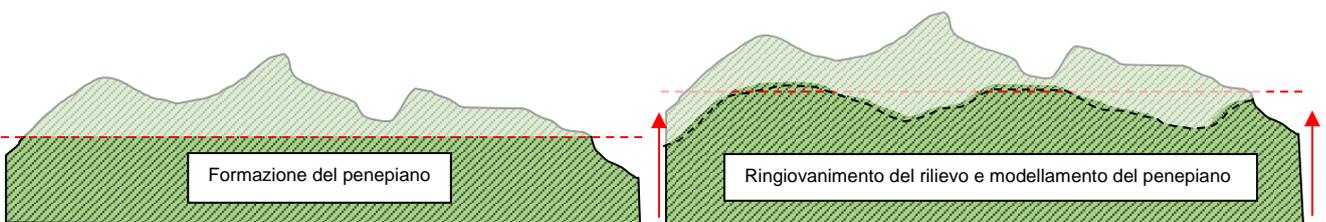


Figura 8. 1: Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

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.

8.1 Lineamenti geomorfologici generali

I tratti geomorfologici del settore di studio sono dati da estese superfici sub-orizzontali del basamento paleozoico, al di sopra delle quali si trovano in discordanza angolare, le coperture eoceniche, incise dalle valli del F. Flumineddu, e dei suoi affluenti.

Gli affluenti del Flumineddu incidono questi altipiani, formando valli con versanti molto acclivi, che conferiscono al paesaggio un aspetto particolarmente aspro. 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 plio-quadernaria.

Infatti, l'area in esame ha subito durante il Pliocene un generale sollevamento determinato da sistemi di faglie N-S connesse con l'apertura del bacino Tirrenico. Le superfici morfologiche pianeggianti e quella modellata sulle coperture eoceniche sono superfici sub-strutturali coincidenti con la superficie di stratificazione; l'altopiano si sviluppa prevalentemente intorno ai 500 m di altitudine, dominato da rilievi caratteristici tipo "mesa".

Le incisioni operate dai torrenti conferiscono agli altipiani un andamento estremamente frastagliato, talora formando piccoli affioramenti isolati (mesas) che risaltano sui più regolari del basamento paleozoico per i loro orli a gradinata subverticali. In alcune aree, l'evoluzione del rilievo è riconducibile ad una genesi più complessa che ha portato prima alla riesumazione dell'antica superficie di erosione coincidente con il penepiano permotriassico, a seguito della tettonica oligo-miocenica e plio-pleistocenica, ed al conseguente smantellamento, quasi completo, della copertura eocenica.

Spesso lungo le superfici strutturali si osserva un'erosione regressiva operata da profonde incisioni vallive, talora vere e proprie forre, dei torrenti affluenti di destra del Flumineddu.



Figura 8. 2: Superfici sub-strutturali sulle coperture eoceniche

Il complesso reticolato idrografico dell'area di studio mostra valli quasi sempre molto incassate, con prevalente andamento N-S (Riu Flumineddu). Alcuni corsi d'acqua presentano un caratteristico andamento a meandri, ereditati nel basamento paleozoico per la sovrapposizione a seguito dell'asportazione delle coperture sedimentarie mesozoiche e terziarie o, in qualche caso, influenzati dalla litologia. La forma delle valli è in genere a V nei corsi d'acqua minori. I versanti vallivi modellati negli scisti paleozoici sono localmente asimmetrici e verso l'alto, in corrispondenza delle coperture terziarie, diventano invece complessi, a gradinata o sub-verticali.



Figura 8. 3: Blocchi calcarei franati lungo tension cracks presso Brunco e Niada

Particolarmente evidenti sono i rilievi tabulari e le cornici di roccia nelle litologie carbonatiche ed arenacee dell'Eocene che caratterizzano l'area di studio. Gli eventi geodinamici e morfostrutturali che si sono succeduti a partire dall'emersione della successione eocenica, la hanno frammentata, dislocando le sue parti a diverse quote, portando all'attuale conformazione geomorfologica dell'area caratterizzata da tavolati più o meno estesi separati da profonde valli fluviali. Sui bordi degli altipiani, spesso caratterizzati dall'erosione retrograda, spesso si osserva la formazione di imponenti blocchi calcarei franati lungo *tension cracks* parallele al bordo stesso, nei banchi più calcarei si sviluppano morfologie carsiche impostate su superfici strutturali (diacasi e strati).

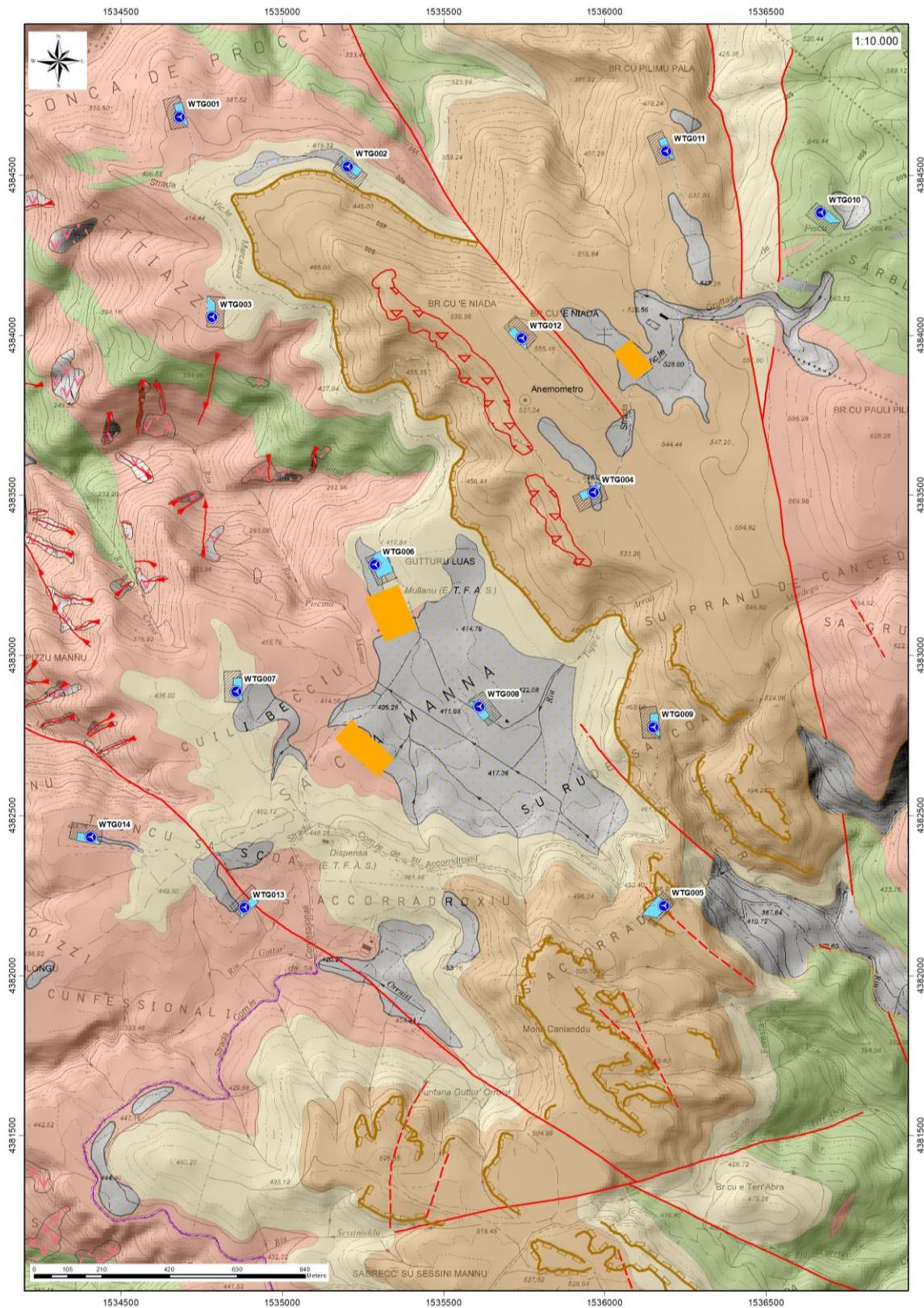


Figura 8. 4: Carta geomorfologica - Settore Nord

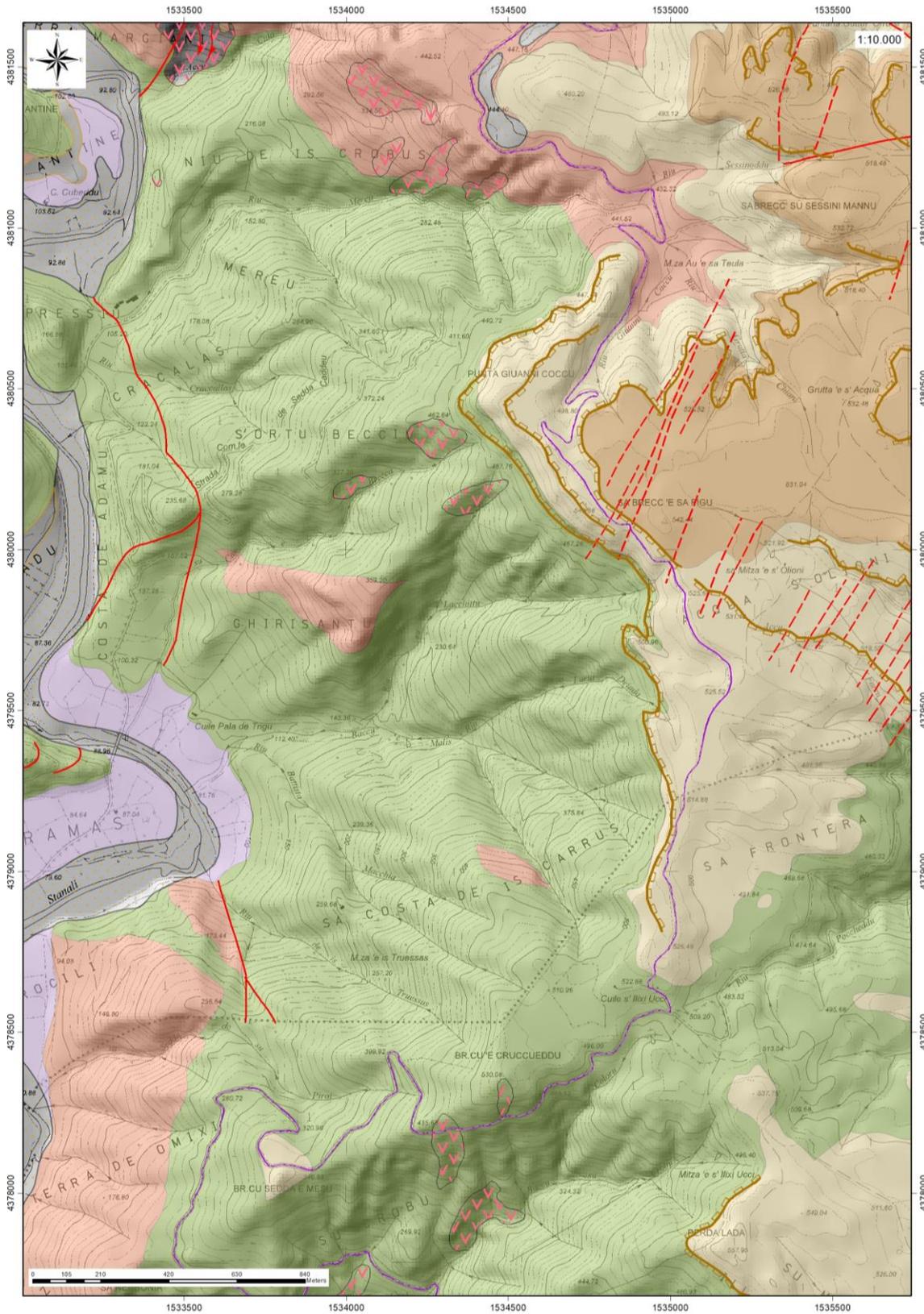


Figura 8. 5: Carta geomorfologica - Settore Centrale

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 principale corso d'acqua è il Flumineddu, che ha portate massime nei mesi autunnali e invernali e lunghi periodi di magra estivi; i suoi affluenti hanno carattere torrentizio, determinato dalla scarsità delle precipitazioni, e sono praticamente asciutti nella stagione estiva o scorrono in subalveo.

Il Flumineddu è l'affluente principale del Flumendosa, ha una lunghezza di circa 60 km, ha un corso perenne e nasce dalle pendici del Gennargentu. Tra i principali torrenti che attraversano l'area di studio ci sono: il Riu

Murdega (affluente del Riu Gruppa), Riu Coili e Ierru, Riu Accu Sa Iscu, Riu Marcasua, Riu Acca sa Isca, Riu Accu Cida Santa, Riu Monte Mannu, Riu Guttur'Orruisi, Riu Sessinoddu, Riu Zippiraxiu.

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, ad evidente controllo tettonico, 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.

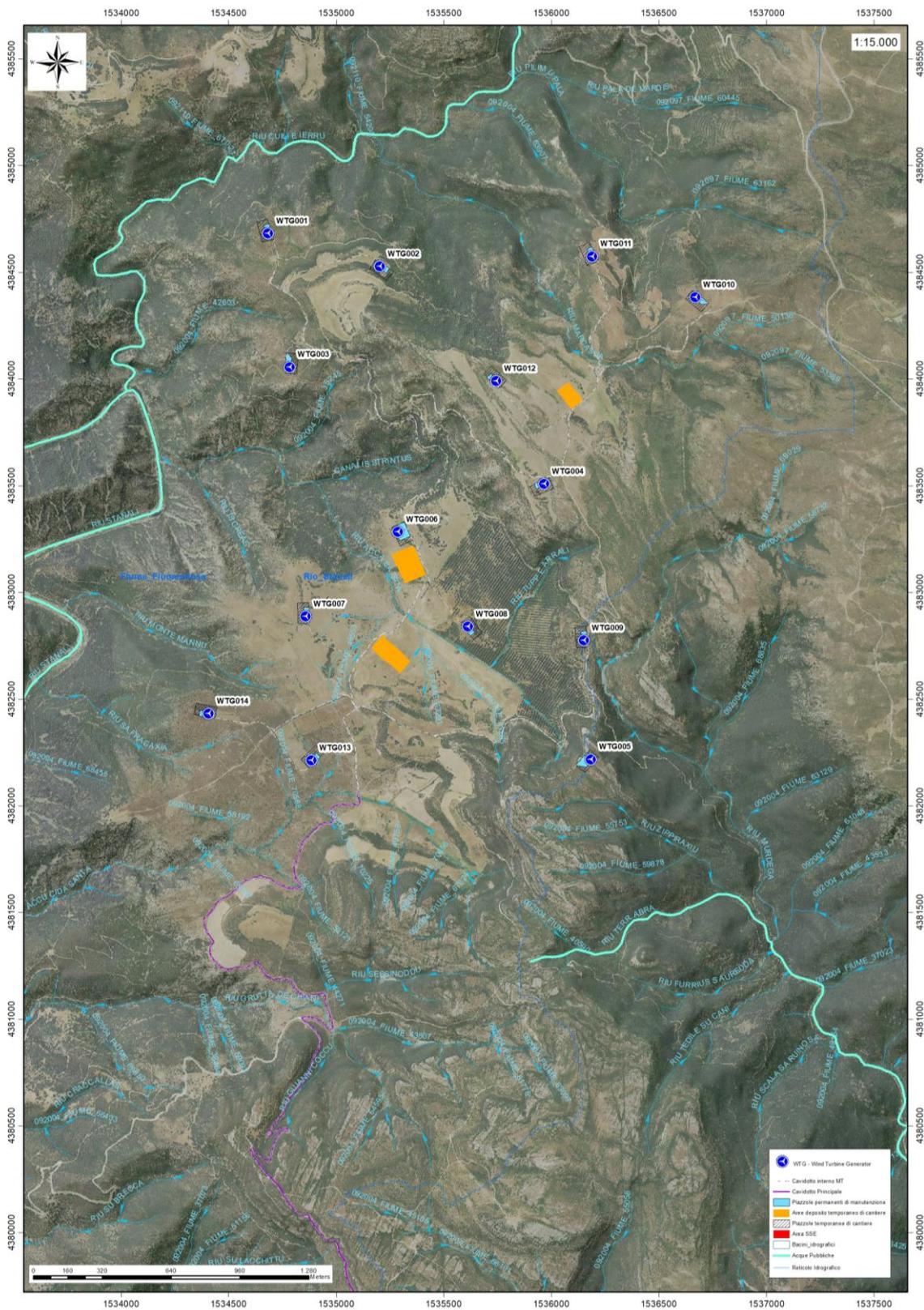


Figura 9. 1: Reticolo Idrografico – Settore Nord

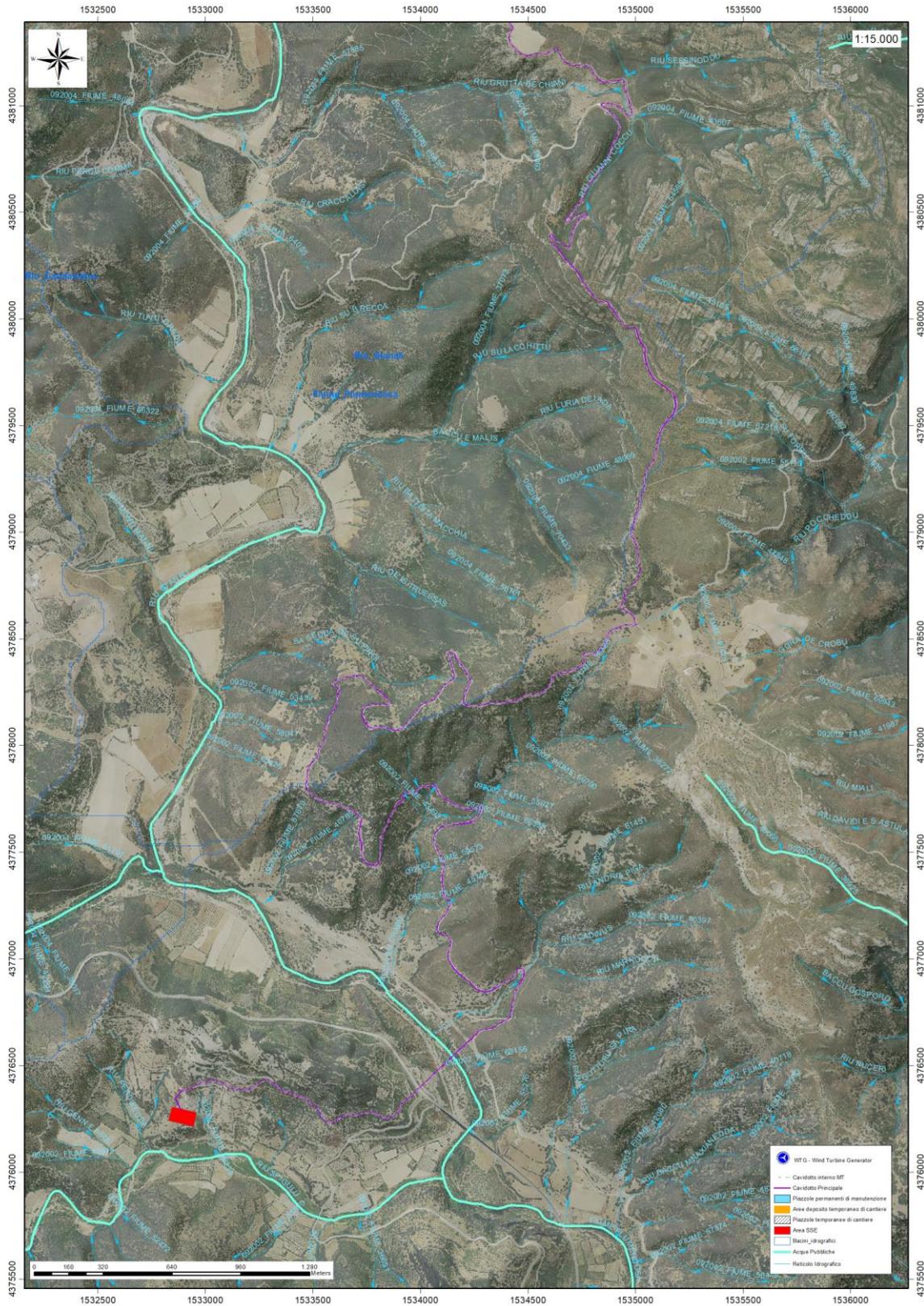


Figura 9. 2: Reticolo Idrografico - settore Sud

9.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee

Il basamento paleozoico è costituito principalmente da litologie impermeabili e di conseguenza nel complesso sfavorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche. A causa dell'elevata 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.

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,) e rocce impermeabili (filladi, metapeliti). Complessivamente la permeabilità del basamento metamorfico è scarsa, con Coefficienti di Permeabilità variabili tra 10^{-7} e 10^{-9} .
- Coperture eoceniche. Le coperture eoceniche sono costituite da litotipi a permeabilità medio-alta dovuta sia alla porosità delle arenarie che alla permeabilità per fratturazione e carsismo delle rocce carbonatiche intercalate nella parte mediana della successione.
- 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 attuali e terrazzate recenti hanno permeabilità medio-alta e sono di solito sede di una falda freatica di subalveo. La permeabilità delle alluvioni terrazzate antiche è invece, nell'insieme, medio-bassa; ciò è dovuto alla forte componente argillosa presente sia in livelli che come matrice dei conglomerati. Spesso questi depositi sono fortemente cementati e permettono solo una modesta circolazione per fessurazione. 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.

Nell'area di studio complessivamente le rocce presentano una modesta permeabilità, questo comporta la genesi di uno scarso numero di sorgenti e una loro modesta portata. Le sorgenti perenni sono rare, le più importanti si trovano lungo il contatto tra il basamento e le coperture eoceniche. L'emergenza delle sorgenti è chiaramente determinata dalla debole inclinazione delle coperture eoceniche. La parte superficiale

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

Di seguito viene illustrato in uno schema il processo di infiltrazione accumulo e circolazione legato al regime delle piogge e caratterizzante in analogia 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.

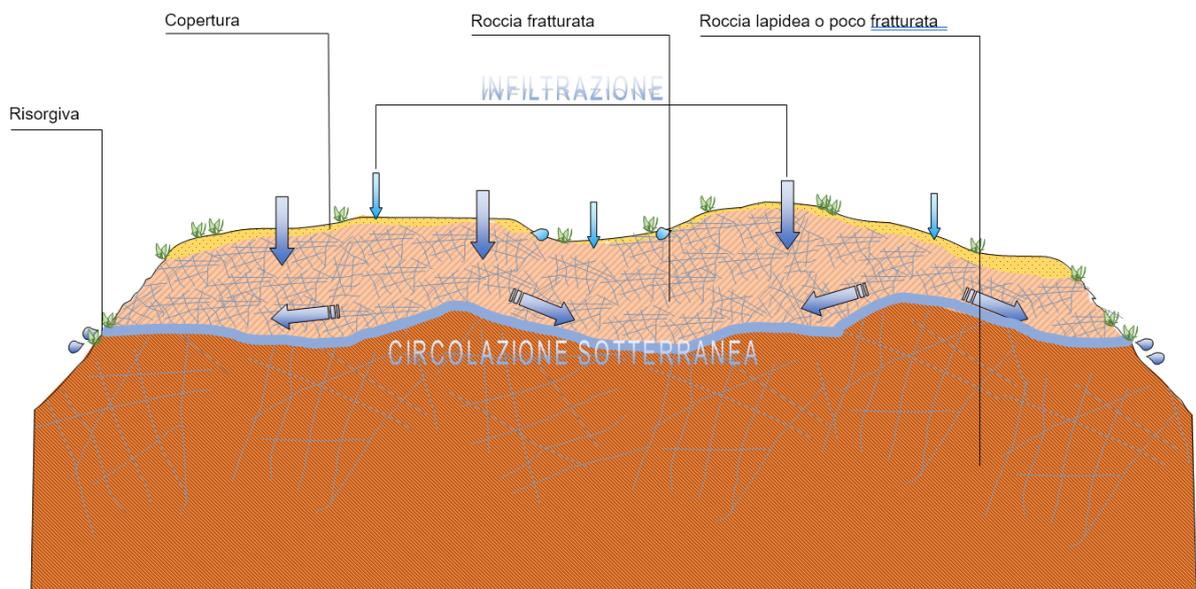


Figura 9. 3: Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

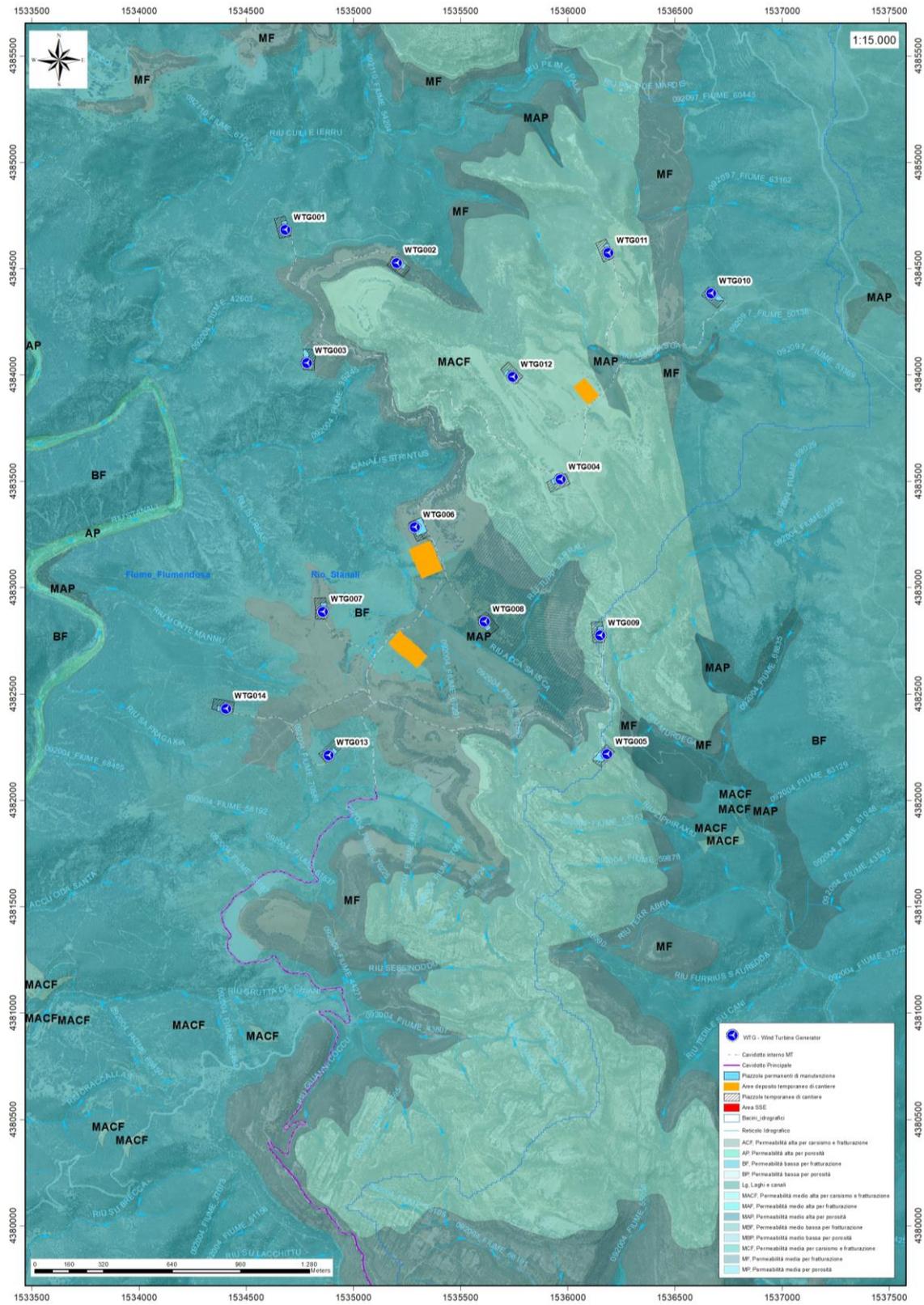


Figura 0.1: Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli - settore Nord (Fonte RAS)

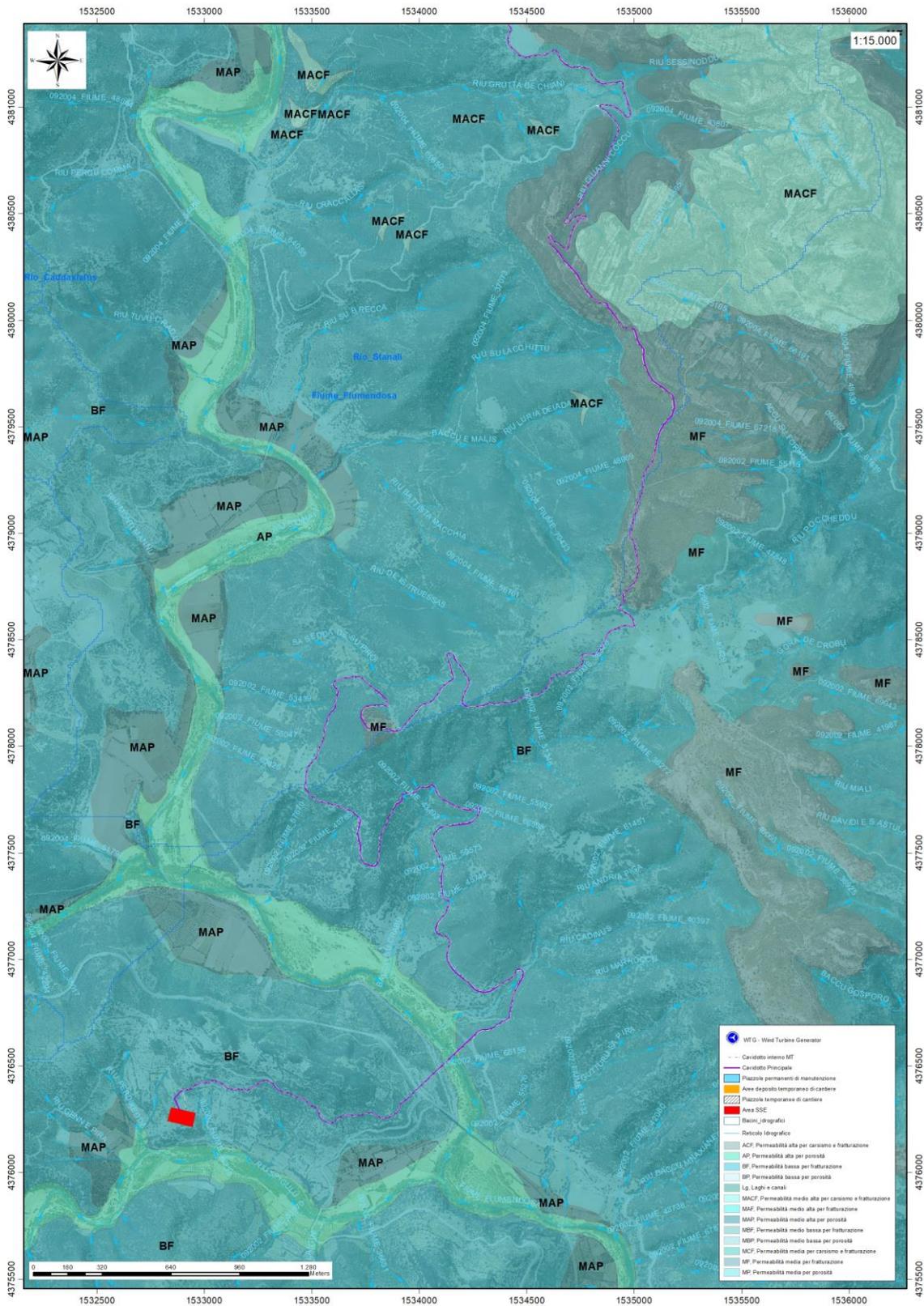


Figura 0.5: Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli - settore Sud (Fonte RAS)

11 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.

Nell'area di progetto dove verranno installate le turbine WTG001, WTG002, WTG003, WTG004, WTG005, WTG006, WTG007, WTG008, WTG010, WTG011, WTG012, WTG013, WTG014 sono presenti suoli dell'unità F2 della Carta dei Suoli della Sardegna - Profili A-C, A-Bw-C, A-Bt-C e subordinatamente roccia affiorante, da poco a mediamente profondi, da franco-sabbioso-argillosi ad argillosi, permeabili, neutri, saturi.

La turbina WTG009, invece, verrà installata su suoli dell'unità B2 della suddetta Carta dei Suoli – 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.

12 Uso del Suolo

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico "Br.co 'e Niada" 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), Seminativi in aree non irrigue (2111), Aree con vegetazione rada (333), e Arboricoltura con essenze forestali dio conifere (2242).

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

- ricadono nel livello **3232**, classificato come "**Gariga**", i punti di installazione delle turbine WTG001 e WTG003;
- nel livello **2111**, classificato come "**Seminativi in aree non irrigue**", i punti di installazione delle turbine WTG002, WTG004, WTG006, WTG012, WTG013, WTG014;
- nel livello **333**, classificato come "**Aree con vegetazione rada**", il punto della turbina WTG005;
- nel livello **3122**, classificato come "**Arboricoltura con essenze forestali dio conifere**", i punti di installazione delle turbine WTG008 e WTG009.

13 Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

13.1 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".

Dallo Studio di dettaglio ex Art.8 delle NTA del PAI predisposto dal **Comune di Ballao** e adottato in via definitiva con Delibera del Comitato Istituzionale dell'Agenzia del Distretto Idrografico per la Sardegna n°2 del 27/02/2018, nel territorio comunale sono stati individuati alcuni settori che presentano condizioni con diverso grado di pericolosità legata a fenomeni franosi (grado di pericolosità per frana Hg4 ed Hg2). Una zona molto ampia d'intensità Hg2, si estende nella porzione settentrionale ove affiora il basamento paleozoico, intensamente fratturato. Le altre aree interessate da diverso grado di pericolosità, Hg2 e Hg4, sono ubicate nella porzione meridionale del territorio a S ed E del centro urbano.

Dal suddetto Studio di dettaglio risulta che l'area dove verrà realizzato il progetto, localizzata nella parte settentrionale del territorio comunale, e nella quale affiorano le formazioni paleozoiche di San Vito e dei Porfiroidi AUCT., la Formazione eocenica di Monte Cardiga, e i depositi eluvio-colluviali olocenici, è interessata da diverse classi di pericolosità geologica. In particolare, la Formazione di Monte Cardiga presenta Pericolosità geomorfologica Hg1, mentre i Porfiroidi AUCT. Presentano Pericolosità geomorfologica Hg1, Hg2, e Hg3.

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 e

dall'esame del sondaggio più vicino BN_S03, l'eventuale presenza di saccatura argillosa sarà affrontata con la predisposizione di elementi fondanti atti a garantire la stabilità dell'opera e il non peggioramento del grado di pericolosità attualmente presente e in accordo con la ratio delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI.

La turbina WTG003 e la relativa piazzola sono invece localizzate in un perimetro di pericolosità Hg3. La turbina è posizionata 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 e dall'esame del sondaggio più vicino BN_S03, l'eventuale presenza di saccatura argillosa sarà affrontata con la predisposizione di elementi fondanti atti a garantire la stabilità dell'opera e il non peggioramento del grado di pericolosità attualmente presente e in accordo con la ratio delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI.

Le turbine WTG 004, WTG005, WTG006, WTG007, WTG008, WTG009, e relative piazzole, sono incluse in una zona a pericolosità Hg1, così come le turbine WTG011, WTG012, WTG013 e WTG014 con relative piazzole. Per quanto riguarda la turbina WTG010, che ricade al confine della perimetrazione di pericolosità comunale del P.A.I., con parte della relativa piazzola, viene considerata assimilabile alla zona a pericolosità Hg1 immediatamente adiacente.

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

Dallo Studio di dettaglio ex Art.8 delle NTA del PAI predisposto dal Comune di Ballao e adottato in via definitiva con Delibera del Comitato Istituzionale dell'Agenzia del Distretto Idrografico per la Sardegna n°2 del 27/02/2018, risulta che nel territorio comunale, è presente un esteso settore con diverso grado di pericolosità legata a fenomeni idraulici o aree interessate da fenomeni di esondazione naturali.

Lo studio di dettaglio ha definito altresì le fasce di salvaguardia dei corpi idrici ai sensi dell'art.30ter delle NTA PAI.

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità idraulica (tavola B7 Hi 010/26), la porzione del corso del F. Flumendosa che ricade nel territorio di Ballao, presenta tutti i diversi gradi di pericolosità idraulica da Hi4 a Hi1 relativi ai 4 tempi di ritorno. Tuttavia, l'area dove verrà realizzato il progetto si trova esternamente a tale zona, che si estende nella porzione del corso d'acqua che scorre nella periferia settentrionale ed orientale del centro abitato di Ballao coinvolgendo anche la parte finale del Riu Bintinoi suo affluente.

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

13.2 Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I.

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario sono menzionate quattro aree che ricadono nella parte occidentale del territorio comunale di Ballao, distanti dall'area interessata dal progetto.

.

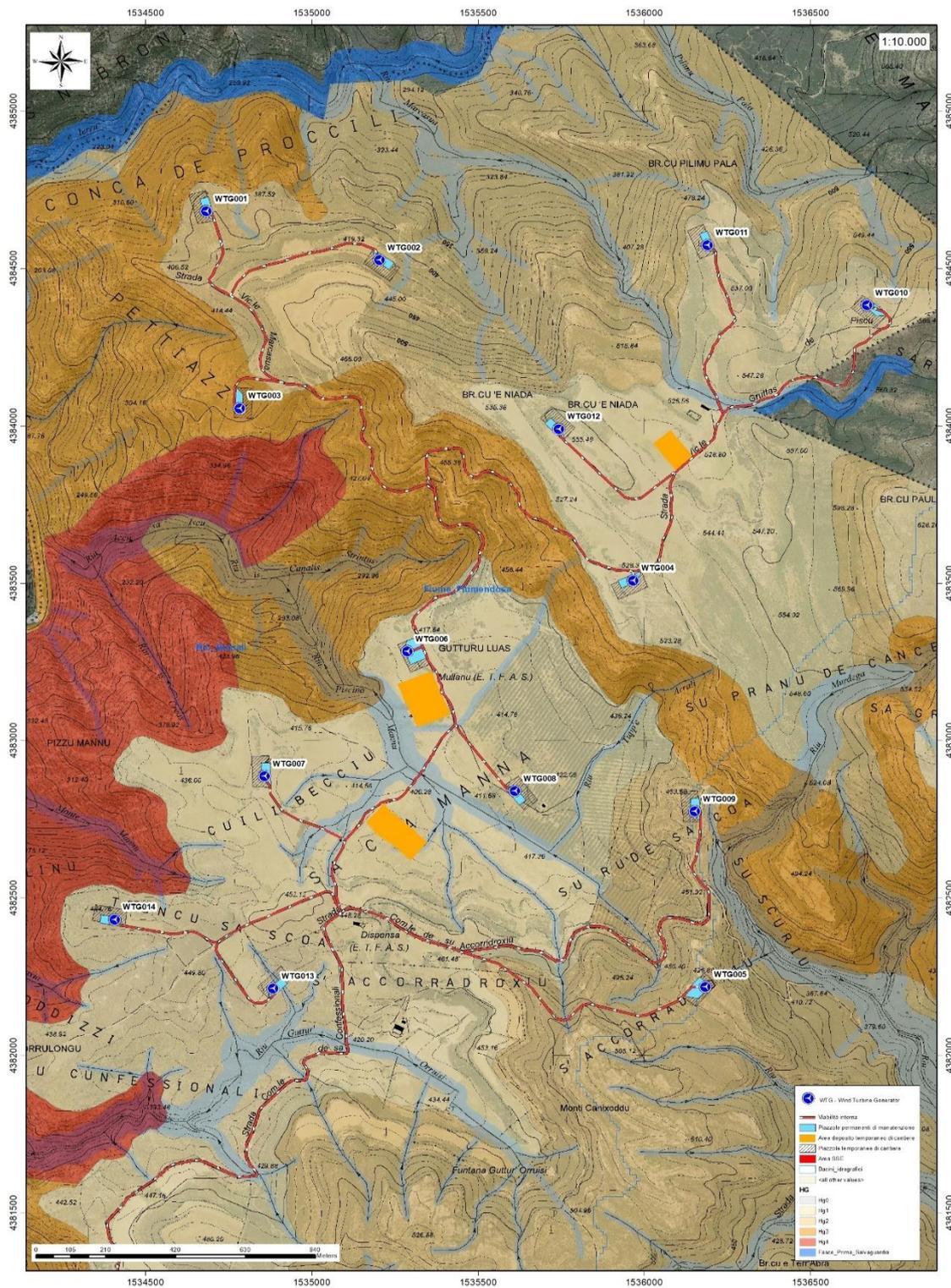


Figura 13. 1: Pericolosità da frana e fasce di salvaguardia dei corpi idrici - Studio di dettaglio Art.8,30ter NTA PAI Comune di Ballao – Settore Nord

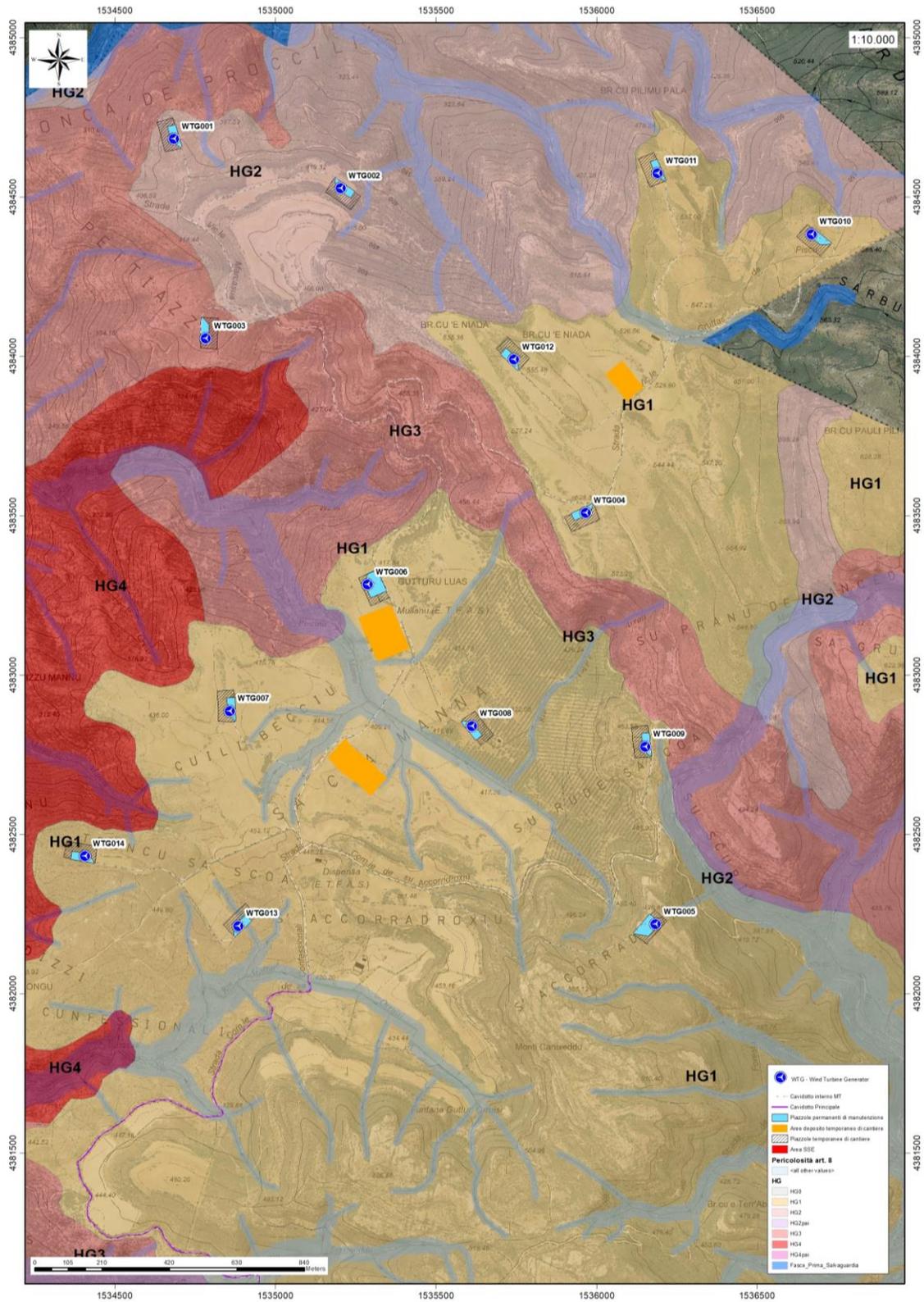


Figura 13. 2: Pericolosità da frana e fasce di salvaguardia dei corpi idrici - Studio di dettaglio Art.8,30ter NTA PAI Comune di Ballao – Settore Nord

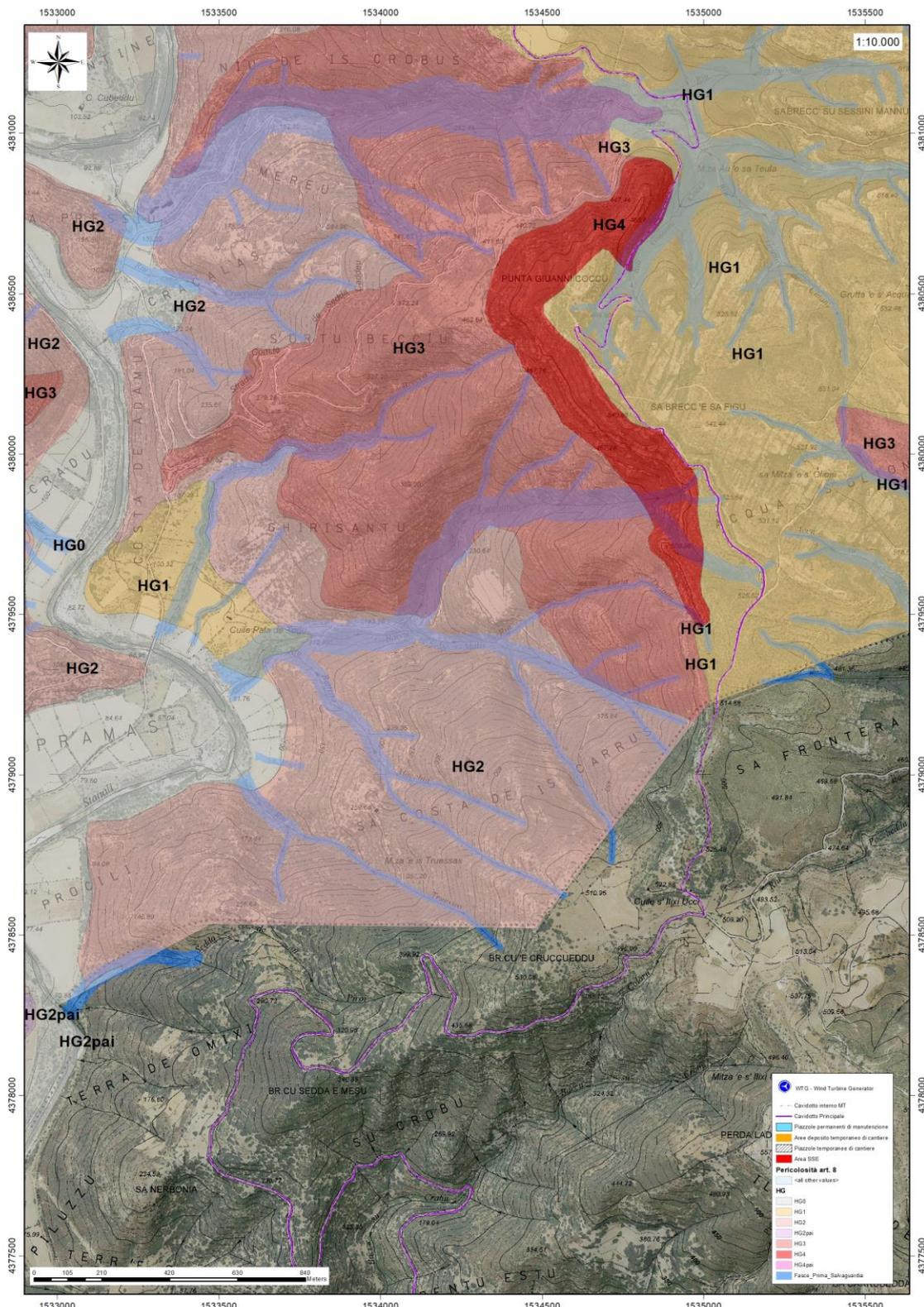


Figura 13. 3: Pericolosità da frana e fasce di salvaguardia dei corpi idrici - Studio di dettaglio Art.8,30ter NTA PAI Comune di Ballao – Settore Sud

13.3 Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) definisce, per i principali corsi d'acqua della Sardegna, le aree inondabili e le misure di tutela per le fasce fluviali. A seguito dello svolgimento delle conferenze programmatiche, tenute nel mese di gennaio 2013, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 20.06.2013, ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

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

Con Delibera n. 2 del 17.12.2015, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna, ha approvato in via definitiva, per l'intero territorio regionale, ai sensi dell'art. 9 delle L.R. 19/2006 come da ultimo modificato con L.R. 28/2015.

Per quanto riguarda le delimitazioni presenti nella cartografia del Piano Stralcio Fasce Fluviali, Atlante Fasce 7-05-FL-2-1-0, nelle tavole FL013, FL014, FL015, FL61, si evince che le aree di esondazione più estese del F. Flumendosa, nel territorio di Ballao, si sviluppano principalmente nella piana alluvionale a settentrione e oriente del centro abitato, sempre fuori dall'area oggetto di studio.

Nell'ambito di progetto le opere previste intervengono sulla perimetrazione per un singolo tratto di connessione in corrispondenza dell'attraversamento del Flumendosa. Tale attraversamento è ammissibile per l'art.27 delle NTA PAI che disciplina gli interventi nelle aree a pericolosità idraulica molto elevata.

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

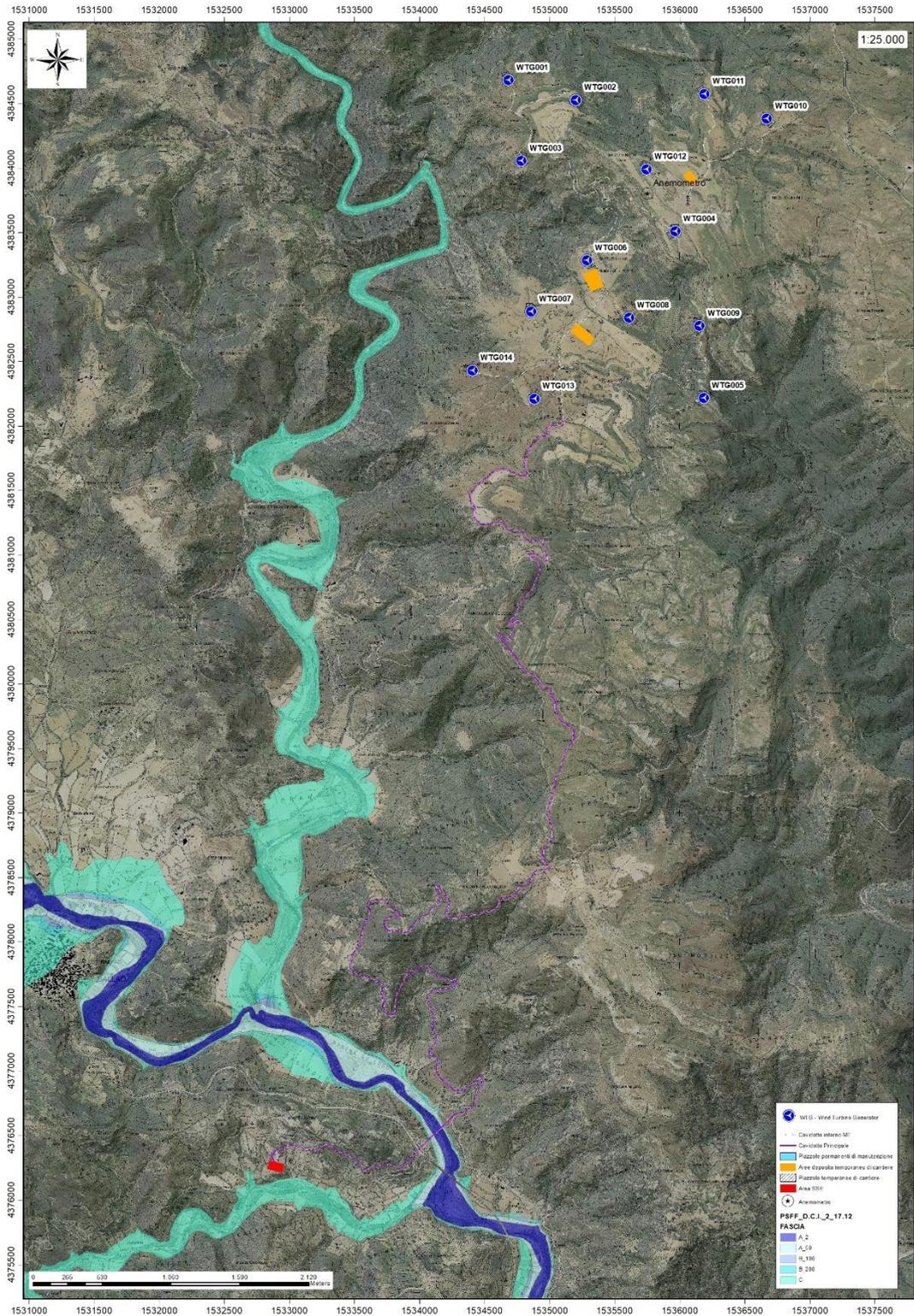


Figura 13. 4: Pericolosità idraulica da perimetrazione fasce fluviali – RAS Piano Stralcio Fasce Fluviali rev.2015

13.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

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

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

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

15 Modellazione geologica

15.1 Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi

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

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

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

dove:

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

mb = costante d'ammasso

s ed a = costanti d'ammasso

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

è stato possibile risalire ai parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb.

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

- *Resistenza a compressione monoassiale (Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS)*: 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 15. 1: Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

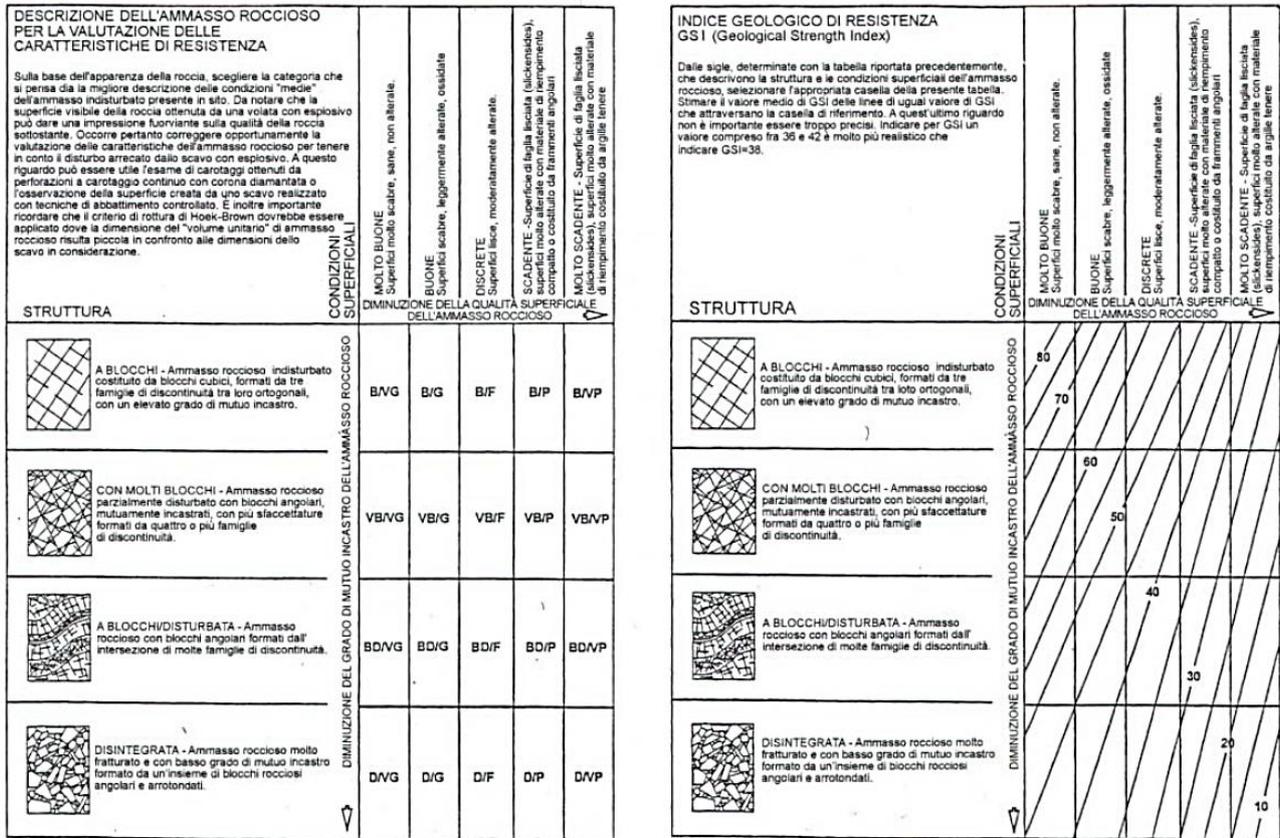


Figura 15. 2: Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

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

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

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

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

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

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)	
Effusive piroclastiche		Norite 22				
			Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)	
Questi valori sono validi per campioni di roccia intatta portati a rottura applicando il carico normale alla stratificazione o scistosità. Il valore di m_i sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza						

Figura 15. 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 $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{u(r)}\sigma_3 + s\sigma_{u(r)}^2}$ σ_1 = tensione efficace principale massima σ_3 = tensione efficace principale minima $\sigma_{u(r)}$ = resistenza a compressione monoassiale m ed s: costanti empiriche </p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	<p> ROCCE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO Dolomite, calcare e marmo. </p>	<p> ROCCE ARGILLOSE LITIFICATE Argille, silti, scisti argillosi con clivaggio ben marcato. </p>	<p> ROCCE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE Arenarie e quarzite </p>	<p> ROCCE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE Andesite, dolerite, diabase e riolite </p>	<p> ROCCE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCE CRISTALLINE METAMORFICHE Anfibolite, gabbro, gneiss, norite, quarzo-diorite </p>
<p> CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA <i>Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa)</i> Indice CSIR: RMR = 100 Indice NGI: Q = 500 </p>	m s	7.00 1.00	10.00 1.00	15.00 1.00	17.00 1.00	25.00 1.00
<p> AMMASSO ROCCIOSO DI OTTIMA QUALITÀ <i>Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m</i> Indice CSIR: RMR = 85 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 <i>Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</i> Indice CSIR: RMR = 65 Indice NGI: Q = 10 </p>	m s	0.575 0.00293	0.821 0.00293	1.231 0.00293	1.395 0.00293	2.052 0.00293
<p> AMMASSO ROCCIOSO DI DISCRETA QUALITÀ <i>Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m.</i> Indice CSIR: RMR = 44 Indice NGI: Q = 1 </p>	m s	0.128 0.00009	0.183 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<p> AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE <i>Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata.</i> Indice CSIR: RMR = 23 Indice NGI: Q = 0.1 </p>	m s	0.029 0.000003	0.041 0.000003	0.061 0.000003	0.069 0.000003	0.102 0.000003
<p> AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ MOLTO SCADENTE <i>Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine.</i> Indice CSIR: RMR = 3 Indice NGI: Q = 0.01 </p>	m s	0.007 0.0000001	0.010 0.0000001	0.015 0.0000001	0.017 0.0000001	0.025 0.0000001

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

Figura 15. 4: Correlazione fra valori di m, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

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

PORFIROIDI Auct.

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

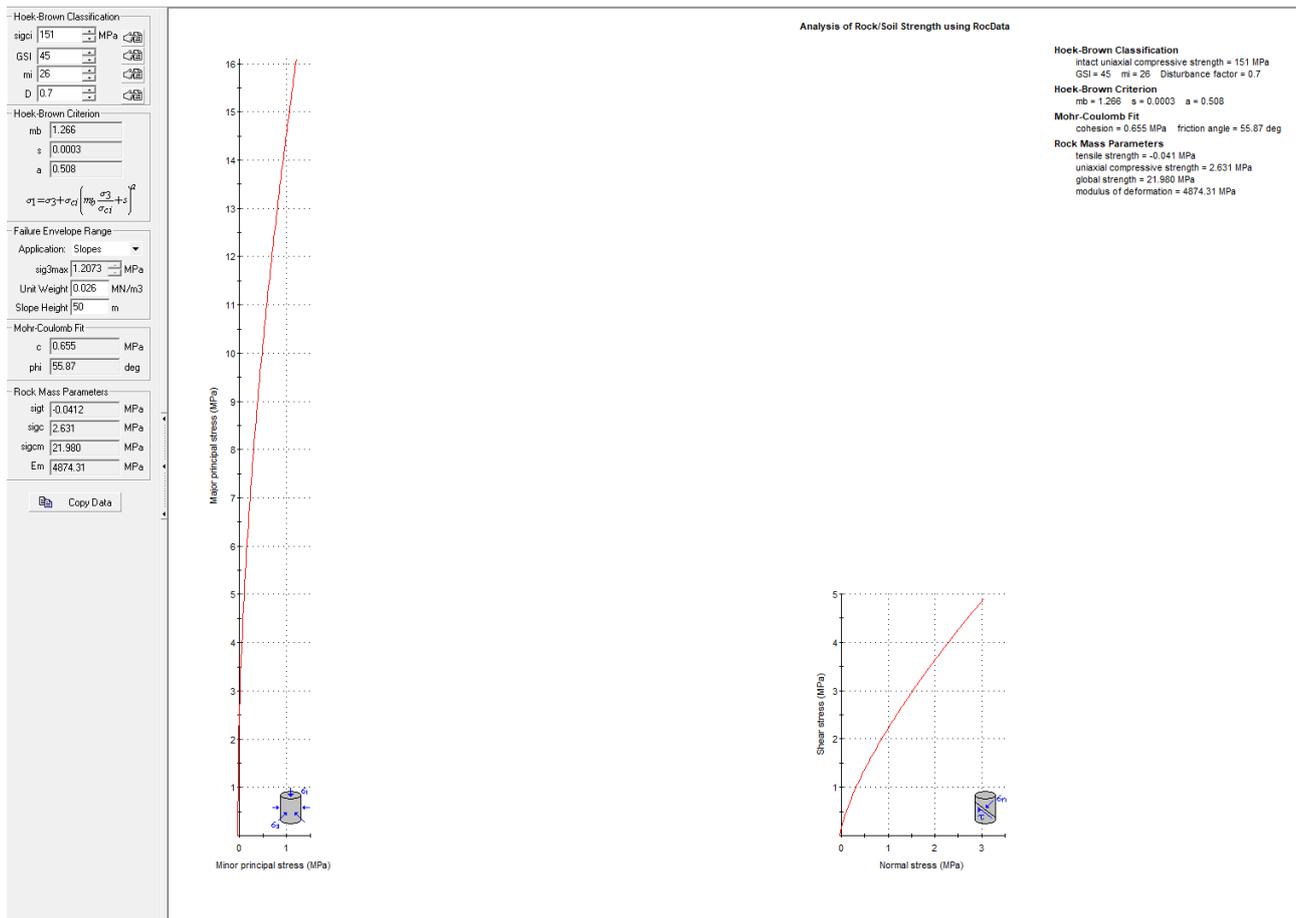
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate/alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm – compatto >5mm

Roccia – asciutta



Formazione delle ARENARIE DI SAN VITO – facies inf (da prof. > 9,30m da p.c.)

Standard ISRM = Con difficoltà può essere spellato con un coltellino, un intaccatura superficiale può essere procurata con un colpo della punta di un martello geologico.

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

RQD =15%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,05 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m

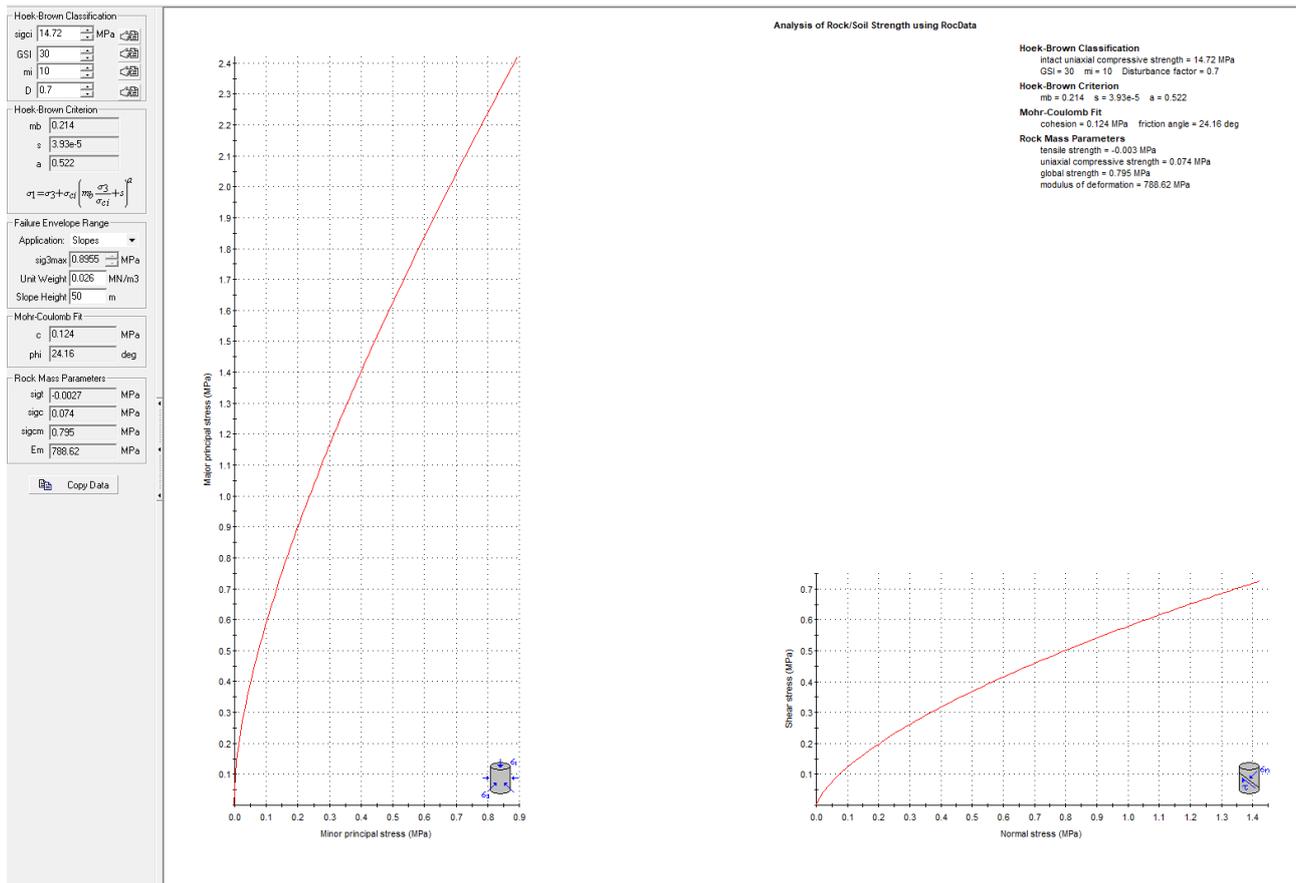
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate

Riempimento – quando presente compatto > 5 mm

Roccia – asciutta



Formazione delle ARENARIE DI SAN VITO – facies sup (da prof. 0,00m a 9,30m)

Standard ISRM =, si frantuma per effetto di alcuni colpi della punta di un martello geologico. può essere spellato con un coltellino.

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

RQD =10%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,1 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m

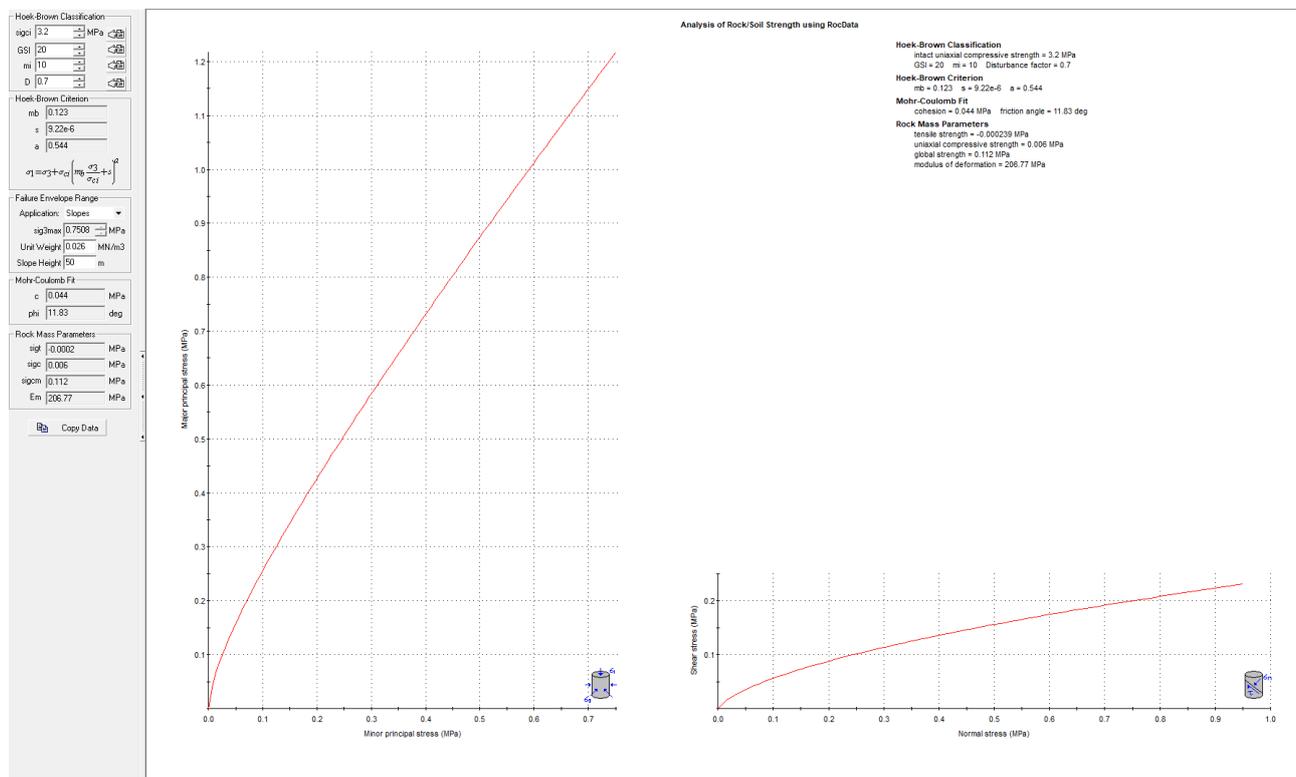
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti – da alterate a non alterate

Riempimento – sciolto 1-2mm / compatto > 2 mm

Roccia – asciutta



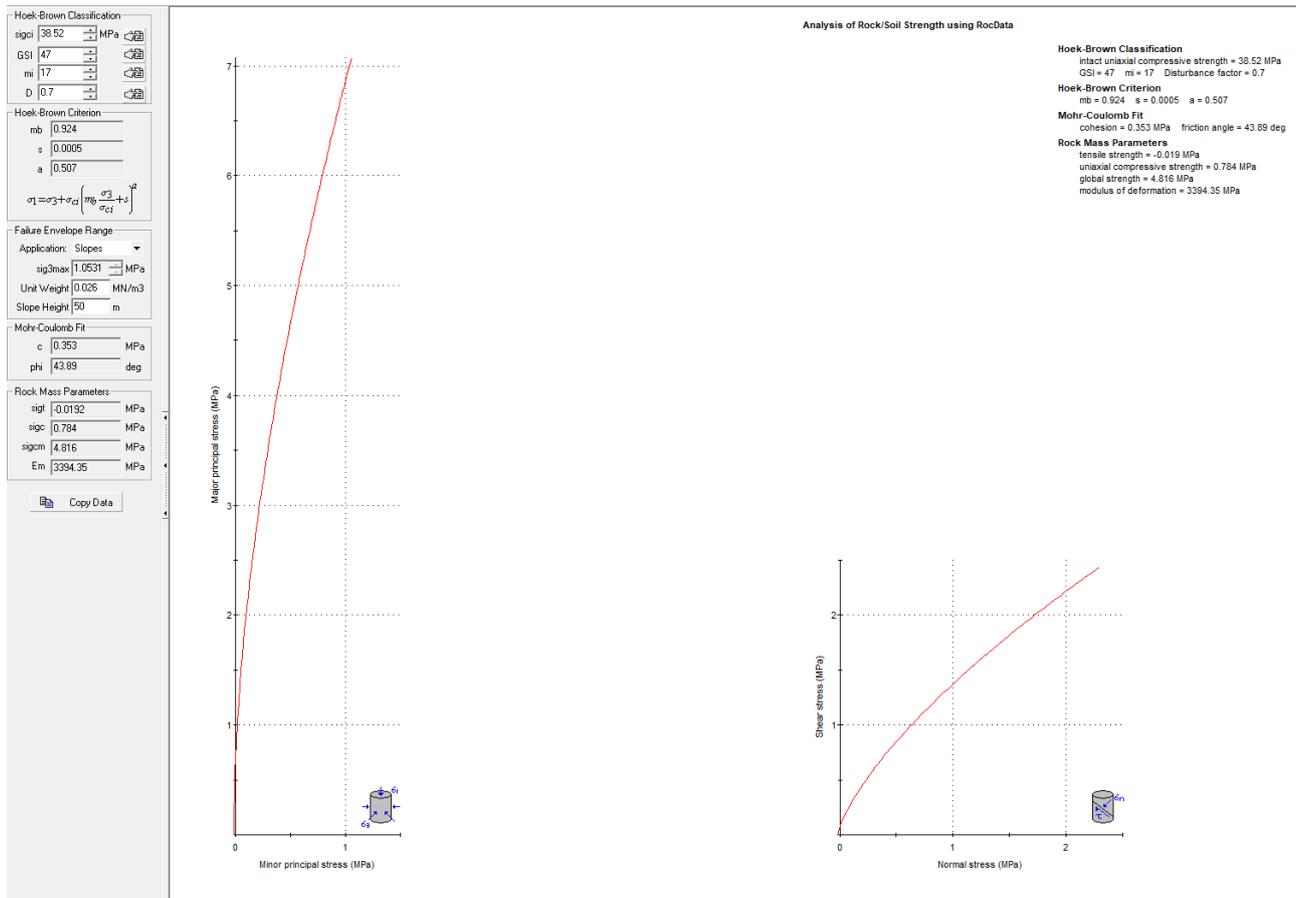
Formazione di MONTE CARDIGA (facies su BN_S02)

Standard ISRM = R3 – non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può esser fratturato con un solo colpo di martello geologico

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

RQD =40%

- Spaziatura delle discontinuità (s)=0,15 m
- Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m
- Apertura del giunto = 1 - 5 mm
- Giunto - rugoso
- Pareti - alterate
- Riempimento - sciolto 1-5 mm
- Roccia – asciutta



Formazione di MONTE CARDIGA (facies su BN_S04)

- Standard ISRM = R3 – non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può esser fratturato con un solo colpo di martello geologico
- Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm
- RQD =62%
- Spaziatura delle discontinuità (s)=0,3 m
- Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m

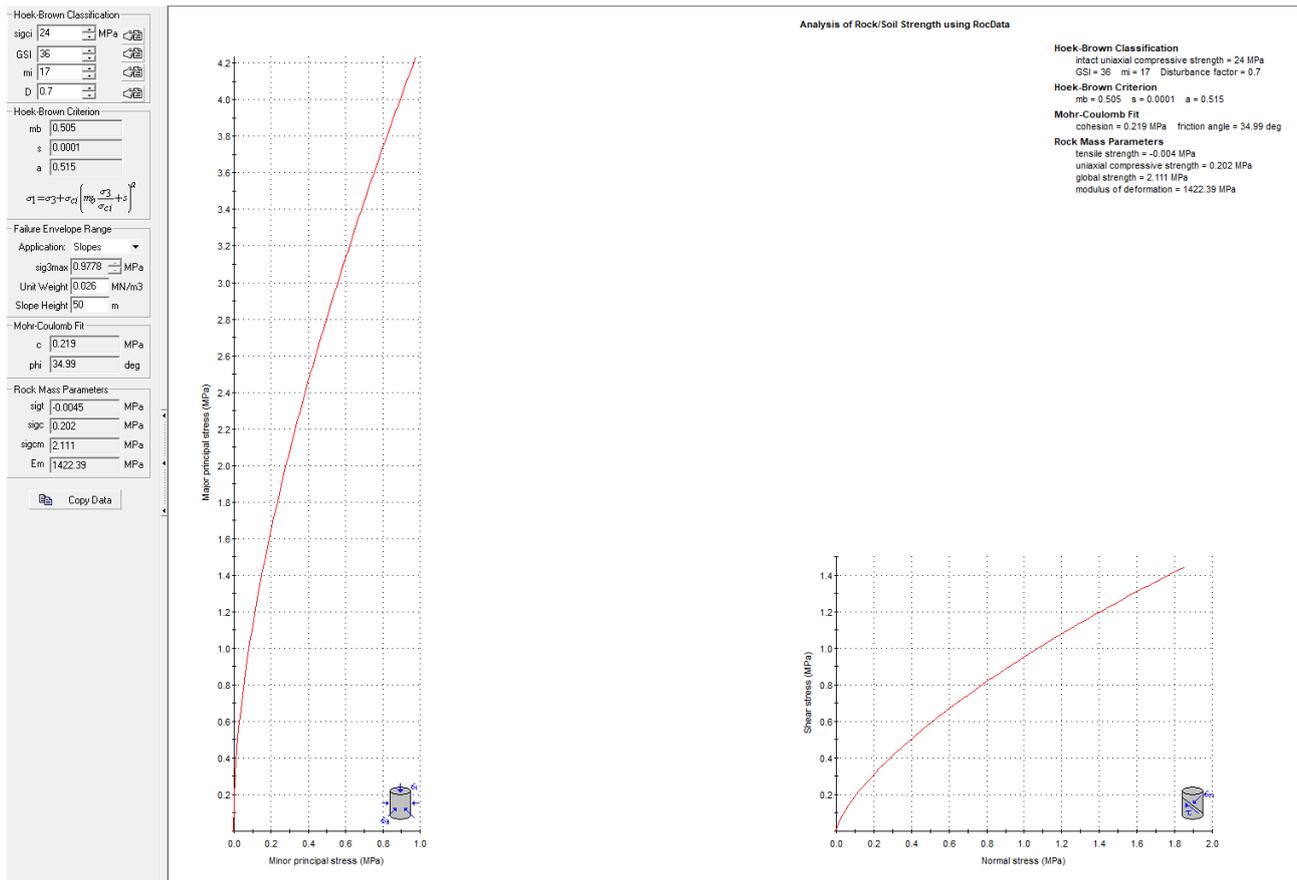
Apertura del giunto = 0,1 - 2 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate

Riempimento – 1-3 mm

Roccia – asciutta



5.4 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 metamorfite 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 metamorfite. 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.5 modelli geologici rappresentativi descritti di seguito:

Modello Geologico 01 – PORFIROIDI – WTG01, WTG03, WTG13, WTG14

Il sondaggio di riferimento è il **BN_S01**; il profilo sismico è il **M2-R2**. 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		Bruncu 'e Niada - MODELLO GEOLOGICO 01 (WTG001 - WTG003 - WTG013 - WTG014)			
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	[m/sec]	900	900	1040	

Modello Geologico 02 – ARENARIE M.te Cardiga – WTG04, WTG05, WTG09, WTG011, WTG012

Il sondaggio di riferimento è il **BN_S04**; il profilo sismico è il **M3-R3**. Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici

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

0,50m – 1,70m – argilla localmente sabbiosa a sabbia argillosa.

da 1,70m in poi – arenaria da media a fine con intercalazioni centimetriche più grossolane, fratturata fino a fondo indagine (15m 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		Bruncu 'e Niada - MODELLO GEOLOGICO 02 (WTG004 - WTG005 - WTG009 - WTG011 - WTG012)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 - argilla sabbiosa e sabbia argillosa	S3 - arenaria compatta	
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1800	2463	
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2000	2000	2463	
Angolo di attrito interno	[°]	25	25	34,99	
Coesione	[kg/cmq]	0	0,2	2,03	
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cmq]	989	989	2457	
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	
Modulo di taglio (G)	[kg/cmq]	3701	3701	9198	
Velocità onde di taglio	[m/sec]	450	450	690	

Modello Geologico 03 – ARENARIE M.te Cardiga + PORF – WTG06, WTG07, WTG08

Il sondaggio di riferimento è il **BN_S02**; il profilo sismico è il **M1-R1**. Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici

0,00m – 0,80m – suolo/materiale di riporto.

0,50m – 1,40m – argilla localmente sabbiosa.

1,40m – 3,70m – sabbie argillose.

da 3,70m in poi – arenaria da medio-fini con intercalazioni centimetriche più grossolane, fratturata fino a fondo indagine (15m 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		Bruncu 'e Niada - MODELLO GEOLOGICO 03 (WTG006 - WTG007 - WTG008)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 - argilla	S3 - sabbie argillose	S4 - arenarie
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1900	1900	1900	2550
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2100	2100	2100	2550
Angolo di attrito interno	[°]	25	25	25	43,89
Coesione	[kg/cm ²]	0	0	0	3,6
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cm ²]	1948	1948	1948	2325
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[kg/cm ²]	7301	7301	7301	8698
Velocità onde di taglio	[m/sec]	615	615	615	670

Modello Geologico 04 – Argille + PORFIROIDI – WTG02

Il sondaggio di riferimento è il **BN_S03**; il profilo sismico è il **M2-R2**. Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici

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

0,30m – 1,00m – argilla rossastre poco compatte.

1,00m – 5,60m – sabbie medie, ghiaie, sabbie fini con livelli ghiaiosi.

5,60m – 10,20m – argille debolmente sabbiose sciolte, talvolta con presenza di livelletti ghiaiosi, plastiche, umide

10,20m – 11,40m – argille mediamente compatte, talvolta con presenza di livelletti ghiaiosi

11,40m in poi – roccia porfirica grigio-verde con grossi fenocristalli (14.40m 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		Bruncu 'e Niada - MODELLO GEOLOGICO 04 (WGT002)					
Dati Parametri Resistenza							
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 - argille	S3 - sabbie medie, ghiaie, sabbie fini con livelli ghiaiosi	S4 - lente argille sciolte	S5 - lente argille compatte	S6 - porfiroidi
Descrizione							
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1800	1900	1390	1942	2600
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2000	2000	2100	1807	2200	2600
Angolo di attrito interno	[°]	25	25	26	20	24	55,87
Coesione	[kg/cm ^q]	0	0	0	0.32	0.35	6,67
Dati Parametri Deformabilità							
Modulo elastico	[kg/cm ^q]	989	989	2457	2457	5000	78302
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[kg/cm ^q]	3701	3701	9198	9198	14000	29398
Velocità onde di taglio	[m/sec]	450	450	690	690	800	1200

Modello Geologico 05 – ARENARIE M.te Cardiga – WTG10

Il sondaggio di riferimento è il **BN_S05**; Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici **0,00m – 9,30m** – metarenaria da moderatamente fratturata a intensamente fratturata.

da 9,30m in poi – metargilliti e metasiltiti intensamente fratturate, carboniose fino a fondo indagine (15m 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		Bruncu 'e Niada - MODELLO GEOLOGICO 05 (WTG010)			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1 - metarenaria e metasiltiti molto fratturate	S2 - metargilliti e metasiltiti	S3	S4
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	2687	2829		
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2687	2829		
Angolo di attrito interno	[°]	11,83	24,16		
Coesione	[kg/cm ^q]	0,45	1,26		
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cm ^q]	2108	8045		
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33		
Modulo di taglio (G)	[kg/cm ^q]	540	5400		
Velocità onde di taglio	[m/sec]	250	350		

15.4.2 Viabilità di impianto e Sottostazione

La viabilità di impianto è stata scelta utilizzando dei tracciati preesistenti che verranno adeguatamente ridefiniti nelle sezioni nella misura utile e funzionale al servizio destinato con particolare riferimento alla fase

di realizzazione del parco ove avverrà la maggior se non totale movimentazione di carichi e mezzi. La stessa viabilità sarà mantenuta in fase di esercizio.

La viabilità dovrà sopportare un peso per asse pari a 24,5 tonnellate, una pressione massima di 2,45 kg/cm. Lo sbancamento stradale di percorrenza dovrà essere pari a 5 metri, compresi 50 centimetri per lato di fascia di distanza. I gradienti longitudinali non superano il 13.6% sui rettilinei e il 13% in prossimità delle curve. Le curve stesse hanno a progetto un raggio di curvatura interna non inferiore a 20 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 1,00m.

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.

La sottostazione sorgerà su nella parte medio-alta degli Scisti a Graptoliti la cui facies è caratterizzata da lenti discontinue di metacalcari. 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

L'intervento non è compreso in aree perimetrate da pericolosità idraulica salvo per un tratto del cavidotto di connessione che attraversa il Flumendosa. Facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti in aree a pericolosità idraulica, **tale 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.

Con riferimento all'apposizione delle misure di prima salvaguardia di cui all'articolo 30 ter delle NTA PAI mediante l'istituzione di fasce di pericolosità Hi4, nelle more dell'approvazione definitiva dello studio di dettaglio ex art.8, 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.

Si sottolinea che lo studio idraulico di dettaglio ex art.8, alla data attuale in fase di istruttoria presso l'Agenzia del Distretto Idrografico, non evidenzia alcun tipo di pericolosità idraulica per le aree interessate dagli aerogeneratori, dalle piazzole e dalla viabilità interna di impianto. L'unica evidenza di pericolosità, peraltro già trattata in questa sede, risulta in corrispondenza dell'attraversamento del cavidotto di connessione sul Fiume Flumendosa.

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Le opere in progetto ricadono in parte in aree perimetrare con pericolosità da frana elevata Hg3 e media Hg2

Art. 32 - Disciplina delle aree di pericolosità elevata da frana (Hg3)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità elevata da frana sono consentiti tutti gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità molto elevata da frana, alle medesime condizioni stabilite nell'articolo 31.

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 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 e riportata di seguito.

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.

L'intervento non è compreso in aree perimetrate da pericolosità idraulica salvo per un tratto del cavidotto di connessione che attraversa il Flumendosa. Facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti in aree a pericolosità idraulica, **tale 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.*

Con riferimento **all'apposizione delle misure di prima salvaguardia di cui all'articolo 30 ter delle NTA PAI** mediante **l'istituzione di fasce di pericolosità Hi4**, nelle more dell'approvazione definitiva dello studio di dettaglio ex art.8, 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 ricadono in parte in aree perimetrare con pericolosità da frana elevata Hg3 e media Hg2

Art. 32 - Disciplina delle aree di pericolosità elevata da frana (Hg3)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità elevata da frana sono consentiti tutti gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità molto elevata da frana, alle medesime condizioni stabilite nell'articolo 31.

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.